

# Βασικές Αρχές της Τηλεπισκόπησης

Επιμέλεια-Απόδοση στα ελληνικά

Δρ. Κωνσταντίνος Ποϊραζίδης

Βούλγαρης Μ. Δ. Κεφαλάς Γ. Λορίλια Ρ. Σ.



2013



**Πίνακας περιεχομένων**

<b>1</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ</b>	<b>4</b>
1.1	Τι είναι η τηλεπισκόπηση;	4
1.2	Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία	5
1.3	Το Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα	5
1.4	Αλληλεπιδράσεις με την Ατμόσφαιρα	7
1.5	Ακτινοβολία – Στόχος αλληλεπιδράσεων	9
1.6	Παθητική vs. Ενεργητική Τηλεπισκόπηση	11
1.7	Χαρακτηριστικά των Εικόνων	11
<b>2</b>	<b>ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ</b>	<b>13</b>
2.1	Στο Έδαφος, στον Αέρα, στο Διάστημα	14
2.2	Χαρακτηριστικά Δορυφόρων: Τροχιές και Ίχνη	14
2.3	Χωρική Ανάλυση, Μέγεθος Εικονοστοιχείου (Pixel) και Κλίμακα	16
2.4	Φασματική Ανάλυση	18
2.5	Ραδιομετρική Ανάλυση	18
2.6	Χρονική Ανάλυση	19
2.7	Κάμερες και Εναέρια Φωτογράφιση	20
2.8	Πολυφασματική Σάρωση	22
2.9	Θερμική Απεικόνιση	24
2.10	Γεωμετρική Παραμόρφωση στην Απεικόνιση	25
2.11	Δορυφόροι/Αισθητήρες Καιρού	26
2.12	Δορυφόροι/Αισθητήρες παρατήρησης γης	30
2.13	Θαλάσσιοι Δορυφόροι /Αισθητήρες Παρατήρησης	35
2.14	Άλλοι Αισθητήρες	37
2.15	Δεδομένα Λήψης, Μετάδοση και Επεξεργασίας	38
<b>3</b>	<b>ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ</b>	<b>39</b>
3.1	Εισαγωγή	39
3.2	Στοιχεία της Οπτικής Ερμηνείας	41
3.3	Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας	43
3.3.1	Προεπεξεργασία	44
3.3.2	Ενίσχυση Εικόνας	47
3.3.3	Μετασχηματισμοί Εικόνας	49
3.3.4	Ταξινόμηση και Ανάλυση Εικόνας	51
3.4	Ολοκλήρωση Δεδομένων και Ανάλυση	52
<b>4</b>	<b>ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ</b>	<b>54</b>



4.1	Εισαγωγή.....	54
	Multisensor .....	56
4.2	Γεωργία .....	56
4.2.1	Τύπος Περικοπής Χαρτογράφησης .....	57
4.2.2	Παρακολούθηση Καλλιεργειών και Αξιολόγηση Βλαβών .....	59



## 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

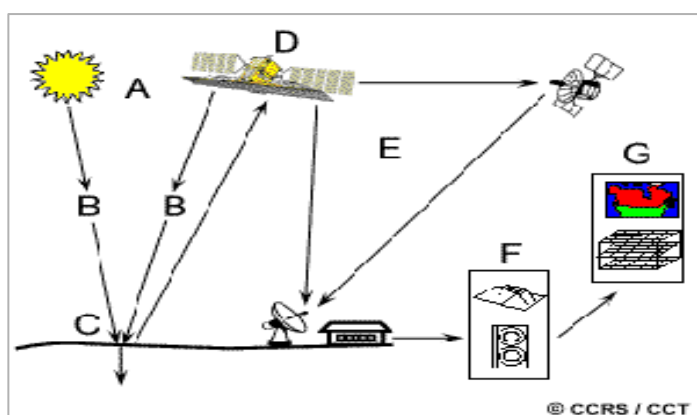
### 1.1 Τι είναι η τηλεπισκόπηση;

Λοιπόν, τι ακριβώς είναι η **τηλεπισκόπηση**; Για τους σκοπούς του παρόντος οδηγού-βοηθήματος, θα χρησιμοποιήσουμε τον ακόλουθο ορισμό:

*"Τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη (και σε κάποιο βαθμό, τέχνη) απόκτησης πληροφορίας σχετικά με την επιφάνεια της Γης, χωρίς στην πραγματικότητα να είναι σε επαφή με αυτή. Αυτό γίνεται με την ανίχνευση και καταγραφή, ανάκλιση ή εκπομπή ενέργειας και γίνεται επεξεργασία, ανάλυση και εφαρμογή των εν λόγω πληροφοριών."*

Σε μεγάλο μέρος της τηλεπισκόπησης, η **διαδικασία** περιλαμβάνει μια αλληλεπίδραση μεταξύ της προσπίπτουσας ακτινοβολίας για τους στόχους του ενδιαφέροντος. Αυτό δίδεται παραδειγματικά με τη χρήση των συστημάτων απεικόνισης, όπου συμμετέχουν τα ακόλουθα επτά στοιχεία. Σημειώστε, ωστόσο, ότι η τηλεπισκόπηση περιλαμβάνει επίσης την ανίχνευση της εκπεμπόμενης ενέργειας και τη χρήση των μη-απεικόνισης αισθητήρων.

1. **Πηγή Ενέργειας ή Φωτισμού (A)** – η πρώτη προϋπόθεση για την τηλεπισκόπηση είναι να έχουμε μια πηγή ενέργειας που φωτίζει ή παρέχει ηλεκτρομαγνητική ενέργεια προς το στόχο του ενδιαφέροντος.
2. **Ακτινοβολία και Ατμόσφαιρα (B)** – καθώς η ενέργεια ταξιδεύει από την πηγή έως το στόχο της, θα έρθει σε επαφή και θα αλληλεπιδράσει με την ατμόσφαιρα που περνά. Αυτή η αλληλεπίδραση μπορεί να λάβει χώρα και δεύτερη φορά ως η ενέργεια που ταξιδεύει από τον στόχο για τον αισθητήρα.
3. **Αλληλεπίδραση με τον Στόχο (Γ)** - όταν η ενέργεια πηγαίνει προς το στόχο μέσω της ατμόσφαιρας, αλληλεπιδρά με το στόχο, ανάλογα με τις ιδιότητες τόσο του στόχου όσο και της ακτινοβολίας.
4. **Καταγραφή της Ενέργειας από τον Αισθητήρα (D)** - αφού η ενέργεια έχει διασπαστεί ή εκπεμφθεί από το στόχο, χρειαζόμαστε έναν αισθητήρα (απομακρυσμένο – να μην είναι σε επαφή με τον στόχο) για τη συλλογή και καταγραφή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.
5. **Η Μετάδοση, Υποδοχή, και Επεξεργασία (E)** - η ενέργεια καταγεγραμμένη από τον αισθητήρα πρέπει να διαβιβάζεται, συχνά σε ηλεκτρονική μορφή, σε έναν σταθμό λήψης και επεξεργασίας, όπου τα δεδομένα επεξεργάζονται ώστε να αποδίδονται ως εικόνα (έντυπη ή / και ψηφιακή).
6. **Ερμηνεία και Ανάλυση (F)** - η επεξεργασμένη εικόνα ερμηνεύεται, οπτικά και / ή ψηφιακά ή ηλεκτρονικά, για την εξαγωγή πληροφοριών σχετικά με το στόχο που είχε “φωτιστεί”.
7. **Εφαρμογή (G)** - το τελικό στοιχείο της επεξεργασίας της τηλεπισκόπησης επιτυγχάνεται όταν εφαρμόζονται πληροφορίες τις οποίες έχουμε τη δυνατότητα να εξάγουμε από τις εικόνες σε σχέση με το στόχο για την καλύτερη κατανόηση του. Έτσι αποκαλύπτονται κάποιες νέες πληροφορίες ή βοήθειες για επίλυση ενός συγκεκριμένου προβλήματος.



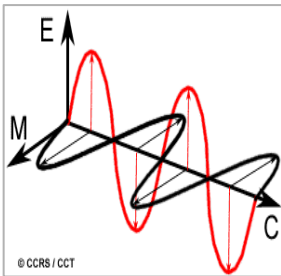
Αυτά τα επτά στοιχεία περιλαμβάνουν τη μεθοδολογία της τηλεπισκόπησης από την αρχή μέχρι το τέλος. Εμείς θα καλύψουμε όλα αυτά με διαδοχική σειρά στο σύνολο των πέντε κεφαλαίων



αυτού του οδηγού, βασιζόμενοι στις πληροφορίες που μάθαμε. Απολαύστε το ταξίδι!

## 1.2 Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, η πρώτη απαίτηση για την τηλεπισκόπηση είναι **να έχουμε μια ενεργειακή πηγή για να φωτίζει το στόχο** (εκτός εάν η ανιχνεύσιμη ενέργεια εκπέμπεται από το στόχο). Αυτή η ενέργεια έχει τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

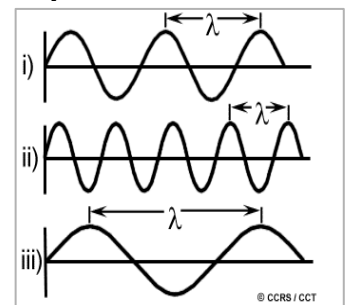


Όλη η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχει θεμελιώδεις ιδιότητες και συμπεριφέρεται με προβλέσιμο τρόπο σύμφωνα με τις βασικές αρχές της θεωρίας των κυμάτων.

Η **ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία** αποτελείται από ένα ηλεκτρικό πεδίο (E) που ποικίλλει σε μέγεθος, σε μία διεύθυνση, κάθετη προς την κατεύθυνση στην οποία η ακτινοβολία ταξιδεύει, και ένα μαγνητικό πεδίο (M) προσανατολισμένο σε ορθές γωνίες προς το ηλεκτρικό πεδίο. Και τα δύο αυτά πεδία ταξιδεύουν με τη ταχύτητα του φωτός (C).

Δύο είναι τα χαρακτηριστικά της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που είναι ιδιαίτερος σημαντικά για την κατανόηση της τηλεπισκόπησης, τα οποία είναι το **μήκος κύματος** και η **συχνότητα**.

Το μήκος κύματος είναι το μήκος μίας περιόδου κύματος, το οποίο μπορεί να μετρηθεί ως η απόσταση μεταξύ των διαδοχικών κορυφών των κυμάτων, συνήθως συμβολίζεται από το ελληνικό γράμμα λάμδα ( $\lambda$ ). Επιπροσθέτως το μήκος κύματος μετράται σε μέτρα (m) ή σε κάποιο παράγωγο του μέτρου, όπως **νανόμετρα** (nm,  $10^{-9}$  μέτρα), **μικρόμετρα** ( $\mu\text{m}$ ,  $10^{-6}$  μέτρα) ή εκατοστά (cm,  $10^{-2}$  μέτρα). Η συχνότητα αναφέρεται στον αριθμό των περιόδων ενός κύματος που διέρχεται από σταθερό σημείο ανά μονάδα χρόνου. Η συχνότητα συνήθως μετρείται σε **hertz** (Hz), που είναι ισοδύναμο με μία περίοδο ανά δευτερόλεπτο, και διάφορα πολλαπλάσια των hertz.



Το μήκος κύματος και συχνότητα συσχετίζονται με τον ακόλουθο τύπο:

$$c = \lambda \cdot \nu$$

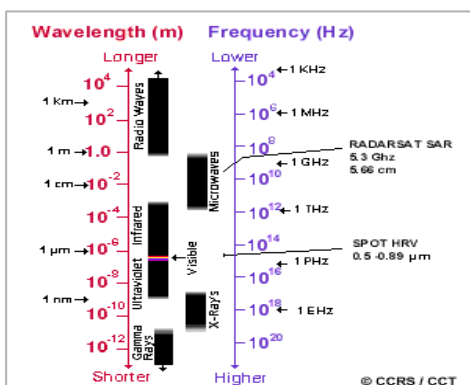
όπου:

$\lambda$  = μήκος κύματος (m)

$\nu$  = συχνότητα (περίοδος ανά δευτερόλεπτο, Hz)

$c$  = ταχύτητα του φωτός ( $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ )

Συνεπώς, κάθε ένα σχετίζεται αντίστροφα με το άλλο. Όσο μικρότερο είναι το μήκος κύματος, τόσο υψηλότερη είναι η συχνότητα. Όσο περισσότερο το μήκος κύματος, τόσο χαμηλότερη είναι η συχνότητα. Η κατανόηση των χαρακτηριστικών της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από την άποψη του μήκους κύματος και της συχνότητας τους είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση των πληροφοριών που προέρχονται από δεδομένα τηλεπισκόπησης. Στη συνέχεια, θα εξετάσουμε τον τρόπο με τον οποίο θα κατηγοριοποιήσουμε την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία για κάθε σκοπό.



## 1.3 Το Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

Το **ηλεκτρομαγνητικό φάσμα** κυμαίνεται από τα μικρότερα μήκη κύματος (συμπεριλαμβανομένου γάμμα και X ακτίνες) στα μεγαλύτερα μήκη κύματος (συμπεριλαμβανομένων των μικροκυμάτων

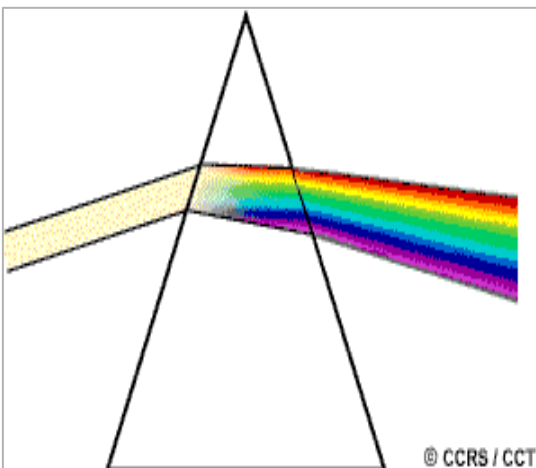


και των εκπεμπόμενων ραδιοκυμάτων). Είναι αρκετές οι περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που είναι χρήσιμες για την τηλεπισκόπηση.

Για τους περισσότερους σκοπούς, το **υπεριώδες ή UV** τμήμα του φάσματος έχει το μικρότερο μήκος κύματος που είναι πρακτικό για την τηλεπισκόπηση. Αυτή η ακτινοβολία είναι ακριβώς πέρα από το ιώδες τμήμα του ορατού μέρους του φάσματος, απ' όπου προήλθε και το όνομά του. Μερικά υλικά της επιφάνειας της Γης, κυρίως πετρώματα και ορυκτά, φθορίζουν ή εκπέμπουν ορατό φως όταν φωτίζονται με υπεριώδη ακτινοβολία.

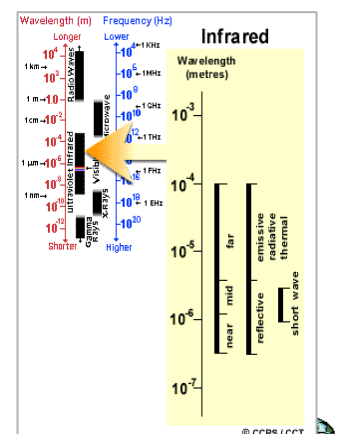
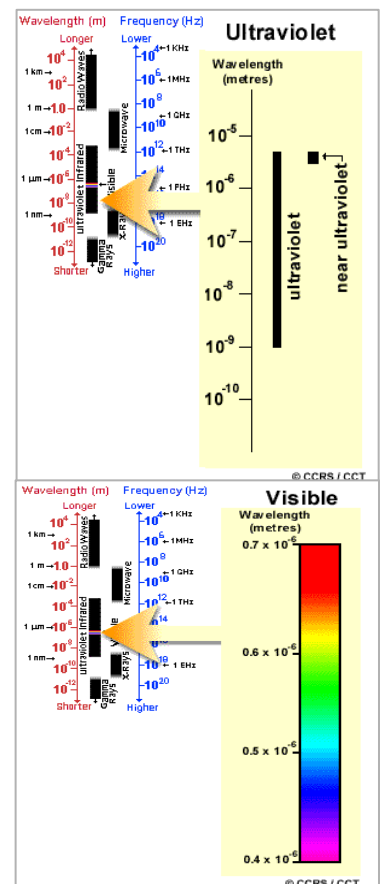
Το φάσμα που μπορούν τα μάτια μας, οι "τηλεανιχνευτές" μας, να ανιχνεύσουν είναι μέρος του **ορατού φάσματος**. Είναι σημαντικό να αναγνωρίσουμε πόσο μικρό είναι το ορατό τμήμα σε σχέση με το υπόλοιπο φάσμα. Υπάρχει πολλή ακτινοβολία γύρω μας η οποία είναι "αόρατη" στα μάτια μας, αλλά μπορεί να ανιχνευθεί από άλλα μέσα τηλεπισκόπησης και να χρησιμοποιηθούν προς όφελός μας. Το ορατό μήκος κύματος καλύπτει ένα εύρος περίπου από 0,4 έως 0,7  $\mu\text{m}$ . Το μεγαλύτερο ορατό μήκος κύματος είναι το ερυθρό και το μικρότερο το ιώδες. Τα κοινά μήκη κύματος τα οποία αντιλαμβανόμαστε ως ξεχωριστά χρώματα από το ορατό τμήμα του φάσματος, παρατίθενται παρακάτω. Αξιοσημείωτο είναι ότι αυτό είναι το μόνο τμήμα του φάσματος που μπορούμε να συσχετίσουμε με την έννοια των χρωμάτων.

- ❖ **Ιώδες** : 0.4 - 0.446  $\mu\text{m}$
- ❖ **Μπλε**: 0.446 - 0.500  $\mu\text{m}$
- ❖ **Πράσινο**: 0.500 - 0.578  $\mu\text{m}$
- ❖ **Κίτρινο**: 0.578 - 0.592  $\mu\text{m}$
- ❖ **Πορτοκαλί**: 0.592 - 0.620  $\mu\text{m}$
- ❖ **Ερυθρό**: 0.620 - 0.7  $\mu\text{m}$



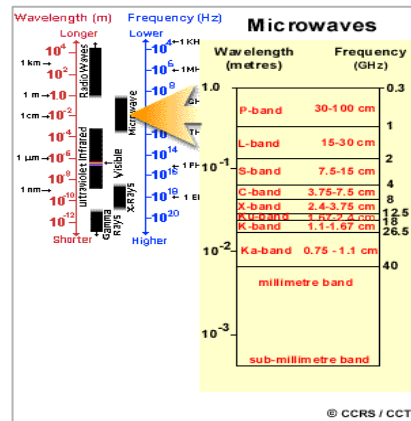
**Μπλε, πράσινο και ερυθρό** είναι τα κύρια χρώματα ή μήκη κύματος του ορατού φάσματος. Αυτά ορίζονται έτσι, διότι κανένα πρωτεύον χρώμα δε μπορεί να δημιουργηθεί από άλλα δύο, αλλά όλα τα άλλα χρώματα μπορούν να σχηματιστούν συνδυάζοντας μπλε, πράσινο και ερυθρό σε διάφορες αναλογίες. Παρά το γεγονός ότι βλέπουμε το φως του ήλιου ως ομοιόμορφο ή ομοιογενές χρώμα, στη πραγματικότητα αποτελείται από διάφορα μήκη κύματος της ακτινοβολίας κυρίως στο υπεριώδες, ορατό και υπέρυθρο τμήμα του φάσματος. Το ορατό τμήμα αυτής της ακτινοβολίας μπορεί να εμφανιστεί σε χρωματικές συνιστώσες όταν το ηλιακό φως διέρχεται διαμέσου ενός **πρίσματος**, το οποίο κάμπτεται το φως σε διαφορετικές ποσότητες, σύμφωνα με το μήκος κύματος.

Το επόμενο τμήμα του φάσματος που μας ενδιαφέρει είναι το υπέρυθρο (IR) τμήμα το οποίο καλύπτει το εύρος μήκους κύματος από περίπου 0.7  $\mu\text{m}$  έως 100  $\mu\text{m}$ , περισσότερο από 100 φορές το εύρος, όσο το ορατό τμήμα! Η υπέρυθρη περιοχή μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες με βάση τις ιδιότητες της ακτινοβολίας, η **ανακλώμενη IR** και η **εκπεμπόμενη ή θερμική IR**. Η ακτινοβολία στην ανακλώμενη περιοχή IR χρησιμοποιείται για σκοπούς της τηλεπισκόπησης κατά τρόπο παρόμοιο με της ακτινοβολίας στο ορατό τμήμα. Η ανακλώμενη IR καλύπτει μήκη κύματος περίπου από 0,7  $\mu\text{m}$  έως 3,0  $\mu\text{m}$ . Η θερμική περιοχή IR είναι αρκετά διαφορετική από το ορατό και ανακλώμενο IR τμήμα, διότι αυτή η ενέργεια είναι ουσιαστικά η ακτινοβολία που εκπέμπεται από



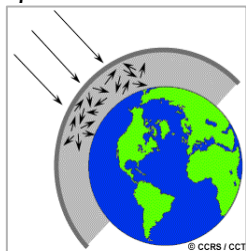
την επιφάνεια της γης με τη μορφή θερμότητας. Η θερμική IR καλύπτει μήκη κύματος περίπου από 3,0  $\mu\text{m}$  έως 100  $\mu\text{m}$ .

Το τμήμα του φάσματος του πιο πρόσφατου ενδιαφέροντος για την τηλεπισκόπηση είναι το τμήμα αυτό των **μικροκυμάτων**, σε περιοχή περίπου από 1 mm έως 1 m. Αυτό καλύπτει τα μακρύτερα μήκη κύματος που χρησιμοποιούνται για την τηλεπισκόπηση. Τα μικρότερα μήκη κύματος έχουν ιδιότητες παρόμοιες με την περιοχή του θερμικού υπερύθρου, ενώ τα μεγαλύτερα μήκη κύματος πλησιάζουν τα μήκη κύματος που χρησιμοποιούνται για την εκπομπή ραδιοκυμάτων. Λόγω της ιδιαιτερότητας της περιοχής αυτής και της σημαντικότητας της στην τηλεπισκόπηση, ένα ολόκληρο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 3) είναι αφιερωμένο στην επισκόπηση μικροκυμάτων.

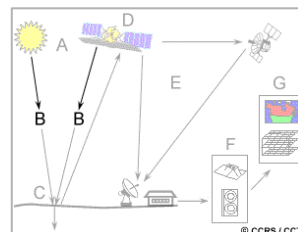


## 1.4 Αλληλεπιδράσεις με την Ατμόσφαιρα

Πριν η ακτινοβολία που χρησιμοποιείται για την τηλεπισκόπηση, φτάσει στην επιφάνεια της Γης, είναι αναγκαίο να ταξιδέψει μέσω κάποιας απόστασης από την ατμόσφαιρα της Γης. Τα σωματίδια και τα αέρια στην ατμόσφαιρα μπορούν να επηρεάσουν το εισερχόμενο φως και την ακτινοβολία. Αυτές οι επιδράσεις προκαλούνται από τους μηχανισμούς **σκέδασης** και **απορρόφησης**.



**Σκέδαση** προκύπτει όταν σωματίδια ή μεγάλα μόρια αερίου που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα αλληλεπιδρούν και προκαλούν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία να ανακατευθυνθεί προς το σημείο εκπομπής της. Το πως λαμβάνει χώρα η σκέδαση εξαρτάται από διάφορους παράγοντες συμπεριλαμβανομένου του μήκους κύματος της ακτινοβολίας, την αφθονία των σωματιδίων ή των αερίων και η απόσταση που διανύει η ακτινοβολία μέσω της ατμόσφαιρας. Υπάρχουν τρεις (3) τύποι σκέδασης που λαμβάνουν χώρα.



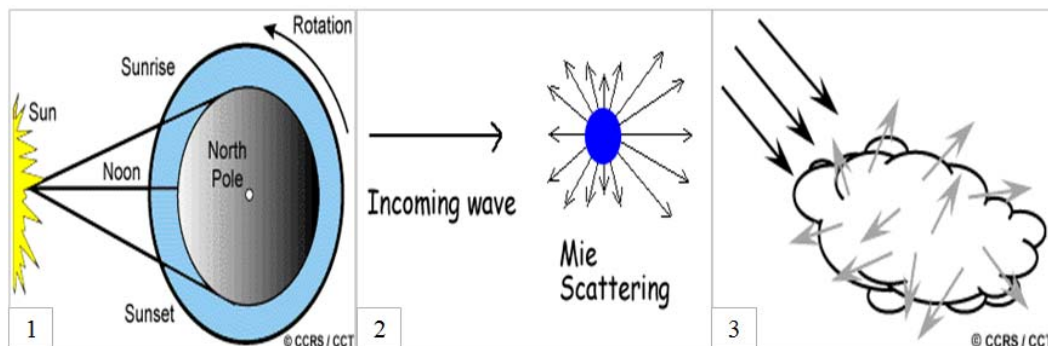
**1. Σκέδαση Rayleigh** συμβαίνει όταν τα σωματίδια είναι πολύ μικρά σε σύγκριση με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Αυτά θα μπορούσαν να είναι σωματίδια όπως μικρά στίγματα από σκόνη ή άζωτο και μόρια οξυγόνου. Η σκέδαση Rayleigh προκαλεί μικρότερα μήκη κύματος της ενέργειας να διασκορπιστούν πολύ περισσότερο από τα μεγαλύτερα μήκη κύματος. Η σκέδαση Rayleigh είναι ο επικρατέστερος μηχανισμός σκέδασης στην ανώτερη ατμόσφαιρα. Το γεγονός ότι ο ουρανός εμφανίζεται «μπλε» κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι λόγω αυτού του φαινομένου. Καθώς το ηλιακό φως διέρχεται μέσα από την ατμόσφαιρα, τα μικρότερα μήκη κύματος (δηλαδή μπλε) του ορατού φάσματος είναι διάσπαρτα περισσότερο από άλλα (μεγαλύτερα) ορατά μήκη κύματος. Στην **ανατολή και δύση** του ηλίου το φως πρέπει να ταξιδέψει μακρύτερα διαμέσου της ατμόσφαιρας απ' ό,τι το μεσημέρι και η σκέδαση των μικρότερων μηκών κύματος είναι πιο πλήρης. Αυτό αφήνει ένα μεγαλύτερο ποσοστό μεγαλύτερων μηκών κύματος να διεισδύσουν στην ατμόσφαιρα.

**2. Σκέδαση Mie** συμβαίνει όταν τα σωματίδια έχουν σχεδόν το ίδιο μέγεθος με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Σκόνη, γύρη, καπνός και υδρατμοί είναι κοινές αιτίες της σκέδασης Mie η οποία τείνει να επηρεάζει μεγαλύτερα μήκη κύματος από ό,τι εκείνα που επηρεάζονται από τη σκέδαση Rayleigh. Σκέδαση Mie εμφανίζεται κυρίως στα κατώτερα τμήματα της ατμόσφαιρας, όπου μεγαλύτερα σωματίδια είναι περισσότερα, και κυριαρχούν συνθήκες συννεφιάς.

**3.** Ο τελευταίος από τους σημαντικούς μηχανισμούς σκέδασης που ονομάζεται μη **επιλεκτική σκέδαση**. Αυτό συμβαίνει όταν τα σωματίδια είναι πολύ μεγαλύτερα από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Σταγονίδια νερού και μεγάλα σωματίδια σκόνης μπορούν να προκαλέσουν αυτό το είδος της σκέδασης. Η μη επιλεκτική σκέδαση παίρνει το όνομά της από το γεγονός ότι όλα τα μήκη κύματος είναι

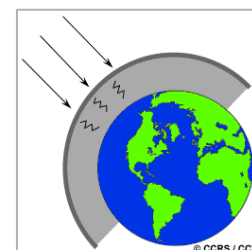


διασκορπισμένα εξίσου. Αυτό το είδος της σκέδασης προκαλεί την ομίχλη και τα σύννεφα να φαίνονται λευκά στα μάτια μας, επειδή το μπλε, πράσινο, και ερυθρό φως είναι διάσπαρτο σε περίπου ίσες ποσότητες (μπλε + πράσινο + ερυθρό = λευκό φως).



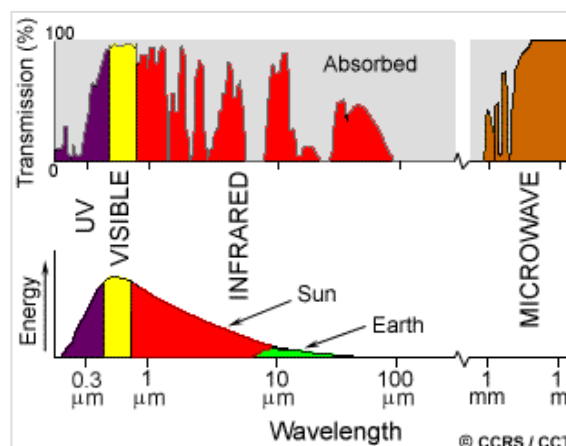
Η **απορρόφηση** είναι ο άλλος βασικός μηχανισμός της εργασίας όταν η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αλληλεπιδρά με την ατμόσφαιρα. Σε αντίθεση με τη σκέδαση, το παρόν φαινόμενο προκαλεί τα μόρια στην ατμόσφαιρα να απορροφούν ενέργεια σε διάφορα μήκη κύματος. Το όζον, το διοξείδιο του άνθρακα και οι υδατμοί είναι τα τρία κύρια ατμοσφαιρικά συστατικά τα οποία απορροφούν ακτινοβολία.

Το όζον χρησιμεύει για την απορρόφηση της επιβλαβούς (στους περισσότερους ζωντανούς οργανισμούς) υπεριώδους ακτινοβολίας από τον ήλιο. Χωρίς αυτό το προστατευτικό στρώμα στην ατμόσφαιρα, το δέρμα μας θα καιγόταν αν ερχόταν σε επαφή με το ηλιακό φως.



Μπορεί να έχετε ακούσει για το διοξείδιο του άνθρακα που αναφέρεται ως ένα αέριο του θερμοκηπίου. Αυτό είναι επειδή τείνει να απορροφά την ακτινοβολία έντονα στο άπω υπέρυθρο τμήμα του φάσματος, η οποία είναι η περιοχή που σχετίζεται με θερμική θέρμανση, που χρησιμεύει για την παγίδευση της θερμότητας μέσα στην ατμόσφαιρα. Οι υδατμοί στην ατμόσφαιρα απορροφούν ένα μεγάλο μέρος του εισερχόμενου μεγάλου μήκους κύματος υπέρυθρης και μικρού μήκους κύματος μικροκυμάτων ακτινοβολίας (μεταξύ 22μm και 1m). Η παρουσία υδατμών στην κατώτερη ατμόσφαιρα ποικίλλει σημαντικά από θέση σε θέση και σε διαφορετικές χρονικές στιγμές του έτους. Για παράδειγμα, η αέρια μάζα πάνω από μία έρημο θα έχει πολύ λίγους υδατμούς για να απορροφήσουν ενέργεια, ενώ οι τροπικές περιοχές θα έχουν υψηλές συγκεντρώσεις υδατμού (δηλ. υψηλή υγρασία).

Επειδή τα αέρια αυτά απορροφούν ηλεκτρομαγνητική ενέργεια σε πολύ συγκεκριμένες περιοχές του φάσματος, επηρεάζουν το τμήμα (στο φάσμα), που μπορούμε να εξετάσουμε για τους σκοπούς της τηλεπισκόπησης. Αυτές οι περιοχές του φάσματος που δεν επηρεάζονται σημαντικά από την ατμοσφαιρική απορρόφηση και επομένως, χρήσιμες στους τηλεανιχνευτές, ονομάζονται **ατμοσφαιρικά παράθυρα**. Με τη σύγκριση των χαρακτηριστικών των δύο πιο κοινών πηγών ενέργειας / ακτινοβολίας (ο ήλιος και η γη) με τα ατμοσφαιρικά παράθυρα στη διάθεσή μας, μπορούμε να ορίσουμε τα μήκη κύματος που είναι δυνατόν να χρησιμοποιήσουμε **πιο αποτελεσματικά** για την τηλεπισκόπηση. Το ορατό τμήμα του φάσματος, στο οποίο τα μάτια μας είναι πιο ευαίσθητα, ανταποκρίνεται τόσο σε ένα ατμοσφαιρικό παράθυρο όσο και στο ανώτερο σημείο του επιπέδου της ηλιακής ενέργειας. Αξιοσημείωτο είναι ότι η θερμική ενέργεια που εκπέμπεται από τη Γη αντιστοιχεί σε ένα παράθυρο περίπου 10 μm στο θερμικό IR τμήμα του φάσματος, ενώ το μεγάλο παράθυρο σε μήκη κύματος άνω των 1 mm, που συνδέεται με την περιοχή των μικροκυμάτων.

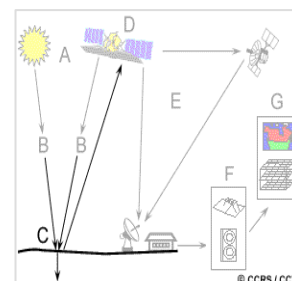




Τώρα που έγινε κατανοητό πως η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια κάνει το ταξίδι της από την πηγή της έως την επιφάνεια (και αυτό είναι ένα δύσκολο ταξίδι, όπως διαπιστώνεται) θα εξεταστεί στη συνέχεια τι συμβαίνει στην εν λόγω ακτινοβολία, όταν φτάνει στην επιφάνεια της Γης.

## 1.5 Ακτινοβολία – Στόχος αλληλεπιδράσεων

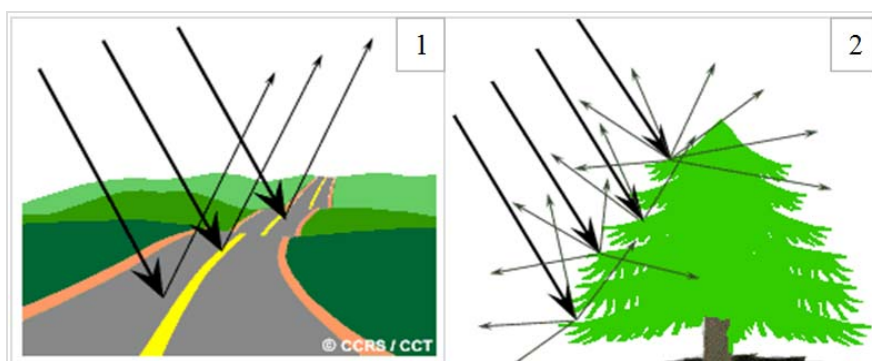
Ακτινοβολία που δεν απορροφάται ή σκεδάζεται στην ατμόσφαιρα μπορεί να φτάσει και να αλληλεπιδράσει με την επιφάνεια της Γης. Υπάρχουν τρεις (3) μορφές αλληλεπίδρασης που λαμβάνουν χώρα όταν η ενέργεια βρει το στόχο της, ή είναι **προσπίπτουσα (I)**<sup>1</sup> πάνω στην επιφάνεια. Αυτές είναι: η **απορρόφηση (A)**<sup>2</sup>, η **μετάδοση (T)**<sup>3</sup>, και η **ανάκλαση (R)**<sup>4</sup>. Η συνολική προσπίπτουσα ενέργεια θα αλληλεπιδράσει με την επιφάνεια με έναν ή περισσότερους από αυτούς τους τρεις τρόπους. Οι αναλογίες του κάθε ένα θα εξαρτηθεί από το μήκος κύματος της ενέργειας και της ύλης όπως επίσης και από την κατάσταση του υλικού .



Η απορρόφηση (A) παρουσιάζεται όταν η ακτινοβολία (ενέργεια) απορροφάται από το στόχο, ενώ η μετάδοση (T) παρουσιάζεται όταν η ακτινοβολία διέρχεται σ' αυτόν. Η ανάκλαση (R) εμφανίζεται όταν η ακτινοβολία "αναπηδά" από το στόχο και γίνεται ανακατεύθυνση της πορείας της. Στην τηλεπισκόπηση, μας ενδιαφέρει περισσότερο η μέτρηση της ακτινοβολίας που ανακλάται από τους στόχους.

Αναφερόμαστε σε δύο τύπους ανάκλασης, οι οποίοι αντιπροσωπεύουν τις δύο ακραίες περιπτώσεις του τρόπου με τον οποίο η ενέργεια ανακλάται από ένα στόχο: η **κατοπτρική ανάκλαση** και η **διάχυτη ανάκλαση**.

Όταν μία επιφάνεια είναι λεία παρατηρείται **(1) κατοπτρική ανάκλαση** όπου όλη (ή σχεδόν όλη) η ενέργεια κατευθύνεται μακριά από την επιφάνεια σε μία κατεύθυνση. Η **(2) διάχυτη ανάκλαση** λαμβάνει χώρα όταν η επιφάνεια είναι τραχιά και η ενέργεια ανακλάται σχεδόν ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις. Τα περισσότερα χαρακτηριστικά της επιφάνειας της γης απλώνονται σε τέτοια θέση έτσι ώστε να είναι είτε τέλει κατοπτρικοί ανακλαστές, είτε τέλει διάχυτοι ανακλαστές. Το πώς ένας συγκεκριμένος στόχος θα ανακλάσει την ακτινοβολία, δηλαδή είτε τέλεια κατοπτρικά ή τέλεια διάχυτα, είτε κάπου ανάμεσα στα δύο, εξαρτάται από την επιφανειακή τραχύτητα του υλικού σε σύγκριση με το μήκος κύματος της εισερχόμενης ακτινοβολίας. Εάν τα μήκη κύματος είναι πολύ μικρότερα από τις διαφοροποιήσεις επιφανείας ή τα μεγέθη των σωματιδίων που αποτελούν την επιφάνεια, η διάχυτη ανάκλαση θα κυριαρχήσει. Για παράδειγμα, η λεπτόκοκκη άμμο θα εμφανιζόταν αρκετά λεία στα μεγάλα μήκη κύματος μικροκυμάτων αλλά σχετικά τραχιά στα ορατά μήκη κύματος.



Ας ρίξουμε μια ματιά σε μερικά παραδείγματα των στόχων στην επιφάνεια της Γης και πώς η ενέργεια στα ορατά και υπέρυθρα μήκη κύματος αλληλεπιδρά μαζί τους.

<sup>1</sup> (I): Incident= Προσπίπτουσα

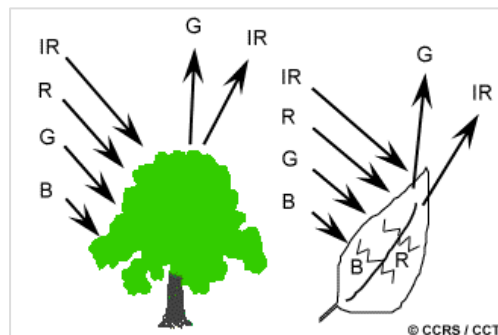
<sup>2</sup> (A): Absorption= Απορρόφηση

<sup>3</sup> (T): Transmission= Μετάδοση

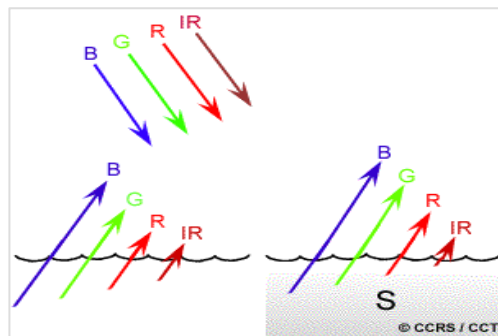
<sup>4</sup> (R): Reflection= Ανάκλαση



1. **Φύλλα:** Μια χημική ένωση στα φύλλα που ονομάζεται χλωροφύλλη απορροφά έντονα την ακτινοβολία στα ερυθρά και μπλε μήκη κύματος, αλλά ανακλά τα πράσινα μήκη κύματος. Τα φύλλα εμφανίζονται «πράσινα» το καλοκαίρι, όταν το περιεχόμενο της χλωροφύλλης είναι στο μέγιστο. Το φθινόπωρο, υπάρχει λιγότερη χλωροφύλλη στα φύλλα, επομένως λιγότερη απορρόφηση και αναλογικά περισσότερη ανάκλαση στα ερυθρά μήκη κύματος, κάνοντας τα φύλλα να φαίνονται κόκκινα ή κίτρινα (κίτρινο είναι ένας συνδυασμός κόκκινου και πράσινου μήκους κύματος). Η εσωτερική δομή των υγιών φύλλων ενεργούν ως εξαιρετικοί διάχυτοι ανακλαστές των εγγύς υπέρυθρων μηκών κυμάτων. Αν τα μάτια μας ήταν ευαίσθητα στο εγγύς υπέρυθρο, τα δέντρα θα φαινόταν εξαιρετικά φωτεινά σε αυτά τα μήκη κύματος. Στην πραγματικότητα, η μέτρηση και η παρακολούθηση της εγγύς υπέρυθρης (IR) ανάκλασης είναι μιας κατεύθυνσης, με την οποία οι επιστήμονες μπορούν να καθορίσουν το πόσο υγιές (ή μη υγιές) είναι η βλάστηση.



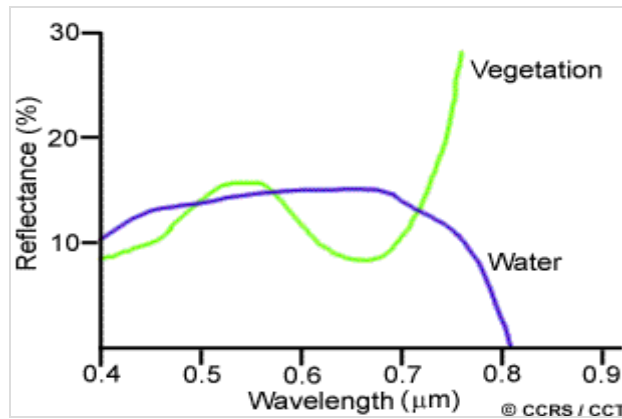
2. **Νερό:** Μεγαλύτερα μήκη κύματος της ορατής και εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας απορροφάται περισσότερο από το νερό από ό,τι τα μικρότερα ορατά μήκη κύματος. Έτσι το νερό συνήθως φαίνεται μπλε ή μπλε-πράσινο λόγω της ισχυρότερης ανάκλασης σε αυτά τα μικρότερα μήκη κύματος, και πιο σκούρο αν εκτεθεί σε ερυθρά ή εγγύς υπέρυθρα μήκη κύματος. Εάν υπάρχουν αιωρούμενα ιζήματα στα ανώτερα στρώματα του σώματος του νερού, τότε αυτό θα επιτρέψει την καλύτερη ανακλαστικότητα και μία φωτεινότερη εμφάνιση του ύδατος. Το φαινομενικό χρώμα του νερού θα δείχνει μια ελαφρά μετατόπιση σε μεγαλύτερα μήκη κύματος. Το αιωρούμενο ιζήμα (S)<sup>5</sup> μπορεί εύκολα να συγχέεται με ρηγά (αλλά καθαρά) νερά, δεδομένου ότι τα δύο αυτά φαινόμενα εμφανίζονται πολύ παρόμοια. Η χλωροφύλλη στην άλγη απορροφά περισσότερο από τα μπλε μήκη κύματος και ανακλά τα πράσινα, καθιστώντας το νερό να φαίνεται πιο πράσινο με την παρουσία άλγης. Η τοπογραφία της επιφάνειας του νερού (τραχύ, λείο, επιπλέοντα υλικά, κλπ.) μπορεί επίσης να οδηγήσει σε περίπλοκες ερμηνείες σχετικά με το νερό, που οφείλονται σε πιθανά προβλήματα της κατοπτρικής ανάκλασης, και άλλων επιδράσεων στο χρώμα και στη φωτεινότητα.



Μπορούμε να δούμε από αυτά τα παραδείγματα ότι, ανάλογα με το σύμπλοκο make-up του στόχου που εξετάζεται, και τα εμπλεκόμενα μήκη κύματος της ακτινοβολίας, είναι δυνατόν να παρατηρηθούν πολύ διαφορετικές απαντήσεις στους μηχανισμούς απορρόφησης, μετάδοσης και αντανάκλασης. Με τη μέτρηση της ενέργειας που αντανάκλαται (ή εκπέμπεται) από στόχους στην επιφάνεια της Γης μέσω μιας ποικιλίας διαφορετικών μήκων κύματος, μπορούμε να δομήσουμε μια **φασματική απόκριση** για αυτό το αντικείμενο. Συγκρίνοντας τα μοτίβα των απαντήσεων των διαφορετικών χαρακτηριστικών είμαστε σε θέση να τα διακρίνουμε μεταξύ τους, όπου ίσως δεν ήταν δυνατό, αν και μόνο αν τα συγκρίναμε μόνο σε ένα μήκος κύματος. Για παράδειγμα, το νερό και η βλάστηση και μπορεί να αντανάκλουν κάπως παρόμοια στα ορατά μήκη κύματος, αλλά είναι σχεδόν πάντα διαχωρίσιμα στο υπέρυθρο. Η φασματική απόκριση μπορεί να μεταβάλλεται σχετικά, ακόμη και για τον ίδιο τύπο στόχου και μπορεί επίσης να ποικίλει με το χρόνο (δηλ. πρασινάδα των φύλλων) και την τοποθεσία. Γνωρίζοντας που να εξετάσουμε και κατανοώντας τους παράγοντες που επηρεάζουν τη φασματική απόκριση των χαρακτηριστικών που μας ενδιαφέρουν είναι κρίσιμη η σωστή ερμηνεία των αλληλεπιδράσεων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με την επιφάνεια.

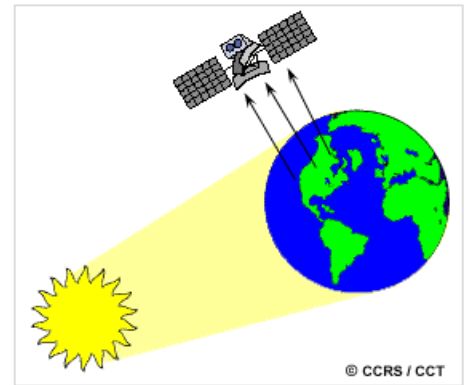
<sup>5</sup> (S): Sediment= Ίζημα



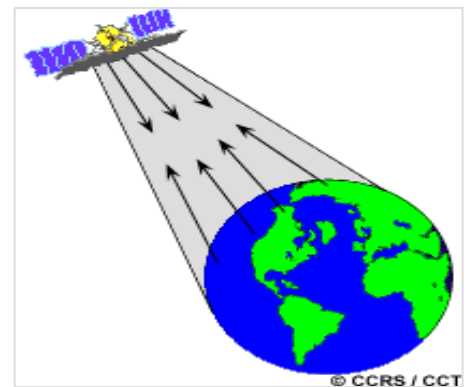


## 1.6 Παθητική vs. Ενεργητική Τηλεπισκόπηση

Μέχρι στιγμής, σε όλο αυτό το κεφάλαιο, έχουμε κάνει διάφορες αναφορές στον ήλιο ως πηγή ενέργειας ή ακτινοβολίας. Ο ήλιος παρέχει μια κατάλληλη πηγή ενέργειας για την τηλεπισκόπηση. Η ηλιακή ενέργεια είτε **ανακλάται**, όπως είναι στα ορατά μήκη κύματος, είτε απορροφάται και στη συνέχεια **επανεκπέμπεται**, όπως είναι στα θερμικά υπέρυθρα μήκη κύματος. Τα συστήματα τηλεπισκόπησης τα οποία μετρούν την ενέργεια που είναι φυσικά διαθέσιμη, ονομάζονται **παθητικοί αισθητήρες**. Οι παθητικοί αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο για την ανίχνευση της ενέργειας, όταν αυτή είναι φυσικά διαθέσιμη. Για όλη την ανακλώμενη ενέργεια, αυτό μπορεί να λάβει χώρα μόνο κατά τη διάρκεια του χρόνου όπου ο ήλιος φωτίζει τη Γη. Δεν υπάρχει ανακλώμενη ενέργεια διαθέσιμη από τον ήλιο τη νύχτα. Η ενέργεια που εκπέμπεται φυσικά (όπως το θερμικό υπέρυθρο) μπορεί να ανιχνευθεί ημέρα ή νύχτα, αν η ποσότητα ενέργειας είναι αρκετά μεγάλη ώστε να καταγράφεται.



Οι **ενεργητικοί αισθητήρες**, από την άλλη πλευρά, παρέχουν τις δικές τους πηγές ενέργειας για φωτισμό. Ο αισθητήρας εκπέμπει ακτινοβολία η οποία κατευθύνεται προς τον στόχο που πρέπει να διερευνηθεί. Η ακτινοβολία που ανακλάται από το στόχο αυτό ανιχνεύεται και μετράται από τον αισθητήρα. Τα πλεονεκτήματα των ενεργητικών αισθητήρων περιλαμβάνουν τη δυνατότητα λήψης μετρήσεων ανά πάσα στιγμή, ανεξάρτητα από την ώρα της ημέρας ή την εποχή. Οι ενεργητικοί αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξέταση μηκών κυμάτων που δεν παρέχονται επαρκώς από τον ήλιο, όπως τα μικροκύματα, ή για τον καλύτερο έλεγχο του τρόπου φωτισμού του στόχου. Ωστόσο, τα ενεργά συστήματα απαιτούν την παραγωγή μιας αρκετά μεγάλης ποσότητας ενέργειας για να φωτίζει επαρκώς τους στόχους. Μερικά παραδείγματα ενεργών αισθητήρων είναι ένα αισθητήρας φωτισμού λέιζερ και ένα ραντάρ συνθετικής οπής (SAR)<sup>6</sup>.



## 1.7 Χαρακτηριστικά των Εικόνων

<sup>6</sup> (SAR): Synthetic Aperture Radar= Ραντάρ Συνθετικής Οπής



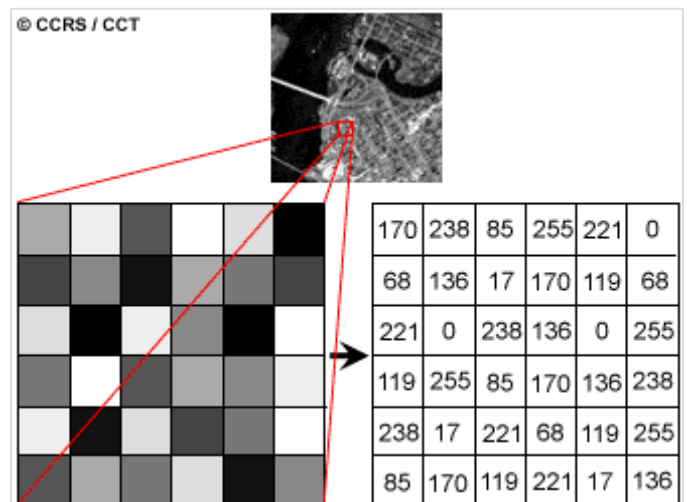
Πριν προχωρήσουμε στο επόμενο κεφάλαιο, το οποίο αναφέρεται σε περισσότερες λεπτομέρειες για τους αισθητήρες και τα χαρακτηριστικά τους, πρέπει να ορίσουμε και να κατανοήσουμε μερικούς θεμελιώδεις όρους και έννοιες που συνδέονται με εικόνες τηλεπισκόπησης.



Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια μπορεί να ανιχνευθεί είτε με φωτογραφικά είτε με ηλεκτρονικά μέσα. Η φωτογραφική διαδικασία χρησιμοποιεί χημικές αντιδράσεις στην επιφάνεια του φωτο-ευαίσθητου φιλμ για την ανίχνευση και καταγραφή μεταβολών ενέργειας. Είναι σημαντική η διάκριση μεταξύ των όρων **εικόνες** και **φωτογραφίες** στην τηλεπισκόπηση. Μια **εικόνα** αναφέρεται σε οποιαδήποτε εικονογραφημένη αναπαράσταση, ανεξαρτήτως του μήκους κύματος ή συσκευής τηλεπισκόπησης που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση και καταγραφή της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας. Μια **φωτογραφία** αναφέρεται ειδικότερα σε εικόνες που έχουν εντοπιστεί όπως επίσης και καταγράφει σε φωτογραφικό φιλμ. Η ασπρόμαυρη φωτογραφία στα

αριστερά, από τμήμα της πόλης της Οτάβα, στον Καναδά έχει ληφθεί στο ορατό μέρος του φάσματος. Οι φωτογραφίες συνήθως καταγράφονται πάνω από το εύρος μήκους κύματος από 0,3  $\mu\text{m}$  έως 0,9  $\mu\text{m}$ , που είναι το ορατό και ανακλώμενο υπέρυθρο. Με βάση τους ορισμούς αυτούς, μπορούμε να πούμε ότι όλες οι φωτογραφίες είναι εικόνες, αλλά όλες οι εικόνες δεν είναι φωτογραφίες. Ως εκ τούτου, εκτός και αν μιλάμε ειδικά για μια εικόνα που καταγράφεται φωτογραφικά, χρησιμοποιούμε τον όρο εικόνα.

Μια φωτογραφία θα μπορούσε επίσης να εκπροσωπείται και να εμφανίζεται σε μια **ψηφιακή** μορφή υποδιαιρώντας την εικόνα σε μικρά ίσου μεγέθους και σχηματοποιημένα τμήματα, που ονομάζονται εικονοστοιχεία ή **pixels**, και αντιπροσωπεύουν τη φωτεινότητα της κάθε περιοχής με μια αριθμητική τιμή ή **ψηφιακό αριθμό**. Πράγματι, αυτό ακριβώς έχει γίνει στη φωτογραφία στα δεξιά. Στην πραγματικότητα, χρησιμοποιώντας τους ορισμούς που μόλις συζητήσαμε, αυτή είναι στην ουσία μια **ψηφιακή εικόνα** της αρχικής φωτογραφίας! Η φωτογραφία σαρώθηκε και υποδιαιρέθηκε σε pixels και σε κάθε ένα από αυτά να αποδίδεται ένας ψηφιακός αριθμός που αντιπροσωπεύει τη σχετική φωτεινότητα της. Ο υπολογιστής εμφανίζει κάθε ψηφιακή τιμή σαν διαφορετικά επίπεδα φωτεινότητας. Οι αισθητήρες καταγραφής ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας, καταγράφουν ηλεκτρονικά την ενέργεια ως μια σειρά από αριθμούς σε ψηφιακή μορφή από την αρχή. Αυτοί οι δύο διαφορετικοί τρόποι αντιπροσώπευσης και εμφάνισης των δεδομένων τηλεπισκόπησης, είτε εικονικά είτε ψηφιακά, είναι εναλλάξιμα, καθώς μεταφέρουν τις ίδιες πληροφορίες (αν και κάποιες λεπτομέρειες μπορεί να χάνονται κατά τη μετατροπή από την μία στην άλλη μορφή).



Σε προηγούμενες ενότητες περιγράψαμε το ορατό τμήμα του φάσματος και την έννοια των χρωμάτων. Βλέπουμε χρώμα επειδή τα μάτια μας ανιχνεύουν ολόκληρο το ορατό εύρος μηκών κύματος και ο εγκέφαλος μας επεξεργάζεται τις πληροφορίες σε διαφορετικά χρώματα. Φανταστείτε πώς θα έμοιαζε ο κόσμος αν θα μπορούσαμε να δούμε μόνο ένα πολύ στενό εύρος μήκους κύματος ή χρωμάτων; Αυτός είναι ο τρόπος με τον οποίο πολλοί αισθητήρες λειτουργούν. Η πληροφορία από ένα στενό εύρος μήκους κύματος συλλέγεται και αποθηκεύεται σε ένα **κανάλι**, το οποίο μερικές φορές αναφέρεται και ως **μπάντα**. Μπορούμε να συνδυάσουμε και να εμφανίσουμε τα κανάλια των πληροφοριών ψηφιακά χρησιμοποιώντας τα τρία βασικά χρώματα (μπλε, πράσινο και ερυθρό). Τα δεδομένα από κάθε κανάλι αντιπροσωπεύονται ως ένα από τα κύρια χρώματα, και εξαρτάται από την σχετική φωτεινότητα



(δηλαδή την ψηφιακή τιμή) καθενός εικονοστοιχείου σε κάθε κανάλι, τα βασικά χρώματα συνδυάζονται σε διαφορετικές αναλογίες για την αντιπροσώπευση διαφορετικών χρωμάτων.

Όταν χρησιμοποιούμε αυτή τη μέθοδο για την απεικόνιση ενός μονού καναλιού ή εύρους μηκών κύματος, στην ουσία απεικονίζουμε το κανάλι αυτό μέσω των τριών βασικών χρωμάτων. Επειδή το επίπεδο φωτεινότητας κάθε εικονοστοιχείου είναι το ίδιο για κάθε κύριο χρώμα, συνδυάζονται για να αποτελέσουν μια **ασπρόμαυρη εικόνα**, που δείχνει διάφορες αποχρώσεις του γκρι, από το μαύρο στο άσπρο. Όταν εμφανίσουμε περισσότερο από ένα κανάλι, που καθένα από αυτά είναι σαν ένα διαφορετικό βασικό χρώμα, τότε τα επίπεδα φωτεινότητας θα είναι διαφορετικά για κάθε συνδυασμού κανάλι/βασικό χρώμα και θα αποτελέσουν μία **έγχρωμη εικόνα**.

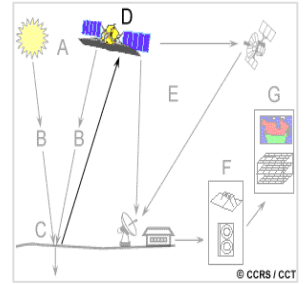


## 2 ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ



## 2.1 Στο Έδαφος, στον Αέρα, στο Διάστημα

Στο κεφάλαιο 1 μάθαμε μερικές από τις θεμελιώδεις έννοιες που απαιτούνται για την κατανόηση της διαδικασίας που περιλαμβάνεται στην τηλεπισκόπηση. Καλύφθηκαν με μερικές λεπτομέρειες οι πρώτες τρεις συνιστώσες αυτής της διαδικασίας: η πηγή της ενέργειας, η αλληλεπίδραση της ενέργειας με την ατμόσφαιρα, και η αλληλεπίδραση της ενέργειας με την επιφάνεια. Εν συντομία προσεγγίστηκε η τέταρτη συνιστώσα, **καταγραφής της ενέργειας από τον αισθητήρα**, όταν συζητήθηκε το θέμα παθητικής έναντι ενεργής τηλεπισκόπησης και τα χαρακτηριστικά των εικόνων. Σε αυτό το κεφάλαιο, θα συζητηθεί περαιτέρω αυτή η συνιστώσα της επεξεργασίας της τηλεπισκόπησης εξετάζοντας με μεγαλύτερη λεπτομέρεια, τα χαρακτηριστικά των «πλατφόρμων» τηλεπισκόπησης και των αισθητήρων και τα δεδομένα που αυτά συλλέγουν. Επίσης, θα προσεγγιστεί εν συντομία το πως επεξεργάζονται τα δεδομένα αφού καταγραφούν από τον αισθητήρα.



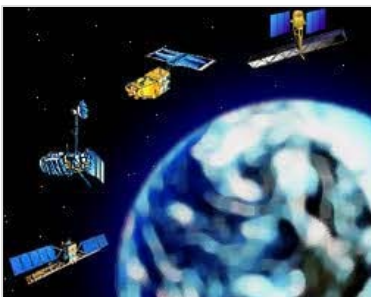
Προκειμένου ένας αισθητήρας να συλλέξει και να καταγράψει την ενέργεια που ανακλάται ή εκπέμπεται από ένα στόχο ή επιφάνεια, πρέπει να βρίσκεται/διαμένει σε μία σταθερή **πλατφόρμα** απομακρυσμένη από το στόχο ή την επιφάνεια που παρατηρείται. Οι πλατφόρμες για τηλεανιχνευτές μπορούν να βρίσκονται επί του εδάφους, σε αεροσκάφος ή μπαλόνι (ή κάποια άλλη πλατφόρμα στην ατμόσφαιρα της Γης), ή σε ένα διαστημόπλοιο ή δορυφόρο έξω από την ατμόσφαιρα της Γης.

Οι **αισθητήρες βασιζόμενοι στο έδαφος (ground-based sensors)** συχνά χρησιμοποιούνται για την καταγραφή λεπτομερών πληροφοριών σχετικά με την επιφάνεια τα οποία συγκρίνονται με πληροφορίες που συλλέγονται από αεροσκάφη ή δορυφορικούς αισθητήρες. Σε ορισμένες περιπτώσεις, αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον καλύτερο χαρακτηρισμό του στόχου ο οποίος απεικονίζεται από αυτούς τους άλλους αισθητήρες, καθιστώντας δυνατή την καλύτερη κατανόηση των πληροφοριών στην εικόνα.



Οι αισθητήρες μπορούν να τοποθετηθούν πάνω σε σκάλα, σκαλωσιά, ψηλό κτίριο, γερανό κλπ. Οι εναέριες πλατφόρμες είναι κατά κύριο λόγο σταθερό φτερό **αεροσκάφους**, αν και περιστασιακά χρησιμοποιούνται ελικόπτερα. Τα αεροσκάφη χρησιμοποιούνται συχνά για την συλλογή πολύ λεπτομερών εικόνων και την διευκόλυνση της συλλογής των δεδομένων πάνω από σχεδόν οποιοδήποτε τμήμα της επιφάνειας της Γης, ανά πάσα στιγμή.

Στο διάστημα, η τηλεπισκόπηση μερικές φορές διεξάγεται από το **διαστημικό λεωφορείο** ή πιο συχνά, από τους δορυφόρους. Οι **δορυφόροι** είναι αντικείμενα που περιστρέφονται γύρω από ένα άλλο αντικείμενο (στην περίπτωση αυτή, τη Γη). Για παράδειγμα, το φεγγάρι είναι ένας φυσικός δορυφόρος, ενώ τεχνητοί δορυφόροι περιλαμβάνουν τις πλατφόρμες αυτές με σκοπό την τηλεπισκόπηση, την επικοινωνία και την τηλεμετρία (τοποθεσία και πλοήγηση). Λόγω των τροχιών τους, οι δορυφόροι επιτρέπουν την επαναλαμβανόμενη κάλυψη της επιφάνειας της Γης σε συνεχή βάση. Το κόστος είναι συχνά ένας σημαντικός παράγοντας για την επιλογή μεταξύ των διαφόρων επιλογών πλατφόρμας.



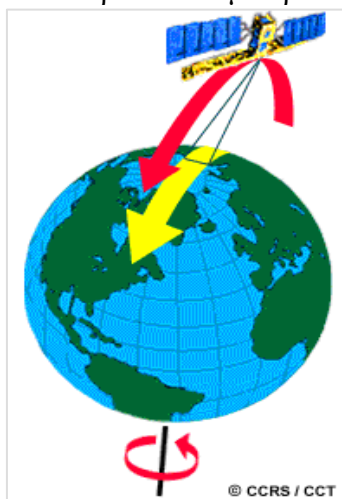
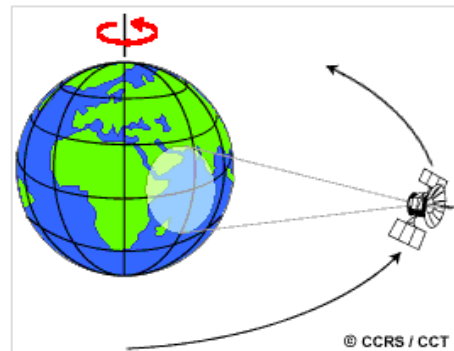
## 2.2 Χαρακτηριστικά Δορυφόρων: Τροχιές και Ίχνη

Στην προηγούμενη ενότητα μάθαμε ότι τα όργανα τηλεπισκόπησης μπορούν να τοποθετηθούν σε μία ποικιλία από πλατφόρμες για την προβολή και την απεικόνιση στόχων. Παρά το γεγονός ότι οι πλατφόρμες



βασιζόμενες στο έδαφος και οι πλατφόρμες αεροσκαφών μπορούν να χρησιμοποιηθούν, οι δορυφόροι παρέχουν ένα μεγάλο μέρος στην απεικόνιση της τηλεπισκόπησης που χρησιμοποιούνται συνήθως σήμερα. Οι δορυφόροι έχουν πολλά μοναδικά χαρακτηριστικά τα οποία τους καθιστούν ιδιαίτερα χρήσιμα για τη τηλεπισκόπηση της επιφάνειας της Γης.

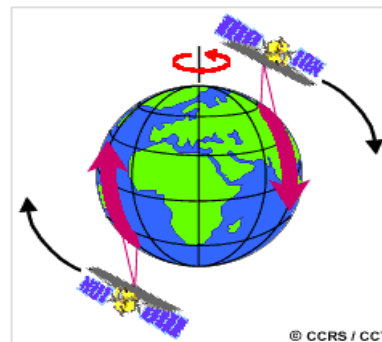
Η διαδρομή που ακολουθείται από ένα δορυφόρο αναφέρεται ως την **τροχιά** του. Οι δορυφορικές τροχιές ταιριάζουν με την ικανότητα και το στόχο του/των αισθητήρα(ων) που μεταφέρουν. Η επιλογή της τροχιάς μπορεί να διαφέρει σε όρους υψομέτρου (το ύψος τους πάνω από την επιφάνεια της Γης) και προσανατολισμού και περιστροφής σε σχέση με τη Γη. Οι δορυφόροι που βρίσκονται σε πολύ μεγάλο υψόμετρο, οι οποίοι μπορούν να προβάλλουν το ίδιο τμήμα της επιφάνειας της Γης ανά πάσα στιγμή, έχουν **γεωστατική τροχιά**. Αυτοί οι γεωστατικοί δορυφόροι, σε υψόμετρο περίπου 36.000 χιλιομέτρων, περιστρέφονται με ταχύτητες συντονισμένες με την περιστροφή της Γης, έτσι ώστε να φαίνονται σταθεροί, σε σχέση με την επιφάνεια της Γης. Αυτό επιτρέπει στους δορυφόρους να παρατηρούν και να συλλέγουν πληροφορίες σε συνεχείς βάση πάνω από συγκεκριμένες περιοχές. Οι δορυφόροι καιρού και επικοινωνιών έχουν συνήθως αυτά τα είδη τροχιών. Λόγω του μεγάλου υψομέτρου τους, κάποιοι γεωστατικοί δορυφόροι καιρού μπορούν να παρακολουθούν τον καιρό και τα μοτίβα σύννεφων που καλύπτουν ένα ολόκληρο ημισφαίριο της Γης.



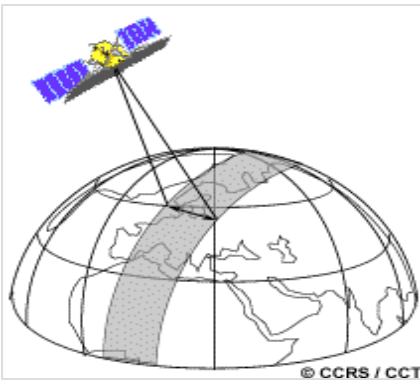
Πολλές πλατφόρμες τηλεπισκόπησης έχουν σχεδιαστεί να ακολουθούν μια τροχιά (κυρίως Βορρά-Νότου), η οποία, σε συνδυασμό με την περιστροφή της Γης (δυτικά-ανατολικά), τους επιτρέπει να καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας της Γης κατά τη διάρκεια μιας ορισμένης χρονικής περιόδου. Αυτά είναι **κοντά σε πολικές τροχιές** και ονομάστηκαν έτσι για την κλίση της τροχιάς σε σχέση με τη γραμμή που διέρχεται μεταξύ του Βόρειου και του Νότιου πόλου. Πολλές από αυτές τις δορυφορικές τροχιές είναι επίσης **συγχρονισμένες με τον ήλιο** έτσι ώστε να καλύπτουν κάθε περιοχή του κόσμου σε μια σταθερή τοπική ώρα της ημέρας η οποία ονομάζεται **τοπική ώρα ήλιου**. Σε κάθε δεδομένο γεωγραφικό πλάτος, η θέση του ήλιου στον ουρανό καθώς ο δορυφόρος περνά από πάνω τους, θα είναι η ίδια μέσα στην ίδια εποχή. Αυτό εξασφαλίζει σταθερές συνθήκες φωτισμού κατά την απόκτηση εικόνων σε μια συγκεκριμένη εποχή επί σειρά ετών, ή πάνω από μια συγκεκριμένη περιοχή επί σειρά ημερών. Αυτός είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την

παρακολούθηση των μεταβολών μεταξύ των εικόνων ή του μωσαϊκού γειτονικών εικόνων μαζί, καθώς δεν θα χρειάζεται να διορθώνονται για διαφορετικές συνθήκες φωτισμού.

Οι περισσότερες από τις δορυφορικές πλατφόρμες τηλεπισκόπησης βρίσκονται σήμερα σε τροχιές κοντά στους πόλους, πράγμα που σημαίνει ότι ο δορυφόρος ταξιδεύει βόρεια στη μία πλευρά της Γης και στη συνέχεια προς το νότιο πόλο στο δεύτερο ήμισυ της τροχιάς του. Αυτά καλούνται **ανοδικά και καθοδικά περάσματα**, αντίστοιχα. Αν η τροχιά είναι επίσης συγχρονισμένη με τον ήλιο, η ανοδική πορεία είναι πιθανότατα στη σκιασμένη πλευρά της Γης, ενώ η καθοδική πορεία είναι στην ηλιόλουστη πλευρά. Οι αισθητήρες καταγράφουν την ανακλώμενη ηλιακή ενέργεια σε μια εικόνα της επιφάνειας σε μια καθοδική πορεία, όταν ο ηλιακός φωτισμός είναι διαθέσιμος. Οι ενεργητικοί αισθητήρες, οι οποίοι παρέχουν τον δικό τους φωτισμό ή οι παθητικοί αισθητήρες που καταγράφουν την εκπεμπόμενη (π.χ. θερμική) ακτινοβολία, μπορούν να απεικονίσουν την επιφάνεια σε αυξητική πορεία.

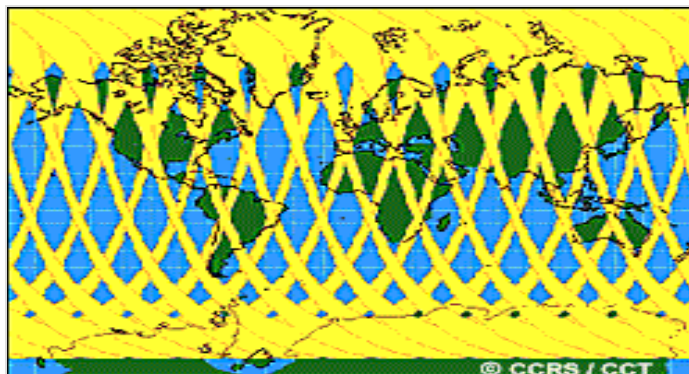
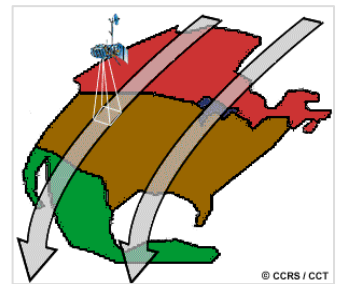


Καθώς ένας δορυφόρος περιστρέφεται γύρω από τη Γη, ο αισθητήρας "βλέπει" ένα ορισμένο τμήμα της επιφάνειας της Γης. Η περιοχή που απεικονίζεται στην επιφάνεια, αναφέρεται ως το «**ίχνος**». Η απεικόνιση



λωρίδων για διαστημικούς αισθητήρες γενικά ποικίλουν μεταξύ δέκα και εκατοντάδων χιλιομέτρων σε εύρος. Καθώς ο δορυφόρος περιστρέφεται γύρω από τη Γη από πόλο σε πόλο, η ανατολική-δυτική του θέση δεν θα άλλαζε αν η Γη δεν περιστρεφόταν. Ωστόσο, όπως φαίνεται από τη Γη, ο δορυφόρος φαίνεται να στρέφεται προς τα δυτικά, διότι η Γη περιστρέφεται (από δυτικά προς ανατολικά) κάτω από αυτόν. Αυτή η φαινομενική κίνηση επιτρέπει στον δορυφόρο λωρίδας να καλύψει **μια νέα περιοχή για κάθε διαδοχικό πέρασμα**. Η τροχιά του δορυφόρου σε συνεργασία με την περιστροφή της Γης επιτρέπουν την πλήρη κάλυψη της επιφάνειας της Γης, αφού έχει ολοκληρωθεί ένας πλήρης κύκλος των τροχιών.

Αν αρχίσουμε με ένα τυχαίο επιλεγμένο πέρασμα στην τροχιά ενός δορυφόρου, ένας κύκλος τροχιάς θα ολοκληρωθεί όταν ο δορυφόρος ανιχνεύσει την πορεία του, περνώντας πάνω από αυτό το σημείο της επιφάνειας της γης, ακριβώς κάτω από αυτόν (που ονομάζεται σημείο **ναδίρ**), για δεύτερη φορά. Το ακριβές μήκος του χρόνου του τροχιακού κύκλου θα ποικίλει σε κάθε δορυφόρο. Το χρονικό διάστημα που απαιτείται για τον δορυφόρο να ολοκληρώσει τον κύκλο τροχιάς του δεν είναι το ίδιο με την «**περίοδο επανάφιξης**». Χρησιμοποιώντας κατευθυνόμενους αισθητήρες, ένας δορυφόρος μπορεί να προβάλλει μια περιοχή (εκτός-ναδίρ) πριν και μετά αφού περάσει η τροχιά πάνω από ένα στόχο, καθιστώντας έτσι τον χρόνο «επανάφιξης» λιγότερο από το χρόνο ενός κύκλου τροχιάς. Η περίοδος επανάφιξης είναι ένας σημαντικός παράγοντας για έναν αριθμό εφαρμογών παρακολούθησης, ειδικά όταν απαιτείται συνεχείς απεικόνιση (για παράδειγμα, τη παρακολούθηση της εξάπλωσης μιας πετρελαιοκηλίδας, ή την έκταση μιας πλημμύρας). Στις κοντινές σε πόλο τροχιές, περιοχές στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, απεικονίζονται πιο συχνά από την ζώνη του ισημερινού λόγω των αυξανόμενων **καλύψεων σε γειτονικά ίχνη** καθώς τα ίχνη τροχιάς πλησιάζουν κοντά στους πόλους.



## 2.3 Χωρική Ανάλυση, Μέγεθος Εικονοστοιχείου (Pixel) και Κλίμακα

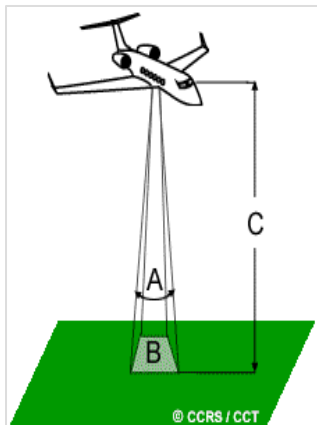
Για ορισμένα όργανα τηλεπισκόπησης, η απόσταση μεταξύ του στόχου που πρόκειται να απεικονιστεί και της πλατφόρμας, παίζει μεγάλο ρόλο στον καθορισμό της λεπτομέρειας των πληροφοριών που λαμβάνονται και το συνολικό εμβαδόν της περιοχής, που απεικονίζεται από τον αισθητήρα. Οι αισθητήρες σε εν πλω πλατφόρμες μακριά από τους στόχους τους, συνήθως προβάλλουν μια μεγαλύτερη περιοχή, αλλά δεν παρέχουν μεγάλη λεπτομέρεια. Συγκρίνετε τι βλέπει στη Γη ένας αστροναύτης από το διαστημικό λεωφορείο και τι βλέπουμε εμείς από ένα αεροπλάνο. Ο αστροναύτης μπορεί να δει ολόκληρη την επαρχία ή τη χώρα με μια ματιά, αλλά δεν μπορεί να διακρίνει τα μεμονωμένα σπίτια. Πετώντας πάνω από μία πόλη ή κωμόπολη, θα είστε σε θέση να δείτε μεμονωμένα κτίρια και αυτοκίνητα, αλλά θα πρέπει να προβάλλετε





μια πολύ μικρότερη έκταση από ό, τι ένας αστροναύτη. Υπάρχει μια παρόμοια διαφορά μεταξύ των δορυφορικών εικόνων και των αεροφωτογραφιών.

Η ευδιάκριτη λεπτομέρεια σε μια εικόνα εξαρτάται από τη **χωρική ανάλυση** του αισθητήρα και αναφέρεται στο μέγεθος του μικρότερου δυνατού χαρακτηριστικού που μπορεί να ανιχνευθεί. Η χωρική ανάλυση των παθητικών αισθητήρων (θα εξετάσουμε την ειδική περίπτωση των ενεργών αισθητήρων μικροκυμάτων αργότερα) εξαρτάται κυρίως από το **στιγμιαίο οπτικό πεδίο τους (IFOV)**<sup>7</sup>. Το στιγμιαίο οπτικό πεδίο είναι η γωνία του κώνου ορατότητας του αισθητήρα (A) και προσδιορίζει την έκταση στην επιφάνεια της Γης, η οποία «φαίνεται» από ένα συγκεκριμένο υψόμετρο σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή (B). Το μέγεθος της περιοχής που προβάλλεται προσδιορίζεται πολλαπλασιάζοντας το IFOV επί την απόσταση από το έδαφος προς τον αισθητήρα (C). Αυτή η περιοχή στο έδαφος ονομάζεται **κελί ανάλυσης** και καθορίζει τη μέγιστη χωρική ανάλυση ενός αισθητήρα. Για ένα ομογενές χαρακτηριστικό που πρόκειται να ανιχνευθεί, το μέγεθός του γενικά πρέπει να είναι ίσο ή μεγαλύτερο από το κελί ανάλυσης. Εάν το χαρακτηριστικό είναι μικρότερο από αυτό, μπορεί να μην είναι ανιχνεύσιμο διότι η μέση φωτεινότητα από όλα τα χαρακτηριστικά σε αυτό το κελί ανάλυσης θα καταγραφεί. Ωστόσο, τα μικρότερα χαρακτηριστικά μπορεί μερικές φορές να είναι ανιχνεύσιμα αν η ανάκλαση τους κυριαρχεί σε ένα αρθρικό κελί ανάλυσης, επιτρέποντας την ανίχνευση υπό-pixel ή κελιού ανίχνευσης.



Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 1, οι περισσότερες εικόνες τηλεπισκόπησης αποτελούνται από ένα πλέγμα εικονοστοιχείων ή **pixels**, τα οποία είναι οι μικρότερες μονάδες μιας εικόνας. Τα pixels μιας εικόνας είναι συνήθως τετράγωνα και αντιπροσωπεύουν μια συγκεκριμένη περιοχή σε μια εικόνα. Είναι σημαντικό να γίνεται διάκριση μεταξύ μεγέθους pixel και χωρική ανάλυση (δεν είναι εναλλάξιμα). Αν ένας αισθητήρας έχει χωρική ανάλυση των 20 μέτρων και μια εικόνα αυτού του αισθητήρα εμφανίζεται σε πλήρη ανάλυση, κάθε εικονοστοιχείο αντιπροσωπεύει μια περιοχή 20μ x 20μ στο έδαφος. Στην περίπτωση αυτή το μέγεθος των pixel και η ανάλυση είναι η ίδια. Ωστόσο, είναι δυνατόν να εμφανιστεί μια εικόνα με ένα μέγεθος pixel διαφορετικό από την ανάλυση. Πολλά «poster» των δορυφορικών εικόνων της Γης έχουν τα pixels τους κατά μέσο όρο να αντιπροσωπεύουν τις ευρύτερες περιοχές, αν και η αρχική χωρική ανάλυση του αισθητήρα που συνέλεξε τις εικόνες παραμένει η ίδια.



Εικόνες στις οποίες μόνο μεγάλα χαρακτηριστικά είναι ορατά, λέγεται ότι έχουν **τραχιά ή χαμηλή ανάλυση**. Σε εικόνες **λεπτής ή υψηλής ανάλυσης**, τα μικρά αντικείμενα μπορούν να ανιχνευθούν. Οι στρατιωτικοί αισθητήρες για παράδειγμα, έχουν σχεδιαστεί να προβάλλουν όσο το δυνατόν περισσότερη λεπτομέρεια, και ως εκ τούτου έχουν πολύ υψηλή ανάλυση. Οι εμπορικοί δορυφόροι παρέχουν εικόνες με

<sup>7</sup> (IFOV): Instantaneous Field of View= Στιγμιαίο Οπτικό Πεδίο



ανάλυση που κυμαίνεται από λίγα μέτρα έως μερικά χιλιόμετρα. Σε γενικές γραμμές, όσο πιο υψηλή είναι η ανάλυση, τόσο λιγότερη συνολική έκταση του εδάφους μπορεί να προβληθεί.

Η αναλογία της απόστασης σε μια εικόνα ή χάρτη, με την πραγματική απόσταση στο έδαφος αναφέρεται ως κλίμακα. Αν είχατε ένα χάρτη με κλίμακα 1:100.000, ένα αντικείμενο 1cm μήκος στο χάρτη στη πραγματικότητα θα ήταν ένα αντικείμενο μήκους 100.000cm (1km) στο έδαφος. Οι χάρτες και οι εικόνες με μικρές αναλογίες «χάρτη-εδάφους» αναφέρονται ως μικρής κλίμακας (π.χ. 1:100.000), και εκείνες με μεγαλύτερες αναλογίες (π.χ. 1:5.000) ονομάζονται μεγάλης κλίμακας.

## 2.4 Φασματική Ανάλυση

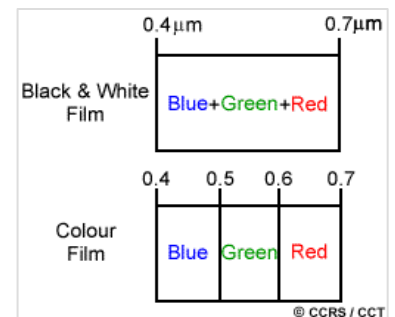
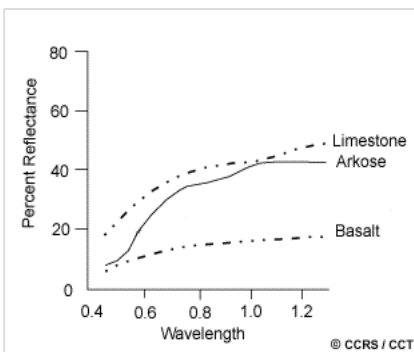
Στο κεφάλαιο 1, μάθαμε για τη **φασματική απόκριση** και τις **καμπύλες φασματικής εκπομπής** που χαρακτηρίζουν την ανάκλαση και/ή την εκπεμπτικότητα ενός χαρακτηριστικού ή στόχου μέσω μιας ποικιλίας μηκών κύματος. Οι διαφορετικές κλάσεις χαρακτηριστικών και λεπτομερειών σε μια εικόνα μπορούν συχνά να διακριθούν συγκρίνοντας τις αποκρίσεις τους πάνω σε διακριτές περιοχές μηκών κύματος. Ευρείες κλάσεις, όπως το νερό και η βλάστηση, μπορούν συνήθως να διαχωριστούν χρησιμοποιώντας πολύ μεγάλο εύρος μήκους κύματος (το ορατό και το υπέρυθρο), όπως μάθαμε στο τμήμα 1.5. Άλλες πιο ειδικές κατηγορίες, όπως οι **διάφοροι τύποι πετρωμάτων**, μπορεί να μην είναι εύκολα διακριτές χρησιμοποιώντας οποιαδήποτε από αυτές τις ευρείες κλίμακες μήκους κύματος και θα απαιτούσαν συγκρίσεις σε πολύ υψηλότερες περιοχές μήκους κύματος για να διαχωριστούν. Έτσι, απαιτείται ένας αισθητήρας με υψηλότερη **φασματική ανάλυση**. Η φασματική ανάλυση περιγράφει την ικανότητα ενός αισθητήρα για τον καθορισμό υψηλότερων διαστημάτων μήκους κύματος. Όσο υψηλότερη είναι η χωρική ανάλυση, τόσο μικρότερο είναι το εύρος μήκους κύματος ενός συγκεκριμένου καναλιού ή μιας συγκεκριμένης μπάντας.

Οι μαύρες και άσπρες εγγραφές σε φιλμ των μηκών κύματος έχουν μεγάλη έκταση ή καταλαμβάνουν όλο το ορατό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η **φασματική τους ανάλυση** είναι αρκετά χαμηλή, καθώς τα διάφορα μήκη κύματος του ορατού φάσματος δεν διακρίνονται μεμονωμένα και η συνολική ανακλαστικότητα σε ολόκληρο το ορατό τμήμα καταγράφεται. Το χρώμα του φιλμ είναι επίσης ευαίσθητο στην ανακλώμενη ενέργεια σε όλο το ορατό τμήμα του φάσματος, αλλά έχει υψηλότερη φασματική ανάλυση, καθώς είναι ατομικώς ευαίσθητο στην ανακλώμενη ενέργεια στο μπλε, πράσινο και κόκκινο μήκος κύματος του φάσματος. Έτσι, αυτό αντιπροσωπεύει τα χαρακτηριστικά των διαφόρων χρωμάτων βάσει της ανακλαστικότητάς τους σε κάθε από τις διακριτές περιοχές των μηκών κύματος.

Πολλά συστήματα τηλεπισκόπησης καταγράφουν ενέργεια σε ξεχωριστές περιοχές μηκών κύματος σε ποικίλες φασματικές αναλύσεις. Αυτοί αναφέρονται ως **πολυφασματικοί αισθητήρες** και θα περιγραφούν με κάποια λεπτομέρεια τα ακόλουθα τμήματα. Σύνθετοι πολυφασματικοί αισθητήρες ονομάζονται **υπερφασματικοί** αισθητήρες που ανιχνεύουν εκατοντάδες φασματικές μπάντες, οι οποίες είναι πολύ μικρές, σε όλο το ορατό, το εγγύς-υπέρυθρο και μέσο-υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η πολύ υψηλή φασματική ανάλυση τους διευκολύνει στη υψηλή διάκριση μεταξύ των διαφορετικών στόχων με βάση τη φασματική τους απόκριση σε κάθε μία από τις μικρές μπάντες.

## 2.5 Ραδιομετρική Ανάλυση

Καθώς η διάταξη των εικονοστοιχείων περιγράφει τη χωρική δομή μιας εικόνας, τα ραδιομετρικά χαρακτηριστικά περιγράφουν το πραγματικό περιεχόμενο των πληροφοριών σε μια εικόνα. Κάθε φορά που λαμβάνεται μία εικόνα σε φιλμ ή από έναν αισθητήρα, η ευαισθησία της στο μέγεθος της



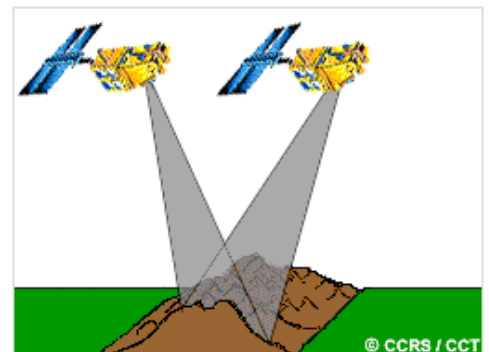
ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας καθορίζει την **ραδιομετρική ανάλυση**. Η ραδιομετρική ανάλυση ενός συστήματος απεικόνισης περιγράφει την ικανότητα της διάκρισης σε πολύ μικρές διαφορές στην ενέργεια. Όσο υψηλότερη είναι η ραδιομετρική ανάλυση ενός αισθητήρα, τόσο πιο ευαίσθητη είναι στην ανίχνευση μικρών διαφορών στην ανακλώμενη ή εκπεμπόμενη ενέργεια.



Τα δεδομένα εικόνων αντιπροσωπεύονται από θετικούς ψηφιακούς αριθμούς που κυμαίνονται από 0 έως μία επιλεγμένη δύναμη του 2. Αυτό το εύρος αντιστοιχεί στον αριθμό των bits που χρησιμοποιούνται για την κωδικοποίηση αριθμών σε δυαδική μορφή. Κάθε bit καταγράφει έναν εκθέτη δύναμης του 2 (π.χ. 1 bit =  $2^1 = 2$ ). Ο μέγιστος αριθμός των διαθέσιμων επιπέδων φωτεινότητας εξαρτάται από τον αριθμό των bits που χρησιμοποιούνται στην αντιπροσώπηση της καταγεγραμμένης ενέργειας. Έτσι, εάν ένας αισθητήρας χρησιμοποιούσε 8 bits για την καταγραφή των δεδομένων, θα υπήρχαν  $2^8 = 256$  ψηφιακές τιμές διαθέσιμες, που κυμαίνονται από 0 έως 255. Εντούτοις, εάν μόνο τα 4 bits χρησιμοποιούνταν, τότε μόνο οι  $2^4 = 16$  τιμές θα ήταν διαθέσιμες, οι οποίες θα κυμαίνονταν από 0 έως 15. Έτσι, η ραδιομετρική ανάλυση θα ήταν πολύ μικρότερη. Τα δεδομένα εικόνας εμφανίζονται γενικά σε ένα εύρος από τόνους του γκριζου, με μαύρο αντιπροσωπεύεται ένας ψηφιακός αριθμός 0 και με λευκό αντιπροσωπεύεται η μέγιστη τιμή (για παράδειγμα, 255 σε 8-bit δεδομένων). **Συγκρίνοντας μία 2-bit εικόνα με μια εικόνα 8-bit**, μπορούμε να δούμε ότι υπάρχει μια μεγάλη διαφορά στο επίπεδο ευδιάκριτης λεπτομέρειας, που εξαρτάται από την ραδιομετρική τους ανάλυση.

## 2.6 Χρονική Ανάλυση

Εκτός από τη χωρική, τη φασματική και τη ραδιομετρική ανάλυση, η έννοια της χρονικής ανάλυσης είναι επίσης πολύ σημαντικό να ληφθεί υπόψη σε ένα σύστημα τηλεπισκόπησης. Αναφερθήκαμε σε αυτό στο τμήμα 2.2 όταν συζητήσαμε την έννοια της περιόδου επανάφιξης, η οποία αναφέρεται στο μήκος του χρόνου που χρειάζεται ένας δορυφόρος για να ολοκληρώσει έναν ολόκληρο κύκλο τροχιάς. Η περίοδος επανάφιξης ενός δορυφορικού αισθητήρα είναι συνήθως αρκετές ημέρες. Ως εκ τούτου η απόλυτη χρονική ανάλυση ενός συστήματος τηλεπισκόπησης για την απεικόνιση της ίδιας ακριβώς περιοχή με την ίδια οπτική γωνία για δεύτερη φορά, είναι ίση με την περίοδο αυτή. Ωστόσο, λόγω κάποιου βαθμού επικάλυψης στην απεικόνιση ιχνών γειτονικών τροχιών για τους περισσότερους δορυφόρους και της αύξησης της επικάλυψης αυτής σε σχέση με την αύξηση του γεωγραφικού πλάτους, ορισμένες περιοχές της Γης τείνουν να επαναπαικνίζονται συχνότερα. Επίσης, μερικά δορυφορικά συστήματα είναι σε θέση να **υποδείξουν τους αισθητήρες τους για την απεικόνιση της ίδιας περιοχής** μεταξύ των διαφόρων δορυφορικών περασμάτων που χωρίζονται από

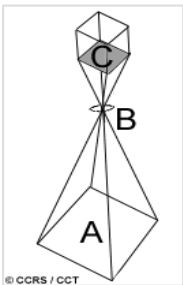


περιόδους από μία έως πέντε ημέρες. Έτσι, η πραγματική χρονική ανάλυση ενός αισθητήρα εξαρτάται από μια ποικιλία παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων των δυνατοτήτων των δορυφόρων/αισθητήρων, την επικάλυψη ιχνών και το γεωγραφικό πλάτος.

Η ικανότητα συλλογής εικόνων της ίδιας περιοχής της επιφάνειας της Γης σε διαφορετικές χρονικές περιόδους είναι ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία εφαρμογής δεδομένων τηλεπισκόπησης. Τα φασματικά χαρακτηριστικά των χαρακτηριστικών μπορούν να αλλάξουν με την πάροδο του χρόνου και οι αλλαγές αυτές μπορούν να ανιχνευθούν με τη συλλογή και τη σύγκριση **πολύ-χρονικών (multi-temporal)** εικόνων. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, τα περισσότερα είδη βλάστησης είναι σε μια συνεχή κατάσταση αλλαγής και η ικανότητά μας να παρακολουθούμε τις ανεπαίσθητες αυτές αλλαγές με τη χρήση τηλεπισκόπησης εξαρτάται από το πότε και πόσο συχνά γίνεται η συλλογή των εικόνων. Με την απεικόνιση σε συνεχή βάση σε διαφορετικές χρονικές στιγμές είμαστε σε θέση να παρακολουθούμε τις αλλαγές που λαμβάνουν χώρα στην επιφάνεια της Γης, είτε αν συμβαίνουν φυσικά (όπως οι αλλαγές στη φυσική βλάστηση ή πλημμύρες) ή προκαλούνται από τον άνθρωπο (όπως είναι η αστική ανάπτυξη ή η αποψίλωση των δασών). Ο παράγοντας χρόνος στην απεικόνιση είναι σημαντικός όταν:

- ❖ επίμονα σύννεφα προκαλούν περιορισμένη προβολή της επιφάνειας της Γης (συχνά συμβαίνει στις τροπικές περιοχές)
- ❖ όταν πρέπει να απεικονιστούν βραχυπρόθεσμα φαινόμενα όπως πλημμύρες, πετρελαιοκηλίδες, κλπ.
- ❖ απαιτούνται πολύ-χρονικές συγκρίσεις (π.χ. εξάπλωση μιας δασικής ασθένειας από το ένα έτος στο επόμενο)
- ❖ η μεταβαλλόμενη εμφάνιση ενός χαρακτηριστικού κατά τη πάροδο του χρόνου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την διάκριση του από συγγενικά παρόμοια χαρακτηριστικά (σιτάρι / αραβόσιτο)

## 2.7 Κάμερες και Εναέρια Φωτογράφιση



Οι φωτογραφικές μηχανές και η χρήση τους για την εναέρια φωτογράφιση είναι οι πιο απλοί και παλιοί από τους αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για την τηλεπισκόπηση στην επιφάνεια της Γης. Οι κάμερες είναι **συστήματα διαμόρφωσης** τα οποία καταγράφουν ένα εγγύς-στιγμιαίο «στιγμιότυπο» μιας **περιοχής (A)**, της επιφάνειας. Τα συστήματα κάμερας έχουν παθητικούς οπτικούς αισθητήρες οι οποίοι χρησιμοποιούν ένα **φακό (B)** (ή σύστημα φακών που συλλογικά αναφέρονται ως τα οπτικό) για τον σχηματισμό μία εικόνας στο εστιακό επίπεδο (C), στο οποίο μια εικόνα είναι έντονα ευκρινείς.

Τα φωτογραφικά φιλμ είναι ευαίσθητα στο φως από 0,3 μm έως 0,9 μm σε μήκος κύματος που καλύπτει το υπεριώδες (UV), ορατό και υπέρυθρο (NIR). Τα **παγχρωματικά φιλμ** είναι ευαίσθητα στο υπεριώδες και ορατό τμήμα του φάσματος. Το παγχρωματικό φιλμ παράγει κυρίως μαύρες και άσπρες εικόνες και είναι ο πιο κοινός τύπος φιλμ που χρησιμοποιείται για την εναέρια φωτογράφιση. Η UV φωτογράφιση χρησιμοποιεί επίσης παγχρωματικό φιλμ, αλλά ένα φίλτρο χρησιμοποιείται με τη κάμερα για να απορροφήσει και να μπλοκάρει το ορατό φάσμα ενέργειας από το φιλμ. Ως αποτέλεσμα, μόνο η UV ανάκλαση από τους στόχους καταγράφεται. Η UV φωτογράφιση δεν χρησιμοποιείται ευρέως, λόγω της σκέδασης της ατμόσφαιρας και απορρόφησης που παρουσιάζεται σε αυτή την περιοχή του φάσματος. Η μαύρη και λευκή υπέρυθη φωτογράφιση χρησιμοποιεί φιλμ ευαίσθητο σε ολόκληρη τη 0,3μm - 0,9 μm περιοχή του μήκους κύματος και είναι χρήσιμη για την ανίχνευση των διαφορών στην κάλυψη της βλάστησης, λόγω της ευαισθησίας της στην IR ανάκλαση.

Η χρωματική και η ψευδοχρωματική (ή το χρώμα υπέρυθρων, CIR) φωτογράφιση εμπλέκει την χρήση ενός φιλμ τριών στρωμάτων με κάθε στρώμα να είναι ευαίσθητο σε διαφορετικά εύρη του φωτός. Για μια **κανονική έγχρωμη φωτογραφία**, τα στρώματα είναι ευαίσθητα στο μπλε, πράσινο και ερυθρό φως (το ίδιο και τα μάτια μας). Αυτές οι φωτογραφίες φαίνονται στο ανθρώπινο μάτι με τον ίδιο τρόπο που τα βλέπουμε στο περιβάλλον, διότι τα χρώματα μοιάζουν με τα χρώματα που σε εμάς φαίνονται «κανονικά» (δηλαδή τα δέντρα εμφανίζονται πράσινα, κλπ.). Στην φωτογραφία με υπέρυθρο χρώμα (CIR), οι τρεις «γαλακτώδεις»



στρώσεις είναι ευαίσθητες στο πράσινο, στο ερυθρό και το φωτογραφικό τμήμα της εγγύς-υπέρυθρης ακτινοβολίας, τα οποία υποβάλλονται σε επεξεργασία για να εμφανίζονται ως μπλε, πράσινα και ερυθρά, αντίστοιχα. Σε μια **ψευδοχρωματική φωτογραφία**, οι στόχοι με υψηλή εγγύς-υπέρυθρη ανάκλαση εμφανίζονται ερυθρά, αυτοί με υψηλή ερυθρή ανάκλαση εμφανίζονται πράσινα και αυτοί με υψηλή πράσινη ανάκλαση εμφανίζονται μπλε, έτσι παρέχουμε σε εμάς μια «ψευδή» παρουσίαση των στόχων σε σχέση με το χρώμα που εμείς αντιλαμβανόμαστε.



Φωτογραφικές μηχανές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια ποικιλία από πλατφόρμες, συμπεριλαμβανομένων των επίγειων μέσων, ελικόπτερα, αεροσκάφη, και διαστημόπλοια. Οι πολύ λεπτομερείς φωτογραφίες που λαμβάνονται από τα αεροσκάφη είναι χρήσιμες για πολλές εφαρμογές όπου απαιτείται η ταυτοποίηση της λεπτομέρειας ή μικρών στόχων. Η κάλυψη του εδάφους μιας φωτογραφίας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του εστιακού μήκους των φακών, το ύψος της πλατφόρμας, καθώς και τη μορφή και το μέγεθος του φιλμ. Το εστιακό μήκος ελέγχει αποτελεσματικά το **γωνιακό οπτικό πεδίο** του φακού και καθορίζει την περιοχή που «βλέπει» η κάμερα. Τα τυπικά εστιακά μήκη που χρησιμοποιούνται είναι 90 χιλιοστά, 210 χιλιοστά, και πιο συχνά, τα 152 χιλιοστά. Όσο μεγαλύτερο είναι το εστιακό μήκος, τόσο μικρότερη είναι η περιοχή που καλύπτεται επί του εδάφους, αλλά με μεγαλύτερη λεπτομέρεια (δηλαδή μεγαλύτερη κλίμακα). Η περιοχή που καλύπτεται, επίσης, εξαρτάται από το ύψος της πλατφόρμας. Σε μεγάλα υψόμετρα, μια φωτογραφική μηχανή μπορεί να "βλέπει" μια μεγαλύτερη περιοχή του εδάφους από ό, τι σε χαμηλότερα υψόμετρα, αλλά με μειωμένη λεπτομέρεια (δηλαδή μικρότερη κλίμακα). Οι αεροφωτογραφίες μπορούν να προσφέρουν εξαιρετική λεπτομέρεια μέχρι και χωρικές αναλύσεις λιγότερο από 50 εκατοστά. Η ακριβής χωρική ανάλυση μιας φωτογραφίας ποικίλλει ως μια σύνθετη συνάρτηση πολλών παραγόντων που ποικίλλουν με κάθε απόκτηση των στοιχείων.

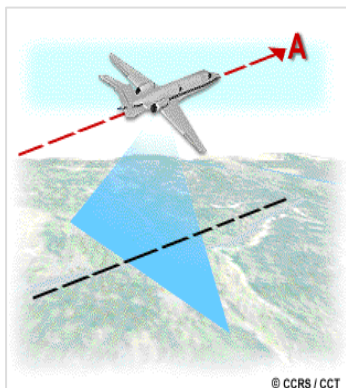


Οι περισσότερες αεροφωτογραφίες ταξινομούνται **οριζόντια** ή **κάθετα**, ανάλογα με τον προσανατολισμό της κάμερας σε σχέση με το έδαφος κατά τη διάρκεια λήψης. Οι **οριζόντιες αεροφωτογραφίες** λαμβάνονται με την κάμερα να βρίσκεται στην πλευρά του αεροσκάφους. Οι υψηλές οριζόντιες φωτογραφίες περιλαμβάνουν συνήθως τον ορίζοντα, ενώ οι χαμηλότερες οριζόντιες αεροφωτογραφίες δεν υλοποιούν το παραπάνω. Η οριζόντιες φωτογραφίες μπορούν να είναι χρήσιμες για την κάλυψη πολύ μεγάλων περιοχών σε μια μόνο εικόνα όπως επίσης και για την απεικόνιση του εδάφους και της κλίμακας. Ωστόσο, αυτά δεν χρησιμοποιούνται ευρέως για τη χαρτογράφηση ως στρεβλώσεις στην κλίμακα από το προσκήνιο στο παρασκήνιο και αυτό αποκλείει την εύκολη μέτρηση της απόστασης της περιοχή και το υψόμετρο.

Οι **κάθετες φωτογραφίες** που λαμβάνονται με μια φωτογραφική μηχανή μονών-φακών είναι η πιο κοινή χρήση της αεροφωτογραφίας για τηλεπισκόπηση και χαρτογράφηση. Αυτές οι κάμερες είναι ειδικά κατασκευασμένες για την σύλληψη μιας ταχείας ακολουθίας φωτογραφιών καθώς περιορίζεται η γεωμετρική παραμόρφωση. Αυτές συχνά συνδέονται με τα συστήματα πλοήγησης επιβατικών αεροσκαφών, για να καταστεί δυνατή η καταγραφή των γεωγραφικών συντεταγμένων και να αναρτηθούν άμεσα σε κάθε



φωτογραφία. Τα περισσότερα συστήματα φωτογραφικών μηχανών περιλαμβάνουν επίσης μηχανισμούς που αντισταθμίζουν την επίδραση της κίνησης αεροσκάφους σε σχέση με το έδαφος, προκειμένου να περιοριστεί όσο το δυνατόν περισσότερο η στρέβλωση.



Παρατηρώντας κάθετες αεροφωτογραφίες, το αεροσκάφος πετά κανονικά σε μία σειρά γραμμών, που κάθε μια γραμμή ονομάζεται **γραμμή πτήσης**. Οι φωτογραφίες λαμβάνονται με γρήγορη διαδοχική ροή, κοιτάζοντας ίσια κάτω στο έδαφος, συνήθως με 50-60 % επικάλυψη (A), μεταξύ των διαδοχικών φωτογραφιών. Η επικάλυψη εξασφαλίζει την πλήρη κάλυψη κατά μήκος μιας γραμμής πτήσης και επίσης διευκολύνει τη **στερεοσκοπική προβολή**. Τα ζεύγη διαδοχικών φωτογραφιών εμφανίζουν τη ζώνη επικάλυψης από διαφορετικές γωνίες και μπορούν να προβληθούν μέσω μιας συσκευής που ονομάζεται **στερεοσκόπιο**, για να φανερωθεί μια τρισδιάστατη προβολή της περιοχής, που αποκαλείται **stereo model**. Πολλές από τις εφαρμογές της αεροφωτογράφισης χρησιμοποιούν στερεοσκοπική κάλυψη και στερεοπροβολή.

Οι αεροφωτογραφίες είναι πιο χρήσιμες όταν η υψηλή χωρική λεπτομέρεια είναι περισσότερο σημαντική απ' ό,τι η φασματική πληροφορία, καθώς η φασματική τους ανάλυση είναι γενικότερα χαμηλή όταν συγκρίνονται με δεδομένα που λαμβάνονται με συσκευές ηλεκτρονικής ανίχνευσης. Η γεωμετρία των κάθετων φωτογραφιών είναι εύκολα κατανοητή και είναι δυνατόν να γίνουν πολύ ακριβείς μετρήσεις, για μια ποικιλία διαφορετικών εφαρμογών (τη γεωλογία, τη δασολογία, τη χαρτογράφηση, κ.λπ.). Η επιστήμη της υλοποίησης μετρήσεων από φωτογραφίες ονομάζεται **φωτογραμμετρία** και έχει πραγματοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό από τις απαρχές της ίδιας της αεροφωτογραφίας. Οι φωτογραφίες πιο συχνά αναλύονται από τον άνθρωπο αναλυτή (συχνά προβάλλονται στερεοσκοπικά). Μπορούν επίσης να σαρωθούν για την δημιουργία μιας ψηφιακής εικόνας και στη συνέχεια να αναλυθούν σε ένα ψηφιακό περιβάλλον σε υπολογιστή. Στο κεφάλαιο 4, θα συζητήσουμε με μεγαλύτερη λεπτομέρεια, διάφορες μεθόδους (χειρονακτικά και από υπολογιστή) για την ερμηνεία των διαφορετικών τύπων εικόνων τηλεπισκόπησης.

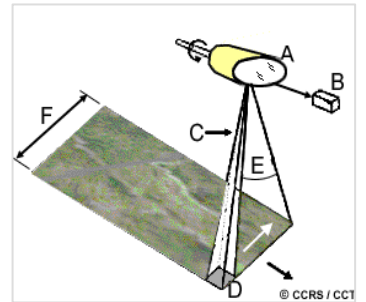
Η **πολυφασματική απεικόνιση (φωτογραφία)** χρησιμοποιεί συστήματα πολυ-φασμάτων με διαφορετικούς συνδυασμούς φίλμ-φίλτρου έτσι ώστε οι φωτογραφίες να αποκτούνται συγχρόνως σε έναν αριθμό διαφορετικών φασματικών περιοχών. Το πλεονέκτημα αυτών των τύπων φωτογραφικών μηχανών είναι η ικανότητά τους να καταγράφουν την ανακλώμενη ενέργεια χωριστά σε ένα εύρος διαχωρισμένων μηκών κύματος, παρέχοντας έτσι δυνητικά καλύτερο διαχωρισμό και ταυτοποίηση των διαφόρων χαρακτηριστικών. Ωστόσο, η ταυτόχρονη ανάλυση αυτών των πολλαπλών φωτογραφιών μπορεί να είναι προβληματική. Οι **ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές**, οι οποίες καταγράφουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ηλεκτρονικά, διαφέρουν σημαντικά από ομολόγους τους, που χρησιμοποιούν φιλμ. Αντί να χρησιμοποιούν φιλμ, οι ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές χρησιμοποιούν μια σειρά από πλέγματα πυριτίου με επικάλυψη CCDs (συσκευές charge coupled) που ανταποκρίνονται μεμονωμένα σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η ενέργεια που φθάνει στην επιφάνεια των CCDs προκαλεί τη δημιουργία μιας ηλεκτρονικής φόρτισης, η οποία είναι ανάλογου μεγέθους με τη «φωτεινότητα» της περιοχής του εδάφους. Για κάθε φασματική μπάντα έχει εκχωρηθεί ένας ψηφιακός αριθμός σε κάθε εικονοστοιχείο, με βάση το μέγεθος του ηλεκτρονικού φορτίου. Η ψηφιακή μορφή της εξαγόμενης εικόνας επιδεικνύει στη ψηφιακή ανάλυση και αρχειοθέτηση σε ένα υπολογιστικό περιβάλλον, καθώς και την έξοδο ως ένα προϊόν παρόμοιο με το έντυπο φωτογραφιών. Οι ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές παρέχουν επίσης ταχύτερη απόκτηση και ανάκτηση των δεδομένων και επιτρέπουν μεγαλύτερο έλεγχο της φασματικής ανάλυσης. Παρά το γεγονός ότι οι παράμετροι ποικίλουν, τα ψηφιακά συστήματα απεικόνισης είναι ικανά για τη συλλογή δεδομένων με χωρική ανάλυση των 0,3 μέτρων και με μια φασματική ανάλυση 0,012 mm έως 0,3 mm. Το μέγεθος των συστοιχιών των εικονοψηφίδων κυμαίνεται μεταξύ των συστημάτων, αλλά συνήθως είναι μεταξύ των 512 x 512 έως 2048 x 2048.

## 2.8 Πολυφασματική Σάρωση



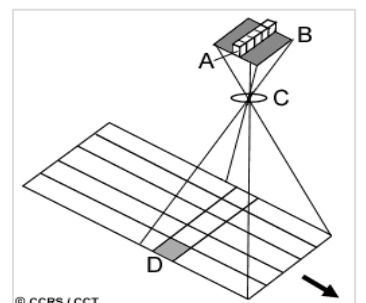
Πολλοί ηλεκτρονικοί (σε αντίθεση με τους φωτογραφικούς) αισθητήρες αποκτούν δεδομένα χρησιμοποιώντας **συστήματα σάρωσης**, τα οποία χρησιμοποιούν έναν αισθητήρα με ένα στενό οπτικό πεδίο (IFOV) που σαρώνει πάνω από το έδαφος για να δημιουργήσει και να παράγει μία δισδιάστατη εικόνα της επιφάνειας. Τα συστήματα σάρωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο σε αεροσκάφη όσο και σε πλατφόρμες δορυφόρου και έχουν ουσιαστικά τις ίδιες αρχές λειτουργίας. Ένα σύστημα σάρωσης που χρησιμοποιείται για τη συλλογή δεδομένων πάνω σε μια ποικιλία από διαφορετικές περιοχές μήκους κύματος ονομάζεται **πολυφασματική σάρωση (MSS)**, και είναι το συνηθέστερο χρησιμοποιούμενο σύστημα σάρωσης. Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι ή μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στη σάρωση για την απόκτηση πολυφασματικών δεδομένων εικόνας [**σάρωση κατά πλάτος της τροχιάς και σάρωση κατά μήκος της τροχιάς (across-track scanning, and along-track scanning)**].

Οι **κατά πλάτος τροχιάς σαρωτές** σαρώνουν τη Γη με μια σειρά γραμμών. Οι γραμμές είναι κάθετα προσανατολισμένες προς την κατεύθυνση της κίνησης της πλατφόρμας του αισθητήρα (δηλ. κατά πλάτος της τροχιάς). Κάθε γραμμή σαρώνεται από τη μία πλευρά του αισθητήρα στην άλλη, χρησιμοποιώντας έναν **περιστρεφόμενο καθρέφτη (A)**. Καθώς η πλατφόρμα κινείται προς τα εμπρός πάνω από τη Γη, οι διαδοχικές σαρώσεις δημιουργούν μια δισδιάστατη εικόνα της επιφάνειας της Γης. Η εισερχόμενη ανακλώμενη ακτινοβολία ή εκπεμπόμενη ακτινοβολία διαχωρίζεται σε διάφορα φασματικά στοιχεία που ανιχνεύονται ανεξάρτητα. Η υπεριώδης, ορατή, εγγύς-υπέρυθρη και θερμική ακτινοβολία διασπείρονται στα διάφορα μήκη κύματος. Μία συγκέντρωση **εσωτερικών ανιχνευτών (B)**, από τους οποίους κάθε ένας είναι ευαίσθητος σε μια συγκεκριμένη περιοχή μηκών κύματος, ανιχνεύει και μετρά την ενέργεια για κάθε φασματική μπάντα και στη συνέχεια, ως ηλεκτρικό σήμα, μετατρέπεται σε ψηφιακά δεδομένα και καταγράφονται για επακόλουθη επεξεργασία σε υπολογιστή.



Το **IFOV (C)** του αισθητήρα και το υψόμετρο της πλατφόρμας καθορίζουν το **επίπεδο ανάλυσης του κελιού που προβάλλεται (D)**, και έτσι και τη χωρική ανάλυση. Το **γωνιακό πεδίο της προβολής (E)** είναι η σάρωση του κατόπτρου, μετρούμενο σε μοίρες, που χρησιμοποιείται για την καταγραφή μιας γραμμής σάρωσης, και καθορίζει το πλάτος της απεικονιζόμενης **τροχιάς (F)**. Οι αερομεταφερόμενοι σαρωτές σαρώνουν συνήθως μεγάλες γωνίες (μεταξύ 90° και 120°), ενώ οι δορυφόροι, λόγω του υψηλού υψομέτρου τους χρειάζονται μόνο να σαρώνουν αρκετά μικρές γωνίες (10° - 20°), για να καλύψουν μια ευρεία περιοχή. Επειδή η απόσταση από τον αισθητήρα προς το στόχο αυξάνεται προς τις άκρες της τροχιάς, το επίπεδο ανάλυσης κελιών επίσης γίνεται μεγαλύτερο και εισάγονται γεωμετρικές στρεβλώσεις στις εικόνες. Επίσης, το μήκος χρόνου που το IFOV «βλέπει» ένα κελί ανάλυσης επιπέδου, όπως τα κάτοπτρα περιστρεφόμενης σάρωσης (που ονομάζεται ο **χρόνος παραμονής**), είναι γενικά αρκετά σύντομος και επηρεάζει το σχεδιασμό της χωρικής, φασματικής και ραδιομετρικής ανάλυσης του αισθητήρα.

Οι **κατά μήκος τροχιάς σαρωτές** χρησιμοποιούν επίσης την προς τα εμπρός κίνηση της πλατφόρμας για την καταγραφή διαδοχικών γραμμών σάρωσης και για τη δημιουργία μιας δισδιάστατης εικόνας, κάθετης προς την κατεύθυνση της πτήσης. Ωστόσο, αντί ενός κατόπτρου σαρώσεως, χρησιμοποιούν μια γραμμική διάταξη ανιχνευτών (A) που βρίσκονται στο εστιακό επίπεδο της εικόνας (B) που σχηματίζεται από τα συστήματα των φακών (Γ), τα οποία "ωθούνται" κατά την κατεύθυνση τροχιάς της πτήσης (δηλαδή κατά μήκος της τροχιάς). Τα συστήματα αυτά αναφέρονται επίσης ως **σαρωτές «όθησης σκούπας»**, καθώς η κίνηση του ανιχνευτή συστοιχιών είναι ανάλογη με της τρίχες της σκούπας που ωθούνται κατά μήκος του δαπέδου. Κάθε επιμέρους ανιχνευτής μετρά την ενέργεια για ένα επίπεδο ανάλυσης μονού κελιού (D) και έτσι το μέγεθος και το IFOV των ανιχνευτών προσδιορίζει την χωρική ανάλυση του συστήματος. Μια ξεχωριστή γραμμική διάταξη απαιτείται για τη μέτρηση κάθε φασματικής μπάντας ή καναλιού. Για κάθε γραμμή σάρωσης, η ενέργεια ανιχνεύεται από κάθε ανιχνευτή της κάθε γραμμικής διάταξης δειγματίζεται ηλεκτρονικά και καταγράφεται ψηφιακά.

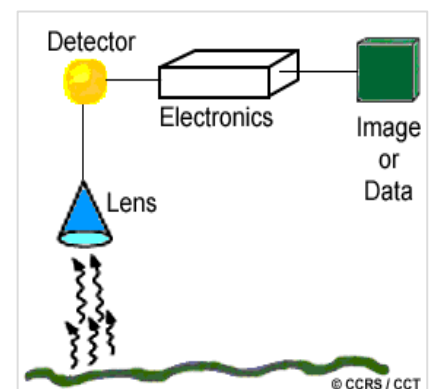


Οι κατά μήκος τροχιάς σαρωτές με γραμμικές διατάξεις, έχουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τους κατά πλάτος τροχιάς κατοπτρικούς σαρωτές. Η συστοιχία των ανιχνευτών σε συνδυασμό με την κίνηση «ώθηση σκούπας» επιτρέπει σε κάθε ανιχνευτή να «βλέπει» και να μετρά την ενέργεια από κάθε επίπεδο ανάλυσης κελιού για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα (χρόνος παραμονής). Αυτό επιτρέπει περισσότερη ενέργεια να ανιχνεύεται και βελτιώνει τη ραδιομετρική ανάλυση. Ο αυξημένος χρόνος παραμονής διευκολύνει επίσης μικρότερα IFOVs και στενότερο πλάτος μάντας για κάθε ανιχνευτή. Έτσι μπορεί να επιτευχθεί λεπτομερέστερη χωρική και φασματική ανάλυση χωρίς να επηρεάζεται η ραδιομετρική ανάλυση. Επειδή οι ανιχνευτές είναι συνήθως στερεάς κατάστασης μικροηλεκτρονικές συσκευές, είναι γενικά μικρότερες, ελαφρύτερες, απαιτούν λιγότερη ενέργεια και είναι περισσότερο αξιόπιστες και έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής επειδή δεν έχουν κινούμενα μέρη. Από την άλλη πλευρά, η σταυρωτή-βαθμονόμηση χιλιάδων ανιχνευτών για την επίτευξη ομοιόμορφης ευαισθησίας κατά πλάτος της συστοιχίας είναι αναγκαία και περίπλοκη.

Ανεξάρτητα από το κατά πόσο το σύστημα σάρωσης που χρησιμοποιείται είναι από αυτούς τους δύο τύπους, έχει αρκετά πλεονεκτήματα από τα φωτογραφικά συστήματα. Η φασματική περιοχή των φωτογραφικών συστημάτων περιορίζεται στις ορατές και εγγύς-υπέρυθρες περιοχές ενώ τα συστήματα MSS μπορούν να επεκτείνουν το εύρος αυτό στο θερμικό υπέρυθρο. Επίσης, είναι ικανά για πολύ υψηλότερη φασματική ανάλυση απ' ό,τι τα φωτογραφικά συστήματα. Τα Multi-band ή πολυφασματικά φωτογραφικά συστήματα χρησιμοποιούν ένα σύστημα ξεχωριστών φακών για την απόκτηση κάθε φασματικής μάντας. Αυτό μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στην διασφάλιση που οι διαφορετικές μάντες είναι συγκρίσιμες και χωρικά και ραδιομετρικά και με εγγραφή πολλαπλών εικόνων. Τα MSS συστήματα αποκτούν όλα τα φασματικά κανάλια ταυτόχρονα μέσω του ίδιου οπτικού συστήματος, για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων. Τα Φωτογραφικά συστήματα καταγράφουν την ενέργεια που ανιχνεύθηκε μέσω μιας φωτοχημικής διαδικασίας η οποία είναι δύσκολο να μετρηθεί και να ολοκληρωθεί. Επειδή τα MSS δεδομένα που καταγράφονται ηλεκτρονικά, είναι ευκολότερο να προσδιορίσουν την ειδική ποσότητα της ενέργειας που μετράται, και μπορούν να καταγράφουν τα δεδομένα σε μεγαλύτερο εύρος τιμών σε ψηφιακή μορφή. Φωτογραφικά συστήματα απαιτούν μια συνεχή παροχή φιλμ και επεξεργασία στο έδαφος αφού ληφθούν οι φωτογραφίες. Η ψηφιακή καταγραφή σε συστήματα MSS διευκολύνει τη μετάδοση των δεδομένων σε σταθμούς λήψης στο έδαφος και την άμεση επεξεργασία των δεδομένων σε ένα υπολογιστικό περιβάλλον.

## 2.9 Θερμική Απεικόνιση

Πολλά πολυφασματικά (MSS) συστήματα καταγράφουν ακτινοβολία στο θερμικό υπέρυθρο καθώς και στα ορατά και ανακλώμενα τμήματα του φάσματος. Ωστόσο, η τηλεπισκόπηση της ενέργειας που εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης στο θερμικό υπέρυθρο (3  $\mu\text{m}$  έως 15  $\mu\text{m}$ ) είναι διαφορετική από την τηλεπισκόπηση της ανακλώμενης ενέργειας. Οι **θερμικοί αισθητήρες** χρησιμοποιούν φωτογραφικούς ανιχνευτές ευαίσθητους στην άμεση επαφή των φωτονίων στην επιφάνειά τους, για την ανίχνευση της θερμικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται. Οι ανιχνευτές αυτοί ψύχονται σε θερμοκρασίες κοντά στο απόλυτο μηδέν, προκειμένου να περιορίσουν τις δικές τους θερμικές εκπομπές. Οι θερμικοί αισθητήρες κατ'ουσία μετρούν την επιφανειακή θερμοκρασία και τις θερμικές ιδιότητες των στόχων.



Οι **θερμικοί απεικονιστές** είναι συνήθως κατά πλάτος τροχιάς σαρωτές (όπως αυτά που περιγράψαμε στο προηγούμενο κομμάτι) που ανιχνεύουν την εκπεμπόμενη ακτινοβολία μόνο του θερμικού τμήματος του φάσματος. Οι θερμικοί αισθητήρες χρησιμοποιούν μία ή περισσότερες εσωτερικές θερμοκρασιακές αναφορές για σύγκριση με την ανιχνευόμενη ακτινοβολία, έτσι ώστε να μπορούν να συσχετισθούν με την απόλυτη ακτινοβολία





θερμοκρασία. Τα δεδομένα καταγράφονται σε φιλμ ή σε μαγνητική ταινία και η θερμοκρασιακή ανάλυση των σημερινών αισθητήρων μπορεί να φθάσει  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Για την ανάλυση, μια εικόνα σχετικής ακτινοβολίας θερμοκρασιών (**α θερμογράφημα**) απεικονίζεται στο επίπεδο του γκρίζου, με υψηλότερες θερμοκρασίες να εμφανίζονται σε απαλούς τόνους, και χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σκούρους τόνους. Οι εικόνες απεικονίζουν τις διαφορές της σχετικής θερμοκρασίας στις σχετικές χωρικές τοποθεσίες τους είναι επαρκείς για τις περισσότερες εφαρμογές. Οι μετρήσεις απόλυτης θερμοκρασίας μπορούν να υπολογιστούν, αλλά απαιτούν ακριβή βαθμονόμηση και μέτρηση των θερμοκρασιακών αναφορών όπως και λεπτομερή γνώση των θερμικών ιδιοτήτων του στόχου, γεωμετρικές στρεβλώσεις, και ραδιομετρικές επιδράσεις.

Λόγω του σχετικώς μεγάλου μήκους κύματος της θερμικής ακτινοβολίας (σε σύγκριση με τη ορατή ακτινοβολία), η ατμοσφαιρική σκέδαση είναι ελάχιστη. Ωστόσο, η απορρόφηση από τα ατμοσφαιρικά αέρια περιορίζει τη θερμική ανίχνευση σε δύο συγκεκριμένες περιοχές (3 έως 5  $\mu\text{m}$  και 8 έως 14  $\mu\text{m}$ ). Επειδή η ενέργεια μειώνεται καθώς αυξάνεται το μήκος κύματος, οι θερμικοί αισθητήρες έχουν γενικά μεγάλες FFOVs, προς διασφάλιση ότι αρκετή ενέργεια φτάνει στον ανιχνευτή, προκειμένου να γίνει μια αξιόπιστη μέτρηση. Συνεπώς, η χωρική ανάλυση των θερμικών αισθητήρων είναι συνήθως αρκετά χαμηλή, σε σχέση με τη δυνατή χωρική ανάλυση στο ορατό και ανακλώμενο υπέρυθρο. Οι θερμικές εικόνες μπορούν να αποκτηθούν κατά τη διάρκεια της ημέρας ή της νύχτας (λόγω του ότι η ακτινοβολία που εκπέμπεται και δεν ανακλάται) και χρησιμοποιείται για μια ποικιλία εφαρμογών, όπως τη στρατιωτική αναγνώριση, τη διαχείριση καταστροφών (χαρτογράφηση δασικών πυρκαγιών) και τη παρακολούθηση της απώλειας θερμότητας.

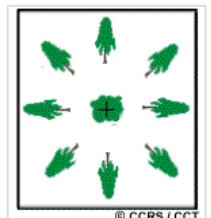
## 2.10 Γεωμετρική Παραμόρφωση στην Απεικόνιση

Κάθε εικόνα τηλεπισκόπησης, ανεξάρτητα από το αν έχει αποκτηθεί από πολυφασματικό σαρωτή σε δορυφόρο, από φωτογραφικό σύστημα αεροσκάφους, ή από οποιοδήποτε άλλο συνδυασμό πλατφόρμας/αισθητήρα, θα έχουν ποικίλες γεωμετρικές στρεβλώσεις. Αυτό το πρόβλημα είναι έντονο στην τηλεπισκόπηση, καθώς προσπαθούμε να απεικονίσουμε με ακρίβεια την τρισδιάστατη επιφάνεια της Γης ως μια δισδιάστατη εικόνα. Όλες οι εικόνες τηλεπισκόπησης υποβάλλονται σε κάποια μορφή γεωμετρικών στρεβλώσεων, ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο λαμβάνονται τα δεδομένα. Τα σφάλματα αυτά μπορεί να οφείλονται σε μία ποικιλία παραγόντων, που περιλαμβάνουν ένα ή περισσότερα από τα παρακάτω:

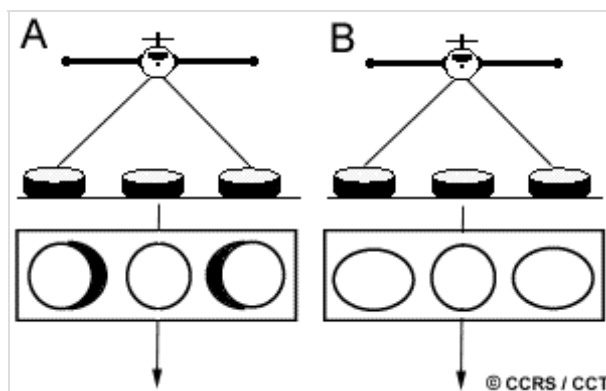
- ❖ η προοπτική των οπτικών αισθητήρων,
- ❖ η κίνηση του συστήματος σαρώσεως,
- ❖ η κίνηση και αστάθεια - ευστάθεια της πλατφόρμας,
- ❖ το ύψος, «συμπεριφορά» και ταχύτητα της πλατφόρμας,
- ❖ το ανάγλυφο του εδάφους και
- ❖ η καμπυλότητα και η περιστροφή της Γης

Τα συστήματα αποτύπωσης, όπως οι φωτογραφικές μηχανές που χρησιμοποιούνται για αεροφωτογράφιση, παρέχουν ένα στιγμιαίο "στιγμιότυπο" θέασης της Γης. Η πρωτογενής γεωμετρική παραμόρφωση των κατακόρυφων αεροφωτογραφιών οφείλεται στη μετατόπιση του ανάγλυφου (**relief displacement**). Τα αντικείμενα ακριβώς κάτω από το κέντρο του φακού της φωτογραφικής μηχανής (δηλ. στο **ναδίρ**) θα έχουν μόνο τις κορυφές τους ορατές, ενώ όλα τα άλλα αντικείμενα θα φαίνονται να αποκλίνουν μακριά από το κέντρο της φωτογραφίας, έτσι ώστε οι κορυφές και οι πλευρές τους να είναι ορατές. Αν τα αντικείμενα είναι ψηλά ή είναι πολύ μακριά από το κέντρο της φωτογραφίας, η παραμόρφωση και το σημειακό σφάλμα (*positional error*) θα είναι μεγαλύτερα.

Η γεωμετρία ενός κατά μήκος τροχιάς σαρωτή είναι παρόμοια με εκείνη μιας αεροφωτογραφίας για κάθε γραμμή σάρωσης, αφού κάθε ανιχνευτής παίρνει ουσιαστικά ένα "στιγμιότυπο" του κάθε επιπέδου ανάλυσης κελιού. Οι γεωμετρικές ποικιλίες μεταξύ γραμμών προκαλούνται από τυχαίες διακυμάνσεις του υψομέτρου της πλατφόρμας και της «συμπεριφοράς» κατά μήκος της κατεύθυνσης της πτήσης.

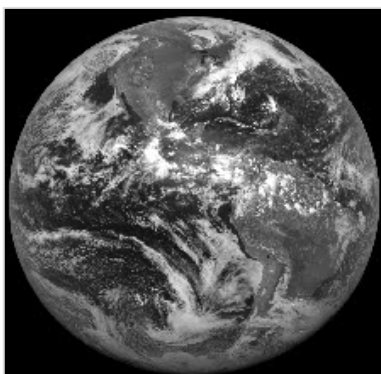


Εικόνες από συστήματα κατά πλάτους τροχιάς σάρωσης παρουσιάζουν δύο βασικούς τύπους **γεωμετρικής παραμόρφωσης**. Επίσης εμφανίζουν μετατόπιση ανάγλυφου (A), παρόμοια με των αεροφωτογραφιών, αλλά σε μια μόνο κατεύθυνση παράλληλη προς την κατεύθυνση της σάρωσης. Δεν υπάρχει καμία μετατόπιση ακριβώς κάτω από τον αισθητήρα, στο ναδίρ. Καθώς ο αισθητήρας σαρώνει κατά πλάτος της τροχιάς, η κορυφή και τα πλαϊνά των αντικειμένων απεικονίζονται και φαίνονται να αποκλίνουν από το σημείο ναδίρ σε κάθε γραμμή σάρωσης. Εκ νέου η μετατόπιση αυξάνεται, κινούμενη προς τα άκρα της τροχιάς. Μια άλλη παραμόρφωση (B) λαμβάνει χώρα λόγω της περιστροφής των οπτικών σάρωσης. Καθώς ο αισθητήρας σαρώνει κατά πλάτος κάθε γραμμής, η απόσταση από τον αισθητήρα έως το έδαφος αυξάνεται ακόμη πιο μακριά από το κέντρο της τροχιάς. Μολονότι ο καθρέπτης σάρωσης περιστρέφεται με σταθερή ταχύτητα, η IFOV του αισθητήρα κινείται γρηγορότερα (σε σχέση με το έδαφος) και σαρώνει μια μεγαλύτερη περιοχή καθώς κινείται πλησιέστερα προς τα άκρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την επίδραση στην συμπίεση των χαρακτηριστικών της εικόνας σε σημεία μακριά από το ναδίρ και ονομάζεται παραμόρφωση εφαπτομενικής κλίμακας. Όλες οι εικόνες είναι επιρρεπείς σε γεωμετρικές στρεβλώσεις που προκαλούνται από τις διακυμάνσεις στη σταθερότητα της πλατφόρμας συμπεριλαμβανομένων των αλλαγών στην ταχύτητα, στο υψόμετρο, και στη συμπεριφορά τους (γωνιακός προσανατολισμός σε σχέση με το έδαφος), κατά τη διάρκεια της συλλογής δεδομένων. Οι επιδράσεις αυτές είναι πιο έντονες όταν χρησιμοποιούνται πλατφόρμες αεροσκαφών, και αμβλύνονται σε μεγάλο βαθμό με τη χρήση δορυφορικών πλατφορμών, καθώς οι τροχιές τους είναι σχετικά σταθερές, ιδιαίτερα σε σχέση με την απόσταση τους από τη Γη. Ωστόσο, η ανατολική περιστροφή της Γης, κατά τη διάρκεια μιας δορυφορικής τροχιάς, προκαλεί τη σάρωση των συστημάτων σάρωσης για την κάλυψη μιας έκτασης ελαφρώς προς τα δυτικά της κάθε προηγούμενης σάρωσης. Η προκύπτουσα απεικόνιση έχει μια ελαφρώς κύρτωση κατά μήκος της εικόνας. Αυτό είναι γνωστό ως παραποιημένη στρέβλωση (*skew distortion*) και είναι κοινή σε εικόνες που λαμβάνονται από δορυφορικούς πολυφασματικούς σαρωτές.



Οι πηγές γεωμετρικής παραμόρφωσης και τα σφάλματα θέσης ποικίλλουν με κάθε συγκεκριμένη κατάσταση, αλλά είναι συνυφασμένες με την απεικόνιση της τηλεπισκόπησης. Στις περισσότερες περιπτώσεις, μπορεί να είμαστε σε θέση να εξαλείψουμε, ή τουλάχιστον να μειώσουμε αυτά τα σφάλματα, αλλά πρέπει να τα λάβουμε υπόψη μας σε κάθε περίπτωση πριν προσπαθήσουμε να κάνουμε μετρήσεις ή να εξάγουμε περαιτέρω πληροφορίες.

Τώρα που έχουμε μάθει για κάποια από τα γενικά χαρακτηριστικά των πλατφορμών και των αισθητήρων, στις επόμενες ενότητες θα εξετάσουμε ορισμένους ειδικούς αισθητήρες (κυρίως δορυφορικά συστήματα) που λειτουργούν στο ορατό και υπέρυθρο τμήμα του φάσματος.



## 2.11 Δορυφόροι/Αισθητήρες Καιρού

Η παρακολούθηση και πρόγνωση καιρού ήταν μία από τις πρώτες πολιτικές (σε αντίθεση με τις στρατιωτικές) εφαρμογές της δορυφορικής τηλεπισκόπησης, που χρονολογούνται από τον πρώτο αληθινό δορυφόρο



καιρού, TIROS-1 (Τηλεόραση και υπέρυθρη Παρατήρηση, Δορυφόρος - 1), που ξεκίνησε το 1960 από τις Ηνωμένες Πολιτείες. Αρκετοί άλλοι μετεωρολογικοί δορυφόροι άρχισαν τα επόμενα πέντε χρόνια, σε εγγύς-πολικές τροχιές, παρέχοντας επαναλαμβανόμενες καλύψεις των παγκόσμιων καιρικών μοτίβων. Το 1966, η NASA (Εθνική Υπηρεσία Αεροναυτικής και Διαστήματος των ΗΠΑ) ξεκίνησε τη γεωστατική Τεχνολογία Δορυφορικών Εφαρμογών (ATS-1) που παρέχουν **ημισφαιρικές εικόνες** της επιφάνειας της Γης και της νεφοκάλυψης κάθε μισή ώρα. Για πρώτη φορά, η ανάπτυξη και η κίνηση των συστημάτων καιρού θα μπορούσε να παρακολουθείται συστηματικά. Σήμερα, πολλές χώρες «χειρίζονται» τον καιρό με μετεωρολογικούς δορυφόρους για την παρακολούθηση των καιρικών συνθηκών σε όλο τον κόσμο. Γενικά μιλώντας, αυτοί οι δορυφόροι χρησιμοποιούν αισθητήρες που έχουν αρκετά χαμηλή χωρική ανάλυση (σε σύγκριση με τα συστήματα για την παρατήρηση γης) και παρέχουν μεγάλη επιφανειακή κάλυψη.

Οι χρονικές αναλύσεις τους είναι γενικά σχετικά υψηλές, παρέχοντας συχνές παρατηρήσεις της επιφάνειας της Γης, της ατμοσφαιρικής υγρασίας, και νεφοκάλυψης, που επιτρέπουν την σχεδόν συνεχή παρακολούθηση των παγκόσμιων καιρικών συνθηκών και ως εκ τούτου την πρόβλεψη. Εδώ έχουμε αναφέρει μερικούς από τους αντιπροσωπευτικούς δορυφόρους/αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για μετεωρολογικές εφαρμογές.

## GOES



Το σύστημα GOES [Γεωστατικός Επιχειρησιακός Περιβαλλοντικός Δορυφόρος (Geostationary Operational Environmental Satellite)] είναι η συνέχεια της σειράς ATS. Είχαν σχεδιαστεί από τη NASA για την Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας [National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)] για την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία των Ηνωμένων Πολιτειών με συχνές, μικρής κλίμακας απεικονίσεις της Επιφάνειας της Γης και της νεφοκάλυψης. Η σειρά GOES των δορυφόρων έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς από μετεωρολόγους για την παρακολούθηση και πρόβλεψη των καιρικών συνθηκών για πάνω από 20 χρόνια. Αυτοί οι δορυφόροι αποτελούν μέρος ενός παγκόσμιου δικτύου μετεωρολογικών δορυφόρων που απέχουν μεταξύ τους κατά περίπου διάστημα  $70^\circ$

γεωγραφικού μήκους γύρω από τη Γη έτσι ώστε να παρέχουν σχεδόν παγκόσμια κάλυψη. Δύο δορυφόροι GOES, τοποθετούνται σε **γεωστατική τροχιά** 36000 χιλιομέτρων πάνω από τον ισημερινό και καλύπτουν περίπου το ένα- τρίτο της Γης. Ένας βρίσκεται στις  $75^\circ\text{W}$  γεωγραφικού μήκους και παρακολουθεί την Βόρεια και Νότια Αμερική και το μεγαλύτερο μέρος του Ατλαντικού Ωκεανού. Ο άλλος βρίσκεται στις  $135^\circ\text{W}$  γεωγραφικού μήκους και παρακολουθεί τη Βόρεια Αμερική και τη λεκάνη του Ειρηνικού Ωκεανού. Μαζί καλύπτουν από  $20^\circ\text{W}$  έως  $165^\circ\text{E}$  γεωγραφικού μήκους. Αυτή η GOES εικόνα καλύπτει ένα τμήμα των νοτιοανατολικών Ηνωμένων Πολιτειών, καθώς και των παρακείμενων περιοχών των ωκεανών όπου αναπτύσσονται και προέρχονται πολλές έντονες καταιγίδες. Αυτή η εικόνα έδειξε τον τυφώνα Fran να πλησιάζει τις νοτιοανατολικές ακτές των Ηνωμένων Πολιτειών και τις Μπαχάμες, τον Σεπτέμβριο του 1996.

Δύο γενιές των δορυφόρων GOES έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως, με τη κάθε μία να μετρά την εκπεμπόμενη και ανακλώμενη ακτινοβολία απ' όπου η ατμοσφαιρική θερμοκρασία, οι άνεμοι, η υγρασία, και η νεφοκάλυψη μπορεί να προέλθουν. Η πρώτη γενιά των δορυφόρων αποτελούνταν από τους GOES-1 (που ξεκίνησε το 1975) και GOES-7 (που ξεκίνησε το 1992). Λόγω του σχεδιασμού τους, αυτοί οι δορυφόροι ήταν σε θέση να προβάλλουν την Γη μόνο σε ένα μικρό ποσοστό του χρόνου (περίπου πέντε τοις εκατό). Η δεύτερη γενιά δορυφόρων ξεκίνησε με τον GOES-8 (που ξεκίνησε το 1994) και έχει πολυάριθμες τεχνολογικές βελτιώσεις σε σχέση με την πρώτη σειρά. Αυτοί παρέχουν σχεδόν συνεχή παρατήρηση της Γης επιτρέποντας πιο συχνή απεικόνιση (κάθε 15 λεπτά). Αυτή η αύξηση της χρονικής ανάλυσης σε συνδυασμό με τη βελτίωση της χωρικής και ραδιομετρικής ανάλυσης των αισθητήρων παρέχει επίκαιρες πληροφορίες και βελτίωσε την ποιότητα των δεδομένων για την πρόβλεψη των μετεωρολογικών συνθηκών.



Ο GOES-8 και η υπόλοιπη δεύτερη γενεά των GOES δορυφόρων έχουν ξεχωριστή **απεικόνιση** και όργανα ηχοληψίας. Ο **απεικονιστής** έχει πέντε κανάλια ανίχνευσης ορατής και υπέρυθρης αντανακλώμενης και εκπεμπόμενης ηλιακής ακτινοβολίας. Η υπέρυθρη ικανότητα επιτρέπει την ημερήσια και νυχτερινή απεικόνιση. Ο αισθητήρας εντοπισμού και δυνατότητας επιλογής σάρωσης επιτρέπει την απεικόνιση ενός ολόκληρου ημισφαιρίου, ή μιας μικρής κλίμακας απεικόνιση των επιλεγμένων περιοχών. Το τελευταίο επιτρέπει στους μετεωρολόγους να παρακολουθούν ειδικά σημεία προβλημάτων καιρού για να βοηθήσουν στη βελτίωση των βραχυπρόθεσμων προβλέψεων. Τα δεδομένα του απεικονιστή είναι 10-bit ραδιομετρικής ανάλυσης και μπορούν να μεταδοθούν απευθείας στους τελικούς τοπικούς χρήστες της επιφάνειας της Γης. Ο συνοδευτικός πίνακας περιγράφει τις επιμέρους ζώνες, τη χωρική ανάλυση τους, και τις μετεωρολογικές εφαρμογές τους.

GOES Bands

Band	Wavelength Range (>μm)	Spatial Resolution	Application
1	0.52 - 0.72 (visible)	1 km	cloud, pollution, and haze detection; severe storm identification
2	3.78 - 4.03 (shortwave IR)	4 km	identification of fog at night; discriminating water clouds and snow or ice clouds during daytime; detecting fires and volcanoes; night time determination of sea surface temperatures
3	6.47 - 7.02 (upper level water vapour)	4 km	estimating regions of mid-level moisture content and advection; tracking mid-level atmospheric motion
4	10.2 - 11.2 (longwave IR)	4 km	identifying cloud-drift winds, severe storms, and heavy rainfall
5	11.5 - 12.5 (IR window sensitive to water vapour)	4 km	identification of low-level moisture; determination of sea surface temperature; detection of airborne dust and volcanic ash

Το 19 κανάλι ηχοληψίας μετρά την εκπεμπόμενη ακτινοβολία σε 18 ζώνες θερμικής υπέρυθρης και ανακλώμενης ακτινοβολίας σε μία ορατή μπάντα. Τα δεδομένα αυτά έχουν μια χωρική ανάλυση των 8 χλμ. και με 13-bit ραδιομετρική ανάλυση. Τα ηχοληπτικά δεδομένα χρησιμοποιούνται για την επιφανειακή και ατμοσφαιρική (στο επίπεδο των συννέφων) θερμοκρασίας, την πολύ-επίπεδη υγρασία στο προφίλ της ατμόσφαιρας και την ανάλυση κατανομής του όζοντος.

## NOAA AVHRR

Η NOAA είναι επίσης υπεύθυνη για μια άλλη σειρά δορυφόρων οι οποίοι είναι χρήσιμοι για μετεωρολογικές, καθώς και άλλες, εφαρμογές. Οι δορυφόροι αυτοί, σε **ήλιο-σύγχρονη, εγγύς-πολική τροχιά** (830 - 870 χιλιόμετρα πάνω από τη Γη), είναι μέρος της προηγμένης σειράς TIROS (που χρονολογείται από το 1960) και παρέχει συμπληρωματικές πληροφορίες στους γεωστατικούς μετεωρολογικούς δορυφόρους (όπως οι GOES). Δύο δορυφόροι, όπου ο καθένας παρέχει παγκόσμια κάλυψη, συνεργάζονται για να εξασφαλίσουν ότι τα δεδομένα για οποιαδήποτε περιοχή της Γης δεν «ηλικιάς» μεγαλύτερης των έξι ωρών. Ένας δορυφόρος διασχίζει το ισημερινό νωρίς το πρωί από το βορρά προς το νότο, ενώ οι άλλοι το απόγευμα.

Ο κύριος αισθητήρας των NOAA δορυφόρων, που χρησιμοποιείται τόσο στη μετεωρολογία όσο και στην μικρής κλίμακας παρατήρηση και αναγνώριση της Γης, είναι ο **Advanced Very High Resolution**



**Radiometer (AVHRR).** Ο αισθητήρας AVHRR ανιχνεύει την ακτινοβολία στο ορατό, στο εγγύς και μέσο υπέρυθρο και στο θερμικό υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, πάνω από μία λωρίδα πλάτους 3000 χιλιομέτρων. Ο συνοδευτικός πίνακας, περιγράφει τις ζώνες AVHRR, τα μήκη κύματος και τη χωρική ανάλυση τους (σε λωρίδα ναδίρ), καθώς και γενικές εφαρμογές της κάθε μίας.

NOAA AVHRR Bands

Band	Wavelength Range (μm)	Spatial Resolution	Application
1	0.58 - 0.68 (red)	1.1 km	cloud, snow, and ice monitoring
2	0.725 - 1.1 (near IR)	1.1 km	water, vegetation, and agriculture surveys
3	3.55 - 3.93 (mid IR)	1.1 km	sea surface temperature, volcanoes, and forest fire activity
4	10.3 - 11.3 (thermal IR)	1.1 km	sea surface temperature, soil moisture
5	11.5 - 12.5 (thermal IR)	1.1 km	sea surface temperature, soil moisture

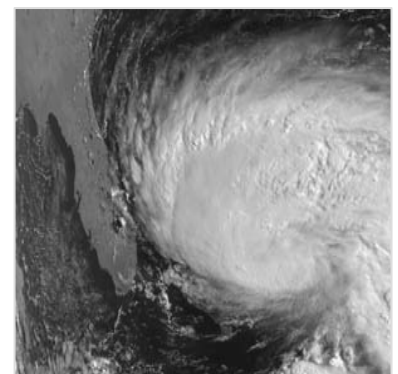
Τα AVHRR δεδομένα μπορούν να αποκτηθούν και να διαμορφωθούν σε τέσσερις καταστάσεις λειτουργίας, που διαφέρουν ως προς την ποιότητα και της μεθόδους μετάδοσης. Τα δεδομένα μπορούν να μεταδοθούν απευθείας στο έδαφος και να προβληθούν καθώς συλλέγονται αυτά, ή καταγράφονται επί του δορυφόρου για επόμενη μετάδοση και επεξεργασία.

Ο συνοδευτικός πίνακας περιγράφει τις διάφορες μορφές δεδομένων και τα χαρακτηριστικά τους.

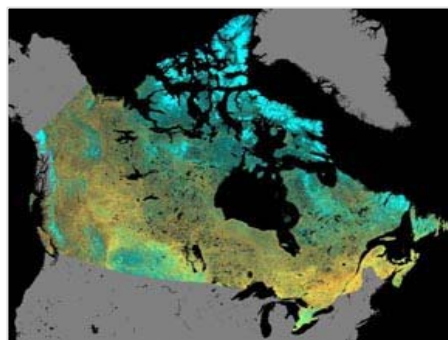
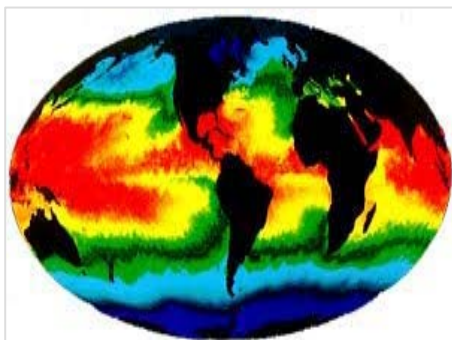
AVHRR Data Formats

Format	Spatial Resolution	Transmission and Processing
APT (Automatic Picture Transmission)	4 km	low-resolution direct transmission and display
HRPT (High Resolution Picture Transmission)	1.1 km	full-resolution direct transmission and display
GAC (Global Area Coverage)	4 km	low-resolution coverage from recorded data
LAC (Local Area Coverage)	1.1 km	selected full-resolution local area data from recorded data

Μολονότι τα AVHRR δεδομένα χρησιμοποιούνται ευρέως για **συστήματα καιρού** πρόβλεψης και ανάλυσης, ο αισθητήρας είναι επίσης κατάλληλος για παρατήρηση και παρακολούθηση των χαρακτηριστικών της γης. Ο AVHRR έχει πολύ μικρότερη χωρική ανάλυση από ό,τι άλλοι αισθητήρες παρατήρησης της γης, αλλά χρησιμοποιείται εκτενώς για την παρακολούθηση μικρής κλίμακας φαινομένων, συμπεριλαμβανομένης της χαρτογράφησης της **επιφανειακής θερμοκρασία της θάλασσας**, της φυσικής βλάστησης και των συνθηκών καλλιέργειας. Τα **μωσαϊκά** που καλύπτουν μεγάλες περιοχές μπορούν να δημιουργηθούν από πολλά AVHRR σύνολα δεδομένων που επιτρέπουν την μικρής κλίμακας ανάλυση και χαρτογράφηση της ευρείας κάλυψης της βλάστησης. Στο Καναδά, τα AVHRR δεδομένα που λαμβάνονται στο σταθμό Prince Albert Saskatchewan, χρησιμοποιούνται ως μέρος



ενός συστήματος πληροφόρησης των καλλιεργειών, για παρακολούθηση της υγείας των σιτηρών στα λιβάδια καθ' όλη την καλλιεργητική περίοδο.



### Άλλοι Δορυφόροι Καιρού

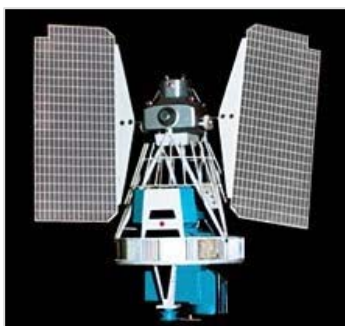
Στις Ηνωμένες Πολιτείες λειτουργεί η **DMSP** [Αμυντικό Μετεωρολογικό Δορυφορικό Πρόγραμμα (Defense Meteorological Satellite Program)], ένα σειρά δορυφόρων οι οποίοι χρησιμοποιούνται επίσης για την παρακολούθηση των καιρικών συνθηκών. Αυτοί είναι εγγύς-πολικής τροχιάς δορυφόροι, των οποίων ο Operational Linescan System (OLS) αισθητήρας παρέχει κάλυψη δύο φορές την ημέρα με μια λωρίδα πλάτους 3000 χιλιομέτρων σε μια χωρική ανάλυση των 2,7 χιλιομέτρων. Έχει δύο αρκετά ευρείες ζώνες μήκους κύματος: μία ορατή και μία εγγύς-υπέρυθρη (0,4 έως 1,1  $\mu\text{m}$ ) και μια θερμική υπέρυθη ζώνη (10,0 έως 13,4  $\mu\text{m}$ ). Ένα ενδιαφέρον χαρακτηριστικό του αισθητήρα είναι η ικανότητά του να αποκτήσει εικόνες στο ορατό μέρος του φάσματος κατά τη διάρκεια της νύχτας, υπό πολύ χαμηλές συνθήκες φωτισμού. Με αυτόν τον αισθητήρα, είναι δυνατή η συλλογή εντυπωσιακών εικόνων της Γης, που προβάλλουν (τυπικά) τα νυχτερινά φώτα των μεγάλων αστικών κέντρων.

Υπάρχουν διάφοροι άλλοι μετεωρολογικοί δορυφόροι σε τροχιά, που ξεκίνησαν και λειτούργησαν από άλλες χώρες ή ομάδες χωρών. Αυτές περιλαμβάνουν την Ιαπωνία, με την **GMS** δορυφορική σειρά, και τη κοινοπραξία των ευρωπαϊκών κοινοτήτων, με τους **Meteosat** δορυφόρους. Και οι δύο είναι γεωστατικοί δορυφόροι που βρίσκονται πάνω από τον ισημερινό, πάνω από την Ιαπωνία και την Ευρώπη αντίστοιχα. Και οι δύο παρέχουν ημίωρη απεικόνιση της Γης παρόμοια με των GOES. Ο **GMS** έχει δύο ζώνες: 0,5 - 0,75  $\mu\text{m}$  (1,25 χιλιόμετρα ανάλυση) και 10,5 - 12,5  $\mu\text{m}$  (5 $\chi\lambda\mu$  ανάλυση). Ο **Meteosat** έχει τρεις ζώνες: ορατή ζώνη (0,4 έως 1,1  $\mu\text{m}$ , Ανάλυση 2,5  $\chi\lambda\mu$ ), mid-IR (5,7 - 7,1  $\mu\text{m}$ , 5 $\chi\lambda\mu$  ανάλυση), και θερμική IR (10,5 - 12,5  $\mu\text{m}$ , 5 $\chi\lambda\mu$  ανάλυση).

## 2.12 Δορυφόροι/Αισθητήρες παρατήρησης γης

### Landsat

Μολονότι πολλά από τα συστήματα δορυφόρων καιρού (όπως εκείνα που περιγράφηκαν στην προηγούμενη ενότητα) χρησιμοποιούνται και για τη παρακολούθηση της επιφάνειας της Γης, δεν έχουν βελτιστοποιηθεί για τη λεπτομερή χαρτογράφηση της επιφάνειας της. Καθοδηγούνται από συναρπαστικές προβολές και μεγάλη επιτυχία των πρώτων μετεωρολογικών δορυφόρων στη δεκαετία του 1960, καθώς και



από τις εικόνες που ελήφθησαν κατά τη διάρκεια επανδρωμένων αποστολών διαστημόπλοιων. Ο πρώτος δορυφόρος είχε σχεδιαστεί ειδικά για να παρακολουθεί την επιφάνεια της Γης. Ο **Landsat-1**, ξεκίνησε από τη NASA το 1972. Αρχικά αναφερόταν ως **ERTS-1** (Δορυφορική Τεχνολογία Πόρων της Γης). Ο **Landsat** ξεκίνησε ως ένα πείραμα για να ελεγχθεί η σκοπιμότητα της



συλλογής πολύ-φασματικών δεδομένων παρατήρησης της Γης από μία μη επανδρωμένη δορυφορική πλατφόρμα. Από εκείνη τη στιγμή, αυτό το εξαιρετικά επιτυχημένο πρόγραμμα έχει συλλέξει μια πληθώρα δεδομένων από όλο τον κόσμο, από διάφορους Landsat δορυφόρους. Αρχικά, η διοίκηση γινόταν από τη NASA, όπου είχε την ευθύνη για το πρόγραμμα Landsat και μεταφέρθηκε στη NOAA το 1983. Το 1985, το πρόγραμμα έγινε εμπορευματοποιημένο, για παροχή στοιχείων στους πολίτες και για διάφορες εφαρμογές των χρηστών.

Η επιτυχία του Landsat οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου: ένας συνδυασμός των αισθητήρων με φασματικές ζώνες προσαρμοσμένες στην παρατήρηση της Γης, λειτουργική χωρική ανάλυση και καλή επιφανειακή κάλυψη (πλάτος λωρίδας και περίοδος επανάφιξης). Η μεγάλη διάρκεια ζωής του προγράμματος παρείχε ένα ογκώδες αρχείο δεδομένων των πόρων της Γης διευκολύνοντας την μακροπρόθεσμη παρακολούθηση, τα ιστορικά αρχεία και την έρευνα. Όλοι οι δορυφόροι Landsat τοποθετούνται σε εγγύς-πολικές, ήλιο-σύγχρονες τροχιές. Οι πρώτοι τρεις δορυφόροι (Landsats 1-3) βρίσκονται σε υψόμετρο περίπου 900 χλμ. και η περίοδος επανάφιξης είναι 18 ημέρες, ενώ οι μεταγενέστεροι δορυφόροι βρίσκονται περίπου σε 700 χιλιόμετρα και η περίοδος επανάφιξης είναι 16 ημέρες. Όλοι οι δορυφόροι Landsat διασχίζουν τον ισημερινό το πρωί για τη βελτιστοποίηση των συνθηκών φωτισμού.

Πολυάριθμοι αισθητήρες που βρίσκονται επί του σκάφους, της σειρά των δορυφόρων Landsat, συμπεριλαμβανομένων το σύστημα κάμερας **Return Beam Vidicon (RBV)**, τα συστήματα πολυφασματικών σαρωτών **MultiSpectral Scanner (MSS)**, και το **Thematic Mapper (TM)**. Το πιο δημοφιλές όργανο για τις πρώτες ημέρες του Landsat ήταν ο πολυφασματικός σαρωτής (MSS) και αργότερα το Thematic Mapper (TM). Κάθε ένας από αυτούς τους αισθητήρες συλλέγουν δεδομένα σε λωρίδα πλάτους 185 χιλιομέτρων, με μία πλήρης προβολή να ορίζεται ως 185 χλμ. x 185 χλμ.

Οι MSS αισθητήρες ανιχνεύουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από την επιφάνεια της Γης σε τέσσερις φασματικές μπάντες. Κάθε μπάντα έχει μια χωρική ανάλυση περίπου 60 x 80 μ. και μια ραδιομετρική ανάλυση 6 bits, ή 64 ψηφιακών αριθμών. Η ανίχνευση επιτυγχάνεται με μία συσκευή γραμμής σάρωσης χρησιμοποιώντας ένα ταλαντευόμενο καθρέφτη. Έξι γραμμές σάρωσης συλλέγονται ταυτόχρονα με κάθε σάρωση από τη δύση προς την ανατολή από τον καθρέφτη σάρωσης. Ο συνοδευτικός πίνακας περιγράφει το εύρος των μηκών κύματος του φάσματος για το MSS.

MSS Bands

Channel		Wavelength Range (μm)
Landsat 1,2,3	Landsat 4,5	
MSS 4	MSS 1	0.5 - 0.6 (green)
MSS 5	MSS 2	0.6 - 0.7 (red)
MSS 6	MSS 3	0.7 - 0.8 (near infrared)
MSS 7	MSS 4	0.8 - 1.1 (near infrared)

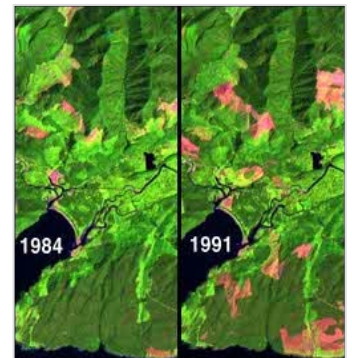
Η τακτική συλλογή των άρχισε από τον Landsat 4 και η χρήση των TM δεδομένων, έχει διάφορες βελτιώσεις σε σχέση με τον αισθητήρα MSS όπως οι εξής: υψηλότερη χωρική και ραδιομετρική ανάλυση, μικρότερες φασματικές ζώνες, επτά, σε αντίθεση με τέσσερις φασματικές ζώνες και μία αύξηση του αριθμού των ανιχνευτών ανά μπάντα (16 για τα μη θερμικά κανάλια έναντι έξι για MSS). Δεκαέξι γραμμές σάρωσης λαμβάνονται ταυτόχρονα για κάθε μη-θερμική φασματική ζώνη (τέσσερις για τη θερμική ζώνη), με τη χρήση ενός ταλαντευμένου κατόπτρου το οποίο σαρώνει κατά τη διάρκεια της προς τα εμπρός (δύση-προς-ανατολή) και της προς τα πίσω (ανατολή-προς-δύση) σάρωσης του καθρέφτη σάρωσης. Η διαφορά αυτή από τον MSS αυξάνει τον **χρόνος παραμονής** (βλ. παράγραφο 2.8) και βελτιώνει τη γεωμετρική και ραδιομετρική ακεραιότητα των δεδομένων. Η χωρική ανάλυση του TM είναι 30m για όλα, αλλά η θερμική υπέρυθη ζώνη είναι 120 m. Όλα τα κανάλια καταγράφονται σε μια περιοχή των 256 ψηφιακών αριθμών (8 bits). Ο συνοδευτικός πίνακας περιγράφει τη φασματική ανάλυση του μεμονωμένων TM ζωνών και μερικές χρήσιμες εφαρμογές του καθενός.



### TM Bands

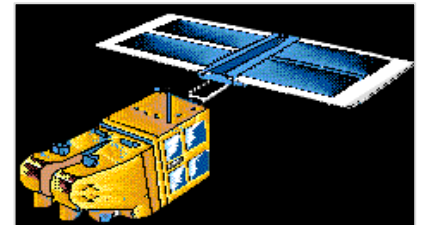
Channel	Wavelength Range ( $\mu\text{m}$ )	Application
TM 1	0.45 - 0.52 (blue)	soil/vegetation discrimination; bathymetry/coastal mapping; cultural/urban feature identification
TM 2	0.52 - 0.60 (green)	green vegetation mapping (measures reflectance peak); cultural/urban feature identification
TM 3	0.63 - 0.69 (red)	vegetated vs. non-vegetated and plant species discrimination (plant chlorophyll absorption); cultural/urban feature identification
TM 4	0.76 - 0.90 (near IR)	identification of plant/vegetation types, health, and biomass content; water body delineation; soil moisture
TM 5	1.55 - 1.75 (short wave IR)	sensitive to moisture in soil and vegetation; discriminating snow and cloud-covered areas
TM 6	10.4 - 12.5 (thermal IR)	vegetation stress and soil moisture discrimination related to thermal radiation; thermal mapping (urban, water)
TM 7	2.08 - 2.35 (short wave IR)	discrimination of mineral and rock types; sensitive to vegetation moisture content

Τα δεδομένα τόσο από τους TM και MSS αισθητήρες χρησιμοποιούνται για μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένων των πόρων διαχείρισης, τη χαρτογράφηση, την παρακολούθηση του περιβάλλοντος, και την ανίχνευση των αλλαγών του. Τα αρχεία των καναδικών εικόνων περιλαμβάνουν πάνω από 350.000 σκηνές των MSS και πάνω 200.000 σκηνές των TM, τα οποία διαχειρίζονται την άδεια διανομής στον Καναδά, η RSI A.E. Πολλές περισσότερες σκηνές παρέχονται από ξένες εγκαταστάσεις σε όλο τον κόσμο.



### SPOT

Το **SPOT** (Système Pour l'Observation de la Terre) είναι μία σειρά από δορυφόρους παρακολούθησης και απεικόνισης της Γης που σχεδιάστηκε και ξεκίνησε από το CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) της Γαλλίας, με την υποστήριξη της Σουηδίας και του Βελγίου. Ο SPOT-1 ξεκίνησε το 1986, με τους «διαδόχους» να ακολουθούν κάθε τρία ή τέσσερα χρόνια. Όλοι οι δορυφόροι είναι σε ήλιο-σύγχρονες, εγγύς-πολικές τροχιές σε υψόμετρο περίπου 830 χιλιόμετρα πάνω από τη Γη, με αποτέλεσμα επανάληψης της τροχιάς κάθε 26 ημέρες. Στις 10:30 π.μ. τοπική ηλιακή ώρα διασχίζουν τον ισημερινό. Το SPOT σχεδιάστηκε για να είναι μία εταιρεία παροχής δεδομένων παρατήρησης της Γης, και ήταν ο πρώτος δορυφόρος που χρησιμοποίησε κατά μήκος-τροχιά, ή τεχνολογία σάρωσης τύπου pushbroom.



Οι δορυφόροι SPOT διαθέτουν ένα «δίδυμο» συστημάτων απεικόνισης **υψηλής ορατής ανάλυσης (HRV)**, το οποίο μπορεί να λειτουργήσει ανεξάρτητα και ταυτόχρονα. Κάθε HRV είναι ικανό να ανιχνεύει είτε σε μια υψηλή χωρική ανάλυση μονού-καναλιού **παγχρωματικής (PLA)** λειτουργίας, ή μια μη λεπτομερή χωρική ανάλυση τριών-καναλιών **πολυφασματικής (MLA)** λειτουργίας. Κάθε κατά μήκος-τροχιάς σάρωση HRV αισθητήρα αποτελείται από τέσσερις γραμμικές συστοιχίες ανιχνευτών: μία σειρά 6000 στοιχείων για τη παγχρωματική λειτουργία της καταγράφοντας σε μία χωρική ανάλυση 10m, και μία συστοιχία 3000 στοιχείων για κάθε μία από τις τρεις πολυφασματικές ζώνες, καταγράφοντας στα 20m χωρικής ανάλυσης. Το πλάτος λωρίδας, στο σημείο ναδίρ, και για τις δύο λειτουργίες είναι 60 χιλιόμετρα. Ο συνοδευτικός πίνακας απεικονίζει τα φασματικά χαρακτηριστικά των δύο διαφορετικών λειτουργιών.

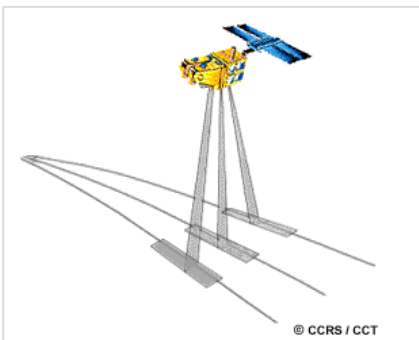
### HRV Mode Spectral Ranges





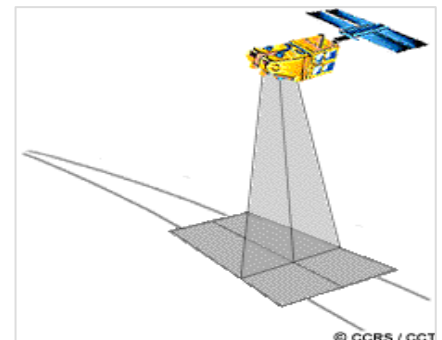
Mode/Band	Wavelength Range ( $\mu\text{m}$ )
Panchromatic (PLA)	0.51 - 0.73 (blue-green-red)
Multispectral (MLA)	
Band 1	0.50 - 0.59 (green)
Band 2	0.61 - 0.68 (red)
Band 3	0.79 - 0.89 (near infrared)

Η οπτική γωνία των αισθητήρων μπορεί να ρυθμιστεί έτσι ώστε να «βλέπουν» από κάθε πλευρά της κάθετης (ναδύρ) τροχιάς του δορυφόρου, επιτρέποντας την **εκτός-ναδύρ προβολή** η οποία αυξάνει την ικανότητα επανάφιξης του δορυφόρου. Αυτή η ικανότητα στρέψης των αισθητήρων μέχρι και  $27^\circ$  από το ναδίρ, επιτρέπει τον SPOT να «βλέπει» εντός 950 χλμ. λωρίδας και να «ξανά-επισκεφτεί» οποιαδήποτε



τοποθεσία αρκετές φορές ανά εβδομάδα. Όταν οι αισθητήρες στραφούν μακριά από το ναδίρ, η λωρίδα ποικίλλει από 60 έως 80 χιλιόμετρα σε πλάτος. Αυτό όχι μόνο βελτιώνει την ικανότητα να παρακολουθεί συγκεκριμένες τοποθεσίες αλλά αυξάνονται και οι πιθανότητες απόκτησης σκηνών χωρίς σύννεφα, αλλά η εκτός ναδύρ προβολή παρέχει επίσης τη δυνατότητα απόκτησης εικόνων για στερεοσκοπική κάλυψη. Με την καταγραφή της ίδιας περιοχής από δύο διαφορετικές γωνίες, οι εικόνες μπορούν να προβληθούν και να αναλυθούν ως ένα τρισδιάστατο μοντέλο, μια τεχνική τεράστιας αξίας για την ερμηνεία, τη χαρτογράφηση, και την οπτική προσομοίωση του εδάφους.

Αυτή η δυνατότητα της πλάγιας προβολής αυξάνει την συχνότητα επανάφιξης των περιοχών του ισημερινού έως τρεις ημέρες (επτά φορές κατά τη διάρκεια των 26 ημερών του τροχιακού κύκλου). Οι περιοχές με γεωγραφικό πλάτος  $45^\circ$  μπορεί να απεικονίζονται πιο συχνά (11 φορές σε 26 ημέρες), λόγω σύγκλισης των μονοπατιών της τροχιάς προς τους πόλους. Στρέφοντας και τους δύο HRV αισθητήρες να καλύψουν **παρακείμενες επίγειες λωρίδες** στο ναδίρ, μια λωρίδα 117 χιλιομέτρων (με 3 χλμ επικάλυψη μεταξύ των δύο λωρίδων) μπορεί να απεικονιστεί. Με αυτόν τον τρόπο λειτουργίας, μπορούν να συλλέγονται, παγχρωματικά ή πολυφασματικά δεδομένα, αλλά όχι και τα δύο ταυτόχρονα.



Ο SPOT έχει μια σειρά από πλεονεκτήματα σε σχέση τους με άλλους διαστημικούς οπτικούς αισθητήρες. Η λεπτομερής χωρική του ανάλυση και κατευθυντικοί αισθητήρες είναι οι κύριοι λόγοι της δημοτικότητάς του. Τα πολυφασματικά δεδομένα τριών μπάντων είναι κατάλληλα για την εμφάνιση ψευδοχρωματικών εικόνων και η παγχρωματική μπάντα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να «ακονίσει» τη χωρική λεπτομέρεια στα πολυφασματικά δεδομένα. Ο SPOT επιτρέπει εφαρμογές που απαιτούν μεγάλη χωρική λεπτομέρεια (όπως είναι η **αστική χαρτογράφηση**) για να αντιμετωπιστούν καθώς διατηρείται το

κόστος και το επίκαιρο όφελος των δορυφορικών δεδομένων. Οι πιθανές εφαρμογές των SPOT δεδομένων είναι πολυάριθμες. Εφαρμογές που απαιτούν συχνή παρακολούθηση (γεωργία, δασοκομία) εξυπηρετούνται πολύ καλά από τους SPOT αισθητήρες. Η εξαγορά στερεοσκοπικών εικόνων από τους SPOT έχει διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στις εφαρμογές χαρτογράφησης και στη παραγωγή τοπογραφικών πληροφοριών (Digital Elevation Models - DEMs) από δορυφορικά δεδομένα.



## IRS

Η Ινδική σειρά δορυφόρων Τηλεπισκόπησης (IRS), συνδυάζει χαρακτηριστικά τόσο των Landsat MSS/TM αισθητήρων και όσο και του SPOT HRV αισθητήρα. Ο τρίτος δορυφόρος στη σειρά, IRS-1C, που ξεκίνησε τον Δεκέμβριο του 1995, έχει τρεις αισθητήρες: ένα μονό-κανάλι παγχρωματικής (PAN) υψηλής ανάλυσης κάμερας, μια μέτρια ανάλυση τεσσάρων καναλιών γραμμικής απεικόνισης αυτό-σάρωσης Linear Imaging Self-Sensor (LISS-III) και μία μικρή ανάλυση δύο καναλιών Wide Field Sensor (WiFS). Ο συνοδευτικός πίνακας περιγράφει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κάθε αισθητήρα.

IRS Sensors

Sensor	Wavelength Range (μm)	Spatial Resolution	Swath Width	Revisit Period (at equator)
PAN	0.5 - 0.75	5.8 m	70 km	24 days
<b>LISS-II</b>				
Green	0.52 - 0.59	23 m	142 km	24 days
Red	0.62 - 0.68	23 m	142 km	24 days
Near IR	0.77 - 0.86	23 m	142 km	24 days
Shortwave IR	1.55 - 1.70	70 m	148 km	24 days
<b>WiFS</b>				
Red	0.62 - 0.68	188 m	774 km	5 days
Near IR	0.77 - 0.86	188 m	774 km	5 days

Εκτός από την υψηλή χωρική ανάλυση του, ο παγχρωματικός αισθητήρας μπορεί να κατευθυνθεί έως 26° κατά πλάτος τροχιάς, επιτρέποντας τη στερεοσκοπική απεικόνιση και την αύξηση των δυνατοτήτων επανάφιξης (τουλάχιστον πέντε ημερών), παρόμοια με τον SPOT. Αυτά τα δεδομένα υψηλής ανάλυσης είναι χρήσιμα για τις εφαρμογές αστικού σχεδιασμού και χαρτογράφησης. Οι τέσσερις LISS-III πολυφασματικές ζώνες είναι παρόμοιες με τις Landsat TM ζώνες από 1 έως 4 και είναι εξαιρετικές για τις διακρίσεις βλάστησης, τη χαρτογράφηση της εδαφοκάλυψης και το σχεδιασμό των φυσικών πόρων. Ο αισθητήρας WiFS είναι παρόμοιος με τις ζώνες NOAA AVHRR και η χωρική ανάλυση και κάλυψη είναι χρήσιμες για την περιφερειακή κλίμακα παρακολούθησης της βλάστησης.

## MEIS-II και CASI

Παρά το γεγονός ότι αυτό το εγχειρίδιο επικεντρώνεται στους δορυφορικούς αισθητήρες, αξίζει να αναφερθεί ένα ζευγάρι καναδικών αερομεταφερόμενων αισθητήρων οι οποίοι έχουν χρησιμοποιηθεί για διάφορες εφαρμογές τηλεπισκόπησης, καθώς τα συστήματα αυτά (και άλλα σαν αυτά) έχουν επηρεάσει το σχεδιασμό και την ανάπτυξη του δορυφορικών συστημάτων. Ο πρώτος είναι ο MEIS-II (**Πολυφασματικός Ηλεκτρο-οπτικός σαρωτής απεικόνισης**) αισθητήρας που αναπτύχθηκε για το Κέντρο Τηλεπισκόπησης του Καναδά. Αν και δεν είναι πλέον ενεργός, ο MEIS ήταν ο πρώτος επιχειρησιακός αισθητήρας με χρήση της τεχνολογίας pushbroom, ή σάρωση κατά μήκος της τροχιάς, σε μία εναέρια πλατφόρμα. Ο αισθητήρας συνέλλεγε 8-bit δεδομένων (256 ψηφιακών αριθμών) σε οκτώ φασματικές ζώνες που κυμαίνονται από 0,39 έως 1,1 μm, χρησιμοποιώντας γραμμικές συστοιχίες από 1728 ανιχνευτές ανά ζώνη. Τα συγκεκριμένα εύρη μηκών κυμάτων ήταν επιλέξιμα, επιτρέποντας διαφορετικούς συνδυασμούς ζωνών που πρέπει να χρησιμοποιηθεί για τις διαφορετικές εφαρμογές. Η Stereo απεικόνιση από μια ενιαία γραμμή πτήσης ήταν επίσης δυνατή, με κανάλια που είχαν σαν στόχο μπροστά και πίσω από το σημείο ναδίρ, συμπληρώνοντας τους άλλους αισθητήρες, που έχουν ως «θέα» το ναδίρ. Τόσο η στερεο-χαρτογράφηση όσο και οι δυνατότητες επιλογής της μάντας ήταν χρήσιμες για την έρευνα και την ανάπτυξη που εφαρμόστηκε με σκοπό την ανάπτυξη των άλλων δορυφορικών (αισθητήρων) συστημάτων.



Ο CASI (**Compact Airborne Spectrographic Imager**), κατέχει ηγετική θέση στην εναέρια απεικόνιση, που είναι η πρώτη φασματομετρική εμπορική απεικόνιση. Αυτός ο υπερφασματικός αισθητήρας ανιχνεύει ένα ευρύ φάσμα στενών φασματικών ζωνών στο ορατό και υπέρυθρο μήκος κύματος, χρησιμοποιώντας κατά μήκος τροχιάς σάρωση. Το φασματικό εύρος που καλύπτεται από τα 288 κανάλια είναι μεταξύ 0,4 και 0,9  $\mu\text{m}$ . Κάθε μπάντα καλύπτει ένα φάσμα μήκους κύματος 0,018  $\mu\text{m}$ . Ενώ η χωρική διακριτική ικανότητα εξαρτάται από το υψόμετρο του αεροσκάφους, οι φασματικές ζώνες που μετρώνται και τα εύρη ζωνών που χρησιμοποιούνται είναι όλα προγραμματισμένα να πληρούν τις προδιαγραφές και τις απαιτήσεις του χρήστη. Οι υπερφασματικοί αισθητήρες, όπως αυτός μπορούν να είναι σημαντικές πηγές διαγνωστικών πληροφοριών σχετικές με ειδικούς στόχους: απορρόφηση και ανάκλαση χαρακτηριστικών, παρέχοντας στη πραγματικότητα ένα φασματικό «δακτυλικό αποτύπωμα». Ο πειραματισμός με το CASI και άλλα εναέρια φασματόμετρα απεικόνισης βοήθησε στη καθοδήγηση ανάπτυξης υπερφασματικών συστημάτων αισθητήρων για προηγμένα δορυφορικά συστήματα.

### 2.13 Θαλάσσιοι Δορυφόροι /Αισθητήρες Παρατήρησης

Οι ωκεανοί καλύπτουν περισσότερο από τα δύο τρίτα της επιφάνειας της Γης και διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στο παγκόσμιο κλιματικό σύστημα. Επίσης, περιέχουν μια αφθονία ζωντανών οργανισμών και φυσικούς πόρους που είναι ευαίσθητοι στη ρύπανση και σε άλλους ανθρωπογενείς κινδύνους. Οι δορυφόροι/αισθητήρες μετεωρολογικής και επίγειας παρατήρησης που συζητήθηκαν στις προηγούμενες δύο ενότητες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση των ωκεανών του πλανήτη, αλλά υπάρχουν και άλλοι δορυφόροι/αισθητήρες οι οποίοι έχουν σχεδιαστεί ειδικά για το σκοπό αυτό.

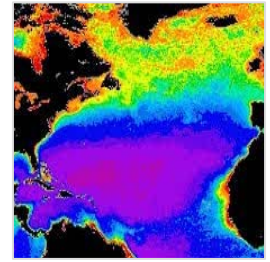
Ο Nimbus-7 δορυφόρος, ο οποίος ξεκίνησε το 1978, είχε σαν πρώτο αισθητήρα, τον **Coastal Zone Colour Scanner (CZCS)**, που προοριζόταν ειδικά για την παρακολούθηση των ωκεανών της Γης και των υδάτινων σωμάτων. Ο πρωταρχικός στόχος του αισθητήρα ήταν να παρατηρεί το χρώμα των ωκεανών και τη θερμοκρασία τους, ιδιαίτερα στις παράκτιες ζώνες, με επαρκή χωρική και φασματική ανάλυση για την ανίχνευση ρύπων στα ανώτερα επίπεδα του ωκεανού έτσι ώστε να προσδιοριστεί η φύση των υλικών σε εναιώρηση εντός της στήλης ύδατος. Ο δορυφόρος Nimbus τοποθετήθηκε σε ήλιο-σύγχρονη, εγγύς-πολική τροχιά σε ένα υψόμετρο 955 χλμ. Οι ώρες διάσχισης του ισημερινού ήταν τοπικό μεσημέρι με αυξητικά περάσματα και τοπικά μεσάνυχτα με φθίνοντα περάσματα. Ο κύκλος επανάληψης του δορυφόρου επιτρέπει την παγκόσμια κάλυψη κάθε έξι ημέρες, ή κάθε 83 τροχιές. Ο αισθητήρας CZCS αποτελείται από έξι φασματικές ζώνες στο ορατό, εγγύς-υπέρυθρο, και θερμικά τμήματα του φάσματος με κάθε μία να συλλέγει δεδομένα σε μια χωρική ανάλυση των 825 m στο σημείο ναδίρ πλάτους λωρίδας άνω των 1566 χλμ. Ο συνοδευτικός πίνακας περιγράφει τις φασματικές περιοχές της κάθε ζώνης και την κύρια παράμετρο που μετράται από την κάθε μία.

**CZCS Spectral Bands**

Channel	Wavelength Range ( $\mu\text{m}$ )	Primary Measured Parameter
1	0.43 - 0.45	Chlorophyll absorption
2	0.51 - 0.53	Chlorophyll absorption
3	0.54 - 0.56	Gelbstoffe (yellow substance)
4	0.66 - 0.68	Chlorophyll concentration
5	0.70 - 0.80	Surface vegetation
6	10.5 - 12.50	Surface temperature



Όπως μπορεί να φανεί από τον πίνακα, οι τέσσερις πρώτες ζώνες του αισθητήρα CZCS είναι πολύ στενές. Είχαν βελτιστοποιηθεί για να επιτρέπουν λεπτομερή διάκριση των διαφορών στην ανάκλαση του νερού που οφείλεται σε **συγκεντρώσεις φυτοπλαγκτόν** και άλλων αιωρούμενων σωματιδίων εντός του ύδατος. Εκτός από το να ανιχνεύει την επιφανειακή βλάστηση στο νερό, η ζώνη 5 χρησιμοποιούταν για την διάκριση του νερού από τη γη πριν από την επεξεργασία των άλλων ζωνών της πληροφορίας. Ο αισθητήρας CZCS σταμάτησε τη λειτουργία του το 1986.



## MOS

Ο πρώτος Δορυφόρος Θαλάσσιας Παρατήρησης (MOS-1) ξεκίνησε από την Ιαπωνία το Φεβρουάριο του 1987 και ακολούθησε ο διάδοχός του, MOS-1β, το Φεβρουάριο του 1990. Οι δορυφόροι αυτοί μεταφέρουν τρεις διαφορετικούς αισθητήρες: ένα τετρακάναλο Multispectral Electronic Self-Scanning Radiometer (MESSR), ένα τετρακάναλο Visible and Thermal Infrared Radiometer (VTIR) και ένα δύο καναλιών Microwave Scanning Radiometer (MSR), στο τμήμα μικροκυμάτων του φάσματος. Τα χαρακτηριστικά των δύο αισθητήρων σε στο ορατό/υπέρυθρο περιγράφονται στο συνοδευτικό πίνακα.

**MOS Visible/Infrared Instruments**

Sensor	Wavelength Ranges (μm)	Spatial Resolution	Swath Width
MESSR	0.51 - 0.59	50 m	100 km
	0.61 - 0.69	50 m	100 km
	0.72 - 0.80	50 m	100 km
	0.80 - 1.10	50 m	100 km
VTIR	0.50 - 0.70	900 m	1500 km
	6.0 - 7.0	2700 m	1500 km
	10.5 - 11.5	2700 m	1500 km
	11.5 - 12.5	2700 m	1500 km

Οι ζώνες MESSR είναι αρκετά παρόμοιες στις περιοχές του φάσματος του αισθητήρα Landsat MSS και έτσι είναι χρήσιμες για εφαρμογές εδάφους όπως επίσης και για παρατηρήσεις του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Τα MOS συστήματα τροχιάς βρίσκονται σε ύψος περίπου 900 χλμ. και έχουν περιόδους επανάφιξης 17 ημερών.

## SeaWiFS

Οι SeaWiFS (Sea-viewing Wide-Field-of View Sensor) επί του διαστημικού σκάφους SeaStar έχει ένα προηγμένο αισθητήρα σχεδιασμένο για παρακολούθηση των ωκεανών. Αποτελείται από οκτώ φασματικές ζώνες πολύ στενού εύρους μήκους κύματος (βλ. συνοδευτικό πίνακα) προσαρμοσμένες για πολύ ειδική ανίχνευση και παρακολούθηση των διαφόρων φαινομένων των ωκεανών συμπεριλαμβανομένων: πρωτογενής παραγωγή των ωκεανών και διαδικασίες παραγωγής φυτοπλαγκτόν, επιρροές των ωκεανών στις κλιματικές διαδικασίες (αποθήκευση θερμότητας και σχηματισμούς αεροζόλ) και παρακολούθηση των κύκλων του άνθρακα, θείου και αζώτου. Το υψόμετρο της τροχιάς είναι 705 χλμ και περνά τον ισημερινό με ώρα διέλευσης τις 12 μμ. Δύο συνδυασμοί χωρικής ανάλυσης και πλάτους λωρίδας είναι διαθέσιμοι για κάθε μπάντα: μια λειτουργία υψηλότερης ανάλυσης από 1,1 χιλιόμετρα (στο ναδίρ) πάνω από μια λωρίδα 2800 χιλιομέτρων, και μια λειτουργία χαμηλότερης ανάλυσης από 4,5 χιλιόμετρα (στο ναδίρ) πάνω από μια λωρίδα 1500 χιλιομέτρων.

### SeaWiFS Spectral Bands

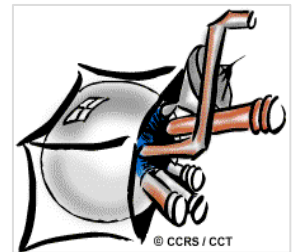


Channel	Wavelength Ranges ( $\mu\text{m}$ )
1	0.402 - 0.422
2	0.433 - 0.453
3	0.480 - 0.500
4	0.500 - 0.520
5	0.545 - 0.565
6	0.660 - 0.680
7	0.745 - 0.785
8	0.845 - 0.885

Αυτά τα δορυφορικά συστήματα ωκεάνιας παρατήρησης είναι σημαντικά για την παγκόσμια και περιφερειακή κλίμακα παρακολούθησης ωκεάνιας ρύπανσης και υγείας, βοηθώντας τους επιστήμονες στην κατανόηση της επίδρασης και των επιπτώσεων των ωκεανών στο παγκόσμιο κλιματικό σύστημα.

## 2.14 Άλλοι Αισθητήρες

Οι τρεις προηγούμενες ενότητες παρέχουν μια αντιπροσωπευτική επισκόπηση των ειδικών συστημάτων που διατίθενται για την τηλεπισκόπηση στα οπτικά τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Ωστόσο, υπάρχουν πολλοί **άλλοι λιγότερο κοινοί τύποι αισθητήρων**, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για σκοπούς τηλεπισκόπησης. Αναφέρονται εν συντομία μερικοί από αυτούς τους άλλους τύπους αισθητήρων. Οι πληροφορίες αυτές δεν θεωρούνται ολοκληρωμένες, αλλά χρησιμεύουν ως μια εισαγωγή στις εναλλακτικές πηγές απεικόνισης καθώς και στις έννοιες της.



### Video

Μολονότι οι βίντεο-κάμερες έχουν χωρική ανάλυση με λιγότερη λεπτομέρεια σε σχέση με την παραδοσιακή φωτογραφία ή την ψηφιακή απεικόνιση, παρέχουν ένα χρήσιμο μέσο για την απόκτηση έγκαιρης και ανέξοδης συλλογής δεδομένων καθώς και εικόνες σχολιασμένες φωνητικά. Οι εφαρμογές με τις απαιτήσεις αυτές περιλαμβάνουν: διαχείριση φυσικών καταστροφών (πυρκαγιές, πλημμύρες), αξιολόγηση καλλιεργειών και ασθενειών, έλεγχο των περιβαλλοντικών κινδύνων και αστυνομική εποπτεία. Οι κάμερες που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση ακτινοβολίας και εγγραφή σε βίντεο στο ορατό, στο εγγύς-υπέρυθρο και ενίοτε στα μέσα-υπέρυθρα τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Τα δεδομένα εικόνας καταγράφονται σε κασέτα και μπορούν να προβληθούν αμέσως.

### FLIR

Τα Forward Looking InfraRed (FLIR) λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο όπως τους κατά πλάτος τροχιάς θερμικούς αισθητήρες απεικόνισης, αλλά παρέχουν μια πλάγια προοπτική αντί της ναδίρ προοπτική της επιφάνειας της Γης. Τυπικά τοποθετούνται επί των αεροσκαφών ή ελικοπτέρων και απεικονίζουν την περιοχή στο μπροστινό μέρος της πλατφόρμας. Τα FLIR συστήματα παρέχουν σχετικά υψηλή χωρική ανάλυση απεικόνισης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για στρατιωτικές εφαρμογές, επιχειρήσεις αναζήτησης και διάσωσης, την επιβολή του νόμου, καθώς και τη παρακολούθηση των δασικών πυρκαγιών.

### Laser fluorosensor

Ορισμένοι στόχοι φθορίζουν ή εκπέμπουν ενέργεια με τη λήψη προσπίπτουσας ενέργειας. Αυτό δεν είναι μία απλή ανάκλαση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, αλλά μάλλον μια απορρόφηση της αρχικής



ενέργειας, μία διέγερση των μοριακών συστατικών των υλικών του στόχου και μία εκπομπή ακτινοβολίας μεγαλύτερου μήκους κύματος, η οποία στη συνέχεια μετράται από τον αισθητήρα. Τα Laser fluorosensor φωτίζουν το στόχο με ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος της ακτινοβολίας και είναι ικανά για την ανίχνευση πολλαπλών μηκών κύματος φθορίζουσας ακτινοβολίας. Αυτή η τεχνολογία έχει αποδειχθεί η καλύτερη για εφαρμογές στον ωκεανό, όπως χαρτογράφηση της χλωροφύλλης και ανίχνευση ρύπων, ιδιαίτερα για φυσικές και λόγω ατυχημάτων πετρελαιοκηλίδες.

## Lidar

Η Lidar (Light Detection And Ranging) είναι μία ενεργή τεχνολογία απεικόνισης αρκετά όμοια με το RADAR (βλ. επόμενη παράγραφο). Οι παλμοί φωτός του laser εκπέμπονται από τον αισθητήρα και η ενέργεια ανακλάται από το στόχο που έχει ανιχνευθεί. Ο χρόνος που απαιτείται για την ενέργεια να φτάσει τον στόχο και να επιστρέψει στον αισθητήρα ορίζει την απόσταση μεταξύ των δύο. Η Lidar χρησιμοποιείται αποτελεσματικά για μέτρηση ύψους των χαρακτηριστικών, όπως την κομοστέγη ενός δάσους σε σχέση με την επιφάνεια του εδάφους, και βάθος νερού σχετικά με την επιφάνεια του (laser profilometer). Η Lidar χρησιμοποιείται επίσης σε ατμοσφαιρικές μελέτες για την εξέταση του περιεχομένου των σωματιδίων των διαφόρων στρωμάτων της ατμόσφαιρας της Γης και αποκτά ανάγνωση της πυκνότητας του αέρα καθώς επίσης και τη παρακολούθηση ρευμάτων του αέρα.

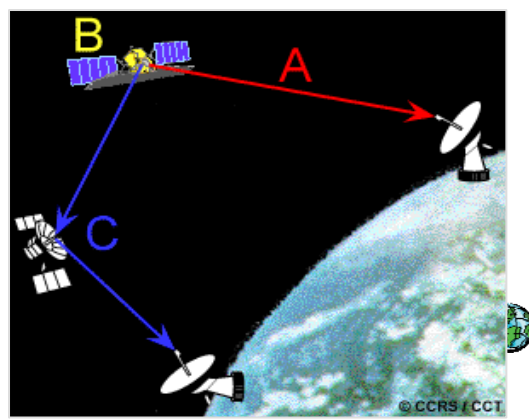
## RADAR

Το RADAR αποτελεί ακρωνύμιο για Radio Detection And Ranging. Τα συστήματα ραντάρ είναι ενεργοί αισθητήρες που παρέχουν τη δική τους πηγή ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας. Οι ενεργοί αισθητήρες ραντάρ, είτε εναέριοι είτε διαστημικοί, εκπέμπουν ακτινοβολία μικροκυμάτων σε μια σειρά παλμών από μια κεραία, κοιτάζοντας λοξά στην επιφάνεια της Γης, κάθετη προς την κατεύθυνση της κίνησης της. Όταν η ενέργεια φθάσει στο στόχο, μέρος της ενέργειας ανακλάται πίσω στον αισθητήρα. Αυτή η οπισθοσκεδαζόμενη μικροκυματική ακτινοβολία ανιχνεύεται, μετράται και χρονολογείται. Ο χρόνος που απαιτείται από την ενέργεια για να ταξιδέψει στο στόχο και να επιστρέψει πίσω στον αισθητήρα καθορίζει την απόσταση ή το εύρος από το στόχο. Καταγράφοντας το εύρος και το μέγεθος της ενέργειας που ανακλάται από όλους τους στόχους καθώς το σύστημα περνά, μπορεί να παραχθεί μία δισδιάστατη εικόνα της επιφάνειας. Επειδή το RADAR παρέχει τη δική του πηγή ενέργειας, οι εικόνες μπορούν να αποκτηθούν κατά τη διάρκεια της ημέρας ή της νύχτας. Επίσης, η ενέργεια των μικροκυμάτων είναι σε θέση να διεισδύσει μέσα από τα σύννεφα και τη βροχή, γεγονός που το καθιστά παντός καιρού αισθητήρα.

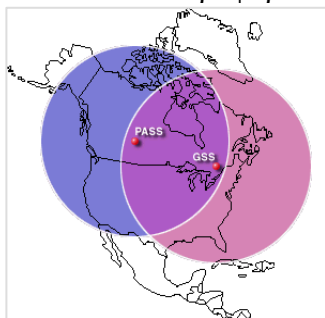
## 2.15 Δεδομένα Λήψης, Μετάδοση και Επεξεργασίας

Τα δεδομένα που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια εναέριων αποστολών τηλεπισκόπησης μπορούν να ανακτηθούν όταν το αεροσκάφος προσγειωθεί. Στη συνέχεια, μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία και να παραδοθούν στον τελικό χρήστη. Ωστόσο, τα δεδομένα που αποκτώνται από τις δορυφορικές πλατφόρμες πρέπει να διαβιβάζονται ηλεκτρονικά στη Γη, αφού ο δορυφόρος συνεχίζει να παραμένει σε τροχιά κατά τη διάρκεια της επιχειρησιακής ζωής του. Οι τεχνολογίες που έχουν σχεδιαστεί για την επίτευξη αυτού μπορούν να χρησιμοποιηθούν από μία εναέρια πλατφόρμα, εάν τα δεδομένα χρειάζεται να μεταφερθούν επειγόντως στη βάση.

Υπάρχουν τρεις κύριες επιλογές για τη **μετάδοση δεδομένων** που αποκτώνται από τους δορυφόρους στην επιφάνεια. Τα δεδομένα μπορούν να διαβιβάζονται άμεσα στη Γη αν ο Σταθμός Εδάφους (GRS) είναι στη γραμμική όραση του δορυφόρου (A). Αν αυτό δεν είναι δυνατό σε αυτή τη περίπτωση, τα δεδομένα μπορούν να καταγράφονται επί του δορυφόρου (B) για μετάδοση σε έναν GRS σε μετέπειτα χρόνο. Τα δεδομένα μπορούν επίσης να



αναμεταδίδονται στο GRS μέσω του Tracking and Data Relay Satellite System (TDRSS) (C), το οποίο αποτελείται από μια σειρά επικοινωνιακών δορυφόρων σε γεωσύγχρονη τροχιά. Τα δεδομένα μεταδίδονται από τον ένα δορυφόρο στον άλλο μέχρι να φτάσουν τον κατάλληλο GRS.



Στον Καναδά, το CCRS λειτουργεί δύο **σταθμούς υποδοχής στο έδαφος** – ένας ο Cantley, Québec (GSS) λίγο έξω από την Οτάβα και ένας άλλος στο Prince Albert, Saskatchewan (PASS). Οι συνδυασμένοι κύκλοι κάλυψης για αυτούς τους καναδικούς επίγειους σταθμούς επιτρέπει τη δυνατότητα για λήψη σε πραγματικό χρόνο ή την καταγραφή δεδομένων από δορυφόρους που διέρχονται πάνω από σχεδόν οποιοδήποτε μέρος της γης του Καναδά, και ένα μεγάλο μέρος των Ηνωμένων Πολιτειών. Παρόμοιοι επίγειοι σταθμοί έχουν δημιουργηθεί σε όλο τον κόσμο για τη συλλογή των δεδομένων από μια ποικιλία δορυφόρων.

Τα δεδομένα λαμβάνονται στο GRS σε μία ανεπεξέργαστη ψηφιακή μορφή. Μπορούν στη συνέχεια, εάν είναι απαραίτητο, να επεξεργασθούν για να διορθωθούν οι συστηματικές, γεωμετρικές και ατμοσφαιρικές στρεβλώσεις στην απεικόνιση, και να μεταφραστούν σε τυποποιημένη μορφή. Τα δεδομένα γράφονται σε κάποιο μέσο αποθήκευσης όπως κασέτα, δισκέτα ή CD. Τα δεδομένα συνήθως αρχειοθετούνται στους περισσότερους σταθμούς λήψης και επεξεργασίας, και «γεμάτες» βιβλιοθήκες δεδομένων διαχειρίζονται από κρατικές υπηρεσίες, όπως οι εμπορικές εταιρίες που είναι υπεύθυνες για τα αρχεία κάθε αισθητήρα.

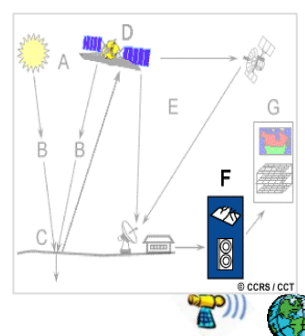
Για πολλούς αισθητήρες είναι δυνατή η παροχή στους πελάτες απεικόνιση γρήγορης επαναφοράς όταν χρειάζονται δεδομένα το συντομότερο δυνατόν, μετά τη συλλογή τους. Τα συστήματα επεξεργασίας που βρίσκονται κοντά σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιούνται για την παραγωγή εικόνων χαμηλής ανάλυσης σε έντυπη ή ηλεκτρονική μορφή (ψηφιακά) μέσα σε κάποιες ώρες από την απόκτηση των δεδομένων. Τέτοιες εικόνες μπορούν στη συνέχεια να αποσταλούν με φαξ ή να μεταδοθούν ψηφιακά στους τελικούς χρήστες. Μία εφαρμογή αυτού του τύπου γρήγορης επεξεργασίας δεδομένων είναι να παρέχει εικόνες σε πλοία που πλέουν στην περιοχή της Αρκτικής, καθώς τους επιτρέπει να αξιολογούν τις τρέχουσες συνθήκες πάγου γρήγορα, προκειμένου να παρθούν αποφάσεις πλοήγησης σχετικά με την ευκολότερη/ασφαλέστερη διαδρομή μέσα από τον πάγο. Η real-time επεξεργασία εικόνας σε αερομεταφερόμενα συστήματα έχει χρησιμοποιηθεί, για παράδειγμα, στη παροχή θερμικών υπέρυθρων εικόνων στους πυροσβέστες ενός δάσους.

Οι εικόνες γρήγορης επισκόπησης που έχουν χαμηλή ανάλυση χρησιμοποιούνται για την προεπισκόπηση εικόνων πριν από την αγορά. Η χωρική και ραδιομετρική ποιότητα αυτών των τύπων δεδομένων των προϊόντων είναι υποβαθμισμένη, αλλά είναι χρήσιμοι για να εξασφαλίσει ότι η συνολική ποιότητα, κάλυψη και νεφοκάλυψη είναι οι κατάλληλες.

### 3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ

#### 3.1 Εισαγωγή

Προκειμένου να επωφεληθούμε και να κάνουμε καλή χρήση των δεδομένων τηλεπισκόπησης, πρέπει να είμαστε σε θέση να εξάγουμε ουσιαστικές πληροφορίες από τις εικόνες. Αυτό μας φέρνει το θέμα της συζήτησης σε αυτό το κεφάλαιο (**ερμηνεία και ανάλυση**) το έκτο στοιχείο της επεξεργασίας της τηλεπισκόπησης, που ορίσαμε στο κεφάλαιο 1. Η ερμηνεία και ανάλυση των εικόνων τηλεπισκόπησης περιλαμβάνει την ταυτοποίηση και/ή την μέτρηση των διαφορών



στόχων σε μια εικόνα με σκοπό την εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών σχετικά με αυτούς. Οι στόχοι των εικόνων τηλεπισκόπησης μπορεί να είναι κάποιο χαρακτηριστικό ή αντικείμενο το οποίο μπορεί να παρατηρηθεί σε μια εικόνα και να έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- ❖ Οι στόχοι μπορεί να είναι ένα σημείο, γραμμή, ή χαρακτηριστική περιοχή. Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να έχουν οποιαδήποτε μορφή, από ένα λεωφορείο σε ένα παρκινγκ ή ένα αεροπλάνο σε ένα διάδρομο, σε μια γέφυρα ή δρόμο, σε μια μεγάλη έκταση με νερό ή ένα πεδίο.
- ❖ Ο στόχος πρέπει να είναι διακριτός. Πρέπει να είναι σε αντίθεση με τα άλλα χαρακτηριστικά γύρω από αυτόν.



Πολλές ερμηνείες και ταυτοποιήσεις των στόχων σε εικόνες τηλεπισκόπησης χρησιμοποιούνται με χειροκίνητα ή οπτικά μέσα, δηλαδή από έναν άνθρωπο διερμηνέα. Σε πολλές περιπτώσεις, αυτό γίνεται με τη χρήση εικόνων που εμφανίζονται σε μια εικονική ή τύπου φωτογραφίας μορφή, ανεξάρτητα από τι τύπου αισθητήρα χρησιμοποιούνταν για τη συλλογή και πώς συλλέχθηκαν τα δεδομένα. Σε αυτή την περίπτωση, αναφερόμαστε στα δεδομένα όπως είναι σε **αναλογική** μορφή. Όπως συζητήσαμε στο Κεφάλαιο 1, οι εικόνες τηλεπισκόπησης μπορεί επίσης να παρουσιάζονται σε έναν υπολογιστή ως συστοιχίες εικονοστοιχείων, με κάθε εικονοστοιχείο να αντιστοιχεί σε έναν ψηφιακό αριθμό, που αντιπροσωπεύει το επίπεδο φωτεινότητας του στην εικόνα. Σε αυτή την περίπτωση, τα δεδομένα είναι σε **ψηφιακή** μορφή. Η οπτική ερμηνεία μπορεί επίσης να πραγματοποιηθεί με εξέταση των ψηφιακών εικόνων που εμφανίζονται στην οθόνη ενός υπολογιστή. Και οι δύο αναλογικές και ψηφιακές εικόνες μπορούν να εμφανίζονται ως μαύρες και άσπρες (ονομάζεται επίσης μονόχρωμες) εικόνες, είτε ως έγχρωμες εικόνες (ανατρέξτε πίσω στο κεφάλαιο 1, ενότητα 1.7) με το συνδυασμό διαφορετικών καναλιών ή ζωνών που εκπροσωπούν διαφορετικά μήκη κύματος.



Όταν δεδομένα τηλεπισκόπησης είναι διαθέσιμα σε ψηφιακή μορφή, η **ψηφιακή επεξεργασία και ανάλυση** μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση ενός υπολογιστή. Η ψηφιακή επεξεργασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ενισχύσει τα δεδομένα ως προετούδιο στην οπτική ερμηνεία. Η ψηφιακή επεξεργασία και ανάλυση μπορεί επίσης να πραγματοποιείται και αυτόματα για τον εντοπισμό στόχων και να εξάγει πληροφορίες χωρίς χειροκίνητη παρέμβαση από ένα ανθρώπινο διερμηνέα. Ωστόσο σπάνια, η ψηφιακή επεξεργασία και ανάλυση διενεργείται ως μία πλήρης αντικατάσταση της χειροκίνητης ερμηνείας. Συχνά, αυτό γίνεται για να συμπληρωθεί και να βοηθηθεί ο ανθρώπινος αναλυτής.

Η χειροκίνητη ερμηνεία και ανάλυση χρονολογείται από τις πρώτες μέρες της τηλεπισκόπησης ερμηνεία αεροφωτογραφιών. Η ψηφιακή επεξεργασία και ανάλυση είναι πιο πρόσφατη με την έλευση της ψηφιακής καταγραφής των δεδομένων τηλεπισκόπησης και την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Και οι χειροκίνητες και οι ψηφιακές τεχνικές για την ερμηνεία των δεδομένων τηλεπισκόπησης έχουν τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους. Σε γενικές γραμμές, η χειροκίνητη ερμηνεία απαιτεί λίγα, εάν υπάρχει εξειδικευμένος εξοπλισμός, ενώ η ψηφιακή ανάλυση απαιτεί εξειδικευμένο και συχνά ακριβό





εξοπλισμό. Η χειροκίνητη ερμηνεία συχνά περιορίζεται στην ανάλυση μόνο ενός ενιαίου καναλιού των δεδομένων ή μία ενιαία εικόνα, λόγω της δυσκολίας του χρόνου στην εκτέλεση οπτικής ερμηνείας με πολλαπλές εικόνες. Το περιβάλλον του υπολογιστή είναι περισσότερο δεκτικό στο να χειρίζεται πολύπλοκες εικόνες ορισμένων ή πολλών καναλιών ή από διάφορες ημερομηνίες. Υπό την έννοια αυτή, η ψηφιακή ανάλυση είναι χρήσιμη για την ταυτόχρονη ανάλυση πολλών φασματικών ζωνών και μπορεί να επεξεργαστεί μεγάλα σύνολα δεδομένων πολύ πιο γρήγορα από ότι ένας ανθρώπινος διερμηνέας. Η χειροκίνητη ερμηνεία είναι μια υποκειμενική διαδικασία, πράγμα που σημαίνει ότι τα αποτελέσματα θα ποικίλουν στους διάφορους διερμηνείς. Η ψηφιακή ανάλυση βασίζεται στην χειραγώγηση των ψηφιακών αριθμών σε ένα υπολογιστή και έτσι είναι περισσότερο αντικειμενική, γενικά οδηγεί σε πιο σταθερά αποτελέσματα. Ωστόσο, ο καθορισμός της ισχύος και της ακρίβειας των αποτελεσμάτων από την ψηφιακή επεξεργασία μπορεί να είναι δύσκολος.

Είναι σημαντικό να επαναληφθεί ότι οι οπτικές και ψηφιακές αναλύσεις εικόνων τηλεπισκόπησης δεν αλληλοαναιρούνται. Και οι δύο μέθοδοι έχουν τα πλεονεκτήματά τους. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ένα μίγμα και των δύο μεθόδων συνήθως χρησιμοποιείται κατά την ανάλυση των εικόνων. Στην πραγματικότητα, η τελική απόφαση της χρησιμότητας και συνάφειας των πληροφοριών, που εξάγονται στο τέλος της διαδικασίας ανάλυσης, πρέπει να γίνει από τον άνθρωπο.

### 3.2 Στοιχεία της Οπτικής Ερμηνείας

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, η ανάλυση των εικόνων τηλεπισκόπησης περιλαμβάνει την αναγνώριση των διαφόρων στόχων σε μια εικόνα, και οι στόχοι αυτοί μπορεί να είναι περιβαλλοντικοί ή τεχνητά χαρακτηριστικά που αποτελούνται από σημεία, γραμμές, ή περιοχές. Οι στόχοι μπορούν να οριστούν με όρους σχετικά με τον τρόπο που ανακλούν ή εκπέμπουν ακτινοβολία. Η ακτινοβολία αυτή μετράται και καταγράφεται από έναν αισθητήρα και τελικά παρουσιάζεται ως εικόνα του προϊόντος, όπως μια αεροφωτογραφία ή μια δορυφορική εικόνα.

Τι κάνει την ερμηνεία των εικόνων πιο δύσκολη στην καθημερινή οπτική ερμηνεία του περιβάλλοντος μας; Πρώτον, χάνουμε την αίσθηση του βάθους όταν προβάλλετε μια δισδιάστατη εικόνα, εκτός αν μπορούμε να την προβάλλουμε **στερεοσκοπικά**, έτσι ώστε να προσομοιώσουμε την τρίτη διάσταση του ύψους. Πράγματι, τα οφέλη της ερμηνείας σε μεγάλο βαθμό βοηθούν σε πολλές εφαρμογές όταν οι εικόνες προβάλλονται στερεοσκοπικά, όπως οπτικοποίηση (συνεπώς και η αναγνώριση) των στόχων, οι οποίοι βελτιώνονται δραματικά. Η προβολή αντικειμένων ακριβώς από πάνω προσφέρει επίσης μια πολύ διαφορετική προοπτική από ότι είμαστε εξοικειωμένοι. Συνδυάζοντας μια άγνωστη προοπτική με μια πολύ διαφορετική κλίμακα και έλλειψη αναγνωρισιμότητας της λεπτομέρειας έχει ως αποτέλεσμα να μετατρέψει ακόμα και το πιο γνωστό αντικείμενο αγνώριστο σε μια εικόνα. Τέλος, έχουμε συνηθίσει να βλέπουμε μόνο τα ορατά μήκη κύματος, και η απεικόνιση των μηκών κύματος έξω από αυτό το «παράθυρο» κάνει την κατανόηση δυσκολότερη.

Η αναγνώριση στόχων είναι το κλειδί για την ερμηνεία και την εξαγωγή πληροφορίας. Η παρατήρηση των διαφορών μεταξύ των στόχων και των υπόβαθρων τους περιλαμβάνει τη σύγκριση διαφορετικών στόχων που βασίζονται σε οποιοδήποτε ή σε όλα τα οπτικά στοιχεία του **τόνου**, του **σχήματος**, του **μεγέθους**, της **υφής**, της **σκιάς**, και του **συνδυασμού** αυτών. Η οπτική ερμηνεία που χρησιμοποιεί αυτά τα στοιχεία είναι συχνά ένα μέρος της καθημερινής μας ζωής, είτε έχουμε επίγνωση αυτής είτε όχι. Εξετάζοντας δορυφορικές εικόνες για το δελτίο καιρού ή ακολουθώντας υψηλής ταχύτητας καταδιώξεις με θέα από ένα ελικόπτερο, είναι όλα γνωστά παραδείγματα της οπτικής ερμηνείας της εικόνας. Ο προσδιορισμός των στόχων εικόνων τηλεπισκόπησης που βασίζονται σε αυτά τα οπτικά στοιχεία μας επιτρέπει την περαιτέρω ερμηνεία και ανάλυση. Η φύση του κάθε ενός από αυτά τα στοιχεία ερμηνείας περιγράφεται παρακάτω, μαζί με ένα παράδειγμα εικόνας του καθενός.

- ❖ Ο **τόνος** αναφέρεται στην σχετική φωτεινότητα ή το χρώμα των αντικειμένων σε μια εικόνα. Σε γενικές γραμμές, ο τόνος είναι το θεμελιώδες στοιχείο για τη διάκριση μεταξύ των διαφορετικών στόχων ή χαρακτηριστικών. Οι



διακυμάνσεις στον τόνο επίσης επιτρέπουν τα στοιχεία του σχήματος, της υφής και του μοτίβου των αντικειμένων να διακρίνονται.

- ❖ Το **σχήμα** αναφέρεται στην γενική μορφή, δομή ή περίγραμμα των μεμονωμένων αντικειμένων. Το σχήμα μπορεί να είναι μία πολύ χαρακτηριστική ένδειξη για την ερμηνεία. Τα σχήματα με ευθεία όρια συνήθως αντιπροσωπεύουν αστικούς ή γεωργικούς στόχους (πεδία), ενώ τα φυσικά χαρακτηριστικά, όπως δασικά όρια, είναι πιο ακανόνιστα όσον αφορά το σχήμα, εκτός εάν ο άνθρωπος έχει δημιουργήσει ένα δρόμο ή εκχερσωθείσες περιοχές. Φάρμα ή καλλιεργούμενα γαία αρδευόμενες από περιστρεφόμενα συστήματα εμφανίζονται ως κυκλικά σχήματα.



- ❖ Το **μέγεθος** των αντικειμένων σε μια εικόνα είναι μία συνάρτηση της κλίμακας. Είναι σημαντικό να εκτιμηθεί το μέγεθος του στόχου σε σχέση με άλλα αντικείμενα σε μια εικόνα, καθώς επίσης και το απόλυτο μέγεθος, για να βοηθήσει στην ερμηνεία του στόχου αυτού. Μια γρήγορη προσέγγιση του μεγέθους του στόχου μπορεί να κατευθύνει γρηγορότερα την ερμηνεία σε ένα κατάλληλο αποτέλεσμα. Για παράδειγμα, αν ένας διερμηνέας έπρεπε να διακρίνει τις ζώνες χρήσεων γης, και είχε ταχτοποιήσει μια περιοχή με μια σειρά κτηρίων σε αυτό, π.χ. μεγάλα κτίρια όπως εργοστάσια ή αποθήκες θα πρότεινε εμπορική ιδιοκτησία, ενώ μικρά κτίρια θα υποδείκνυε οικιακή χρήση.



- ❖ Το **μοτίβο** αναφέρεται στη χωρική διάταξη των εμφανώς διακριτών αντικειμένων. Συνήθως μια ομαλή επανάληψη παρόμοιων τόνων και υφών θα παράγει ένα διακριτικό και τελικά αναγνωρίσιμο μοτίβο. Οι οπωρώνες με ομοιόμορφα μεταξύ τους δέντρα, και αστικοί δρόμοι με τακτικά διαστήματα ανάμεσα στα σπίτια είναι καλά παραδείγματα μοτίβου.



- ❖ Η **υφή** αναφέρεται στη διάταξη και τη συχνότητα των τονικών διακυμάνσεων σε συγκεκριμένες περιοχές μίας εικόνας. Οι τραχιές υφές αποτελούνται από έναν στικτό τόνο όπου τα επίπεδα του γκρι αλλάζουν απότομα σε μια μικρή περιοχή, ενώ αυτά με ομαλή υφή θα έχουν μια πολύ μικρή διακύμανση τόνων. Οι ομαλές υφές είναι συχνά το αποτέλεσμα των ομοιόμορφων, ομαλών επιφανειών, όπως τα πεδία, η ασφαλτος ή οι λιβαδικές εκτάσεις. Ένας στόχος με μια τραχιά επιφάνεια και με ακανόνιστη δομή, όπως μια κομοστέγη δάσους, έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση μιας τραχιάς υφής. Η υφή είναι ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία για την διακριτοποίηση χαρακτηριστικών στις εικόνες ραντάρ.



- ❖ Η **σκιά** είναι επίσης χρήσιμη για την ερμηνεία καθώς μπορεί να παράσχει μια ιδέα του προφίλ και του σχετικού ύψους ενός στόχου ή στόχων έτσι ώστε να καταστεί η ταυτοποίηση ευκολότερη. Ωστόσο, οι σκιές μπορούν επίσης να μειώσουν ή να εξαλείψουν την ερμηνεία των δικών τους περιοχών επιρροής, δεδομένου ότι οι στόχοι μέσα στις σκιές είναι πολύ λιγότερο διακριτοί από το περιβάλλον τους. Η σκιά είναι επίσης χρήσιμη για την βελτίωση ή αναγνώριση της τοπογραφίας και των γεωμορφών, ιδιαίτερα σε εικόνες ραντάρ.



- ❖ Ο **συνδυασμός** όλων λαμβάνει υπόψη του τη σχέση μεταξύ άλλων αναγνωρίσιμων αντικειμένων ή χαρακτηριστικών σε εγγύτητα με τον στόχο



ενδιαφέροντος. Η ταυτοποίηση των χαρακτηριστικών που θα περίμενε κανείς να συνδέεται με άλλα χαρακτηριστικά μπορεί να παρέχει πληροφορίες για τη διευκόλυνση της ταυτοποίησης. Στο παράδειγμα που δίδεται παραπάνω, οι εμπορικές ιδιοκτησίες μπορούν να σχετίζονται με γειτνίαση σε μεγάλες γραμμές μεταφοράς, ενώ κατοικημένες περιοχές θα συνδέονταν με σχολεία, παιδικές χαρές και γήπεδα. Στο διπλανό παράδειγμα, μια λίμνη συνδέεται με βάρκες, μια μαρίνα και παρακείμενες εκτάσεις αναψυχής.

### 3.3 Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας

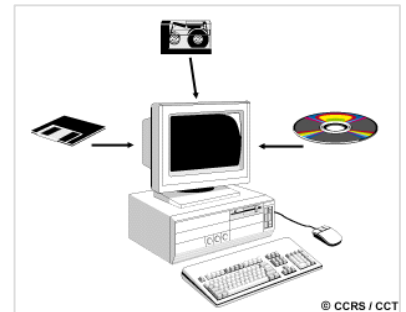
Στο σημερινό κόσμο της προηγμένης τεχνολογίας, όπου τα περισσότερα δεδομένα τηλεπισκόπησης καταγράφονται σε ψηφιακή μορφή, σχεδόν όλη η ερμηνεία της εικόνας και η ανάλυση της περιλαμβάνει κάποιο στοιχείο της ψηφιακής επεξεργασίας. Η ψηφιακή επεξεργασία εικόνας μπορεί να περιλαμβάνει πολυάριθμες διαδικασίες όπως η διαμόρφωση και διόρθωση των δεδομένων, ψηφιακή ενίσχυση για την διευκόλυνση της καλύτερης οπτικής ερμηνείας και ακόμη η αυτόματη ταξινόμηση των στόχων και των χαρακτηριστικών εξ ολοκλήρου από τον υπολογιστή. Προκειμένου να επεξεργαστούμε την εικόνα τηλεπισκόπησης ψηφιακά, τα δεδομένα θα πρέπει να καταγράφονται και να είναι διαθέσιμα σε ψηφιακή μορφή, κατάλληλα για αποθήκευση σε κασέτα ή δίσκο υπολογιστή. Προφανώς, η άλλη απαίτηση για ψηφιακή επεξεργασία εικόνας είναι ένα σύστημα ηλεκτρονικού υπολογιστή, που μερικές φορές αναφέρεται ως ένα **σύστημα ανάλυσης εικόνας**, με το κατάλληλο υλικό και λογισμικό για την επεξεργασία των δεδομένων. Διάφορα εμπορικά διαθέσιμα συστήματα λογισμικού έχουν δημιουργηθεί ειδικά για επεξεργασία και ανάλυση εικόνων τηλεπισκόπησης.

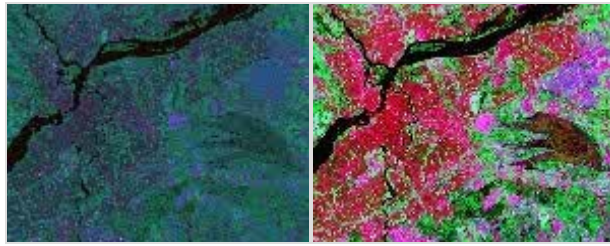
Για τους σκοπούς της συζήτησης, οι περισσότερες από τις κοινές λειτουργίες επεξεργασίας εικόνας που διατίθενται στα συστήματα ανάλυσης εικόνας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στις ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες:

- ❖ Προεπεξεργασία
- ❖ Ενίσχυση εικόνας
- ❖ Μετασχηματισμός εικόνας
- ❖ Ταξινόμηση και Ανάλυση Εικόνων

Οι λειτουργίες **προεπεξεργασίας** περιλαμβάνουν εκείνες τις λειτουργίες που κανονικά απαιτούνται πριν από την κύρια ανάλυση των δεδομένων και την εξαγωγή των πληροφοριών και γενικά ομαδοποιούνται ως **ραδιομετρικές ή γεωμετρικές διορθώσεις**. Οι ραδιομετρικές διορθώσεις περιλαμβάνουν διόρθωση των δεδομένων για τυχόν ανεπιθύμητες ανωμαλίες του αισθητήρα ή ατμοσφαιρικό θόρυβο και μετατροπή των δεδομένων έτσι ώστε να αντιπροσωπεύει επακριβώς την ανακλώμενη ή εκπεμπόμενη ακτινοβολία, που μετρείται από τον αισθητήρα. Οι γεωμετρικές διορθώσεις περιλαμβάνουν τη διόρθωση γεωμετρικών στρεβλώσεων που οφείλονται στις διακυμάνσεις της γεωμετρίας αισθητήρα-Γη και τη μετατροπή των δεδομένων σε πραγματικές συντεταγμένες (π.χ. γεωγραφικό πλάτος και μήκος) επί της επιφάνειας της Γης.

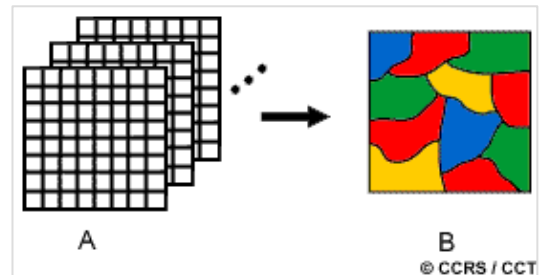
Το αντικείμενο της δεύτερης ομάδας των λειτουργιών επεξεργασίας εικόνας ομαδοποιούνται υπό τον όρο της **ενίσχυσης εικόνας** και είναι αποκλειστικά και μόνο για να **βελτιώσει την εμφάνιση της εικόνας** έτσι ώστε να βοηθήσει στην οπτική ερμηνεία και ανάλυση. Παραδείγματα λειτουργιών ενίσχυσης περιλαμβάνουν την διεύρυνση (stretching) αντίθεσης για την αύξηση της τονικής διάκρισης μεταξύ των διαφόρων χαρακτηριστικών σε μια σκηνή και το **χωρικό φιλτράρισμα** για την ενίσχυση (ή καταστολή) συγκεκριμένων χωρικών μοτίβων σε μια εικόνα.





Οι **μετασχηματισμοί εικόνας** είναι λειτουργίες παρόμοιες με τις έννοιες αυτές της ενίσχυσης εικόνας. Ωστόσο, σε αντίθεση με άλλες λειτουργίες ενίσχυσης εικόνας, οι οποίες συνήθως εφαρμόζονται σε ένα μόνο κανάλι δεδομένων σε κάποια χρονική στιγμή, οι μετασχηματισμοί εικόνας συνήθως περιλαμβάνουν συνδυασμένη επεξεργασία των δεδομένων από πολλαπλές φασματικές μπάντες. Οι αριθμητικές λειτουργίες (π.χ. αφαίρεση, πρόσθεση, πολλαπλασιασμός, διαίρεση) εκτελούνται για να συνδυάσουν και να μετατρέψουν τις αρχικές ζώνες σε «νέες» εικόνες οι οποίες εμφανίζουν ή τονίζουν με καλύτερο τρόπο ορισμένα χαρακτηριστικά στη σκηνή. Θα εξετάσουμε μερικές από αυτές λειτουργίες συμπεριλαμβανομένων διαφόρους μεθόδους **φασματικού λόγου** και μια διαδικασία που ονομάζεται **ανάλυση κύριων συνιστωσών** που χρησιμοποιείται για την αποτελεσματικότερη παρουσίαση των πληροφοριών σε πολυ-κάναλες εικόνες.

Οι λειτουργίες **ταξινόμησης και ανάλυσης εικόνας** χρησιμοποιούνται για την ψηφιακή αναγνώριση και ταξινόμηση εικονοστοιχείων στα δεδομένα. Η **ταξινόμηση** εκτελείται συνήθως σε πολυ-κάναλα σύνολα δεδομένων (A) η οποία διαδικασία αντιστοιχίζει κάθε pixel σε μια εικόνα σε μια συγκεκριμένη κατηγορία ή θέμα (B) βασισμένη σε στατιστικά χαρακτηριστικά των τιμών φωτεινότητας των pixel. Υπάρχει μια ποικιλία προσεγγίσεων για να ληφθεί και να εκτελεστεί ψηφιακή ταξινόμηση.



Θα περιγράψουμε εν συντομία τις δύο γενικές προσεγγίσεις οι οποίες χρησιμοποιούνται πιο συχνά, τις επονομαζόμενες **επιβλεπόμενη** και **μη-επιβλεπόμενη** ταξινόμηση. Στις ακόλουθες ενότητες θα περιγραφούν λεπτομερέστερα κάθε μια από αυτές τις τέσσερις κατηγορίες λειτουργιών ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας.

### 3.3.1 Προεπεξεργασία

Οι λειτουργίες προ-επεξεργασίας, οι οποίες μερικές φορές αναφέρονται ως αποκατάσταση και διόρθωση εικόνας, προορίζονται για τη διόρθωση αισθητήρα (και πλατφόρμας) συγκεκριμένων ραδιομετρικών και γεωμετρικών στρεβλώσεων των δεδομένων. Οι ραδιομετρικές διορθώσεις μπορεί να είναι αναγκαίες, λόγω των διακυμάνσεων φωτισμού και προβολής γεωμετρίας σε μια σκηνή, τις ατμοσφαιρικές συνθήκες και τον θόρυβο και ανταπόκριση του αισθητήρα. Κάθε ένα από αυτά θα ποικίλει ανάλογα με το συγκεκριμένο αισθητήρα και πλατφόρμα που χρησιμοποιείται για την απόκτηση των δεδομένων και τις συνθήκες κατά τη διάρκεια της συλλογής δεδομένων. Επίσης, μπορεί να είναι επιθυμητό να μετατρέψει και/ή να βαθμονομήσει τα δεδομένα με γνωστές μονάδες ακτινοβολίας ή ανάκλασης για την διευκόλυνση της σύγκρισης μεταξύ των δεδομένων.

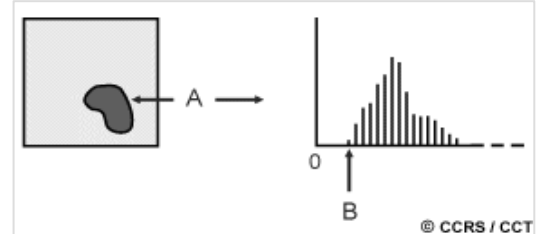


Οι διακυμάνσεις στο φωτισμό και στη προβολή γεωμετρίας μεταξύ εικόνων (για οπτικούς αισθητήρες) μπορούν να διορθωθούν μοντελοποιώντας τη γεωμετρική σχέση και απόσταση μεταξύ των περιοχών της επιφάνειας της Γης, που απεικονίζονται, του ήλιου και του αισθητήρα. Αυτό απαιτείται συχνά έτσι ώστε να είναι δυνατή η πιο εύκολη σύγκριση εικόνων που συλλέγονται από διαφορετικούς αισθητήρες σε διαφορετικές ημερομηνίες ή ώρες και η **ψηφιδωποίηση πολλαπλών εικόνων από έναν μόνο αισθητήρα**, διατηρώντας ομοιόμορφες συνθήκες φωτισμού από



σκηνή σε σκηνή.

Όπως μάθαμε στο κεφάλαιο 1, σκέδαση της ακτινοβολίας συμβαίνει καθώς αυτή περνά διαμέσου και αλληλεπιδρά με την ατμόσφαιρα. Αυτή η σκέδαση μπορεί να μειώσει ή να εξασθενίσει μέρος της ενέργειας που φωτίζει την επιφάνεια. Επιπροσθέτως, η ατμόσφαιρα θα μετριάσει περαιτέρω τη μετάδοση του σήματος από τον στόχο προς τον αισθητήρα. Ποικίλες μέθοδοι ατμοσφαιρικής διόρθωσης μπορούν να εφαρμόζονται κυμαίνοντας από λεπτομερή μοντελοποίηση των ατμοσφαιρικών συνθηκών κατά τη διάρκεια της συλλογής δεδομένων, σε απλούς υπολογισμούς που βασίζονται αποκλειστικά στα δεδομένα εικόνας. Ένα παράδειγμα της τελευταίας μεθόδου είναι η **εξέταση των παρατηρούμενων τιμών φωτεινότητας** (ψηφιακών αριθμών), σε μια περιοχή σκίασης ή για ένα πολύ σκοτεινό αντικείμενο (όπως μια μεγάλη καθαρή λίμνη-A) προσδιορίζοντας έτσι την ελάχιστη τιμή (B). Η διόρθωση εφαρμόζεται αφαιρώντας την ελάχιστη παρατηρούμενη τιμή, που προσδιορίζεται για κάθε συγκεκριμένη μπάνα, από όλες τις τιμές εικονοστοιχείων σε κάθε αντίστοιχη ζώνη.

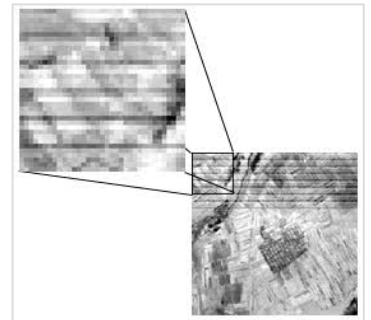


Δεδομένου ότι η σκέδαση εξαρτάται από το μήκος κύματος (Κεφάλαιο 1), οι ελάχιστες τιμές θα ποικίλουν από ζώνη σε ζώνη. Αυτή η μέθοδος βασίζεται στην παραδοχή ότι η ανακλαστικότητα από τα χαρακτηριστικά αυτά, αν η ατμόσφαιρα είναι διαυγής, πρέπει να είναι πολύ μικρή, αν όχι μηδενική. Αν παρατηρήσουμε τιμές πολύ μεγαλύτερες από το μηδέν, τότε αυτές θεωρούνται ότι έχουν προκύψει από την ατμοσφαιρική σκέδαση.

Ο θόρυβος σε μια εικόνα μπορεί να οφείλεται σε ανωμαλίες ή σφάλματα που συμβαίνουν στην απόκριση του αισθητήρα και/ή στην καταγραφή και μετάδοση δεδομένων. Οι κοινές μορφές του θορύβου περιλαμβάνουν



συστηματική **διαγράμμιση (striping)** ή ζώνωση (banding) και **διακοπτόμενες γραμμές**. Αμφότερα τα αποτελέσματα αυτά θα πρέπει να διορθώνονται πριν από την εκτέλεση της περαιτέρω ενίσχυσης ή ταξινόμησης. Η διαγράμμιση ήταν κοινή στα αρχικά δεδομένα Landsat MSS λόγω των διακυμάνσεων και εκτροπών στην απόκριση κατά τη πάροδο του χρόνου των έξι MSS ανιχνευτών. Η «εκτροπή» ήταν διαφορετική για καθένα από τους έξι



ανιχνευτές, προκαλώντας την ίδια φωτεινότητα για να παρουσιάζονται με διαφορετικό τρόπο από κάθε ανιχνευτή. Η συνολική εμφάνιση ήταν έτσι ένα «ριγέ» αποτέλεσμα. Η διορθωτική διαδικασία έκανε μια σχετική διόρθωση μεταξύ των έξι αισθητήρων για να φέρει φαινομενικές τιμές σε συμφωνία μεταξύ τους. Οι διακοπτόμενες γραμμές εμφανίζονται όταν υπάρχουν συστήματα σφαλμάτων που έχουν ως αποτέλεσμα ελλείποντα ή ελαττωματικά δεδομένα κατά μήκος μιας γραμμής σάρωσης. Οι διακοπτόμενες γραμμές κανονικά «διορθώνονται» αντικαθιστώντας τη γραμμή με τις τιμές των εικονοστοιχείων στην ανώτερη ή κατώτερη γραμμή ή με το μέσο όρο και των δύο.

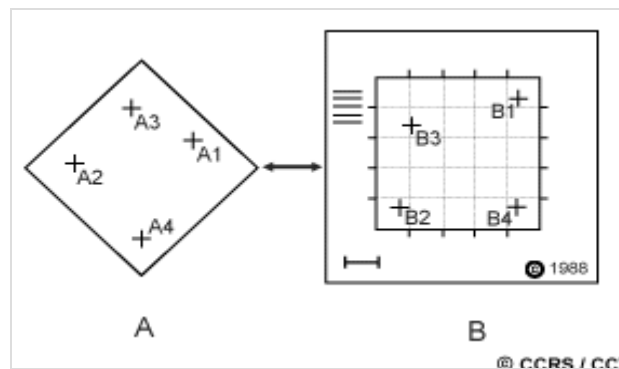
Για πολλές ποσοτικές εφαρμογές των δεδομένων τηλεπισκόπησης, είναι απαραίτητο να μετατραπούν οι ψηφιακοί αριθμοί σε μετρήσιμες μονάδες οι οποίες αντιπροσωπεύουν την πραγματική ανάκλαση ή εκπομπή από την επιφάνεια. Αυτό γίνεται βάσει λεπτομερής γνώσης της απόκρισης του αισθητήρα και του τρόπου με τον οποίο το αναλογικό σήμα (δηλαδή η ανακλώμενη ή εκπεμπόμενη ακτινοβολία) μετατρέπεται σε ένα ψηφιακό αριθμό, που ονομάζεται **αναλογικό-σε-ψηφιακό (A-προς-D) μετατροπή**. Με την επίλυση αυτής της σχέσης στην αντίστροφη κατεύθυνση, η απόλυτη ακτινοβολία μπορεί να υπολογιστεί για κάθε εικονοστοιχείο, έτσι ώστε οι συγκρίσεις μπορούν να γίνουν με ακρίβεια κατά τη πάροδο του χρόνου και μεταξύ διαφορετικών αισθητήρων.

Στην ενότητα 2.10, μάθαμε ότι όλες οι εικόνες τηλεπισκόπησης εγγενώς υπόκεινται σε γεωμετρικές στρεβλώσεις. Οι στρεβλώσεις αυτές μπορεί να οφείλονται σε διάφορους παράγοντες, όπως οι εξής: η προοπτική των οπτικών του αισθητήρα, η κίνηση του συστήματος σαρώσεως, η κίνηση της πλατφόρμας, το ύψος της πλατφόρμας, η συμπεριφορά και η ταχύτητα, το επίγειο ανάγλυφο και η καμπυλότητα και



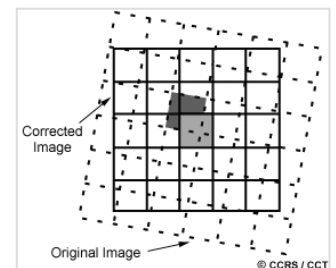
περιστροφή της Γης. Οι γεωμετρικές διορθώσεις προορίζονται να αντισταθμίσουν αυτές τις στρεβλώσεις ούτως ώστε η γεωμετρική αναπαράσταση της απεικόνισης να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στο πραγματικό κόσμο. Πολλές από αυτές τις διακυμάνσεις είναι **συστηματικές** ή **προβλέψιμες** στη φύση και μπορούν να αποδοθούν από ακριβής μοντελοποίηση του αισθητήρα και της κίνησης της πλατφόρμας όπως επίσης και από τη γεωμετρική σχέση της πλατφόρμας με τη Γη. Άλλα **μη συστηματικά** ή **τυχαία** σφάλματα δεν μπορούν να μοντελοποιούνται και να διορθώνονται κατά τον τρόπο αυτό. Ως εκ τούτου, πρέπει να εκτελείται η **γεωμετρική καταχώρηση** των εικόνων σε ένα γνωστό σύστημα συντεταγμένων εδάφους.

Η **διαδικασία γεωμετρικής καταχώρησης** περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των συντεταγμένων της εικόνας (δηλαδή σειρά, στήλη) πολλών σαφώς διακριτών σημείων, που ονομάζονται επίγεια σημεία ελέγχου (ή **GCPs**), στη διαστρεβλωμένη εικόνα (A-A1 έως A4) και τα αντιστοιχεί στην αληθινή θέση τους, στις συντεταγμένες εδάφους (π.χ. γεωγραφικό πλάτος και μήκος). Οι πραγματικές συντεταγμένες του εδάφους συνήθως μετρούνται από ένα χάρτη (B-B1 έως B4), είτε σε χαρτί είτε σε ψηφιακή μορφή. Αυτή είναι η **καταχώριση εικόνα-σε-χάρτη**. Όταν καλώς-κατανεμημένα ζεύγη GCP εντοπιστούν, οι πληροφορίες συντεταγμένων θα επεξεργαστούν από τον υπολογιστή για να καθορίσουν τις κατάλληλες εξισώσεις μετασχηματισμού για την εφαρμογή στις «αυθεντικές» (γραμμή και στήλη) συντεταγμένες της εικόνας για την χαρτογράφηση τους σε νέες συντεταγμένες τους στο εδάφος. Η γεωμετρική καταχώρηση μπορεί επίσης να πραγματοποιηθεί με την εγγραφή ενός (ή περισσοτέρων) εικόνων σε άλλες εικόνες, αντί σε γεωγραφικές συντεταγμένες. Αυτό ονομάζεται καταχώριση εικόνα-σε-εικόνα και συχνά γίνεται πριν από την εκτέλεση διαφόρων διαδικασιών μετασχηματισμού εικόνας.

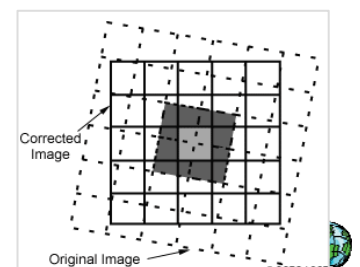


Προκειμένου όντως να διορθωθεί γεωμετρικά η αρχική στρεβλή εικόνα, χρησιμοποιείται μια διαδικασία που ονομάζεται **resampling** για να καθορίσει τις ψηφιακές τιμές και να τοποθετήσει σε νέες θέσεις pixel της διορθωμένης εξαγόμενης εικόνας. Η διαδικασία αυτή υπολογίζει τις νέες τιμές pixel από τις αρχικές ψηφιακές τιμές εικονοστοιχείων στην μη διορθωμένη εικόνα. Υπάρχουν τρεις κοινές μέθοδοι resampling: του **πλησιέστερου γείτονα (nearest neighbour)**, της **διγραμμικής παρεμβολής (bilinear interpolation)** και της **κυβικής ανάλιξης (cubic convolution)**.

- ❖ Η μέθοδος **nearest neighbour** χρησιμοποιεί την ψηφιακή τιμή από το εικονοστοιχείο στην αρχική εικόνα που είναι πλησιέστερο στην νέα θέση του εικονοστοιχείου στην διορθωμένη εικόνα. Αυτή είναι η απλούστερη μέθοδος και δεν μεταβάλλει τις αρχικές τιμές, αλλά μπορεί να φέρει ως αποτέλεσμα σε κάποιες τιμές εικονοστοιχείων διπλότυπα ενώ άλλες χάνονται. Η μέθοδος αυτή τείνει επίσης να οδηγήσει σε μια αποσπασματική ή θολή εμφάνιση εικόνας.

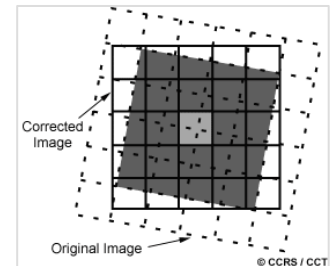


- ❖ Η μέθοδος **bilinear interpolation** παίρνει ένα σταθμισμένο μέσο όρο τεσσάρων εικονοστοιχείων στην αρχική εικόνα, πλησιέστερα στην νέα θέση του εικονοστοιχείου. Η κατά μέσο όρο διαδικασία αλλάζει τις αρχικές τιμές των εικονοστοιχείων και δημιουργεί εντελώς νέες ψηφιακές



τιμές στην εξαγόμενη εικόνα. Αυτό μπορεί να είναι ανεπιθύμητο εάν η περαιτέρω επεξεργασία και ανάλυση, όπως η ταξινόμηση που βασίζεται σε φασματική απόκριση, πρέπει να πραγματοποιηθεί. Αν αυτή είναι η περίπτωση, τότε η διαδικασία resampling ίσως είναι καλύτερα να υλοποιηθεί μετά την διαδικασία ταξινόμησης.

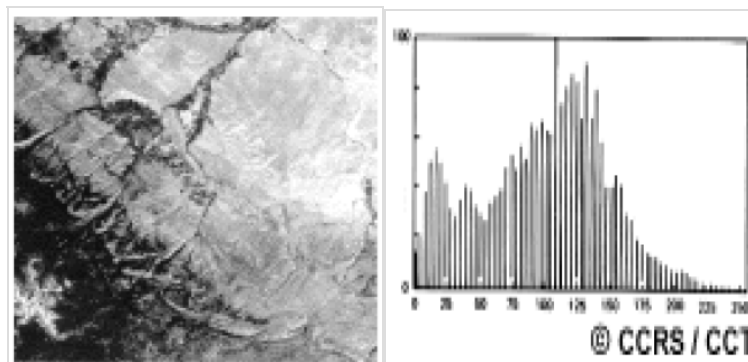
- ❖ Η μέθοδος **cubic convolution** πηγαίνει ακόμη παραπέρα για να υπολογίσει μια σταθμισμένη μέση απόσταση από ένα μπλοκ των δεκαέξι εικονοστοιχείων από την αρχική εικόνα που περιβάλλουν τη νέα εξαγόμενη θέση του εικονοστοιχείου. Όπως και με τη bilinear interpolation, η μέθοδος αυτή οδηγεί σε εντελώς νέες τιμές εικονοστοιχείων. Ωστόσο, αυτές οι δύο μέθοδοι μπορούν να παράγουν εικόνες οι οποίες έχουν πολύ πιο έντονη εμφάνιση και να αποφευχθεί η θολή εμφάνιση της μεθόδου του πλησιέστερου γειτονικού στοιχείου.



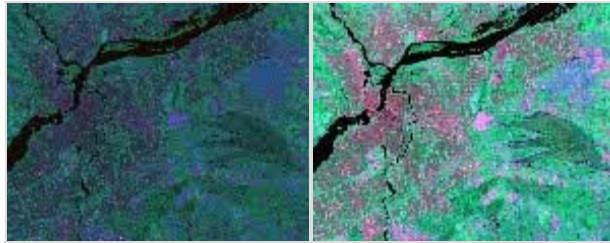
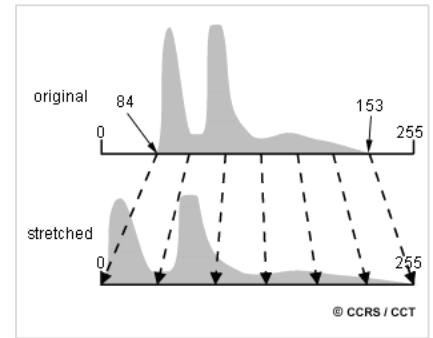
### 3.3.2 Ενίσχυση Εικόνας

Ενισχύσεις εικόνας χρησιμοποιούνται για να κάνουν ευκολότερη την οπτική ερμηνεία και κατανόηση των εικόνων. Το πλεονέκτημα των ψηφιακών εικόνων είναι ότι μας επιτρέπουν να χειριστούμε τις τιμές των ψηφιακών εικονοστοιχείων σε μια εικόνα. Αν και οι ραδιομετρικές διορθώσεις φωτισμού, ατμοσφαιρικών επιδράσεων και των χαρακτηριστικών του αισθητήρα μπορούν να γίνουν πριν από την διανομή των δεδομένων στον χρήστη, η εικόνα δεν μπορεί ακόμη να βελτιστοποιηθεί για την οπτική ερμηνεία. Οι συσκευές τηλεπισκόπησης, ειδικά αυτές που λειτουργούν από δορυφορικές πλατφόρμες, πρέπει να είναι σχεδιασμένες για να αντιμετωπίσουν τα επίπεδα του στόχου/υποβάθρου ενέργειας, τα οποία είναι χαρακτηριστικά όλων των συνθηκών που ενδέχεται να συναντήσουν στην καθημερινή χρήση. Με μεγάλες διακυμάνσεις σε φασματική απόκριση από ένα ευρύ φάσμα στόχων (π.χ. δάση, έρημοι, χιονισμένα πεδία, νερό, κ.λπ.) καμία γενική ραδιομετρική διόρθωση μπορεί να παρουσιαστεί ιδανική και να εμφανίσει το βέλτιστο εύρος φωτεινότητας και αντίθεσης για όλους τους στόχους. Έτσι, για κάθε εφαρμογή και για κάθε εικόνα, μια τυχαία ρύθμιση του εύρους και της διανομής των τιμών φωτεινότητας είναι συνήθως απαραίτητη.

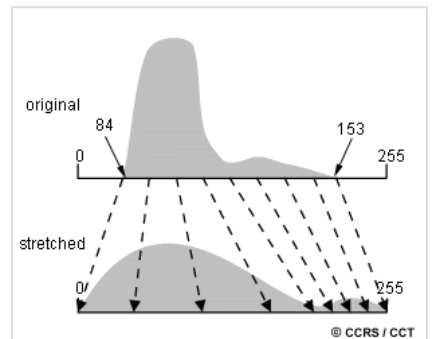
Στις ακατέργαστες εικόνες, τα χρήσιμα δεδομένα συχνά συμπληρώνουν μόνο ένα μικρό τμήμα από το διαθέσιμο φάσμα των ψηφιακών τιμών (συνήθως 8 bits ή 256 επίπεδα). Η ενίσχυση αντίθεσης περιλαμβάνει την αλλαγή των αρχικών τιμών έτσι ώστε να χρησιμοποιείτε περισσότερο από το διαθέσιμο εύρος, αυξάνοντας έτσι την αντίθεση μεταξύ των στόχων και των υποβάθρων τους. Το κλειδί για τη κατανόηση των ενισχύσεων αντίθεσης είναι η κατανόηση της ιδέας μίας **εικόνας ιστογράμματος**. Ένα ιστόγραμμα είναι μια γραφική αναπαράσταση των τιμών φωτεινότητας που αποτελούν μια εικόνα. Οι τιμές φωτεινότητας (δηλ. 0-255) παρουσιάζονται κατά μήκος του x-άξονα του γραφήματος. Η συχνότητα εμφάνισης καθεμίας από αυτές τις τιμές στην εικόνα εμφανίζεται στον y-άξονα.



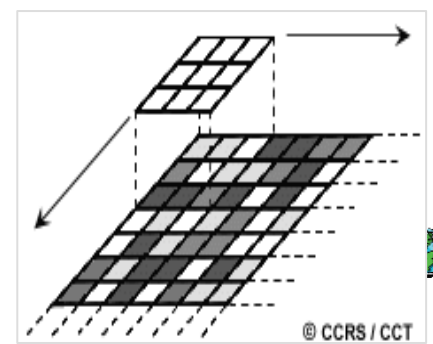
Με το χειρισμό του φάσματος των ψηφιακών τιμών σε μια εικόνα, που αναπαρίσταται γραφικά από το ιστογράμμο, μπορούμε να εφαρμόσουμε διάφορες ενισχύσεις στα δεδομένα. Υπάρχουν πολλές διαφορετικές τεχνικές και μέθοδοι της ενίσχυσης της αντίθεσης και λεπτομέρειας σε μια εικόνα. Ο απλούστερος τύπος ενίσχυσης είναι μία **γραμμική διεύρυνση αντίθεσης**. Αυτό περιλαμβάνει τον προσδιορισμό άνω και κάτω ορίων από το ιστογράμμο (συνήθως τις ελάχιστες και τις μέγιστες τιμές φωτεινότητας στην εικόνα) και την εφαρμογή ενός μετασχηματισμού για να διευρυνθεί το εύρος και να καλυφτεί το πλήρες φάσμα. Στο παράδειγμά μας, η ελάχιστη τιμή (που καταλαμβάνεται από τα πραγματικά δεδομένα) του ιστογράμματος είναι 84 και η μέγιστη τιμή είναι 153. Αυτά τα 70 επίπεδα καταλαμβάνουν λιγότερο από το ένα τρίτο των πλήρως διαθέσιμων 256 επιπέδων. Μία γραμμική διεύρυνση εκτείνεται ομοιόμορφα το μικρό εύρος για την κάλυψη όλου του φάσματος τιμών 0 έως 255. Αυτό ενισχύει την αντίθεση της εικόνας με ελαφρά τονισμένες περιοχές που περιλαμβάνονται σε φωτεινότερες και σκοτεινές περιοχές, όπου εμφανίζονται πιο σκούρα, καθιστώντας έτσι την οπτική ερμηνεία πολύ ευκολότερη. Αυτό το γράφημα απεικονίζει την αύξηση της αντίθεσης σε μια εικόνα πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) μιας γραμμικής διεύρυνσης αντίθεσης.



Μια ομοιόμορφη κατανομή του εισαγόμενου εύρους των τιμών κατά πλάτος όλου του φάσματος δεν μπορεί να είναι πάντα μια κατάλληλη ενίσχυση, ιδιαίτερα αν το εισαγόμενο εύρος δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένο. Στην περίπτωση αυτή, μία **διεύρυνση με βάση το ιστογράμμο των τιμών της εικόνας (histogram-equalized stretch)** μπορεί να είναι καλύτερη επιλογή. Η διεύρυνση αυτή εκχωρεί περισσότερες απεικονίσεις τιμών (εύρος) στα συχνότερα παρατηρούμενα τμήματα του ιστογράμματος. Με τον τρόπο αυτό, η λεπτομέρεια σε αυτές τις περιοχές θα ενισχύεται καλύτερα σχετικά με τις περιοχές αυτές του αρχικού ιστογράμματος όπου συμβαίνουν λιγότερο συχνά. Σε άλλες περιπτώσεις, μπορεί να είναι επιθυμητό να ενισχύεται η αντίθεση μόνο σε ένα συγκεκριμένο τμήμα του ιστογράμματος. Για παράδειγμα, αν υποθέσουμε ότι έχουμε μια εικόνα της όχθης ενός ποταμού, και τα τμήματα νερού της εικόνας καταλαμβάνουν τις ψηφιακές τιμές 40 έως 76 από το σύνολο του ιστογράμματος της εικόνας. Αν ήταν επιθυμητό να ενισχυθεί η λεπτομέρεια στο νερό, ίσως για να είναι φανερές οι διακυμάνσεις του φορτίου ιζημάτων, θα ήταν δυνατόν να διευρυνθεί μόνο εκείνο μικρό τμήμα του ιστογράμματος που αντιπροσωπεύεται από το νερό (40 έως 76) στο πλήρες γκρι επίπεδο φάσματος (0 έως 255). Όλα τα εικονοστοιχεία κάτω ή πάνω από αυτές τις τιμές θα ανατεθούν στο μηδέν και 255, αντίστοιχα, και η λεπτομέρεια σε αυτές τις περιοχές θα χαθεί. Ωστόσο, η λεπτομέρεια στο νερό θα ενισχυθεί σε μεγάλο βαθμό.



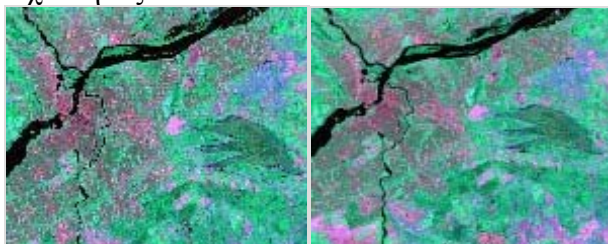
Το **χωρικό φιλτράρισμα** περιλαμβάνει άλλο σύνολο λειτουργιών ψηφιακής επεξεργασίας, οι οποίες χρησιμοποιούνται για να ενισχυθεί η εμφάνιση μιας εικόνας. Τα χωρικά φίλτρα έχουν σχεδιαστεί για να τονίσουν ή να καταστείλουν τα ειδικά χαρακτηριστικά σε μια εικόνα, που βασίζονται στη **χωρική τους συχνότητα**. Η χωρική συχνότητα έχει σχέση με την έννοια της υφής της εικόνας, την οποία συζητήσαμε στην ενότητα



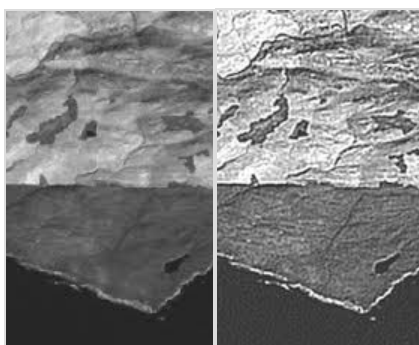


3.2. Αναφέρεται στην συχνότητα των διακυμάνσεων στον τόνο που εμφανίζεται σε μια εικόνα. Οι περιοχές μιας εικόνας με «τραχεία» υφή, όπου οι αλλαγές στον τόνο είναι πάνω από μία απότομη μικρή περιοχή, έχουν υψηλές χωρικές συχνότητες, ενώ η «λείες» περιοχές, με μικρή διακύμανση στον τόνο αρκετών εικονοστοιχείων, έχουν χαμηλές χωρικές συχνότητες. Μια κοινή **διαδικασία φιλτραρίσματος** περιλαμβάνει τη μετακίνηση ενός «παραθύρου» μερικών εικονοστοιχείων σε διάσταση (π.χ. 3x3, 5x5, κλπ.) πάνω από κάθε εικονοστοιχείο στην εικόνα, εφαρμόζοντας ένα μαθηματικό υπολογισμό χρησιμοποιώντας τις τιμές αυτών κάτω από το προαναφερθέν παράθυρο και αντικαθιστώντας το κεντρικό εικονοστοιχείο με τη νέα τιμή. Το παράθυρο κινείται κατά μήκος των διαστάσεων κάθε γραμμής και στήλης ένα εικονοστοιχείο τη φορά και ο υπολογισμός επαναλαμβάνεται έως ότου το σύνολο της εικόνας να έχει φιλτραριστεί και μία "νέα" εικόνα να έχει παραχθεί. Μεταβάλλοντας τον υπολογισμό πραγματοποιούνται και οι σταθμίσεις των μεμονωμένων εικονοστοιχείων στο παράθυρο φίλτρο, τα φίλτρα μπορεί να προορίζονται να ενισχύσουν ή να καταστείλουν διαφορετικούς τύπους χαρακτηριστικών.

Ένα **χαμηλής συχνότητας φίλτρο (low-pass filter)** είναι σχεδιασμένο να τονίζει μεγαλύτερες, ομοιογενείς περιοχές παρόμοιου τόνου και να μειώσει τις μικρότερες λεπτομέρειες σε μια εικόνα. Έτσι, τα φίλτρα χαμηλής συχνότητας, σε γενικές γραμμές, εξυπηρετούν στην ομαλοποίηση της εμφάνισης μιας εικόνας. Μέσες τιμές και φίλτρα του διαμέσου, που χρησιμοποιούνται συχνά για εικόνες ραντάρ, είναι παραδείγματα φίλτρων χαμηλής συχνότητας. Τα **φίλτρα υψηλής συχνότητας (high-pass filters)** κάνουν το αντίθετο και χρησιμεύουν στην όξυνση της εμφάνισης των μικρών λεπτομερειών σε μια εικόνα. Μια εφαρμογή ενός φίλτρου υψηλής συχνότητας, εφαρμόζει πρώτα ένα φίλτρο χαμηλής συχνότητας σε μια εικόνα και στη συνέχεια αφαιρείται το αποτέλεσμα από το πρωτότυπο, αφήνοντας πίσω μόνο την πληροφορία υψηλής χωρικής συχνότητας.



Τα **φίλτρα ανίχνευσης κατεύθυνσης ή ορίων (directional or edge detection filters)** έχουν σχεδιαστεί για να τονίζουν τα γραμμικά χαρακτηριστικά, όπως δρόμους ή όρια πεδίων. Τα φίλτρα αυτά μπορούν επίσης να σχεδιαστούν για να ενισχύουν τα χαρακτηριστικά τα οποία είναι προσανατολισμένα σε συγκεκριμένες κατευθύνσεις. Τα φίλτρα αυτά είναι χρήσιμα σε εφαρμογές όπως στη γεωλογία, για την ανίχνευση γραμμικών γεωλογικών δομών.



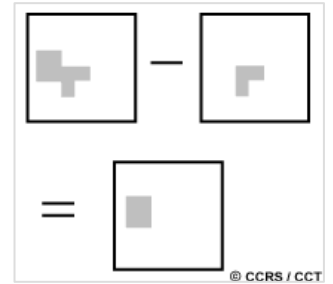
### 3.3.3 Μετασχηματισμοί Εικόνας

Οι μετασχηματισμοί εικόνας συνήθως περιλαμβάνουν το χειρισμό πολλαπλών ζωνών των δεδομένων, είτε από μία μόνο πολυφασματική εικόνα είτε από δύο ή περισσότερες εικόνες της ίδιας περιοχής που έχουν αποκτηθεί σε διαφορετικές χρονικές στιγμές (δηλαδή σε δεδομένα πολύ-χρονικής εικόνας). Έτσι και αλλιώς οι μετασχηματισμοί εικόνας παράγουν "νέες" εικόνες από δύο ή περισσότερες πηγές, οι οποίες δίνουν

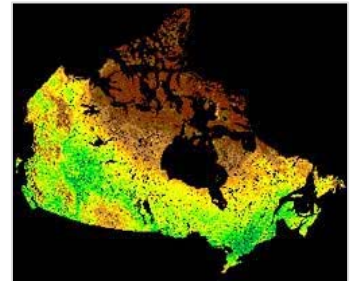


έμφαση σε ιδιαίτερα χαρακτηριστικά ή σε ιδιότητες ενδιαφέροντος, καλύτερα από τις αρχικές εισαγόμενες εικόνες.

Οι βασικοί μετασχηματισμοί εικόνας εφαρμόζουν απλές αριθμητικές ενέργειες στα δεδομένα εικόνας. Η **αφαίρεση εικόνας (image subtraction)** συχνά χρησιμοποιείται για να προσδιοριστούν οι αλλαγές που έχουν επέλθει μεταξύ εικόνων που συλλέχτηκαν σε διαφορετικές ημερομηνίες. Τυπικά, δύο εικόνες που έχουν καταχωρηθεί γεωμετρικά (βλέπε παράγραφο 3.4), χρησιμοποιούνται με τις τιμές των εικονοστοιχείων (φωτεινότητα) σε μια εικόνα (1) για να αφαιρεθούν από τις τιμές των εικονοστοιχείων στην άλλη (2). Η κλιμάκωση της προκύπτουσας εικόνας (3), προσθέτοντας μια σταθερή τιμή (127 στην προκειμένη περίπτωση) στις εξαγόμενες τιμές θα έχει ως αποτέλεσμα μια κατάλληλη «διαφοροποίηση» εικόνας. Σε μία τέτοια εικόνα, περιοχές στις οποίες έχουν υπάρξει λίγες ή καθόλου αλλαγές (A) μεταξύ των αρχικών εικόνων, θα έχουν συνακόλουθες τιμές φωτεινότητας γύρω στο 127 (μέσο-γκρι τόνοι), ενώ οι περιοχές αυτές όπου έχει επέλθει σημαντική μεταβολή (B) θα έχουν τιμές υψηλότερες ή χαμηλότερες από 127, φωτεινότερες ή σκοτεινότερες ανάλογα με την «κατεύθυνση» της αλλαγής στην ανακλαστικότητα μεταξύ των δύο εικόνων. Αυτού του τύπου μετασχηματισμού εικόνας μπορεί να είναι χρήσιμος για τη χαρτογράφηση των αλλαγών στην αστική ανάπτυξη γύρω από πόλεις και για τον προσδιορισμό των περιοχών όπου εμφανίζεται αποψίλωση των δασών, όπως σε αυτό το παράδειγμα.

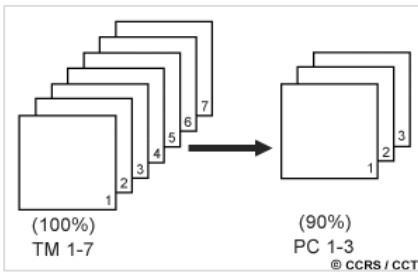


Η διαίρεση εικόνας ή ο **φασματικός λόγος (spectral ratioing)** είναι μία από τους πιο κοινούς μετασχηματισμούς που εφαρμόζεται στα δεδομένα εικόνας. Η διαίρεση εικόνας χρησιμεύει στο τονισμό ανεπαίσθητων διακυμάνσεων στις φασματικές αποκρίσεις των διαφόρων επιφανειακών καλύψεων. Διαιρώντας τα δεδομένα από δύο διαφορετικές φασματικές ζώνες, η προκύπτουσα εικόνα ενισχύει διακυμάνσεις στις κλίσεις των καμπυλών φασματικής ανάκλασης μεταξύ των δύο διαφορετικών φασματικών εύρων, τα οποία αλλιώς μπορούν να συγκαλυφθούν από τις διακυμάνσεις φωτεινότητας των εικονοστοιχείων σε κάθε μια από τις ζώνες. Το ακόλουθο παράδειγμα επεξηγεί την έννοια του φασματικού λόγου. Η υγιής βλάστηση ανακλά έντονα στο εγγύς-υπέρυθρο τμήμα του φάσματος, ενώ απορροφά έντονα το ορατό ερυθρό. Άλλοι τύποι επιφανειών, όπως το έδαφος και το νερό, παρουσιάζουν σχεδόν ίση ανακλαστικότητα σε αμφότερα εγγύς-υπέρυθρα και ερυθρά τμήματα. Έτσι, ένας λόγος εικόνας Landsat MSS Band-7 (Εγγύς-υπέρυθρο - 0,8 έως 1,1 mm) διαιρούμενη με τη Ζώνη 5 (Ερυθρό - 0,6 έως 0,7 mm) θα είχε ως αποτέλεσμα σε αναλογίες πολύ μεγαλύτερες από 1,0 για τη βλάστηση και αναλογίες περίπου 1.0 για το έδαφος και το νερό. Έτσι η διάκριση της βλάστησης από άλλους τύπους κάλυψης της επιφάνειας ενισχύεται σημαντικά. Επίσης, μπορεί να είμαστε σε καλύτερη θέση να προσδιορίσουμε τις περιοχές με μη υγιής βλάστηση, οι οποίες παρουσιάζουν χαμηλή ανάκλαση στο εγγύς-υπέρυθρο, καθώς οι αναλογίες θα είναι χαμηλότερες από ό,τι για της υγιή πράσινη βλάστηση.



Ένα άλλο πλεονέκτημα του φασματικού λόγου είναι ότι, επειδή ψάχνουμε σε σχετικές τιμές (δηλαδή αναλογίες) αντί απόλυτων τιμών φωτεινότητας, διακυμάνσεις σε σκληνές φωτισμού μειώνονται ως αποτέλεσμα τοπογραφικών επιδράσεων. Έτσι, αν και η απόλυτη ανακλαστικότητα για κλίσεις καλυπτόμενες από δάσος μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τον προσανατολισμό τους σε σχέση με το φωτισμό του ήλιου, η αναλογία της ανακλαστικότητας τους μεταξύ των δύο ζωνών πρέπει πάντοτε να είναι παρόμοια. Πολυπλοκότερες αναλογίες που αφορούν τα ποσά και τις διαφορές μεταξύ φασματικών ζωνών για διάφορους αισθητήρες, έχουν αναπτυχθεί για την παρακολούθηση των συνθηκών βλάστησης. Ένας ευρέως χρησιμοποιούμενος μετασχηματισμός εικόνας είναι ο **Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI)**, ο οποίος έχει χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση των συνθηκών βλάστησης σε ηπειρωτική και παγκόσμια κλίμακα χρησιμοποιώντας το Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) έναν αισθητήρα επί της σειράς των δορυφόρων NOAA (βλ. κεφάλαιο 2 ενότητα 2.11).

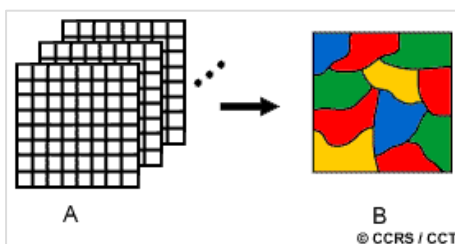




Οι διαφορετικές ζώνες των πολυφασματικών δεδομένων συχνά συσχετίζονται σε μεγάλο βαθμό και ως εκ τούτου περιέχουν παρόμοιες πληροφορίες. Για παράδειγμα, οι μπάντες 4 και 5 Landsat MSS (πράσινο και ερυθρό, αντίστοιχα) συνήθως έχουν παρόμοιες οπτικές εμφανίσεις καθώς οι ανακλαστικότητες για τους ίδιους τύπους κάλυψης της επιφανείας είναι σχεδόν ίσες. Οι τεχνικές μετασχηματισμού εικόνας που βασίζονται σε πολύπλοκη επεξεργασία των στατιστικών χαρακτηριστικών των πολύ-φασματικών συνόλων δεδομένων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση αυτών των πλεοναζόντων δεδομένων και της συσχέτισης μεταξύ των ζωνών. Ένας τέτοιος μετασχηματισμός ονομάζεται **ανάλυση κυρίων συνιστωσών (principal components analysis)**. Το αντικείμενο του παρόντος μετασχηματισμού είναι η μείωση της διαστατικότητας (δηλαδή ο αριθμός των ζωνών) στα δεδομένα, και η συμπίεση όσο το δυνατόν περισσότερης πληροφορίας στις αρχικές ζώνες σε λιγότερες ζώνες. Οι "νέες" ζώνες που προκύπτουν από αυτή τη στατιστική διαδικασία ονομάζονται συνιστώσες. Η διαδικασία αυτή επιχειρεί να μεγιστοποιήσει (στατιστικά) την ποσότητα των πληροφοριών (ή της διακύμανσης) από τα αρχικά δεδομένα μέσα στο ελάχιστο αριθμό των νέων συνιστωσών. Ως ένα παράδειγμα της χρήσης της ανάλυσης κύριων συνιστωσών, ένα σύνολο δεδομένων επτά μπαντών, Thematic Mapper (TM), μπορεί να μετασχηματισθεί έτσι ώστε οι τρεις πρώτες κύριες συνιστώσες να περιέχουν πάνω από 90 τοις εκατό των πληροφοριών στις επτά αρχικές ζώνες. Η ερμηνεία και ανάλυση αυτών των τριών ζωνών των δεδομένων, συνδυάζοντας τους είτε οπτικά είτε ψηφιακά, είναι απλούστερη και πιο αποτελεσματική από τη προσπάθεια χρήσης όλων των αρχικών επτά ζώνες. Η ανάλυση των κύριων συνιστωσών και άλλων πολύπλοκων μετασχηματισμών, μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ως μία τεχνική ενίσχυσης, για τη βελτίωση της οπτικής ερμηνείας ή για τη μείωση του αριθμού των ζωνών, στο να χρησιμοποιηθεί ως είσοδος στις διαδικασίες ψηφιακής ταξινόμησης, όπου θα συζητηθεί στην επόμενη ενότητα.

### 3.3.4 Ταξινόμηση και Ανάλυση Εικόνας

Ένας ανθρώπινος αναλυτής στην προσπάθεια του να ταξινομήσει τα χαρακτηριστικά μιας εικόνας



χρησιμοποιεί τα στοιχεία της οπτικής ερμηνείας (που συζητήθηκαν στην ενότητα 3.2) για τον προσδιορισμό ομοιογενών ομάδων των εικονοστοιχείων που αντιπροσωπεύουν τα διάφορα χαρακτηριστικά ή τις κατηγορίες κάλυψης γης ενδιαφέροντος. Η **ταξινόμηση Ψηφιακής Εικόνας (Digital Image classification)** χρησιμοποιεί τη φασματική πληροφορία που αντιπροσωπεύεται από τους ψηφιακούς αριθμούς σε μία ή περισσότερες φασματικές ζώνες και επιχειρεί να ταξινομήσει κάθε μεμονωμένο εικονοστοιχείο βασισμένο σε αυτή την φασματική πληροφορία. Αυτός ο τύπος ταξινόμησης ονομάζεται **αναγνώριση φασματικού μοτίβου (spectral pattern recognition)**. Σε κάθε περίπτωση, ο στόχος είναι να εκχωρήσουμε όλα τα εικονοστοιχεία στην εικόνα, σε συγκεκριμένες κατηγορίες ή θέματα (π.χ. νερό, δάσος κωνοφόρων, φυλλοβόλο δάσος, καλαμπόκι, σιτάρι, κ. λ.π.). Η προκύπτουσα ταξινομημένη εικόνα αποτελείται από ένα μωσαϊκό εικονοστοιχείων, καθένα από τα οποία ανήκουν σε ένα συγκεκριμένο θέμα, και είναι ουσιαστικά ένας θεματικός "χάρτης" της η αρχική εικόνας.

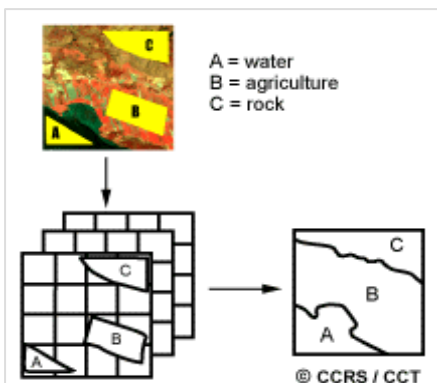
Όταν μιλάμε για κατηγορίες, θα πρέπει να γίνει διάκριση μεταξύ των **κλάσεων της πληροφορίας και των φασματικών κλάσεων (information classes and spectral classes)**. Οι κατηγορίες πληροφοριών είναι οι κατηγορίες αυτές του ενδιαφέροντος, που στην πραγματικότητα ο αναλυτής προσπαθεί να ταχτοποιήσει στην εικόνα, όπως τα διαφορετικά είδη καλλιεργείων, τους διαφορετικούς τύπους δασών ή είδη δένδρων, τις διαφορετικές γεωλογικές μονάδες ή τύπους πετρωμάτων, κλπ. Οι φασματικές κλάσεις είναι ομάδες εικονοστοιχείων που είναι ομοιόμορφα (ή σχεδόν παρόμοια) σε σχέση με τις τιμές φωτεινότητας τους στα διάφορα φασματικά κανάλια των δεδομένων. Ο στόχος είναι να γίνει αντιστοιχία μεταξύ των φασματικών κλάσεων στα δεδομένα με τις κατηγορίες πληροφοριών του ενδιαφέροντος. Σπάνια υπάρχει αντιστοιχία ένα προς ένα μεταξύ των δύο αυτών τύπων κλάσεων. Αντίθετα, οι μοναδικές φασματικές κλάσεις μπορούν να



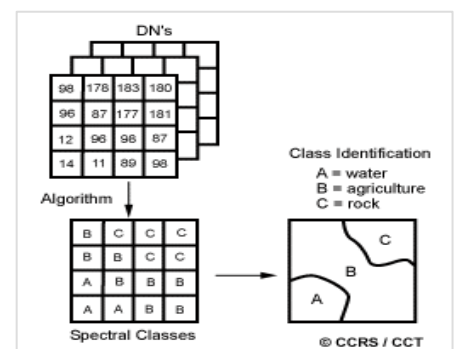
εμφανιστούν, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι δεν ανταποκρίνεται απαραίτητα σε καμία κλάση πληροφορίας συγκεκριμένης χρήσης ή ενδιαφέροντος στο αναλυτή. Εναλλακτικά, μία ευρεία κατηγορία πληροφοριών (π.χ. δάσος) μπορεί να περιέχει έναν αριθμό των φασματικών **υποκατηγοριών (sub-classes)** με μοναδικές φασματικές διακυμάνσεις. Χρησιμοποιώντας το παράδειγμα των δασών, οι φασματικές υποκατηγορίες μπορεί να οφείλονται σε διακυμάνσεις της ηλικίας, του είδους και της πυκνότητας, ή ίσως είναι αποτέλεσμα της σκίασης ή διακυμάνσεων σε σκηνή φωτισμού. Είναι δουλειά του αναλυτή να αποφασίσει σχετικά με τη χρησιμότητα των διαφόρων φασματικών τάξεων και την ανταπόκρισή τους με κλάσεις χρήσιμης πληροφορίας.

Οι κοινές διαδικασίες ταξινόμησης μπορούν να αναλυθούν σε δύο ευρείες υποδιαιρέσεις με βάση τη μέθοδο που χρησιμοποιείται: **επιβλεπόμενη ταξινόμηση και μη-επιβλεπόμενη ταξινόμηση (supervised classification and unsupervised classification)**.

Σε μια **επιβλεπόμενη ταξινόμηση**, ο αναλυτής εντοπίζει στην εικόνα ομοιογενή αντιπροσωπευτικά δείγματα των διαφόρων τύπων επιφανειακής κάλυψης (κλάσεις πληροφοριών) ενδιαφέροντος. Τα δείγματα αυτά αναφέρονται ως **χώροι κατάρτισης (training areas)**. Η επιλογή των κατάλληλων περιοχών κατάρτισης βασίζεται στην εξοικείωση του αναλυτή με τη γεωγραφική περιοχή και τη γνώση του από τους πραγματικούς τύπους επιφανειακής κάλυψης που παρουσιάζονται στην εικόνα. Έτσι, ο αναλυτής «επιβλέπει» την κατηγοριοποίηση ενός συνόλου συγκεκριμένων κλάσεων. Η αριθμητική πληροφορία σε όλες τις φασματικές ζώνες για τα εικονοστοιχεία που περιλαμβάνουν αυτές τις περιοχές χρησιμοποιούνται για την «κατάρτιση» του υπολογιστή με σκοπό την αναγνώριση φασματικών παρόμοιων περιοχών για κάθε κλάση. Ο υπολογιστής χρησιμοποιεί ένα ειδικό πρόγραμμα ή αλγόριθμο (εκ των οποίων υπάρχουν διάφορες ποικιλίες), για τον καθορισμό των αριθμητικών "υπογραφών" για κάθε κατηγορία εκπαίδευσης. Μόλις ο υπολογιστής έχει καθορίσει τις υπογραφές για κάθε κατηγορία, κάθε εικονοστοιχείο στην εικόνα συγκρίνεται με αυτές τις υπογραφές και χαρακτηρίζεται ως η κλάση που «μοιάζει» περισσότερο ψηφιακή. Έτσι, σε μια επιβλεπόμενη ταξινόμηση μπορούμε πρώτα να εντοπίσουμε τις κατηγορίες πληροφοριών οι οποίες στην συνέχεια χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των φασματικών κλάσεων που τις εκπροσωπεί.



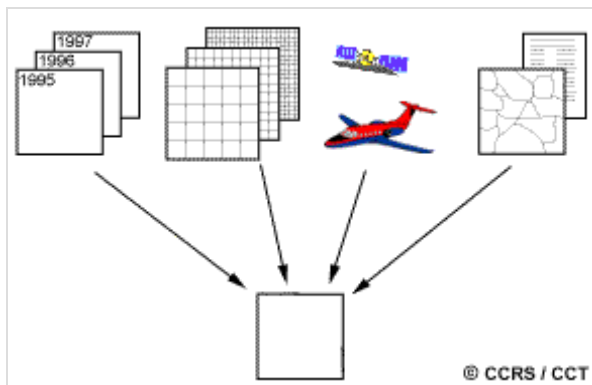
Η **μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση** στην ουσία ανατρέπει την διαδικασία επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Οι φασματικές κλάσεις αρχικά ομαδοποιούνται, βασισμένες αποκλειστικά στην αριθμητική πληροφορία στα δεδομένα και στη συνέχεια, αντιστοιχίζονται από τον αναλυτή σε κλάσεις πληροφοριών (αν αυτό είναι δυνατόν). Προγράμματα, ονόματι **ομαδοποίηση αλγορίθμων (clustering algorithms)**, χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των φυσικών (στατιστικά) ομάδων ή δομών στα δεδομένα. Συνήθως, ο αναλυτής καθορίζει πόσες ομάδες θα πρέπει να αναζητηθούν σε αυτά τα δεδομένα. Σε αντίθεση, για τον προσδιορισμό του επιθυμητού αριθμού των κλάσεων, ο αναλυτής μπορεί επίσης να καθορίσει τις παραμέτρους που σχετίζονται με την απόσταση διαχωρισμού μεταξύ των συστάδων και τη διακύμανση εντός κάθε συμπλέγματος. Το τελικό αποτέλεσμα αυτής της επαναληπτικής διαδικασίας ομαδοποίησης μπορεί να οδηγήσει σε μερικές συστάδες που ο αναλυτής θα θέλει να συνδυάσει στη συνέχεια ή να ομαδοποιήσει, οι οποίες θα έπρεπε να αναλύονται περαιτέρω, με καθεμία από αυτές να απαιτεί περαιτέρω εφαρμογή της ομαδοποίησης αλγορίθμου. Έτσι, η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση δεν γίνεται εντελώς χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Ωστόσο, αυτό δεν μπορεί να ξεκινήσει με ένα προκαθορισμένο σύνολο κατηγοριών, όπως σε μια επιβλεπόμενη ταξινόμηση.



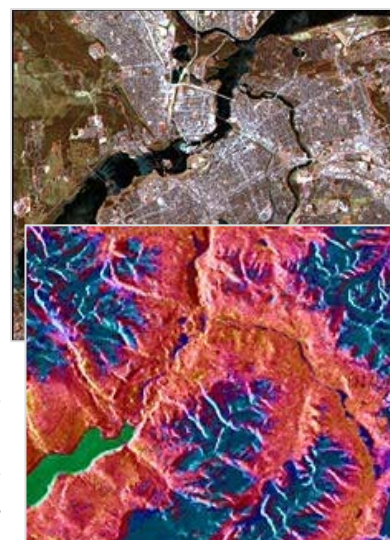
### 3.4 Ολοκλήρωση Δεδομένων και Ανάλυση



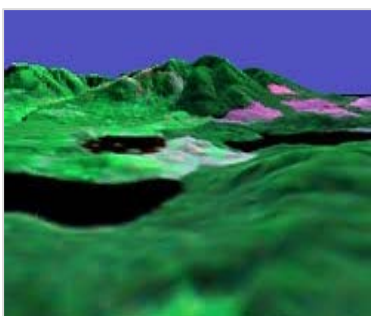
Κατά τις πρώτες ημέρες της αναλογικής τηλεπισκόπησης, όταν η μόνη πηγή δεδομένων τηλεπισκόπησης ήταν η αεροφωτογράφιση, η δυνατότητα για την ενσωμάτωση δεδομένων από διαφορετικές πηγές ήταν περιορισμένη. Σήμερα, με περισσότερα δεδομένα διαθέσιμα σε ψηφιακή μορφή από ένα ευρύ φάσμα αισθητήρων, η ενοποίηση των δεδομένων είναι μία κοινή μέθοδος που χρησιμοποιείται για την ερμηνεία και την ανάλυση. Η **ενοποίηση δεδομένων** περιλαμβάνει ουσιαστικά το συνδυασμό ή τη συγχώνευση των δεδομένων από πολλαπλές πηγές σε μια προσπάθεια να εξαχθούν καλύτερα περισσότερες πληροφορίες. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τα δεδομένα που είναι πολυ-χρονικά, διαφορετικής ανάλυσης, πολυφασματικών ή πολλαπλών τύπων στη φύση.



Η ενοποίηση πολυ-χρονικών δεδομένων έχει ήδη αναφερθεί στην ενότητα 3.6, όταν συζητήθηκε η αφαίρεση εικόνας. Οι εικόνες που συλλέγονται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές είναι ενσωματωμένες έτσι ώστε να εντοπιστούν οι περιοχές των αλλαγών. Η ανίχνευση πολυ-χρονικών αλλαγών μπορεί να επιτευχθεί μέσω απλών μεθόδων, όπως αυτές, ή από άλλες πιο πολύπλοκες προσεγγίσεις, όπως οι συγκρίσεις πολλαπλών ταξινομήσεων ή ταξινομήσεις, χρησιμοποιώντας ολοκληρωμένα σύνολα πολυ-χρονικών δεδομένων. Η συγχώνευση διαφορετικής ανάλυσης δεδομένων είναι χρήσιμη για μια ποικιλία εφαρμογών. Η συγχώνευση των δεδομένων υψηλότερης χωρικής ανάλυσης, με δεδομένα χαμηλότερης ανάλυσης, μπορεί να οξύνει σημαντικά τη χωρική λεπτομέρεια σε μια εικόνα και έτσι να ενισχυθεί η διάκριση των χαρακτηριστικών. Τα **δεδομένα SPOT** είναι κατάλληλα για αυτή την προσέγγιση καθώς τα παγχρωματικά δεδομένα 10 μέτρων, μπορούν εύκολα να συγχωνευθούν με τα πολυφασματικά δεδομένα 20 μέτρων. Επιπλέον, τα πολυφασματικά δεδομένα χρησιμεύουν για τη διατήρηση καλής φασματικής ανάλυσης, ενώ τα παγχρωματικά δεδομένα παρέχουν τη βέλτιστη χωρική ανάλυση.



Τα δεδομένα από διάφορους αισθητήρες μπορούν επίσης να συγχωνευθούν, φέρνοντας την έννοια της σύντηξης πολυφασματικών δεδομένων. Ένα εξαιρετικό παράδειγμα αυτής της τεχνικής είναι ο συνδυασμός των **πολυφασματικών οπτικών δεδομένων με εικόνες ραντάρ**. Αυτές οι δύο διαφορετικές φασματικές αναπαραστάσεις της επιφάνειας μπορούν να παρέχουν συμπληρωματικές πληροφορίες. Τα οπτικά δεδομένα παρέχουν λεπτομερή φασματική πληροφορία που είναι χρήσιμη για τη διάκριση μεταξύ διαφόρων τύπων επιφανειακής κάλυψης, ενώ οι εικόνες ραντάρ αναδεικνύουν την δομική λεπτομέρεια στην εικόνα.

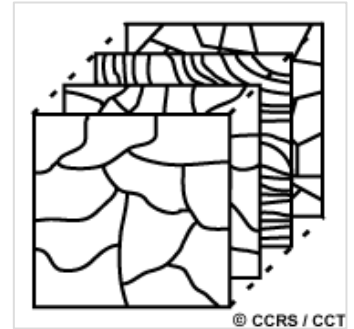


Οι εφαρμογές ενοποίησης πολυφασματικών δεδομένων απαιτούν γενικώς ότι τα δεδομένα θα πρέπει να καταχωρηθούν γεωμετρικά, είτε μεταξύ τους ή με ένα κοινό σύστημα γεωγραφικών συντεταγμένων ή με βάση χάρτη. Αυτό επιτρέπει επίσης άλλες **βοηθητικές** (συμπληρωματικές) πηγές δεδομένων να ενσωματωθούν με τα δεδομένα τηλεπισκόπησης. Για παράδειγμα, τα δεδομένα υψομέτρου σε ψηφιακή μορφή, που ονομάζονται **Ψηφιακό Υψόμετρο ή Ψηφιακά Επίγεια Μοντέλα [Digital Elevation or Digital**



**Terrain Models (DEMs / DTMs)**], μπορούν να συνδυάζονται με δεδομένα τηλεπισκόπησης για διάφορους σκοπούς. Τα DEMs / DTMs μπορούν να είναι χρήσιμα στην ταξινόμηση της εικόνας, καθώς οι επιδράσεις λόγω του εδάφους και της μεταβλητότητας της κλίσης μπορεί να διορθωθεί, ενδεχομένως αυξάνοντας την ακρίβεια της προκύπτουσας ταξινόμησης. Τα DEMs / DTMs είναι επίσης χρήσιμα για τη δημιουργία **τριδιάστατων όψεων (three-dimensional perspective views)** «επικαλύπτοντας» την εικόνα τηλεπισκόπησης πάνω από τα δεδομένα υψομέτρου, ενισχύοντας έτσι την οπτικοποίηση της περιοχής που απεικονίζεται.

Συνδυάζοντας δεδομένα από διάφορους τύπους και από διάφορες πηγές, όπως έχει περιγραφεί προηγουμένως, είναι το αποκορύφωμα της ολοκλήρωσης και ανάλυσης δεδομένων. Σε ένα ψηφιακό περιβάλλον όπου όλες οι πηγές δεδομένων είναι καταχωρημένες γεωμετρικά σε μια κοινή γεωγραφική βάση, η δυνατότητα για την εξαγωγή πληροφοριών είναι εξαιρετικά μεγάλη. Αυτή είναι η έννοια της ανάλυσης σε ένα ψηφιακό **Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΓΣΠ) [Geographic Information System (GIS)]**. Οποιαδήποτε πηγή δεδομένων η οποία μπορεί να αναφερθεί χωρικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αυτόν τον τύπο περιβάλλοντος. Ένα DEM / DTM είναι απλά ένα παράδειγμα αυτού του είδους των δεδομένων. Άλλα παραδείγματα θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν ψηφιακούς χάρτες του τύπου του εδάφους, κατηγορίες κάλυψης γης, δασικά είδη, οδικά δίκτυα, και πολλά άλλα, ανάλογα με την εφαρμογή. Τα αποτελέσματα από μία ταξινόμηση συνόλου δεδομένων τηλεπισκόπησης σε μορφή χάρτη, θα μπορούσαν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε ένα GIS ως μια άλλη πηγή δεδομένων για την ενημέρωση των υπάρχοντων δεδομένων χάρτη. Στην ουσία, αναλύοντας ποικίλα σύνολα δεδομένων μαζί, είναι δυνατόν να εξάγουμε καλύτερες και πιο ακριβείς πληροφορίες με ένα συνεργικό τρόπο, αντί χρησιμοποιώντας μία πηγή δεδομένων μεμονωμένα. Υπάρχουν μυριάδες πιθανές εφαρμογές και αναλύσεις δυνατές για πολλές εφαρμογές. Στο επόμενο και τελευταίο κεφάλαιο, θα εξετάσουμε παραδείγματα από διάφορες εφαρμογές των δεδομένων τηλεπισκόπησης, τα οποία πολλά αφορούν την ενσωμάτωση δεδομένων από διαφορετικές πηγές.



## 4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

### 4.1 Εισαγωγή

Όπως μάθαμε στην ενότητα που αφορά τους αισθητήρες, καθένας έχει σχεδιαστεί με ένα συγκεκριμένο σκοπό. Με τους οπτικούς αισθητήρες, το σχέδιο επικεντρώνεται στις φασματικές ζώνες προς συλλογή. Με την απεικόνιση ραντάρ, η γωνία πρόσπτωσης και το εύρος μικροκυμάτων που χρησιμοποιούνται, παίζουν σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό ποιές εφαρμογές για τις οποίες ο αισθητήρας είναι ο κατάλληλος.

Από μόνη της κάθε εφαρμογή έχει συγκεκριμένες απαιτήσεις, για τη φασματική, χωρική και χρονική ανάλυση.



Επανεξετάζοντας, η φασματική ανάλυση αναφέρεται στο πλάτος ή το εύρος της κάθε φασματικής ζώνης που καταγράφεται. Ως ένα παράδειγμα, παγχρωματικής εικόνας (που ανιχνεύει ένα μεγάλο εύρος όλων των ορατών μηκών κύματος) δεν θα είναι τόσο ευαίσθητο στη βλάστηση ως μία στενή ζώνη των ερυθρών μηκών κύματος, όπου η χλωροφύλλη απορροφά ισχυρά ηλεκτρομαγνητική ενέργεια.

Η χωρική ανάλυση αναφέρεται στην διακριτή λεπτομέρεια στην εικόνας. Η λεπτομερής χαρτογράφηση των υδροτόπων απαιτεί πολύ λεπτομερέστερη χωρική ανάλυση από ότι η περιφεριακή χαρτογράφηση των φυσιογραφικών περιοχών.

Η χρονική ανάλυση αναφέρεται στο χρονικό διάστημα μεταξύ εικόνων. Υπάρχουν εφαρμογές που απαιτούν επαναλαμβανόμενα και συχνά δεδομένα, όπως μια πετρελαιοκηλίδα, μια δασική πυρκαγιά, καθώς και η παρακολούθηση των κινήσεων των πάγων των ωκεανών. Ορισμένες εφαρμογές απαιτούν μόνο εποχιακή απεικόνιση (αναγνώριση των καλλιεργείων, προσβολή δασικών εντόμων, και παρακολούθηση υδροτόπων), και κάποιες χρειάζονται απεικόνιση μόνο μία φορά (δομική χαρτογράφηση γεωλογίας). Προφανώς, οι περισσότεροι χρόνο-κρίσιμες εφαρμογές απαιτούν επίσης γρήγορη ανάκαμψη για την επεξεργασία και παράδοση της εικόνας, λαμβάνοντας έτσι χρήσιμες εικόνες γρήγορα στα χέρια του χρήστη.

Σε περίπτωση που απαιτείται επαναλαμβανόμενη απεικόνιση, η συχνότητα επανάφιξης ενός αισθητήρα είναι σημαντική (πόσο καιρό πριν μπορεί να απεικονίσει την ίδια θέση στην Γη ξανά). Οι οπτικοί αισθητήρες έχουν περιορισμούς σε συννεφιασμένα περιβάλλοντα, όπου οι στόχοι μπορούν να επικαλυφθούν. Σε ορισμένες περιοχές του κόσμου, κυρίως στις τροπικές, αυτό είναι ουσιαστικά μία μόνιμη κατάσταση. Οι πολικές περιοχές υποφέρουν επίσης από τον ανεπαρκή ηλιακό φωτισμό, για αρκετούς μήνες, σε έναν χρόνο. Το ραντάρ παρέχει αξιόπιστα δεδομένα, διότι ο αισθητήρας παρέχει δικό του φωτισμό και έτσι έχει μεγάλα μήκη κύματος που μπορούν να διεισδύσουν σε σύννεφο, σε καπνό και ομίχλη, εξασφαλίζοντας ότι ο στόχος δεν θα επισκιάζεται από τις καιρικές συνθήκες, ή κακές συνθήκες φωτισμού.

Συχνά χρειάζονται περισσότεροι από έναν μόνο αισθητήρα για να ανταποκριθούν επαρκώς σε όλες τις απαιτήσεις για μία δεδομένη εφαρμογή. Η συνδυασμένη χρήση πολλαπλών πηγών πληροφοριών ονομάζεται ολοκλήρωση (integration). Πρόσθετα δεδομένα που μπορούν να βοηθήσουν στην ανάλυση ή την ερμηνεία των δεδομένων ονομάζονται "βοηθητικά" δεδομένα (ancillary data).

Οι εφαρμογές της τηλεπισκόπησης που περιγράφονται σε αυτό το κεφάλαιο είναι αντιπροσωπευτικές, αλλά δεν είναι εξαντλητικές. Εμείς δεν αγγίζουμε, για παράδειγμα, στην ευρύτερη περιοχή της έρευνας και της πρακτικής εφαρμογής του καιρού και της κλιματικής ανάλυσης, αλλά επικεντρωνόμαστε σε εφαρμογές που συνδέονται με την επιφάνεια της Γης. Ο αναγνώστης πρέπει επίσης να σημειώσει ότι υπάρχει μια σειρά από άλλες εφαρμογές που ασκούνται, αλλά είναι πολύ εξειδικευμένες στη φύση, και δεν καλύπτονται εδώ (π.χ. ανάλυση επίγειας κίνησης, αρχαιολογικές έρευνες, σχεδιασμός οδού και χρησιμότητας διαδρόμου, κλπ.).

### Πολλαπλές πηγές πληροφόρησης

Κάθε μίαντα της πληροφορίας που συλλέγεται από έναν αισθητήρα περιέχει σημαντικά και μοναδικά δεδομένα. Γνωρίζοντας ότι διαφορετικά μήκη κύματος της προσπίπτουσας ενέργειας επηρεάζονται με διαφορετικό τρόπο από κάθε στόχο από τον οποίο απορροφώνται, αντανακλώνται ή μεταδίδονται σε διαφορετικές αναλογίες. Η εμφάνιση των στόχων μπορεί εύκολα να αλλάξει με την πάροδο του χρόνου, μερικές φορές μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα. Σε πολλές εφαρμογές, χρησιμοποιώντας πληροφορίες από πολλές διαφορετικές πηγές εξασφαλίζεται ότι η αναγνώριση του στόχου ή η εξαγωγή πληροφοριών είναι όσο το δυνατόν ακριβέστερη. Τα ακόλουθα περιγράφουν τρόπους απόκτησης πολύ περισσότερων πληροφοριών σχετικά με ένα στόχο ή μια περιοχή, από ότι με μία μίαντα από ένα αισθητήρα.

### Πολυφασματικοί

Η χρήση πολλαπλών ζωνών φασματικής πληροφορίας επιχειρεί να εκμεταλλευτεί διαφορετικές και ανεξάρτητες «προβολές» των στόχων, έτσι ώστε να κάνουν την ταυτοποίησή τους όσο το δυνατόν ακριβέστερα. Αρκετές μελέτες έχουν διεξαχθεί για τον καθορισμό βέλτιστων φασματικών ζωνών για την ανάλυση συγκεκριμένων στόχων, όπως δέντρα κατεστραμμένα από έντομα.



### Multisensor

Διαφορετικοί αισθητήρες παρέχουν συχνά συμπληρωματική πληροφορία, και όταν ενσωματώνονται μαζί, μπορούν να διευκολύνουν την ερμηνεία και ταξινόμηση των εικόνων. Τα παραδείγματα περιλαμβάνουν το συνδυασμό υψηλής ανάλυσης παγχρωματικών εικόνων με μικρότερης ανάλυσης πολυφασματικών εικόνων, ή συγχώνευση δεδομένων που ανιχνεύτηκαν ενεργητικά και παθητικά. Ένα συγκεκριμένο παράδειγμα είναι η ενσωμάτωση των εικόνων SAR με πολυφασματικές εικόνες. Τα SAR δεδομένα προσθέτουν την έκφραση επιφανειακής τοπογραφίας και αναγλύφου σε μια κατά τα άλλα επίπεδη εικόνα. Η πολυφασματική εικόνα συνεισφέρει σημαντικές έγχρωμες πληροφορίες σχετικά με τη σύνθεση ή την κάλυψη της επιφάνειας του εδάφους. Αυτό το είδος της εικόνας χρησιμοποιείται συχνά στη γεωλογία, όπου η λιθολογία ή αλλιώς η σύνθεση των ορυκτών αντιπροσωπεύεται από την φασματική συνιστώσα και η δομή αναπαρίσταται από το συστατικό του ραντάρ.

### Πολυ-χρονικοί

Πληροφορίες από πολλαπλές εικόνες που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου αναφέρονται ως πολυ-χρονική πληροφορία. Οι πολυ-χρονικές μπορεί να παραπέμπουν σε εικόνες που λαμβάνονται ανά ημέρες, εβδομάδες, ή ακόμη και χρόνια. Η παρακολούθηση αλλαγών κάλυψης γης ή ανάπτυξης σε αστικές περιοχές απαιτεί εικόνες από διαφορετικές χρονικές περιόδους. Τα βαθμονομημένα δεδομένα, με προσεκτικούς ελέγχους στην ποσοτική πτυχή της φασματικής ή οπισθο-σκεδαζόμενης (backscatter) ανταπόκρισης, απαιτούνται για τη σωστή παρακολούθηση δραστηριοτήτων. Με μη βαθμονομημένα δεδομένα, μία ταξινόμηση της παλαιότερης εικόνας συγκρίνεται με μια ταξινόμηση από την πρόσφατη εικόνα και αλλαγές στα όρια των κλάσεων οριοθετούνται. Ένα άλλο πολύτιμο πολυ-χρονικό εργαλείο είναι η παρατήρηση της φαινολογίας της βλάστησης (πώς οι αλλαγές βλάστησης σε όλη την περίοδο καλλιέργειας), η οποία απαιτεί δεδομένα σε τακτά χρονικά διαστήματα καθ' όλη την περίοδο καλλιέργειας.

Η «πολυ-χρονική πληροφορία» αποκτάται από την ερμηνεία των εικόνων που λαμβάνονται στην ίδια περιοχή, αλλά σε διαφορετικούς χρόνους. Η διαφορά του χρόνου μεταξύ των εικόνων επιλέγεται έτσι ώστε να είμαστε σε θέση να παρακολουθήσουμε ορισμένα δυναμικά γεγονότα. Μερικά καταστροφικά γεγονότα (κατολισθήσεις, πλημμύρες, πυρκαγιές, κλπ.) θα χρειάζονταν μια χρονική διαφορά υπολογισμένη σε ημέρες, ενώ πολύ "αργά" γεγονότα (τήξη των πάγων, αναγέννηση του δάσους, κ.λπ.) θα απαιτούσαν χρόνια. Αυτού του τύπου εφαρμογή απαιτεί επίσης τη συνεκτικότητα σε συνθήκες φωτισμού (ηλιακή γωνία ή ραντάρ γεωμετρικής απεικόνισης) για τη παροχή συνεπών και συγκρίσιμων αποτελεσμάτων ταξινόμησης.

Η απόλυτη σε κρισιμότητα (και ποσοτική) πολυ-χρονική ανάλυση εξαρτάται από βαθμονομημένα δεδομένα. Μόνο με τη συσχέτιση της φωτεινότητας, που φαίνεται στην εικόνα σε φυσικές μονάδες, οι εικόνες μπορούν να συγκριθούν με ακρίβεια και έτσι να καθοριστούν η φύση και το μέγεθος των παρατηρούμενων αλλαγών.

## 4.2 Γεωργία



Η γεωργία διαδραματίζει κυρίαρχο ρόλο στις οικονομίες τόσο των ανεπτυγμένων όσο και υπανάπτυκτων χωρών. Αν και η γεωργία αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό κλάδο εμπορίας για μια οικονομικά ισχυρή χώρα ή απλά τροφή για ένα πεινασμένο υπερπληθυσμό, παίζει σημαντικό ρόλο σχεδόν σε κάθε έθνος. Η παραγωγή τροφίμων είναι σημαντική για όλους και παράγοντας τροφή με οικονομικά αποδοτικούς τρόπους είναι ο στόχος του κάθε αγρότη, μίας μεγάλης κλίμακας γεωργικών εκμεταλλεύσεων των υπευθύνων και των περιφερειακών γεωργικών πρακτορείων. Ο γεωργός πρέπει να ενημερωθεί για να είναι αποδοτικός και αυτό περιλαμβάνει να έχει την γνώση και πληροφορίες προϊόντων για τη χάραξη μιας βιώσιμης στρατηγικής για γεωργικές εργασίες. Τα εργαλεία αυτά θα τον βοηθήσουν να κατανοήσει την





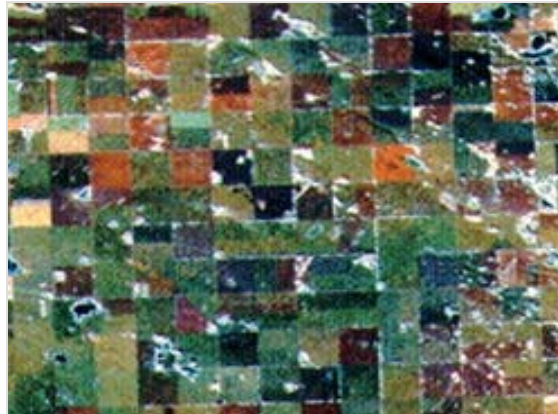
υγεία της καλλιέργειας του, την έκταση της προσβολής ή την τάση της ζημιά, ή την δυναμική απόδοση και τις συνθήκες του εδάφους. Οι εμπορομεσίτες επίσης ενδιαφέρονται πολύ για το πόσο καλά τα αγροκτήματα παράγουν προϊόντα, ως απόδοση (τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά) και εκτιμούν τον έλεγχο των τιμών όλων των προϊόντων και το παγκόσμιο εμπόριο.

Οι **δορυφορικές και εναέριας εικόνες** χρησιμοποιούνται ως εργαλεία χαρτογράφησης για την ταξινόμηση των καλλιεργειών, εξετάζουν την υγεία και τη βιωσιμότητά τους και παρακολουθούν τις γεωργικές πρακτικές. Οι γεωργικές εφαρμογές της τηλεπισκόπησης περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- ❖ ταξινόμηση τύπου καλλιέργειας
- ❖ εκτίμηση της κατάστασης των καλλιεργειών
- ❖ εκτίμηση της απόδοσης των καλλιεργειών
- ❖ χαρτογράφηση των χαρακτηριστικών του εδάφους
- ❖ χαρτογράφηση των διαχειριστικών πρακτικών του εδάφους
- ❖ παρακολούθηση της συμμόρφωσης (γεωργικές πρακτικές)



#### 4.2.1 Τύπος Περικοπής Χαρτογράφησης



##### Υπόβαθρο (Background)

Η ταυτοποίηση και η χαρτογράφηση καλλιεργειών είναι σημαντική για πολυάριθμους λόγους. Χάρτες των τύπων καλλιεργειών δημιουργούνται από εθνικούς και πολυεθνικούς γεωργικούς οργανισμούς, ασφαλιστικούς φορείς και από περιφερειακά γεωργικά συμβούλια με σκοπό να προετοιμαστεί μια απογραφή για το τι έχει καλλιεργηθεί σε ορισμένες περιοχές και πότε. Αυτό εξυπηρετεί το σκοπό της πρόβλεψης της προμήθειας των σιτηρών (απόδοση πρόβλεψης), τη συλλογή στατιστικών παραγωγής καλλιεργειών, τη διευκόλυνση της αμειψισποράς, τη χαρτογράφηση της παραγωγικότητας του εδάφους, των προσδιορισμών των παραγόντων που επηρεάζουν τις καλλιέργειες, την εκτίμηση των ζημιών καλλιεργειών λόγω των καταιγίδων και ξηρασίας, καθώς και την παρακολούθηση της γεωργικής δραστηριότητας.

Οι κύριες δραστηριότητες περιλαμβάνουν τον προσδιορισμό των τύπων καλλιεργειών και οριοθετούν την έκταση τους (συντά μετρίεται σε στρέμματα). Οι παραδοσιακές μέθοδοι πρόσβασης αυτής της πληροφορίας είναι η απογραφή και αποτύπωση του εδάφους. Προκειμένου να τυποποιηθούν μετρήσεις, ιδιαίτερα για τις πολυεθνικές διαφημιστικές εταιρείες και κοινοπραξίες, η τηλεπισκόπηση μπορεί να παρέχει κοινή συλλογή δεδομένων και στρατηγικές εξαγωγής πληροφορίας.

##### Γιατί τηλεπισκόπηση;

Η τηλεπισκόπηση προσφέρει ένα αποτελεσματικό και αξιόπιστο μέσο για τη συλλογή της απαιτούμενης πληροφορίας, προκειμένου να χαρτογραφησει τον τύπο και την έκταση των καλλιεργειών. Εκτός από την παροχή μιας συνοπτικής προβολής, η τηλεπισκόπηση μπορεί να παρέχει δομικές πληροφορίες σχετικά με την υγεία της βλάστησης. Η φασματική ανάκλαση ενός πεδίου θα ποικίλει σε σχέση με τις μεταβολές της φαινολογίας (ανάπτυξη), τον τύπο του σταδίου, και την υγεία των καλλιεργειών και έτσι μπορεί να μετρηθεί και να παρακολουθείται από πολυφασματικούς αισθητήρες. Το ραντάρ είναι ευαίσθητο στη δομή, στην



ευθυγράμμιση και στην περιεκτικότητα σε υγρασία της καλλιέργειας και έτσι μπορεί να παρέχει συμπληρωματικές πληροφορίες για τα οπτικά δεδομένα. Συνδυάζοντας την πληροφορία από αυτούς τους δύο τύπους αισθητήρων αυξάνεται η διαθέσιμη πληροφορία για τη διάκριση κάθε κλάσης στόχου και τις αντίστοιχες υπογραφές της και έτσι υπάρχει μια καλύτερη πιθανότητα να εκτελεστεί μία ακριβέστερη ταξινόμηση.

Οι ερμηνείες από δεδομένα τηλεπισκόπησης μπορούν να εισαχθούν σε ένα σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) και συστήματα αμειψισποράς, σε συνδυασμό με βοηθητικά δεδομένα, για την παροχή πληροφοριών από την ιδιοκτησία, τις πρακτικές διαχείρισης, κλπ.

### Απαιτούμενα στοιχεία

Η αναγνώριση και χαρτογράφηση καλλιέργειας είναι ένα όφελος από τη χρήση των πολυ-χρονικών εικόνων για τη διευκόλυνση της ταξινόμηση λαμβάνοντας υπόψη τις αλλαγές στην ανακλαστικότητα ως συνάρτηση της φαινολογίας του φυτού (φάση ανάπτυξης). Αυτό με τη σειρά του απαιτεί βαθμονόμηση των αισθητήρων και συχνή επαναληπτική απεικόνιση καθ' όλη την καλλιεργητική περίοδο. Για παράδειγμα, οι καλλιέργειες τύπου *canola* μπορεί να είναι ευκολότερο να εντοπιστούν όταν ανθίζουν, εξαιτίας τόσο της αλλαγής φασματικής ανάκλασης, καθώς και λόγω του χρονοδιαγράμματος της ανθοφορίας.

Τα multisensor δεδομένα είναι επίσης πολύτιμα για την αύξηση της ακρίβειας ταξινόμησης με τη συμβολή περισσότερων πληροφοριών από ό, τι ένας μοναδικός αισθητήρας που θα μπορούσε να παρέχει. Η VIR ανίχνευση συμβάλλει σε πληροφορίες σχετικά με το περιεχόμενο της χλωροφύλλης των φυτών και της δομής της κομοστέγης, ενώ το ραντάρ παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη δομή των φυτών και την υγρασία τους. Σε περιοχές επίμονης νεφοκάλυψης ή ομίχλης, το ραντάρ είναι ένα εξαιρετικό εργαλείο για την παρατήρηση και τη διάκριση του είδους της καλλιέργειας που οφείλεται στις δυνατότητες ενεργητικής ανίχνευσης και στα μεγάλα μήκη κύματος, που μπορούν να διεισδύσουν μέσω των ατμοσφαιρικών υδρατμών.

### Καναδάς εναντίον Διεθνών Περιοχών

Αν και οι αρχές της αναγνώρισης των ειδών καλλιέργειας είναι οι ίδιες, η κλίμακα της παρατήρησης στην Ευρώπη και τη Νοτιοανατολική Ασία είναι σημαντικά μικρότερη από ό, τι στη Βόρεια Αμερική, κυρίως λόγω μικρότερων μεγεθών του πεδίου. Η νεφοκάλυψη στην Ευρώπη και στις τροπικές χώρες συνήθως περιορίζει τη χρήση της υψηλής ευκρίνειας των οπτικών αισθητήρων. Σε αυτές τις περιπτώσεις το ραντάρ υψηλής ευκρίνειας θα έχει σημαντική συμβολή.

Τα ευμεγέθη φύλλα των τροπικών γεωργικών καλλιεργειών (κακάο, μπανάνες, και φοινικόδεντρο) έχουν διαφορετικές υπογραφές στο ραντάρ. Τα φύλλα μπανάνας, ιδίως χαρακτηρίζονται από έντονη οπίσθο-σκέδαση (εκφράζεται με "B" στην εικόνα). Η παρακολούθηση των σταδίων της ανάπτυξης του ρυζιού αποτελεί βασική εφαρμογή στις τροπικές περιοχές, ιδιαίτερα στις χώρες της Ασίας. Το ραντάρ είναι πολύ ευαίσθητο στη τραχύτητα της επιφάνειας και η ανάπτυξη των ορυζώνων παρέχει μια δραματική αλλαγή στη φωτεινότητα από τις χαμηλές αποδόσεις των λείων επιφανειών νερού σε πλημμυρισμένους ορυζώνες σε υψηλές αποδόσεις της αναδυόμενης καλλιέργειας ρυζιού.



### Μελέτη μιας περίπτωσης (παράδειγμα)

Οι χώρες που περιλαμβάνονται στις Ευρωπαϊκές Κοινότητες (ΕΚ) χρησιμοποιούν τηλεπισκόπηση για να πληρούν τις απαιτήσεις και την εντολή της Ευρωπαϊκής Πολιτικής για την Γεωργία, η οποία είναι κοινή για όλα τα μέλη. Οι απαιτήσεις είναι για να οριοθετηθούν, να ταυτοποιούν, και να μετρούν την έκταση σημαντικών καλλιεργειών σε όλη την Ευρώπη και να παρέχουν μια πρόωγη πρόβλεψη της παραγωγής στην αρχή της σεζόν. Οι τυποποιημένες διαδικασίες για τη συλλογή αυτών των δεδομένων βασίζονται στην τεχνολογία της τηλεπισκόπησης, που αναπτύχθηκε και προσδιορίστηκε μέσω του προγράμματος MARS (παρακολούθηση της γεωργίας μέσω της τηλεπισκόπησης).

Το έργο χρησιμοποιεί πολλούς τύπους τηλεπισκοπικών δεδομένων, από χαμηλή ανάλυση NOAA-AVHRR, μέχρι ραντάρ υψηλής ανάλυσης και πολυάριθμες πηγές βοηθητικών δεδομένων. Αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση του είδους καλλιέργειας σε τοπική κλίμακα για τη διεξαγωγή τοπικών αποθεμάτων, για την αξιολόγηση της κατάστασης της βλάστησης, για την εκτίμηση του δυναμικού απόδοσης και τέλος για την πρόβλεψη παρόμοιων στατιστικών στοιχείων για άλλες περιοχές και για την σύγκριση των αποτελεσμάτων. Τα δεδομένα πολλαπλών πηγών όπως VIR και ραντάρ εισήχθησαν στο σχέδιο για την αύξηση της ακρίβειας της ταξινόμησης. Το Ραντάρ παρέχει πολύ διαφορετικές πληροφορίες από τους αισθητήρες VIR, ιδίως από τη δομή της βλάστησης, η οποία αποδεικνύεται πολύτιμη όταν πραγματοποιείται προσπάθεια για την διαφοροποίηση μεταξύ τύπων καλλιεργειών.

Μία από τις βασικές εφαρμογές μέσα σε αυτό το έργο είναι η επιχειρησιακή χρήση των δεδομένων υψηλής οπτικής ανάλυσης και ραντάρ για την επιβεβαίωση των όρων που έχουν τεθεί από έναν αγρότη, όταν έχει υποβάλει αίτηση ενίσχυσης ή αποζημίωσης. Η χρήση της τηλεπισκόπησης εντοπίζει πιθανές περιοχές μη-συμμόρφωσης ή ύποπτες συνθήκες, οι οποίες μπορούν στη συνέχεια να διερευνηθούν από άλλες, πιο άμεσες μεθόδους.

Στο πλαίσιο του Ολοκληρωμένου Συστήματος Διαχείρισης και Ελέγχου (ΟΣΔΕ), τα δεδομένα τηλεπισκόπησης υποστηρίζουν την ανάπτυξη και τη διαχείριση βάσεων δεδομένων, οι οποίες περιλαμβάνουν κτηματολογικές πληροφορίες, δηλώσεις της χρήσης γης και μέτρηση των αγροτεμαχίων. Αυτή η πληροφορία εξετάζεται λαμβάνοντας εφαρμογές για επιχορηγήσεις περιοχών.

Αυτό είναι ένα παράδειγμα μιας πραγματικά επιτυχούς λειτουργικής ταυτοποίησης καλλιεργειών και παρακολούθησης εφαρμογής της τηλεπισκόπησης.

## 4.2.2 Παρακολούθηση Καλλιεργειών και Αξιολόγηση Βλαβών

### Υπόβαθρο (Background)

Η αξιολόγηση της υγείας μιας καλλιέργειας, καθώς και η έγκαιρη ανίχνευση των μολύνσεων των καλλιεργειών, είναι κρίσιμες για τη διασφάλιση της ορθής γεωργικής παραγωγικότητας. Η πίεση σχετιζόμενη με, για παράδειγμα, την υγρασία, τις ελλείψεις, τα έντομα, τους μύκητες και μολύνσεις από ζιζάνια, πρέπει να ανιχνεύονται αρκετά νωρίς ώστε να παρέχει μια ευκαιρία στον γεωργό να τα αντιμετωπίσει. Αυτή η διαδικασία απαιτεί ότι η εικόνα της τηλεπισκόπησης πρέπει να παρέχεται σε τακτική βάση (τουλάχιστον, εβδομαδιαία) και να παραδίδεται στον γεωργό γρήγορα, συνήθως μέσα σε 2 ημέρες.

Επίσης, οι καλλιέργειες δεν αναπτύσσονται γενικά ομοιόμορφα σε όλο το πεδίο και κατά συνέπεια, η απόδοση των καλλιεργειών μπορεί να διαφέρει σημαντικά από το ένα σημείο στο άλλο. Αυτές οι διαφορές ανάπτυξης μπορεί να είναι ένα αποτέλεσμα των ελλείψεων θρεπτικών του εδάφους ή άλλων μορφών πίεσης. Η τηλεπισκόπηση επιτρέπει στον αγρότη να προσδιορίσει περιοχές μέσα σε ένα πεδίο που αντιμετωπίζουν δυσκολίες, ώστε να μπορέσει να εφαρμόσει, για παράδειγμα, τον σωστό τύπο και ποσότητα λιπάσματος, φυτοφαρμάκων ή ζιζανιοκτόνων. Χρησιμοποιώντας αυτήν την προσέγγιση, ο γεωργός όχι μόνο βελτιώνει την παραγωγικότητα από τη γη του, αλλά επίσης μειώνει το εισερχόμενο κόστος του αγροκτήματος και ελαχιστοποιεί τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Υπάρχουν πολλοί άνθρωποι που εμπλέκονται στην εμπορία, την τιμολόγηση, την πώληση των καλλιεργειών που στην πραγματικότητα ποτέ δεν πάτησε κανένας το πόδι του ούτε σε έναν πεδίο. Χρειάζονται πληροφορίες σχετικά με την υγεία των καλλιεργειών παγκόσμιος για να καθοριστούν οι τιμές



και να γίνει διαπραγμάτευση των εμπορικών συμφωνιών. Πολλοί από αυτούς τους ανθρώπους βασίζονται σε προϊόντα όπως για παράδειγμα έναν δείκτη αξιολόγησης καλλιεργειών για να συγκρίνουν ποσοστά αύξησης και παραγωγικότητα μεταξύ χρόνων και για δουν πόσο καλά η γεωργική βιομηχανία κάθε χώρας παράγει. Αυτού του είδους η πληροφορία μπορεί επίσης να βοηθήσει τοποθεσίες στόχων μελλοντικών προβλημάτων, όπως για παράδειγμα η πείνα στην Αιθιοπία στα τέλη της δεκαετίας του 1980, που προκλήθηκε από μια σημαντική ξηρασία που κατέστρεψε πολλές καλλιέργειες. Η ταυτοποίηση τέτοιων περιοχών διευκολύνει στο σχεδιασμό και την κατεύθυνση της ανθρωπιστικής βοήθειας.

### Γιατί τηλεπισκόπηση;



Η τηλεπισκόπηση έχει μια σειρά από χαρακτηριστικά που επιδέχονται να παρακολουθούν την υγεία των καλλιεργειών. Ένα πλεονέκτημα της οπτικής επισκόπησης (VIR) είναι ότι μπορεί να δει πέρα των ορατών μήκων κύματος στο υπέρυθρο, όπου τα μήκη κύματος είναι πολύ ευαίσθητα σε σθένος των καλλιεργειών, καθώς και η πίεση και η ζημιά αυτών. Οι εικόνες τηλεπισκόπησης δίνουν επίσης την απαιτούμενη χωρική επισκόπηση της γης. Οι πρόσφατες εξελίξεις στην επικοινωνία και τεχνολογία επιτρέπουν στους γεωργούς να παρατηρούν εικόνες των πεδίων τους και να παίρνουν έγκαιρες αποφάσεις σχετικά με τη διαχείριση των καλλιεργειών. Η τηλεπισκόπηση μπορεί να βοηθήσει στην ταυτοποίηση των καλλιεργειών που έχουν επηρεαστεί από συνθήκες που

είναι πάρα πολύ ξηρές ή υγρές που έχουν επηρεαστεί από έντομα, μολύνσεις ζιζανίων ή μυκήτων ή **ξημίες σχετιζόμενες με τον καιρό**. Οι εικόνες μπορούν να ληφθούν σε όλη την η καλλιεργητική περίοδος όχι μόνο για την ανίχνευση προβλημάτων, αλλά και για την παρακολούθηση της επιτυχίας της θεραπείας. Στο παράδειγμα της εικόνας που δίνεται εδώ, ένας ανεμοστρόβιλος κατέστρεψε καλλιέργειες νοτιοδυτικά του Γουίνιπεγκ, στη Μανιτόμπα.

Η υγιής βλάστηση περιέχει μεγάλες ποσότητες χλωροφύλλης, η ουσία που δίνει στη περισσότερη βλάστηση το χαρακτηριστικό πράσινο χρώμα της. Αναφερόμενοι στη υγιείς καλλιέργειες, η ανάκλαση στα μπλε και ερυθρά σημεία του φάσματος είναι χαμηλή, καθώς η χλωροφύλλη απορροφά την ενέργεια αυτή. Σε αντίθεση, η ανάκλαση στις πράσινες και εγγύς υπέρυθρες περιοχές του φάσματος είναι υψηλή. Οι υποβαθμισμένες ή κατεστραμμένες καλλιέργειες παρουσιάζουν μία μείωση στην περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη και αλλαγές στην εσωτερική δομή των φύλλων. Η μείωση της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη καταλήγει σε μείωση της ανάκλασης στην πράσινη περιοχή και οι εσωτερικές ζημιές των φύλλων έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ανακλαστικότητας στο εγγύς υπέρυθρο. Αυτές οι μειώσεις της ανακλαστικότητας στο πράσινο και στο υπέρυθρο παρέχουν έγκαιρη ανίχνευση της πίεσης των καλλιεργειών. Εξετάζοντας την αναλογία που ανακλώμενου υπέρυθρου στα ερυθρά μήκη κύματος είναι μία εξαιρετική μέτρηση της υγείας της βλάστησης. Αυτό είναι το σκεπτικό πίσω από κάποιους δείκτες βλάστησης, όπως ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI) (Κεφάλαιο 3). Τα υγιή φυτά έχουν ένα υψηλό NDVI λόγω της υψηλής ανακλαστικότητας υπέρυθρου φωτός και σχετικά χαμηλή ανακλαστικότητα ερυθρού φωτός. Η φαινολογία και το σθένος είναι οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν το NDVI. Ένα εξαιρετικό παράδειγμα είναι η διαφορά μεταξύ των αρδευόμενων καλλιεργειών και μη αρδευόμενης γης. Οι αρδευόμενες καλλιέργειες εμφανίζονται φωτεινά πράσινες σε ένα **πραγματικό χρώμα προσομοιωμένης εικόνας (real colour simulated image)**. Οι πιο σκούρες περιοχές είναι στεγνά βοσκοτόπια με ελάχιστη βλάστηση. Σε μια CIR (colour infrared simulated) εικόνα, όπου η υπέρυθρη



ανακλαστικότητα εμφανίζεται με κόκκινο χρώμα, η υγιής βλάστηση εμφανίζεται με έντονο κόκκινο, ενώ ο βοσκότοπος παραμένει αρκετά χαμηλά σε ανακλαστικότητα.

Η εξέταση διακυμάνσεων στην ανάπτυξη καλλιεργειών μέσα σε ένα πεδίο είναι δυνατή. Περιοχές με συνεχώς υγιείς και δυναμικές καλλιέργειες θα εμφανίζονταν ομοιόμορφα φωτεινές. Η υποβαθμισμένη βλάστηση θα εμφανίζεται με σκούρο χρώμα μεταξύ των φωτεινότερων, υγιέστερων περιοχών καλλιέργειας. Αν τα δεδομένα γεωαναφερμένα και εάν ο γεωργός έχει μία μονάδα GPS (με παγκόσμια δορυφορική θέση), θα μπορεί να βρει την ακριβή έκταση του προβλήματος πολύ γρήγορα, αντιστοιχίζοντας τις συντεταγμένες της δικής του τοποθεσίας σε αυτήν της εικόνας.

### Απαιτήσεις δεδομένων

Η ανίχνευση της βλάβης και η παρακολούθηση της υγείας καλλιεργειών απαιτεί υψηλής ανάλυσης εικόνες και δυνατότητες πολυφασματικής απεικόνισης. Ένας από τους πιο κρίσιμους παράγοντες στη κατασκευή χρήσιμων εικόνων για τους αγρότες είναι ένας γρήγορος χρόνος ολοκλήρωσης από την απόκτηση δεδομένων έως τη διανομή των πληροφοριών των καλλιεργειών. Λαμβάνοντας μία εικόνα που αντικατοπτρίζει τις συνθήκες της καλλιέργειας δύο εβδομάδες νωρίτερα δεν βοηθά σε πραγματικό χρόνο στη διαχείριση, ούτε τον περιορισμό της ζημιάς. Επίσης οι εικόνες απαιτούνται σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου και σε συχνή βάση.

Η τηλεπισκόπηση δεν αντικαθιστά την εργασία πεδίου που εκτελείται από τους αγρότες για την παρακολούθηση των χωραφιών τους, αλλά τους κατευθύνει προς τις περιοχές που χρήζουν άμεση προσοχή.

### Canada vs International

Αποδοτικές γεωργικές πρακτικές είναι μία παγκόσμια ανησυχία και άλλες χώρες μοιράζονται πολλές από τις ίδιες απαιτήσεις όπως ο Καναδάς από άποψη παρακολούθησης υγείας καλλιεργειών με τρόπους τηλεπισκόπησης. Σε πολλές περιπτώσεις, ωστόσο, η κλίμακα του ενδιαφέροντος είναι μικρότερη, μικρότερα πεδία στην Ευρώπη και Ασία υπαγορεύουν συστήματα υψηλότερης ανάλυσης και μικρότερη επιφανειακή κάλυψη. Ο Καναδάς, οι ΗΠΑ, και η Ρωσία, μεταξύ άλλων, έχουν πιο εκτενείς περιοχές που διατίθενται για τη γεωργία και έχουν αναπτυχθεί ή βρίσκονται στη διαδικασία ανάπτυξης, συστημάτων πληροφοριών των καλλιεργειών (βλέπε παρακάτω). Σε αυτή την κατάσταση η τοπική κάλυψη και τα δεδομένα χαμηλότερης ανάλυσης (πχ. 1 χλμ) μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Η υψηλότερη ανάλυση διευκολύνει την αποδοτικότητα του υπολογιστή ελαχιστοποιώντας τον χώρο αποθήκευσης, την προσπάθεια επεξεργασίας και τις απαιτήσεις της μνήμης.

Ως ένα παράδειγμα μιας διεθνούς εφαρμογής παρακολούθησης καλλιεργειών, οι χουρμαδιές είναι το μελλοντικό αντικείμενο μιας έρευνας για την διαπίστωση εάν η μέθοδος της τηλεπισκόπησης μπορεί να εντοπίσει βλάβες από τους κόκκινους ρυγχωτούς κώνθους στη Μέση Ανατολή. Η προσβολή από το ρυγχωτό κώνθο θα μπορούσε να καταστρέψει τις καλλιέργειες φοινίκων γρήγορα και να καταπιεί εμπόρευμα αξίας εκατοντάδων εκατομμυρίων δολαρίων. Οι τεχνικές τηλεπισκόπησης θα χρησιμοποιηθούν για να εξεταστεί η υγεία των καλλιεργειών μέσω της φασματικής ανάλυσης της βλάστησης. Οι μολυσμένες περιοχές φαίνονται κίτρινες με γυμνό μάτι και θα «δήξει» μία μικρότερη εγγύς-υπέρυθρη ανάκλαση και μία υψηλότερη ερυθρή ανάκλαση στα δεδομένα εικόνας τηλεπισκόπησης από ό, τι οι υγιής εκτάσεις. Οι αρχές ελπίζουν να προσδιορίσουν τις περιοχές της μόλυνσης και να παρέχουν μέτρα για την εξάλειψη του ρυγχωτού κώνθου και να σώσουν τις εναπομείναντες υγιείς καλλιέργειες.

### Μελέτη μιας περίπτωσης (παράδειγμα)

Το Καναδικό Σύστημα Πληροφοριών Καλλιεργειών: χάρτης ενός δείκτη σύνθετων καλλιεργειών δημιουργείται κάθε εβδομάδα, που προέρχεται από σύνθετα NOAA-AVHRR δεδομένα. Με βάση τον NDVI, ο δείκτης απεικονίζει την υγεία των καλλιεργειών στις περιοχές του λιβαδιού της Manitoba, μέσα στην Αλμπέρτα. Αυτοί οι δείκτες παράγονται εβδομαδιαίως και μπορούν να συγκριθούν με δείκτες των προηγούμενων χρόνων και να συγκρίνουν την ανάπτυξη και υγεία των καλλιεργειών.



Το 1988, σοβαρές συνθήκες ξηρασίας ήταν διαδεδομένες σε όλη τη περιοχή. Χρησιμοποιώντας NDVI τιμές από NOAA –AVHRR δεδομένα, μία **ανάλυση της ξηρασίας της περιοχής** καθόρισε την κατάσταση των επιπτώσεων της ξηρασίας σε καλλιέργειες σε όλη την πληγείσα περιοχή. Οι ερυθρές και κίτρινες περιοχές δείχνουν τις καλλιέργειες αυτές σε αδύναμη και υποβαθμισμένη κατάσταση, ενώ το πράσινο υποδηλώνει τις συνθήκες υγιούς καλλιέργειας. Σημειώστε ότι οι περισσότερες από τις υγιείς καλλιέργειες είναι αυτές στις πιο δροσερές τοποθεσίες, όπως στη βόρεια Αλμπέρτα (Peace River) και τα υψηλότερα υψόμετρα (δυτική Αλμπέρτα). Η μη καλλιεργήσιμες περιοχές (ξηρά βοσκοτόπια και δασώδης περιοχή) υποδεικνύονται με μαύρο, εντός της περιοχής ανάλυσης.

