



www.aegean.gr

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

Σχολή Περιβάλλοντος
Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας



Θαλάσσια Τηλεπισκόπηση και οργάνωση πληροφορίας

Διάλεξη 6. Γεωμετρική διόρθωση – ταξινόμηση απεικόνισης

Dr. Κωνσταντίνος Ν. Τοπουζέλης

Περιεχόμενα μαθήματος

Το μάθημα αποτελείται από τις ακόλουθες ενότητες:

- (1) Εισαγωγή στην Θαλάσσια Τηλεπισκόπηση
- (2) Τροχιές, δέκτες και δορυφόροι
- (3) Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και τηλεπισκόπηση
- (4) Ψηφιακή δορυφορική τηλεπισκοπική απεικόνιση
- (5) Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης**
- (6) Γεωμετρική διόρθωση – ταξινόμηση απεικόνισης
- (7) Θαλάσσια τηλεπισκόπηση: από τα δεδομένα στις εφαρμογές
- (8) Εισαγωγή στις μετρήσεις επιφανειακής θερμοκρασίας θάλασσας**
- (9) Εισαγωγή στις δορυφορικές μετρήσεις ωκεάνιου χρώματος**
- (10) Εισαγωγή στη μικροκυματική τηλεπισκόπηση
- (11) Φωτοερμηνεία θαλάσσιων και ατμοσφαιρικών φαινομένων**
- (12) Ολοκληρωμένες εφαρμογές θαλάσσιας τηλεπισκόπησης

Γεωμετρική διόρθωση – ταξινόμηση απεικόνισης

Γεωμετρικές διορθώσεις (geometric correction)

– Σφάλματα:

- λόγω περιστροφής της Γης
- λόγω γωνίας σάρωσης
- λόγω καμπυλότητας της Γης

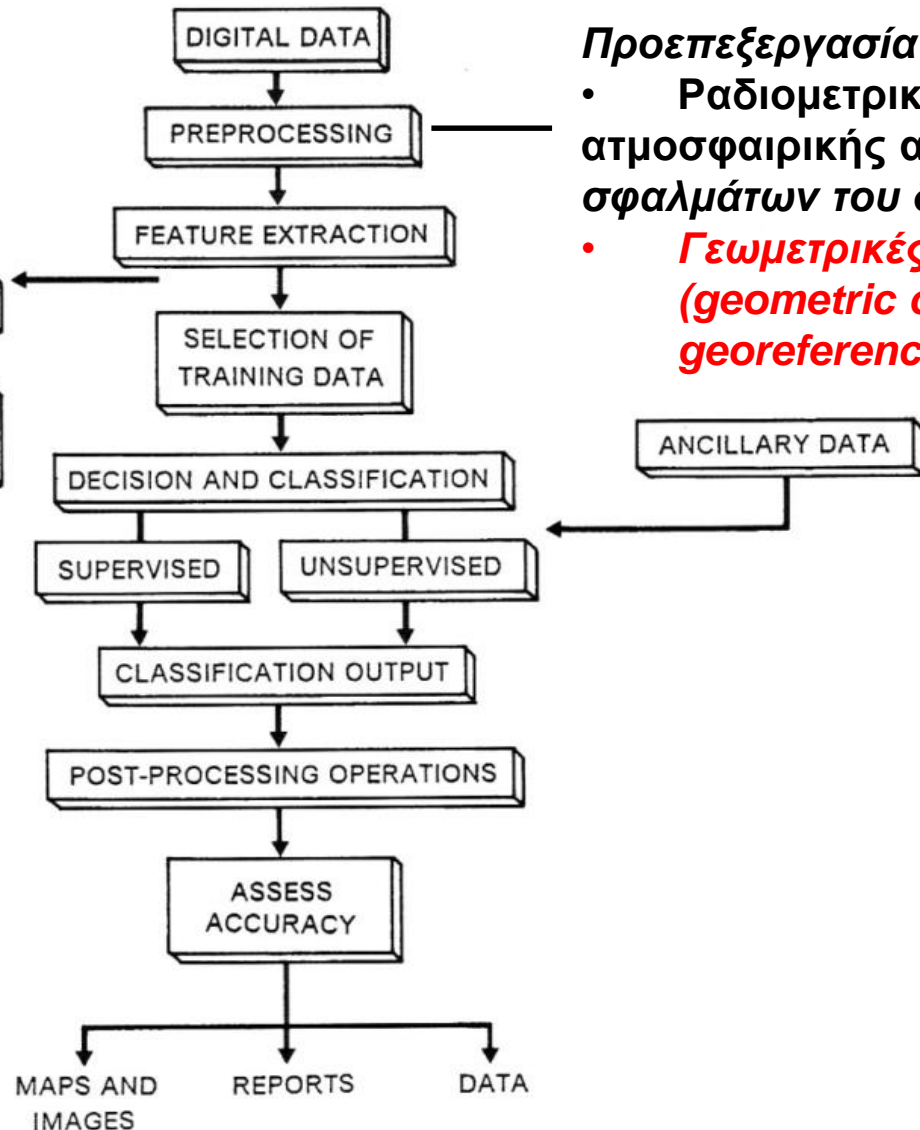
– Γεωμετρική διόρθωση

- με χρήση στοιχείων τροχιάς
- με Σημεία Ελέγχου (Ground Control Points, GCPs)
 - Κατανομή & Επιλογή Σημείων Ελέγχου
 - Επαναδειγματοληψία εικόνας (Resampling)
 - » Μέθοδος του πλησιέστερου γείτονα
 - » Μέθοδος διγραμμικής παρεμβολής
 - » Μέθοδος κυβικής παρεμβολής

Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης

Ενίσχυση εικόνας
• Ραδιομετρική ενίσχυση

Μη-αυτοματοποιημένη
ανάλυση εικόνας από τον
χρήστη



Προεπεξεργασία εικόνας

- Ραδιομετρική διόρθωση λόγω ατμοσφαιρικής απορρόφησης, σφαλμάτων του δέκτη, κλπ.
- **Γεωμετρικές διορθώσεις (geometric correction ή georeferencing)**

Γεωμετρική διόρθωση

Παράδειγμα γεωμετρικής διόρθωσης



Αρχική

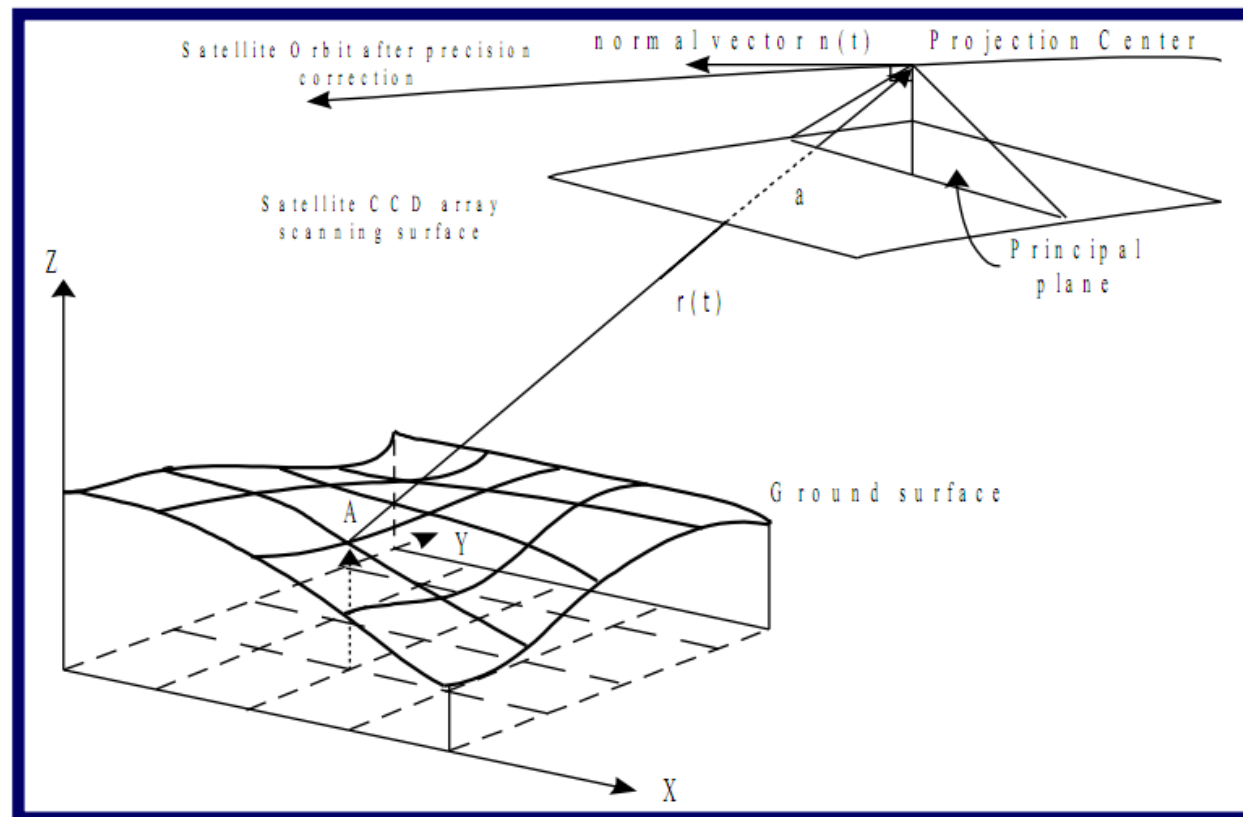


Μετασχηματισμένη

Γεωμετρική διόρθωση

Backward Projection

From world coord. To image coord.



Γεωμετρική διόρθωση

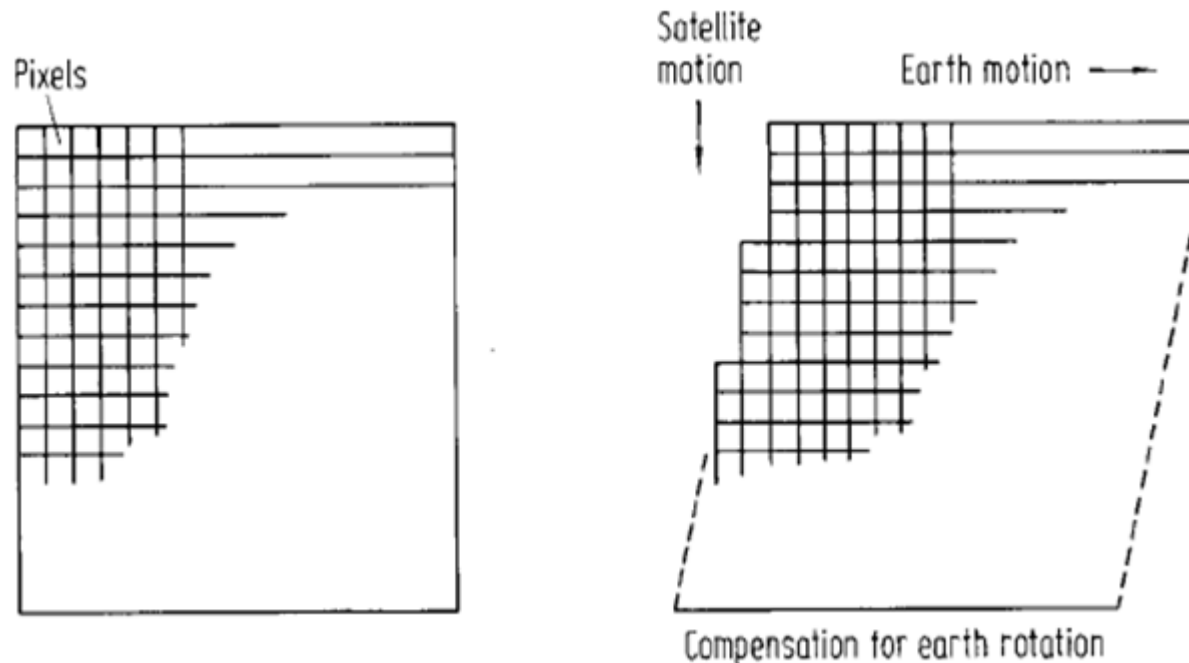
- Οι ψηφιακές εικόνες που συλλέγονται από δορυφορικούς δέκτες χαρακτηρίζονται από **συστηματικά και μη συστηματικά γεωμετρικά σφάλματα**.
- Μερικά από αυτά μπορούν να διορθωθούν χρησιμοποιώντας γνωστά στοιχεία για την **τροχιά του δορυφόρου** και γνωστά **χαρακτηριστικά παραμόρφωσης του δέκτη**.
- Άλλα λάθη μπορούν να διορθωθούν **μόνο** με προσαρμογή της εικόνας σε σημεία ελέγχου στο έδαφος ή με χρήση του Παγκόσμιου Συστήματος Αναφοράς (GPS).

Γεωμετρική διόρθωση

- Γεωμετρική διόρθωση με χρήση στοιχείων τροχιάς
 - Σφάλματα λόγω περιστροφής της Γης
 - Σαρωτές γραμμικής σάρωσης (π.χ. AVHRR του NOAA, Landsat MSS, TM) απαιτούν πεπερασμένο χρόνο για τη λήψη των δεδομένων.
 - Σε άλλους τύπους συστημάτων καταγραφής όμως (π.χ. HRV του SPOT) κατά τη διάρκεια της λήψης και ενώ ο δορυφόρος κινείται στο επίπεδο της τροχιάς του η Γη περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της με κατεύθυνση $\Delta \rightarrow A$.
 - Έτσι η τελευταία γραμμή σάρωσης της εικόνας έχει μετατοπιστεί και καλύπτει μία περιοχή της επιφάνειας της Γης που βρίσκεται δυτικά σε σχέση με τη θέση που βρισκόταν όταν άρχισε η σάρωση

Γεωμετρική διόρθωση

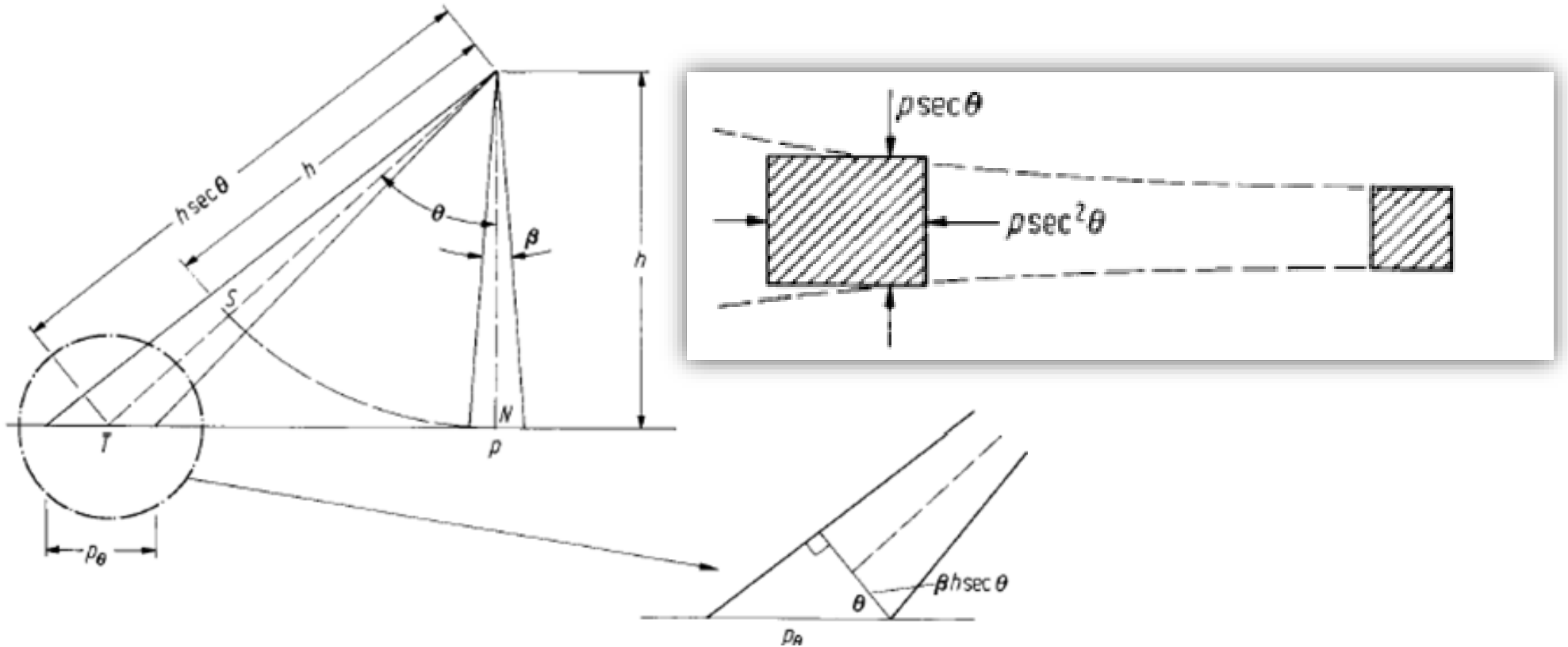
Σφάλματα λόγω περιστροφής της Γης



Πρέπει να μετατοπιστεί το κάτω μέρος της απεικόνισης δυτικά σε μέγεθος ίσο με τη μετακίνηση που υπέστη το έδαφος σε σχέση με τη δορυφορική τροχιά κατά τη διάρκεια της λήψης

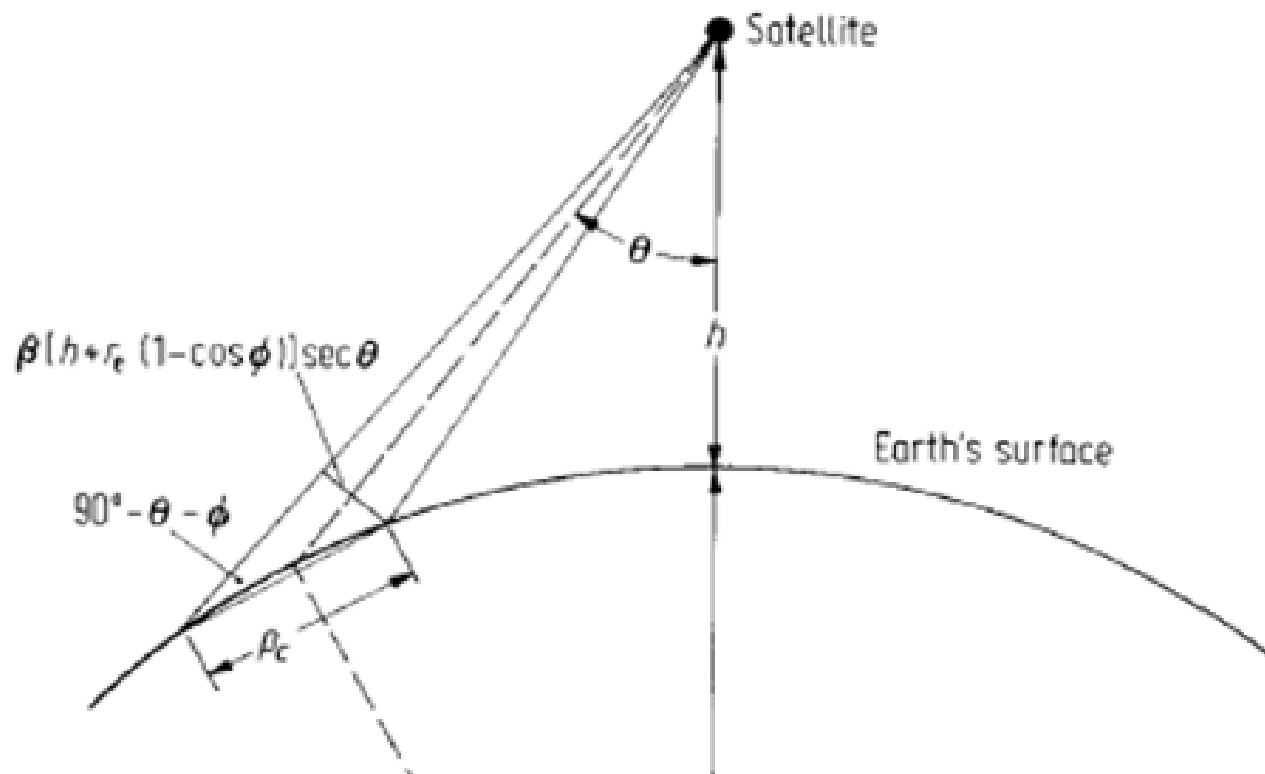
Γεωμετρική διόρθωση

- Γεωμετρική διόρθωση με χρήση στοιχείων τροχιάς
 - Σφάλματα λόγω γωνίας σάρωσης



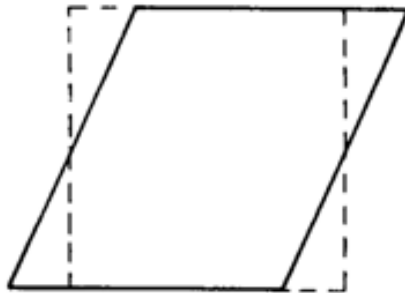
Γεωμετρική διόρθωση

- Γεωμετρική διόρθωση με χρήση στοιχείων τροχιάς
 - Σφάλματα λόγω καμπυλότητας της Γης
 - Επηρεάζονται από την κ. της Γης συστήματα με ευρύ πεδίο σάρωσης (π.χ. NOAA)



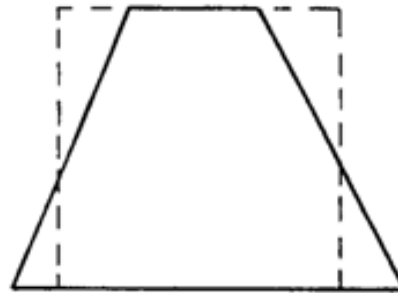
Γεωμετρική διόρθωση

DISTORTION EVALUATED
FROM TRACKING DATA

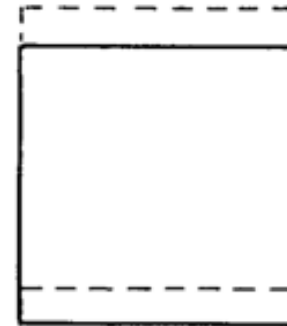


EARTH ROTATION

DISTORTION EVALUATED
FROM GROUND CONTROL



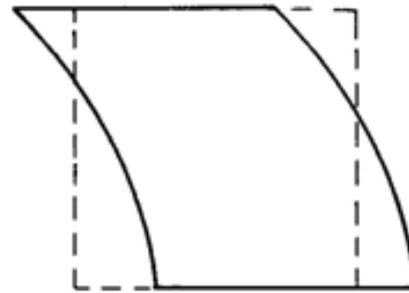
ALTITUDE VARIATION



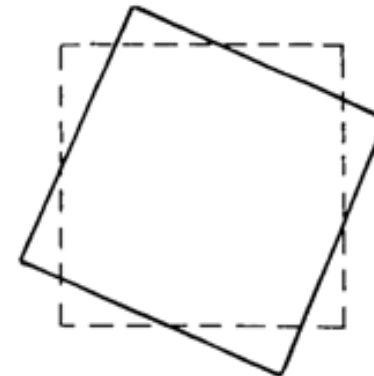
PITCH VARIATION



SPACECRAFT VELOCITY



ROLL VARIATION



YAW VARIATION

A. NONSYSTEMATIC DISTORTIONS. DASHED LINES
INDICATE SHAPE OF DISTORTED IMAGE; SOLID LINES
INDICATE SHAPE OF RESTORED IMAGE.

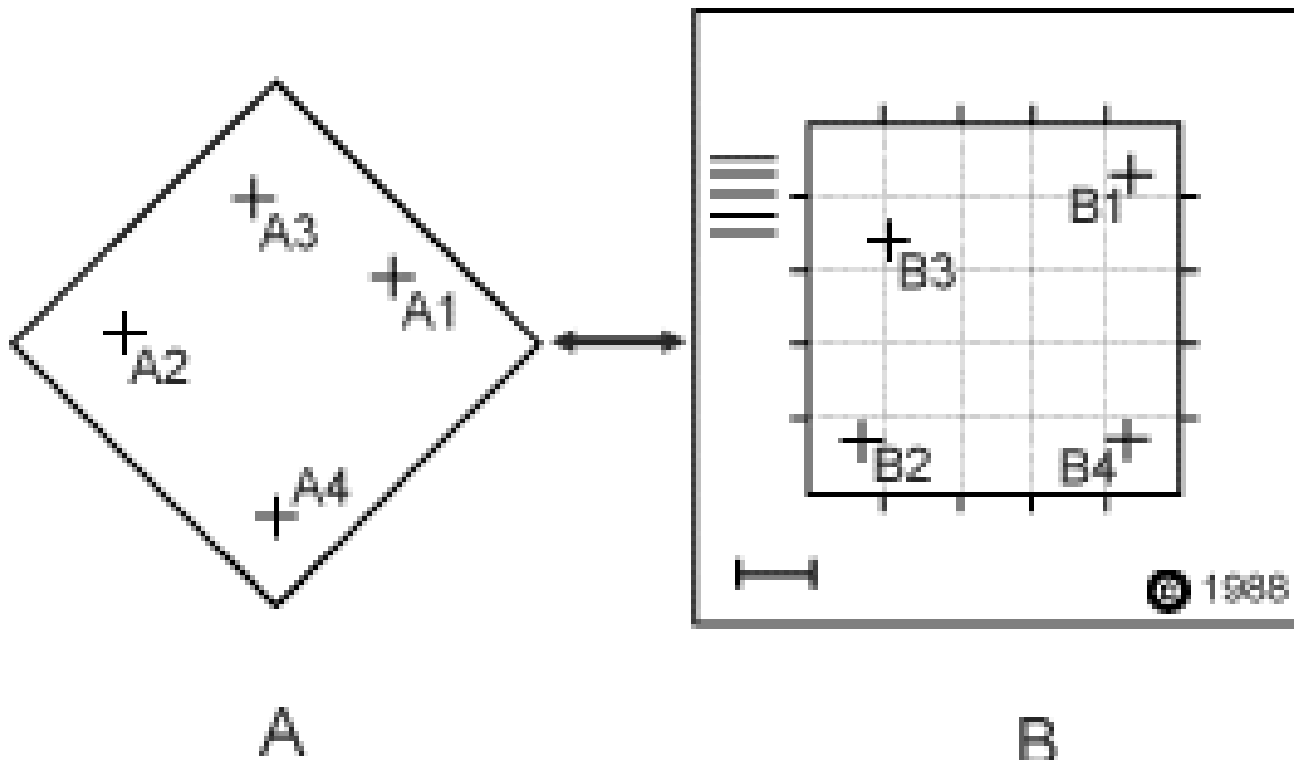
Γεωμετρική διόρθωση

Γεωμετρική διόρθωση με μοντέλα τροχιάς

- Βασίζεται στη γνώση των παραμέτρων που περιγράφουν
 - Την τροχιά του δορυφόρου,
 - Την περιστροφή της Γης,
 - Την ταχύτητα δειγματοληψίας για την κβαντοποίηση της έντασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας .
- Τα μοντέλα αυτά είναι κατάλληλα μόνο για απεικονίσεις που προέρχονται από δέκτες με μικρό γωνιακό οπτικό πεδίο (π.χ. Landsat, SPOT, κλπ.).

Γεωμετρική διόρθωση

Γεωμετρική διόρθωση με Σημεία Ελέγχου
(Ground Control Points, GCPs).



Γεωμετρική διόρθωση

Γεωμετρική διόρθωση με Σημεία Ελέγχου
(Ground Control Points, GCPs).

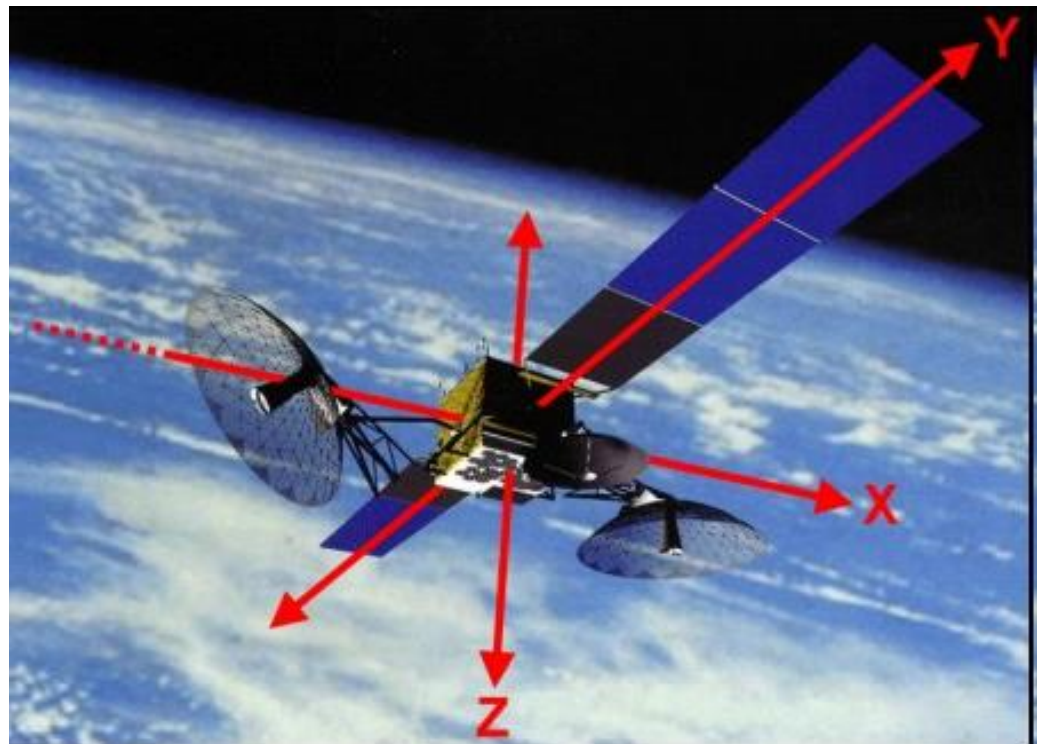
Προσοχή:

- Στο συνδυασμό φασματικών διαύλων (Band Combination) για τον καλύτερο εντοπισμό των GCPs π.χ. στο υπέρυθρο κανάλι αναγνωρίζονται καλύτερα σημεία στην ακτογραμμή,
- **Κλίμακα χάρτη αναφοράς: πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την κλίμακα της εικόνας,**
- Κατανομή των GCPs στην εικόνα.

Γεωμετρική διόρθωση

Γεωμετρική διόρθωση με Σημεία Ελέγχου Κατανομή Σημείων Ελέγχου

Διόρθωση κυρίως μη συστηματικών λαθών, όπως οι μεταβολές στο ύψος του δορυφόρου και οι μεταβολές στον προσανατολισμό του (**roll**, **pitch** και **yaw**).

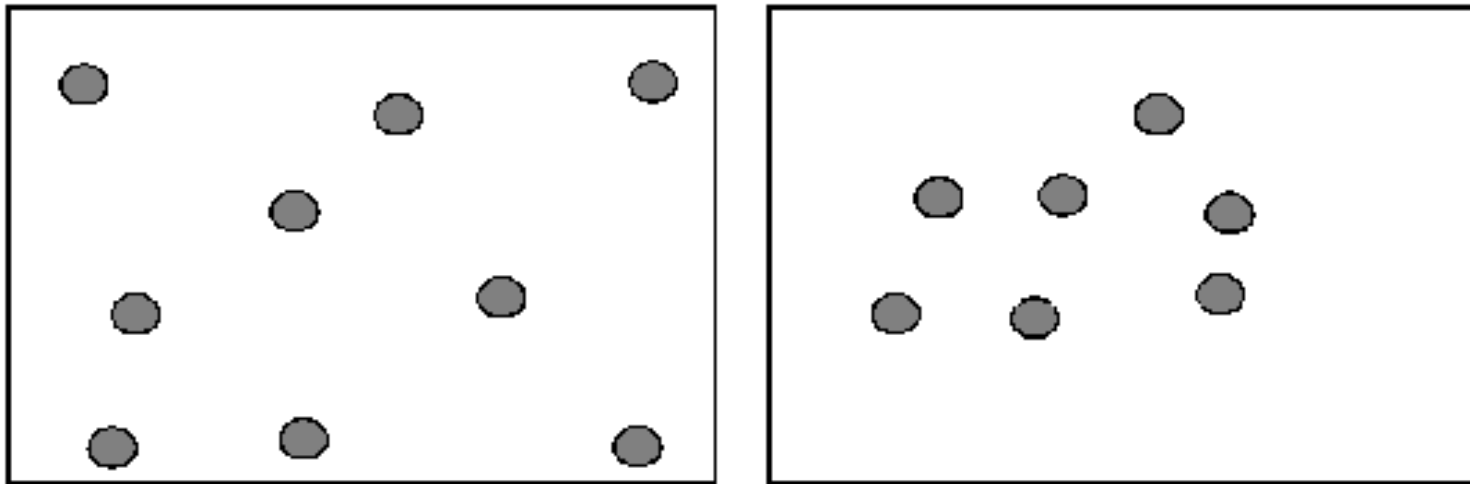


Γεωμετρική διόρθωση

Γεωμετρική διόρθωση με Σημεία Ελέγχου

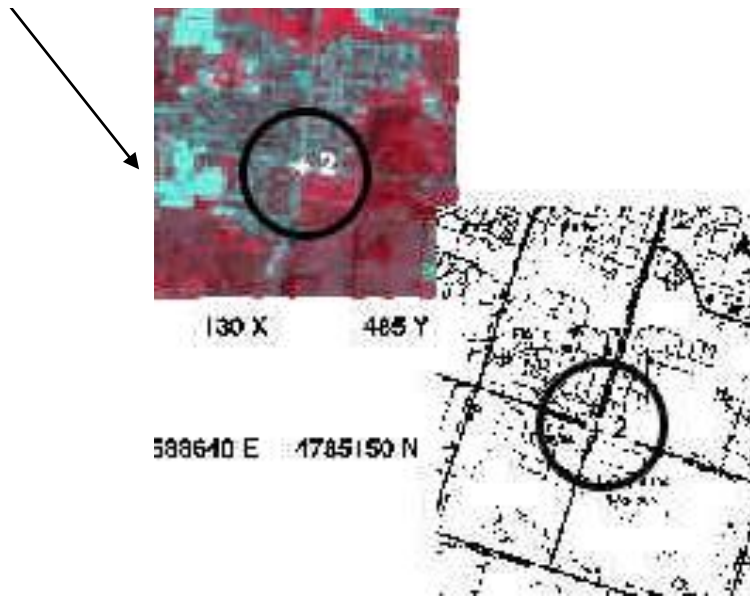
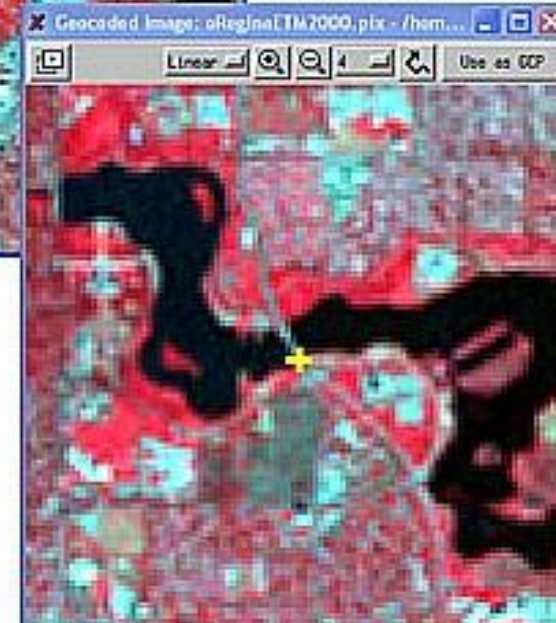
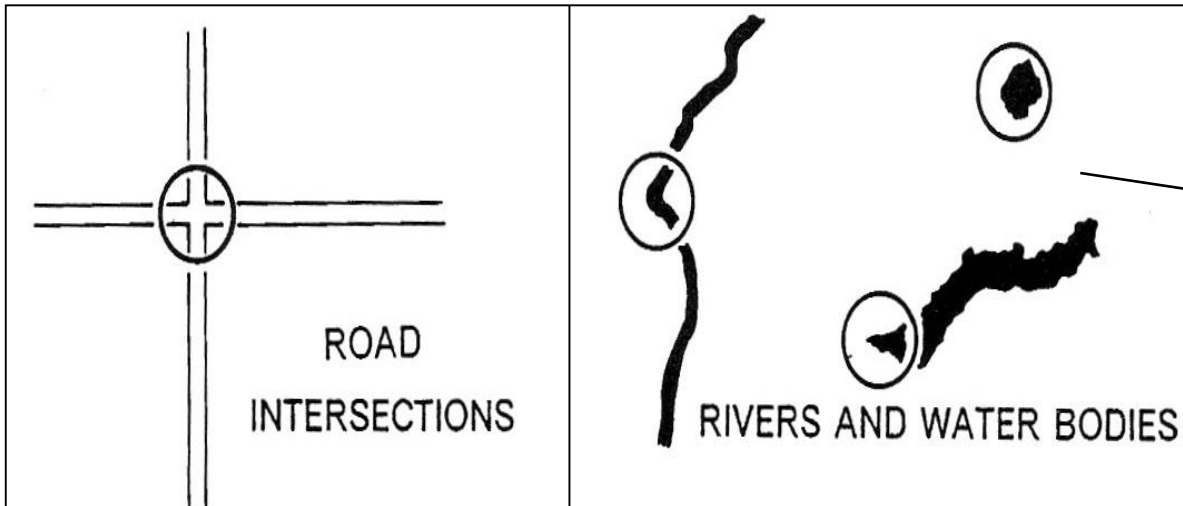
Κατανομή Σημείων Ελέγχου

- Τα λάθη αυτά δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα στις δορυφορικές απεικονίσεις.
- Για μια επιτυχημένη γεωμετρική διόρθωση τα σημεία ελέγχου πρέπει να είναι κατανεμημένα σε όλη την έκταση της εικόνας.



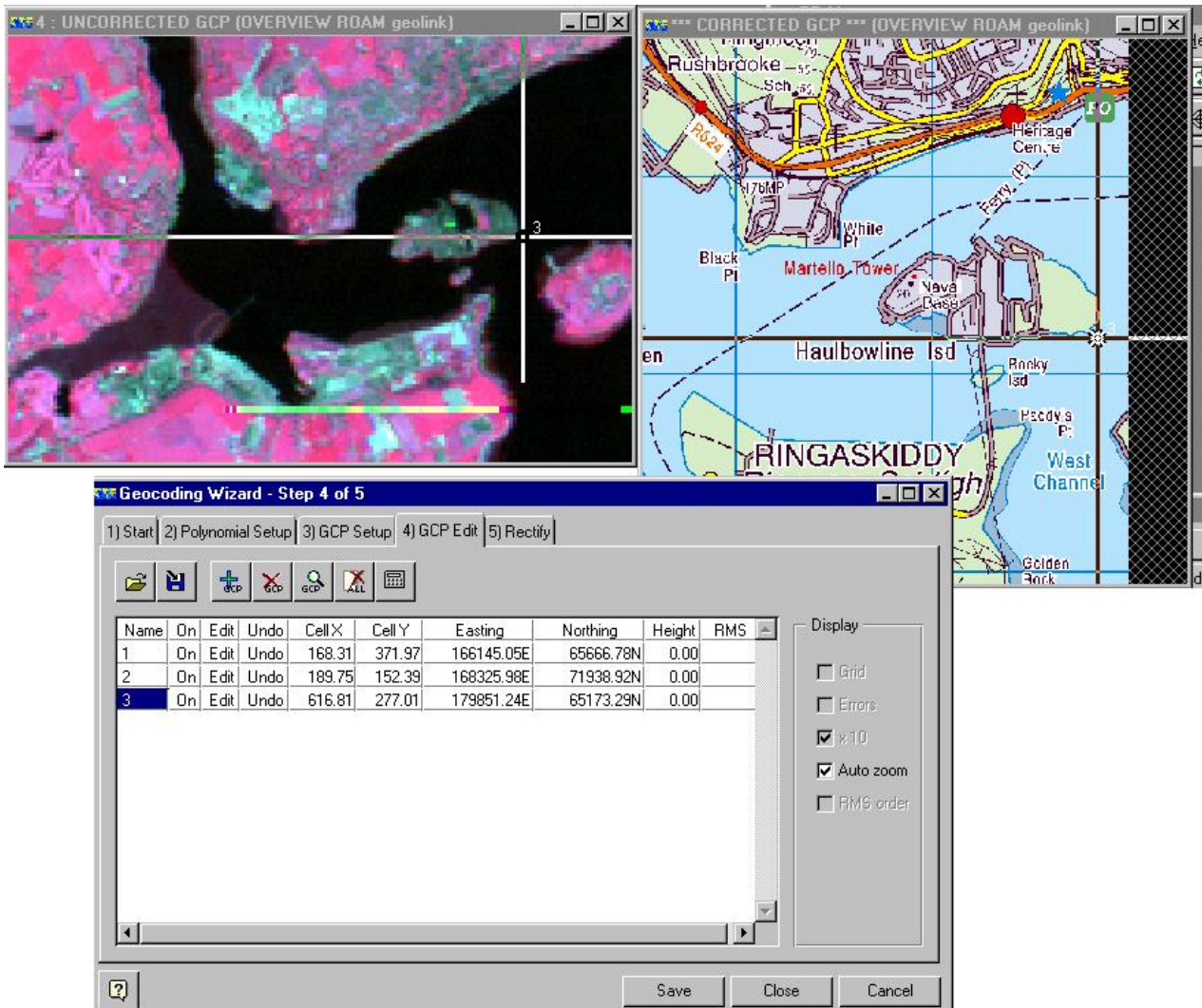
Γεωμετρική διόρθωση

Γεωμετρική διόρθωση με Σημεία Ελέγχου
Επιλογή Σημείων Ελέγχου



Γεωμετρική διόρθωση

Γεωμετρική διόρθωση με Σημεία Ελέγχου
Επιλογή Σημείων Ελέγχου



Ελάχιστος αριθμός σημείων ελέγχου: για ένα πολυωνυμικό μετασχηματισμό n βαθμού υπολογίζεται

ως:

$$\text{MinNumber} = \frac{(n+1)(n+2)}{2}$$

Γεωμετρική διόρθωση

Γεωμετρική διόρθωση με Σημεία Ελέγχου

Different Levels of Satellite RS Products

Overlay with 1:5000 Vector Data



Level 2



Level 4

Γεωμετρική διόρθωση

Επαναδειγματοληψία εικόνας (Resampling)

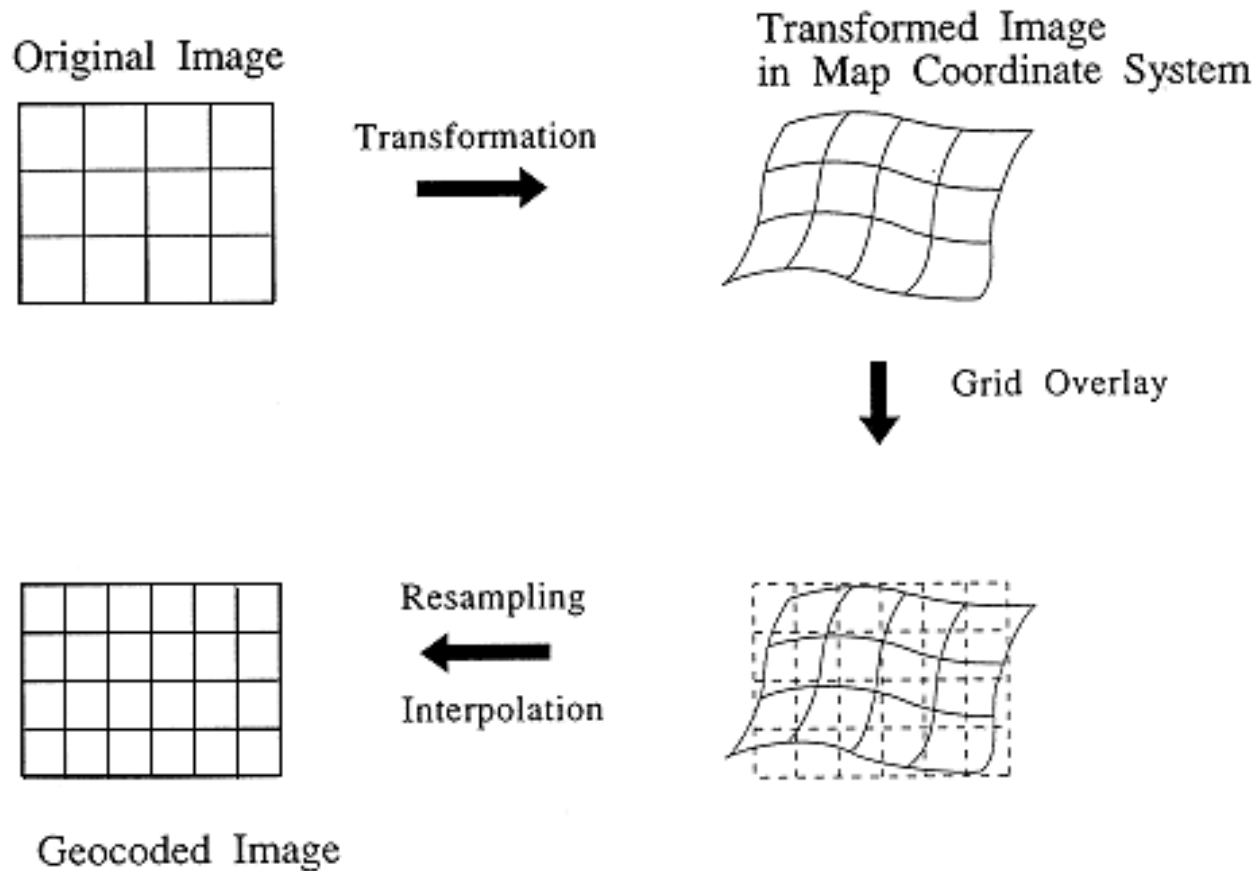
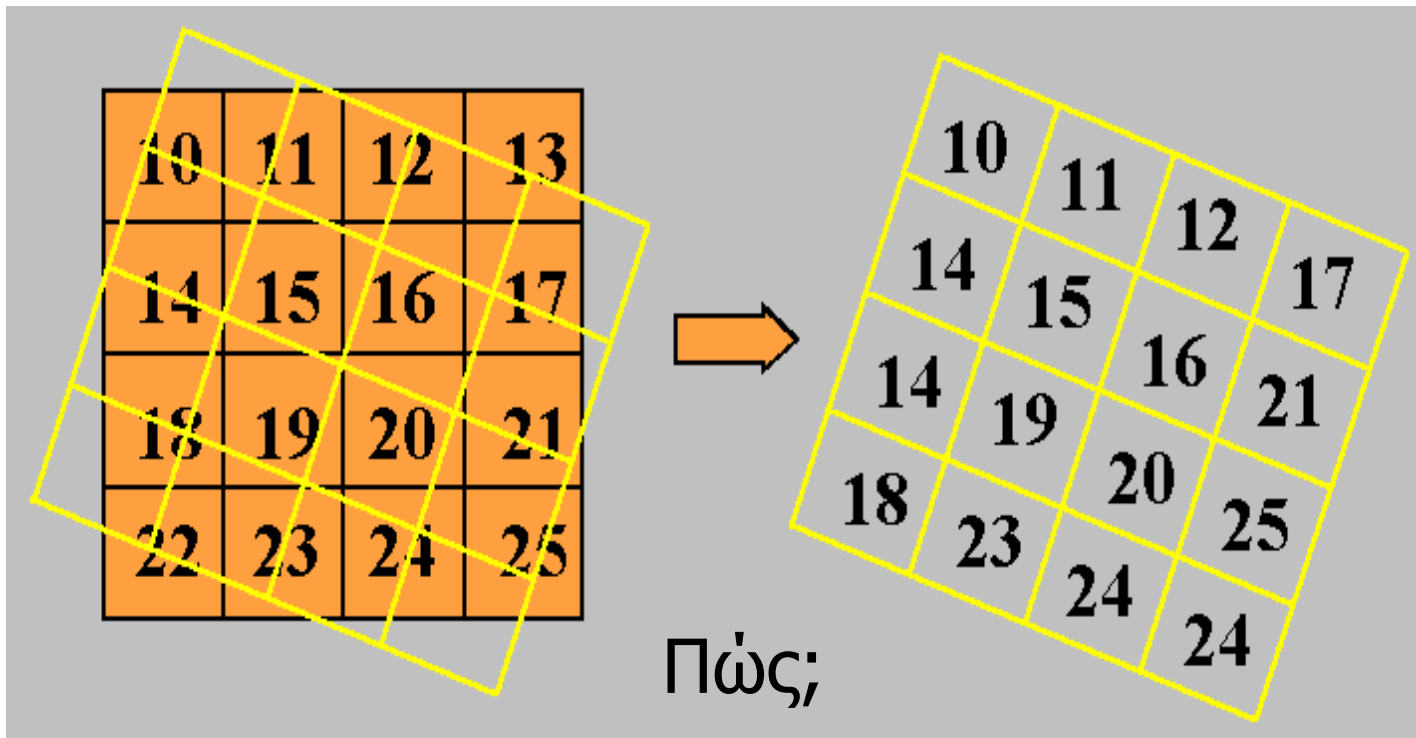


Figure 2.18 Resampling and Interpolation

Γεωμετρική διόρθωση

Επαναδειγματοληψία εικόνας (Resampling)

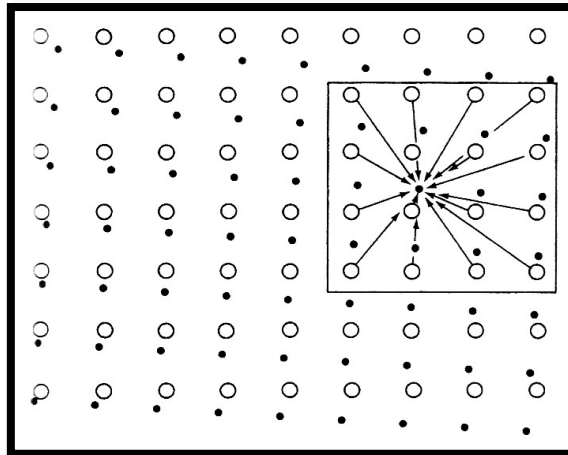
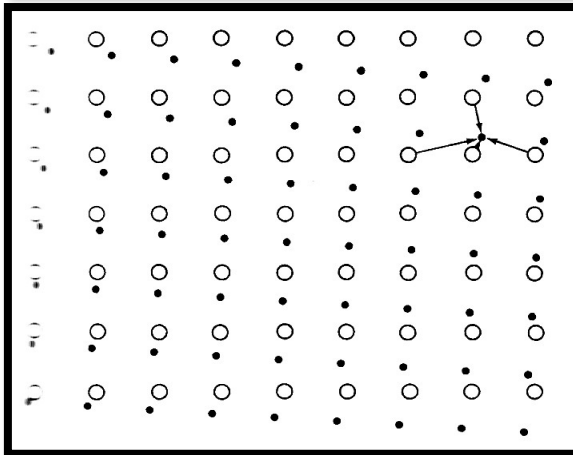
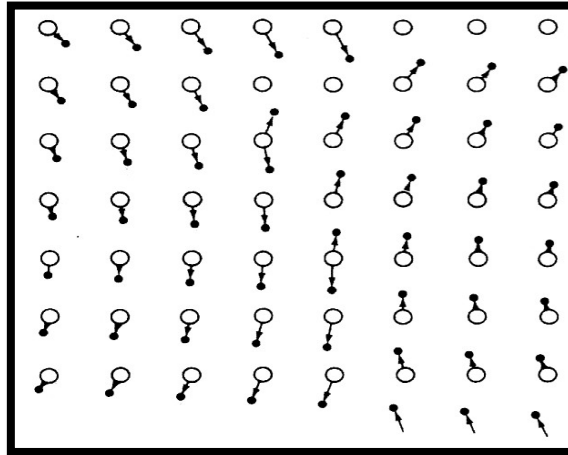
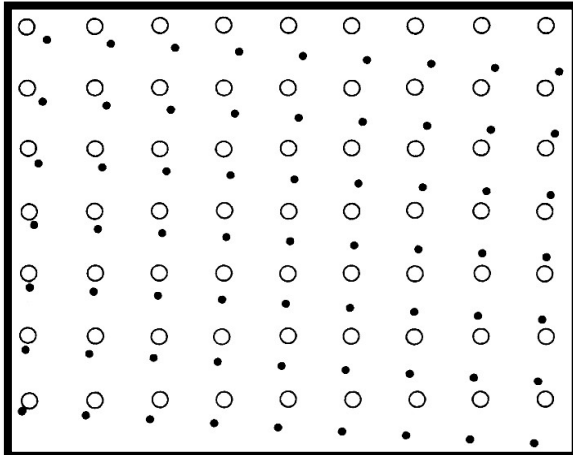


Γεωμετρική διόρθωση

Επαναδειγματοληψία εικόνας (Resampling)

Αρχική εικόνα

Μέθοδος του πλησιέστερου γείτονα



Μέθοδος διγραμμικής παρεμβολής

Μέθοδος κυβικής παρεμβολής

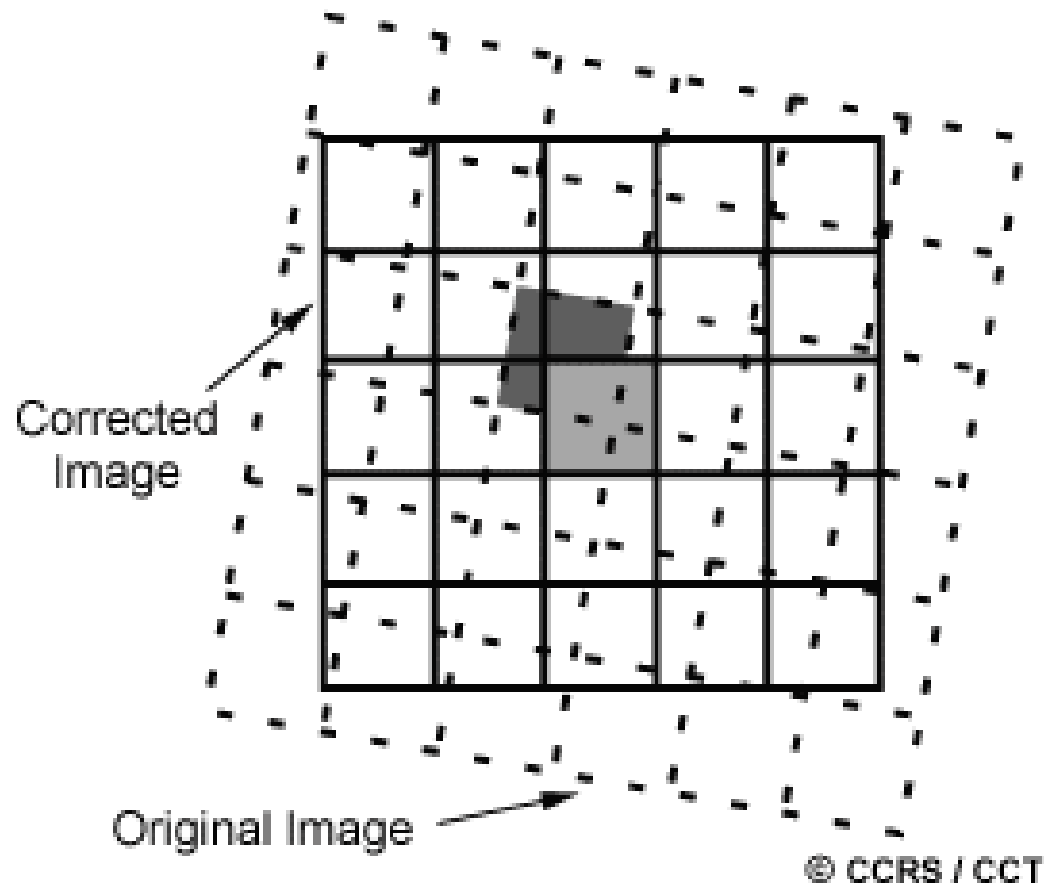
Άσπροι κύκλοι: κέντρο αρχικού σημείου εικονοστοιχείων

Μαύρα σημεία: κέντρο αρχικού σημείου εικονοστοιχείων

Γεωμετρική διόρθωση

Επαναδειγματοληψία εικόνας (Resampling)

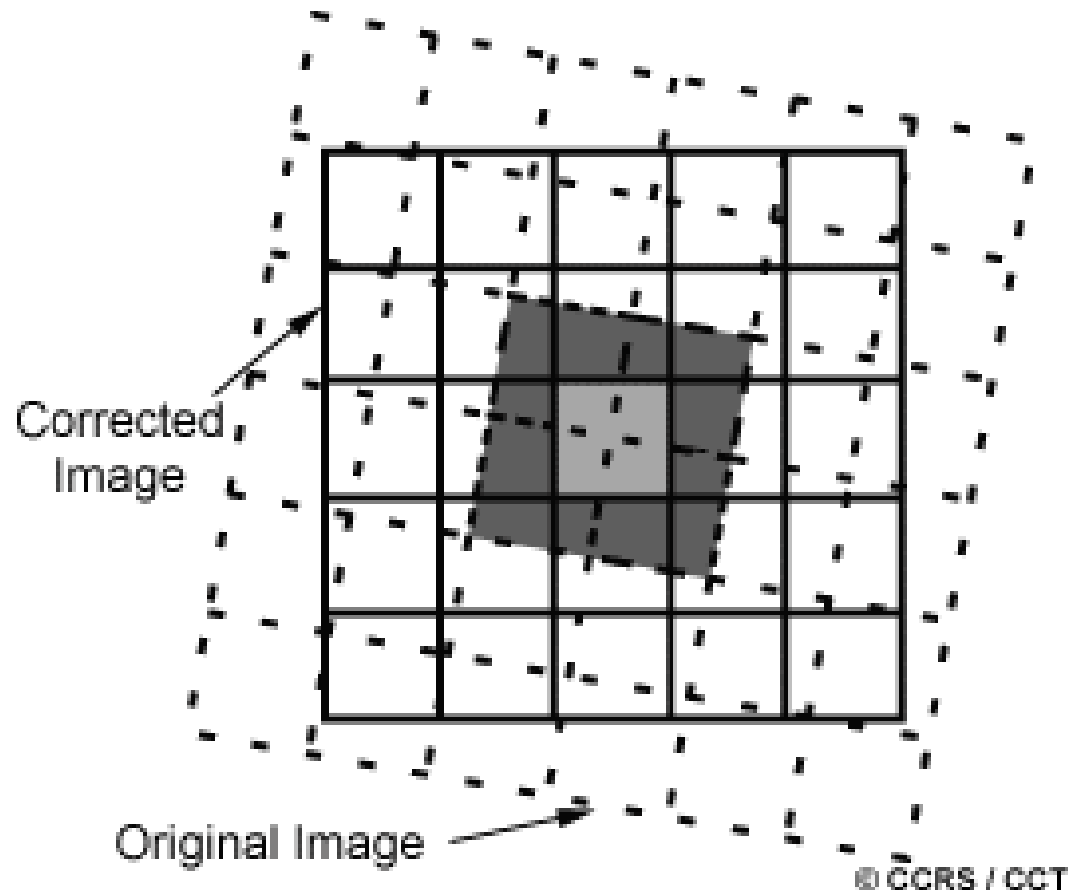
Μέθοδος του πλησιέστερου γείτονα



Γεωμετρική διόρθωση

Επαναδειγματοληψία εικόνας (Resampling)

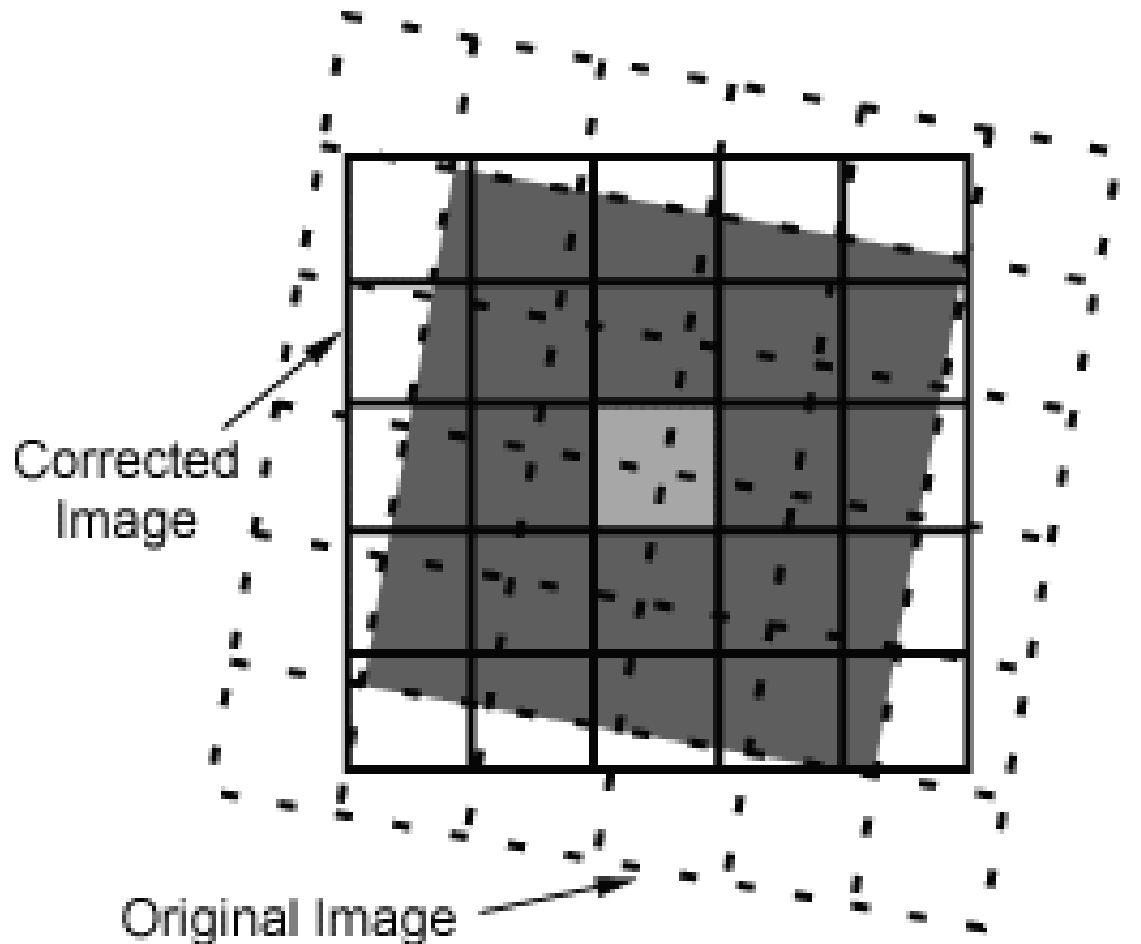
Μέθοδος διγραμμικής παρεμβολής



Γεωμετρική διόρθωση

Επαναδειγματοληψία εικόνας (Resampling)

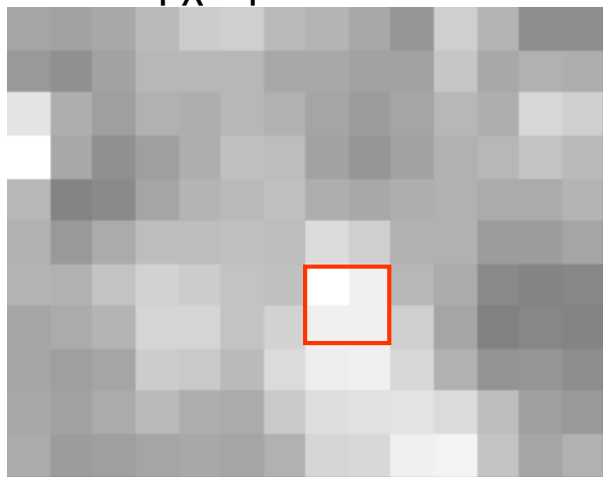
Μέθοδος κυβικής παρεμβολής



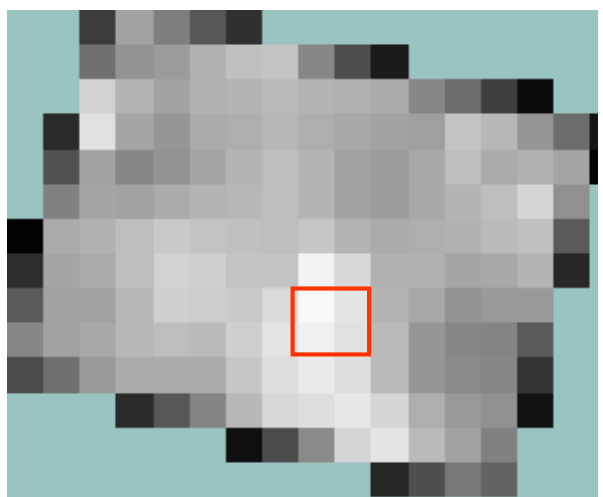
Γεωμετρική διόρθωση

Επαναδειγματοληψία εικόνας (Resampling)

Αρχική εικόνα



Μέθοδος του πλησιέστερου γείτονα



Μέθοδος διγραμμικής παρεμβολής



Μέθοδος της κυβικής παρεμβολής

Γεωμετρική διόρθωση

Επαναδειγματοληψία εικόνας (Resampling)

Αρχική εικόνα

Row	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	55	59	63	69	73	69	61	60	58	58	75	62	54	57
1	56	54	60	67	65	62	59	60	57	59	73	61	69	68
2	81	64	61	64	62	66	64	61	56	57	67	65	79	76
3	85	60	56	60	63	72	69	61	58	61	66	67	68	67
4	61	51	57	63	66	69	70	66	65	65	63	64	62	66
5	62	62	70	71	68	70	69	83	76	61	63	58	58	61
6	66	69	74	75	72	71	71	95	85	64	61	52	51	52
7	60	63	69	75	75	72	74	81	81	71	58	51	53	52
8	58	58	61	71	71	68	74	79	81	76	66	59	58	53
9	58	59	61	62	61	63	70	80	80	84	83	69	59	58
10	58	58	57	59	63	63	65	80	77	86	88	71	63	67

Μέθοδος του πλησιέστερου γείτονα

Row	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0				55	59	63											
1			56	54	60	69	73	73	69								
2			81	64	61	67	65	62	59	60	58	58	75				
3			85	60	56	64	62	66	64	60	57	59	73	62	54	57	
4			61	51	57	60	63	72	69	61	56	57	67	61	69	68	
5		62	62	70	71	66	69	70	70	61	58	61	66	65	79	76	
6		66	69	74	75	68	70	69	83	65	65	63	67	68	67		
7		60	63	69	75	72	71	71	95	76	61	63	64	62	66		
8	58	58	58	61	71	75	72	74	95	85	64	61	58	58	61		
9	58	59	61	62	61	68	74	79	81	71	71	58	52	51	52		
10		58	57	59	61	63	70	80	81	76	66	59	53	52			
11					63	63	65	80	80	84	83	69	58	53			
12										77	86	88	71	59	58		
13													63	67			

Row	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0			21	56	47	33	17										
1			40	55	58	65	70	68	45	26	9						
2			74	66	61	65	65	83	61	60	59	50	41	23	4		
3		14	76	60	58	62	62	66	62	60	57	59	71	64	56	44	8
4		28	58	54	59	62	66	70	66	60	56	59	69	63	69	65	2
5		46	63	66	67	66	68	70	67	61	60	63	66	69	78	54	
6	1	62	68	73	73	70	70	69	74	69	65	64	65	67	68	33	
7	16	60	64	71	75	73	71	72	89	78	62	63	61	61	65	14	
8	31	58	59	66	73	73	73	77	87	80	63	60	55	57	56		
9	46	59	60	63	66	67	72	77	81	76	65	58	52	52	35		
10	25	41	55	60	62	63	69	78	80	78	68	58	55	53	20		
11				16	33	50	67	80	79	84	81	66	59	54	7		
12						6	28	49	76	83	68	60	49				
13										14	30	46	37				

Row	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0			23	66	47	33	17										
1			41	60	60	74	81	69	45	25	9						
2			79	68	61	65	65	64	65	68	64	46	41	24	4		
3		14	86	58	57	62	62	65	61	61	57	59	82	75	57	47	8
4		26	63	51	57	62	67	72	66	59	55	59	70	62	70	67	2
5		45	67	65	67	67	68	71	66	59	59	63	67	70	85	55	
6		62	69	74	75	70	70	68	73	70	65	64	66	66	78	33	
7	16	67	63	72	76	73	71	71	93	81	62	63	62	60	74	14	
8	30	65	58	67	76	73	72	77	92	80	61	61	54	57	57		
9	52	65	60	64	66	66	71	77	81	79	64	53	49	55	35		
10	27	41	55	67	68	64	68	78	81	80	67	55	54	60	20		
11				16	34	50	71	93	87	87	81	66	59	58	7		
12							6	29	49	79	93	76	66	49			
13											15	29	52	38			

Μέθοδος διγραμμικής παρεμβολής

Μέθοδος της κυβικής παρεμβολής 28

Γεωμετρική διόρθωση

Επαναδειγματοληψία εικόνας (Resampling)

Μέθοδος του πλησιέστερου γείτονα (nearest neighbour)

- Πλεονεκτήματα:
 - Οι ραδιομετρικές τιμές εξόδου είναι οι ίδιες με τις εισόδου,
 - Εύκολη και γρήγορη μέθοδος,
 - Κατάλληλη για περαιτέρω επεξεργασία και αναγνώριση χαρακτηριστικών.
- Μειονεκτήματα:
 - Η εικόνα που δημιουργείται με τη μέθοδο αυτή έχει μη ομαλή υφή σε σχέση με την αρχική εικόνα,
 - Κάποιες τιμές μπορεί να χαθούν ενώ άλλες μπορεί να επαναληφθούν.

Γεωμετρική διόρθωση

Επαναδειγματοληψία εικόνας (Resampling)

Μέθοδος διγραμμικής παρεμβολής (bilinear interpolation) και

Μέθοδος κυβικής παρεμβολής (cubic convolution)

- Πλεονεκτήματα:
 - Η απότομη υφή ελαττώνεται και η εικόνα παρουσιάζεται με ομαλότερη διαβάθμιση τιμών.
- Μειονεκτήματα:
 - Αλλάζουν οι αρχικές ραδιομετρικές τιμές και μειώνεται η αντίθεση (μέσος όρος 4 και 16 γειτονικών τιμών αντίστοιχα),
 - Αυξάνεται ο χρόνος υπολογισμού και μετατροπής.

Γεωμετρική διόρθωση

Επαναδειγματοληψία εικόνας (Resampling)



Γεωμετρική διόρθωση

Επαναδειγματοληψία εικόνας (Resampling)

- Εκτίμηση επιτυχίας των γεωμετρικών διορθώσεων
 - Η επιτυχία των γεωμετρικών διορθώσεων εκτιμάται με το RMSE (Root Mean Square Error, RMSE) = η απόσταση μεταξύ του σημείου ελέγχου στο χάρτη και της εκτιμώμενης θέσης του σημείου αυτού.
 - Το RMSE εκφράζεται συνήθως σε μονάδες του χάρτη προς διόρθωση:

$$RMSE = \sqrt{((x_t - x_i)^2 + (y_t - y_i)^2)} \quad \text{για όλα τα GCPs}$$

$$TotalRMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_t - x_i)^2 + (y_t - y_i)^2\right)}$$

x_i, y_i : οι αρχικές συν/νες

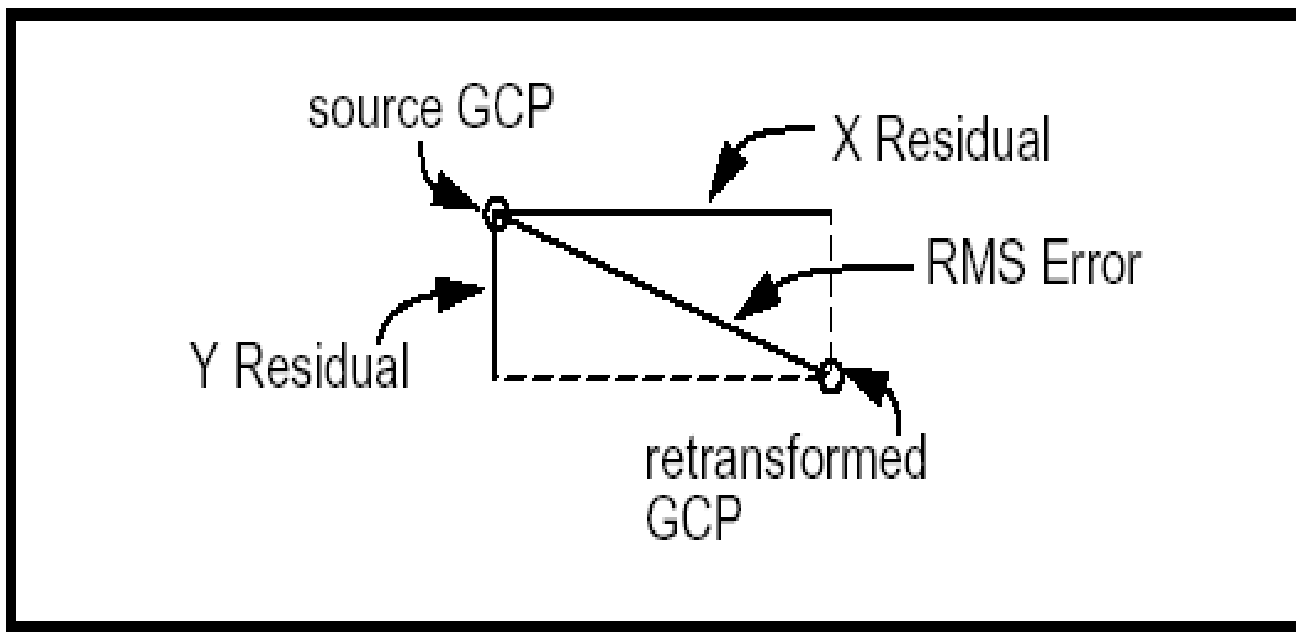
x_t, y_t : οι μετασχηματισμένες συν/νες

n : ο αριθμός των GCPs

Γεωμετρική διόρθωση

Επαναδειγματοληψία εικόνας (Resampling)

Εκτίμηση επιτυχίας των γεωμετρικών διορθώσεων



Ταξινόμηση απεικόνισης

- Πολυφασματική Ταξινόμηση (multispectral classification)
 - **Μη-επιβλεπόμενη** (unsupervised) ταξινόμηση
 - Υπέρ και κατά μη-επιβλεπόμενης ταξινόμησης (MET)
 - Παράδειγμα MET
 - Γενίκευση αποτελέσματος MET
 - **Επιβλεπόμενη** (supervised) ταξινόμηση
 - Ορισμός επιβλεπόμενης ταξινόμησης (ET)
 - Βήματα για την εφαρμογή ET
 - Εκπαιδευτικά πεδία (training sites)
 - Δειγματοληπτικά σχήματα
 - Ταξινόμηση της ελάχιστης απόστασης
 - Ταξινόμηση παραλληλεπιπέδου
 - Ταξινόμηση Μεγίστης Πιθανοφάνειας

Ψηφιακή επεξεργασία απεικόνισης

Ενίσχυση εικόνας
• Ραδιομετρική ενίσχυση

Μη-αυτοματοποιημένη
ανάλυση εικόνας από τον
χρήστη

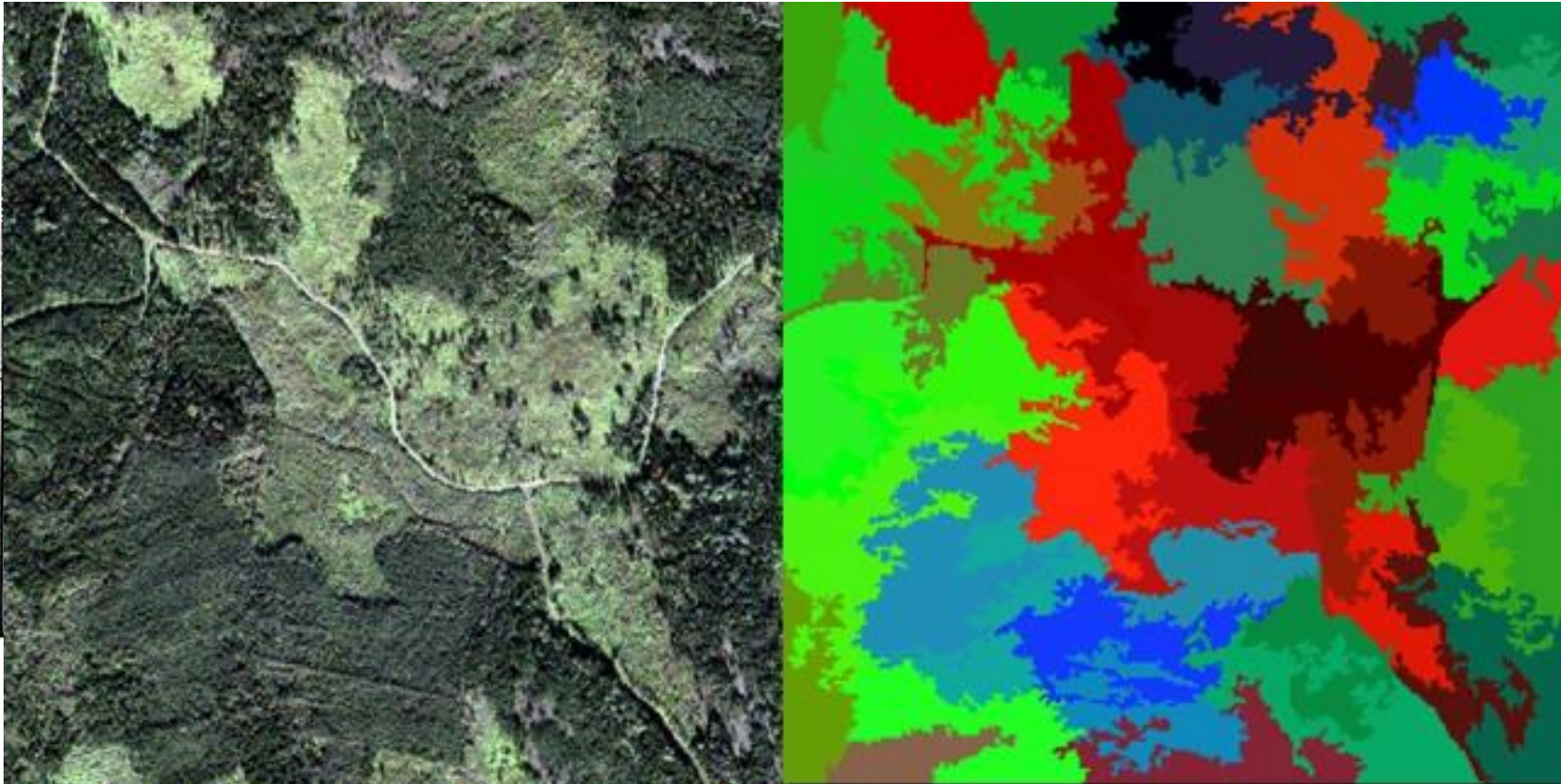


Προεπεξεργασία εικόνας

- Ραδιομετρική διόρθωση λόγω ατμοσφαιρικής απορρόφησης, σφαλμάτων του δέκτη, κλπ.
- **Γεωμετρικές διορθώσεις (geometric correction ή georeferencing)**

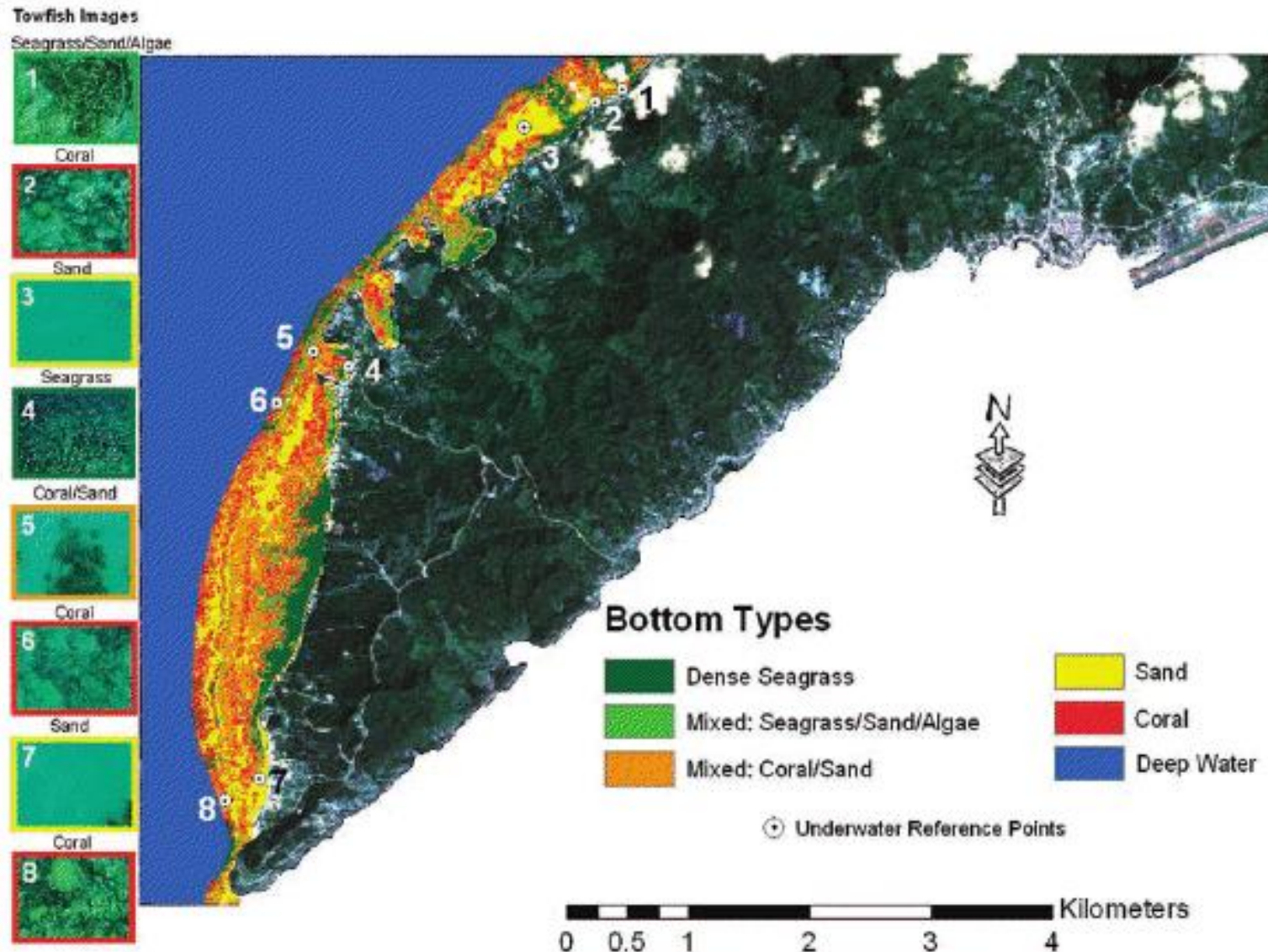
Ταξινόμηση

Ταξινόμηση απεικόνισης



Ταξινόμηση ειδών δέντρων μέσω πολύ υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας δορυφορικών απεικονίσεων (κόκκινο: φυλλοβόλα, πράσινο: έλατα, μπλε: πεύκο)

Ταξινόμηση απεικόνισης



Benthic Habitat Mapping in Tropical Marine Environments Using QuickBird Multispectral Data, Mishra et. al 2006, ISSN: 00991112

Ταξινόμηση απεικόνισης

Φασματικές αποκρίσεις

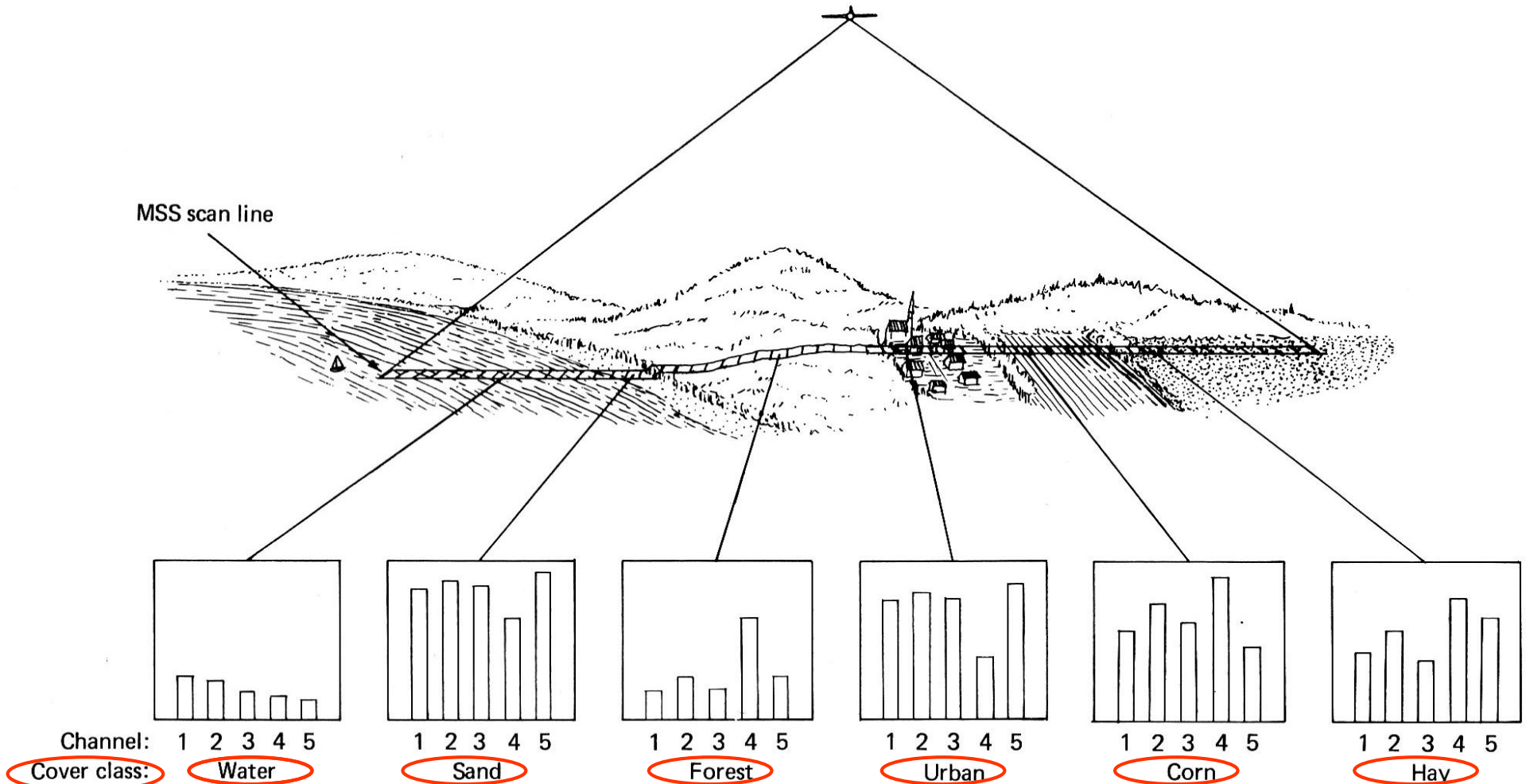
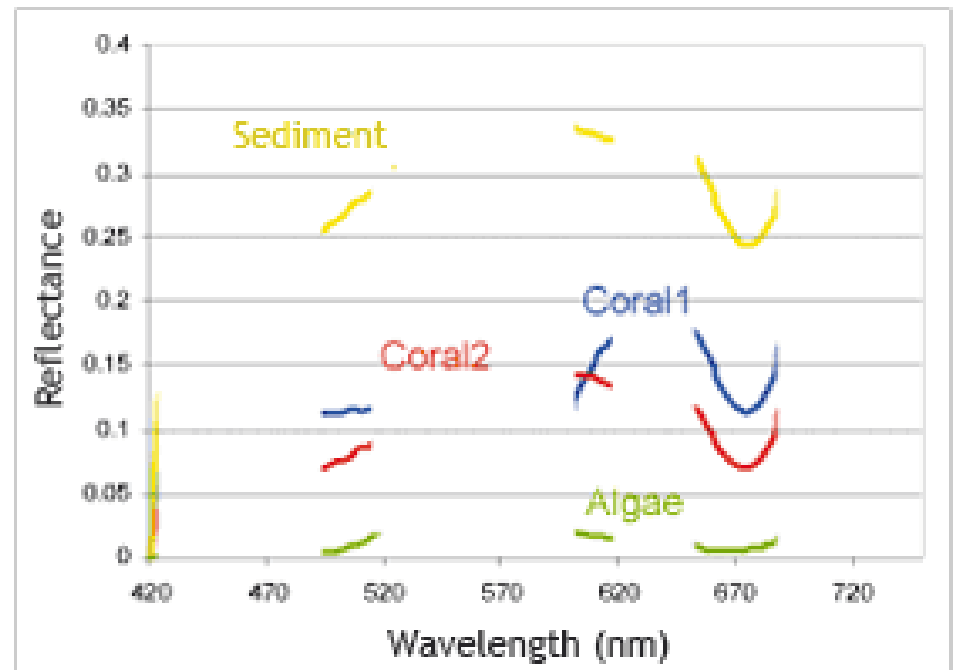
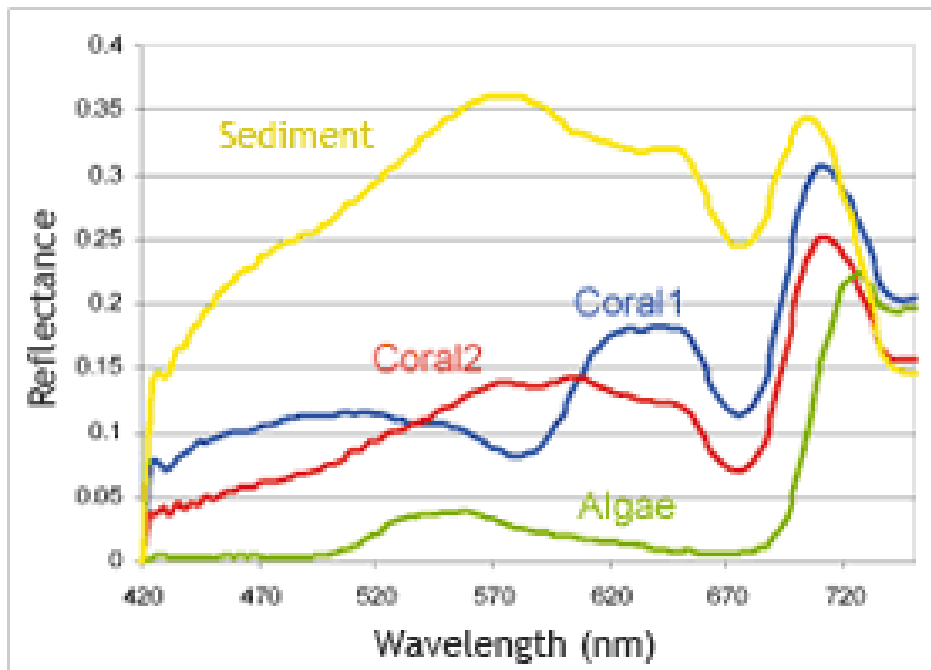
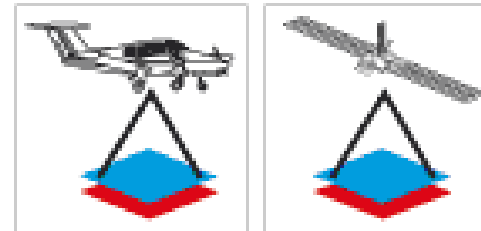
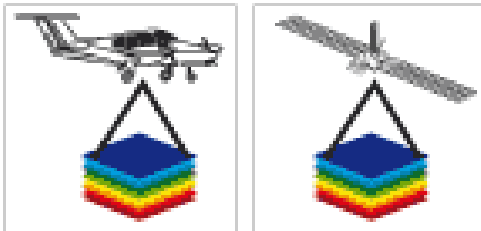
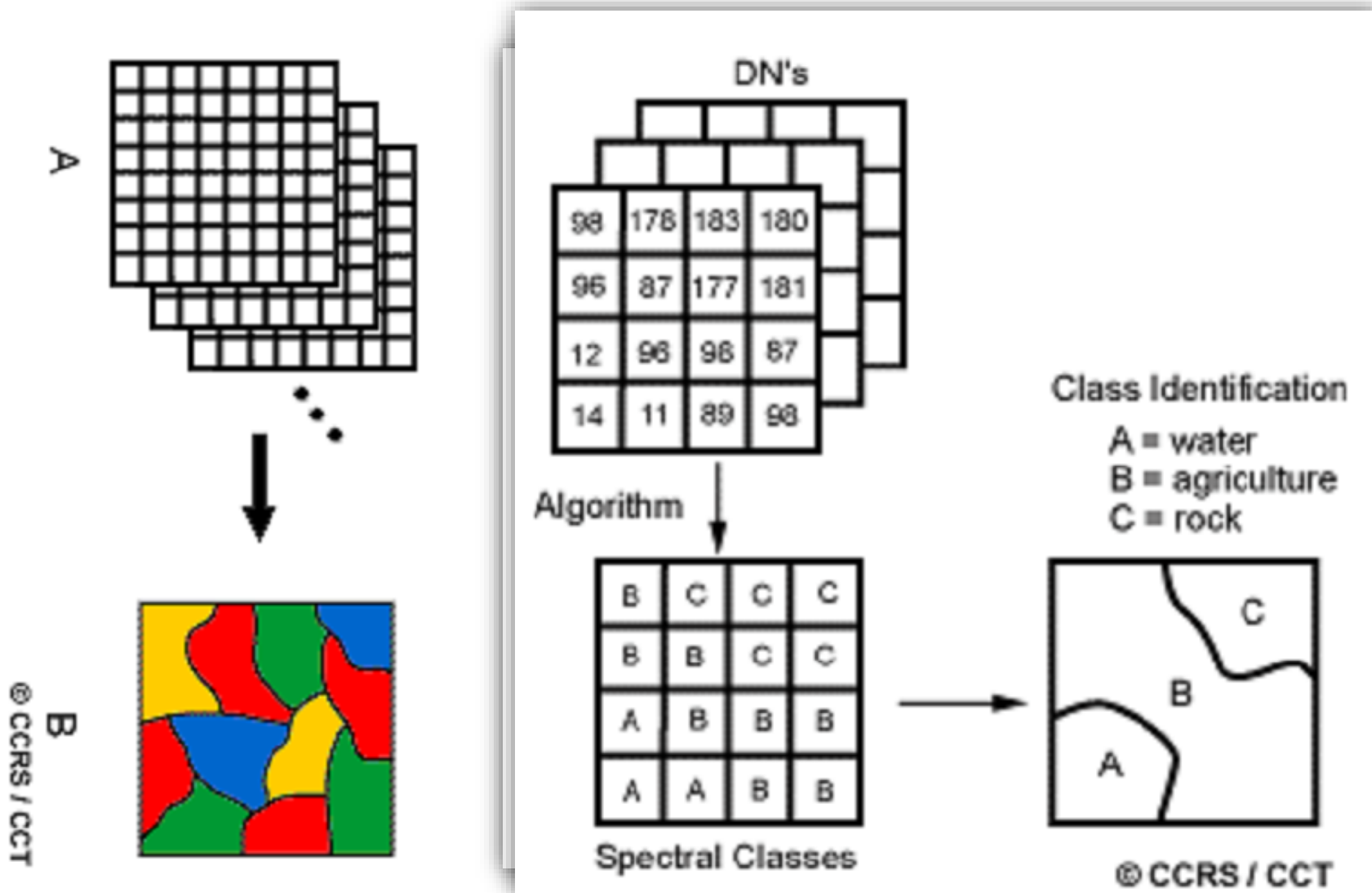


Figure 7.36 Selected MSS measurements made along one scan line. Channels cover the following spectral bands: 1, blue; 2, green; 3, red; 4, near infrared; 5, thermal infrared.

Φασματικές υπογραφές



Ταξινόμηση απεικόνισης

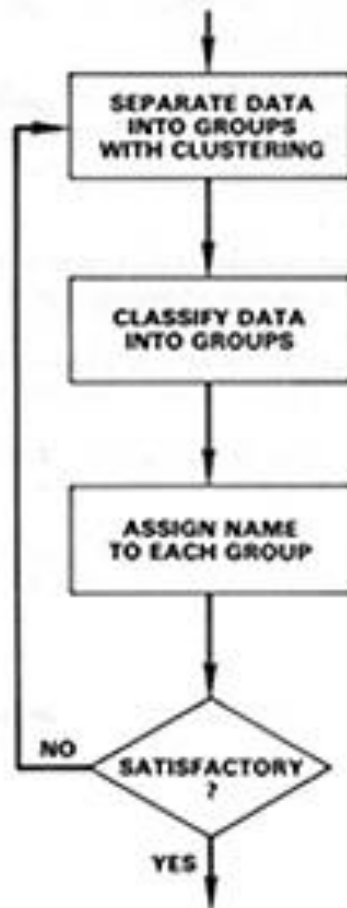


Ταξινόμηση απεικόνισης

- **Μη-επιβλεπόμενη Ταξινόμηση:** ομαδοποίηση των εικονοστοιχείων βάση στατιστικής διαφοροποίησης της φασματικής τους απόκρισης.
- **Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση:** συμβατικές (υπαρκτές και οικείες) τάξεις αντικειμένων αναγνωρίζονται στο τοπίο της εικόνας είτε εμπειρικά ή με χρήση θεματικών χαρτών ή με οπτική παρατήρηση στο πραγματικό τοπίο.

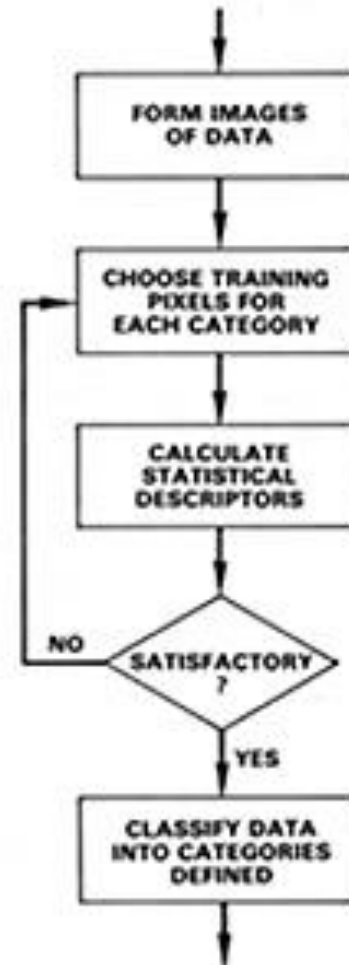
Ταξινόμηση απεικόνισης

UNSUPERVISED CLASSIFICATION



A

SUPERVISED CLASSIFICATION



B

Ταξινόμηση απεικόνισης

Μη-επιβλεπόμενη ταξινόμηση

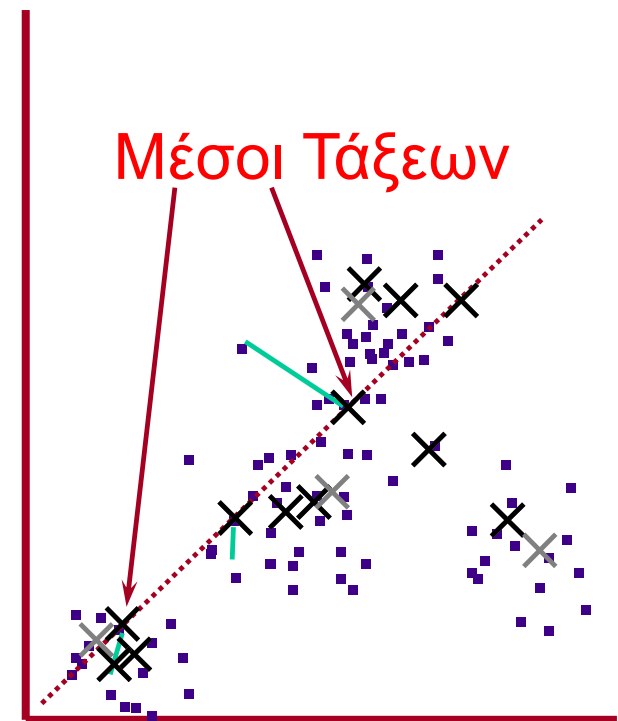
- + Χρήσιμη για εκτίμηση σε περιοχές άγνωστης φυσιολογίας,
 - + Μπορεί να εφαρμοστεί **προ της επιβλεπόμενης,**
 - + **Αμερόληπτη,** απουσιάζουν τα ανθρώπινα σφάλματα.
-
- **Χρονοβόρα** και ενδεχομένως με **δύσκολη ερμηνεία αποτελεσμάτων,**
 - Η έλλειψη πληροφορίας για το σκηνικό **απαιτεί δύσκολους αλγόριθμους απόφασης,**
 - Πιθανότητα να **διαχωρίσει αντικείμενα με μικρή στατιστική διαφοροποίηση** που αναπαριστούν μια συνεχή ομάδα παρόμοιων αντικειμένων.

Ταξινόμηση απεικόνισης

Μη-επιβλεπόμενη ταξινόμηση

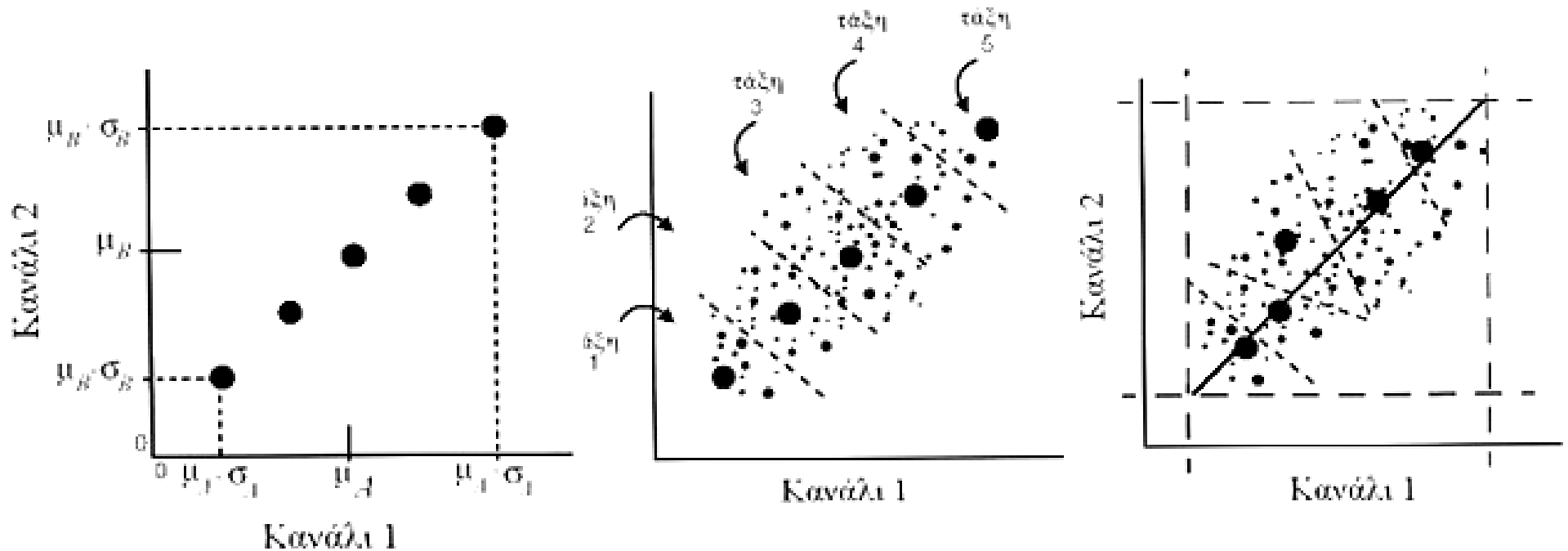
Παράδειγμα εφαρμογής με 4 προκαθορισμένες τάξεις:

- Οι μέσοι αρχικοποιούνται (initialized) επί της διαγωνίου
- Εύρεση πλησιέστερου μέσου ανά σημείο
- Νέοι μέσοι υπολογίζονται σε κάθε τάξη
- Επαναλήψεις έως τη σύγκλιση δηλ. μέχρι το σημείο όπου το μεγαλύτερο ποσοστό των εικονοστοιχείων (συνήθως το 95%) να αποδίδεται στην ίδια ομάδα με την τελευταία φορά



Ταξινόμηση απεικόνισης

Μη-επιβλεπόμενη ταξινόμηση



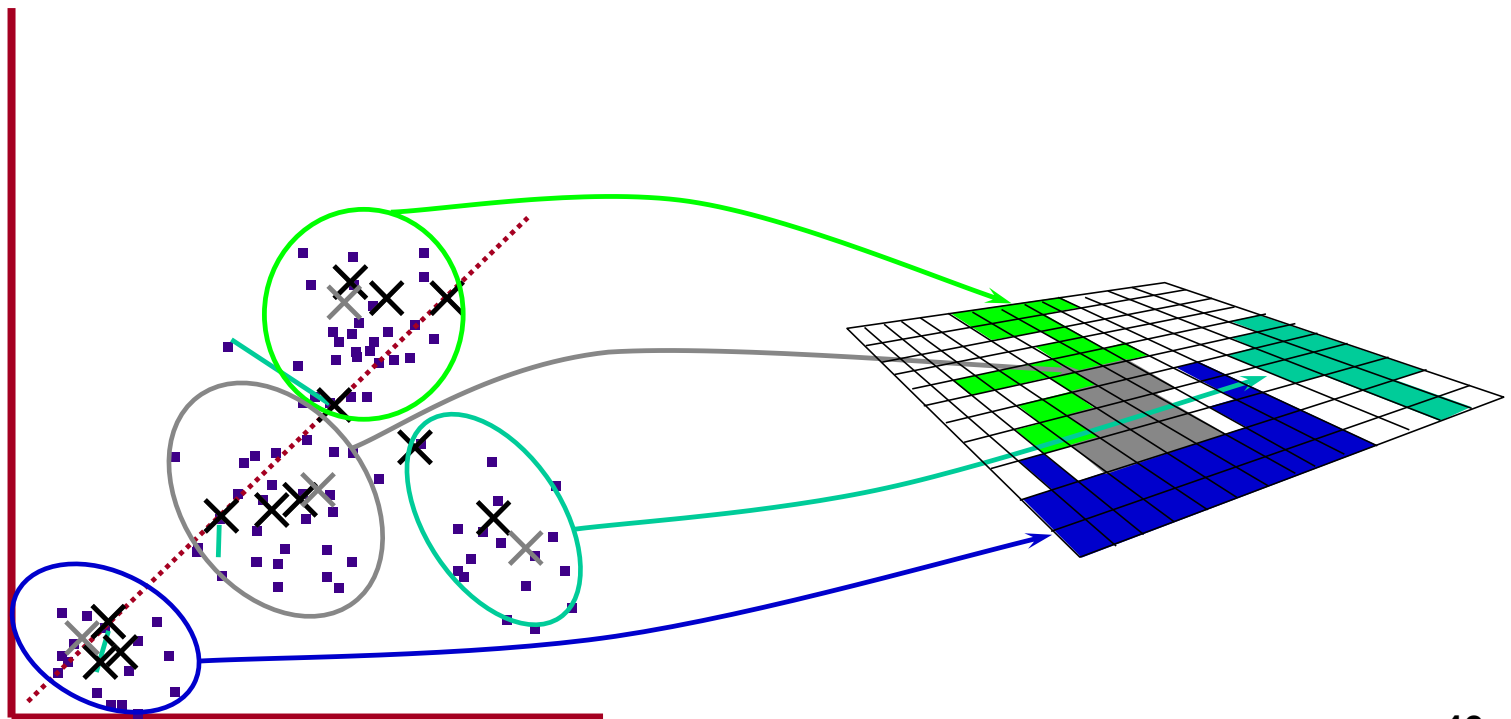
Εικόνα 2.80. Αλγόριθμος ISODATA (α) Αρχικό στάδιο. Ο αλγόριθμος αντιστοιχεί με τυχαίο τρόπο σε κάθε μια ομάδα ένα κέντρο στο φασματικό χώρο (όπου μ και σ η μέση τιμή και η απόκλιση των ψηφιακών τιμών όλων των εικονοστοιχείων της εικόνας σε ένα κανάλι). (β) Πρώτο πέρασμα. Τα εικονοστοιχεία της εικόνας αποδίδονται στις ομάδες. (γ) Δεύτερο πέρασμα. Υπολογίζεται, εκ νέου, η μέση ψηφιακή τιμή και η τυπική απόκλιση της κάθε ομάδας για όλα τα φασματικά κανάλια (Πηγή: *Endas Field Guide*, 1999).

Ταξινόμηση απεικόνισης

Μη-επιβλεπόμενη ταξινόμηση

- Παράδειγμα εφαρμογής με 4 προκαθορισμένες τάξεις:
- A = Γεωργική , D= Έρημος , M = Όρη W = Ύδατα
 - Κάθε εικονοστοιχείο λαμβάνει την χαρακτηριστική τιμή της τάξης

ΤΟΥ



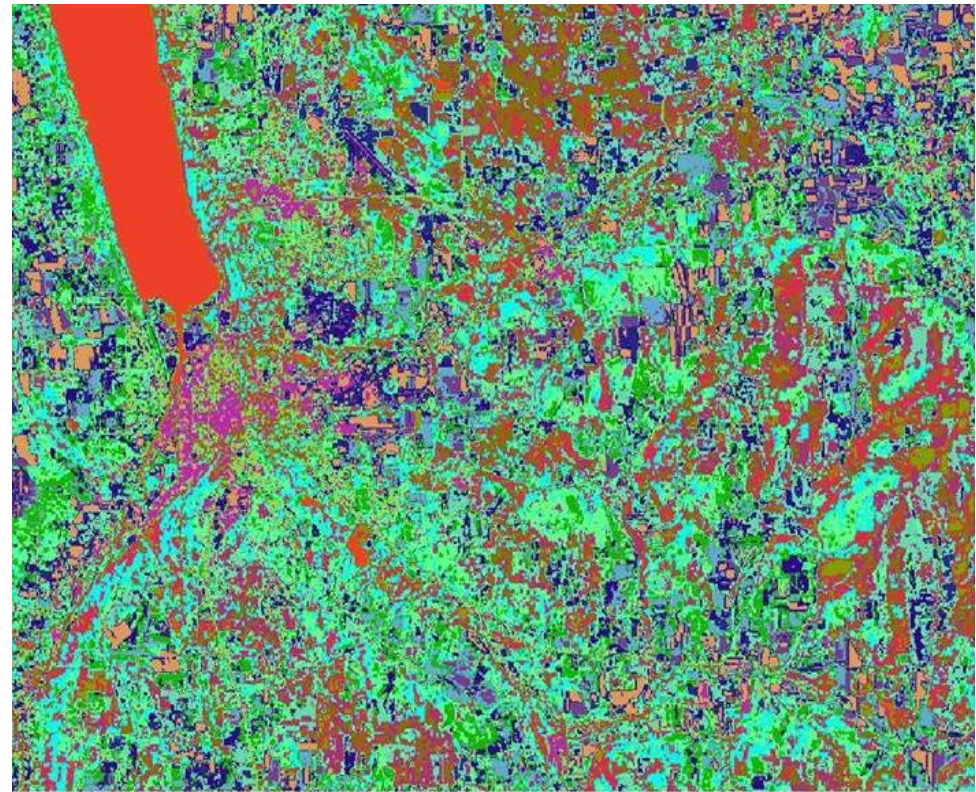
Ταξινόμηση απεικόνισης

Μη-επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Γενίκευση

Μετά την αρχική ταξινόμηση μπορεί να πρέπει να προβούμε σε επιπλέον ομαδοποίηση προκειμένου τα αποτελέσματα να είναι κατανοητά.

- Παράδειγμα: αν αρχικά ζητήσαμε 20 τάξεις και τελικά θέλουμε να κρατήσουμε μόνο 5 (γενικότερες) τάξεις: Γεωργική χρήση, Αστική, Δάση, Μεταλλεία και Ύδατα.

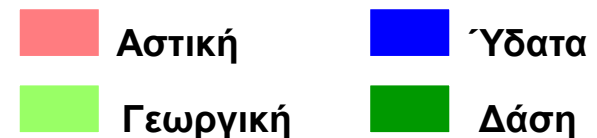
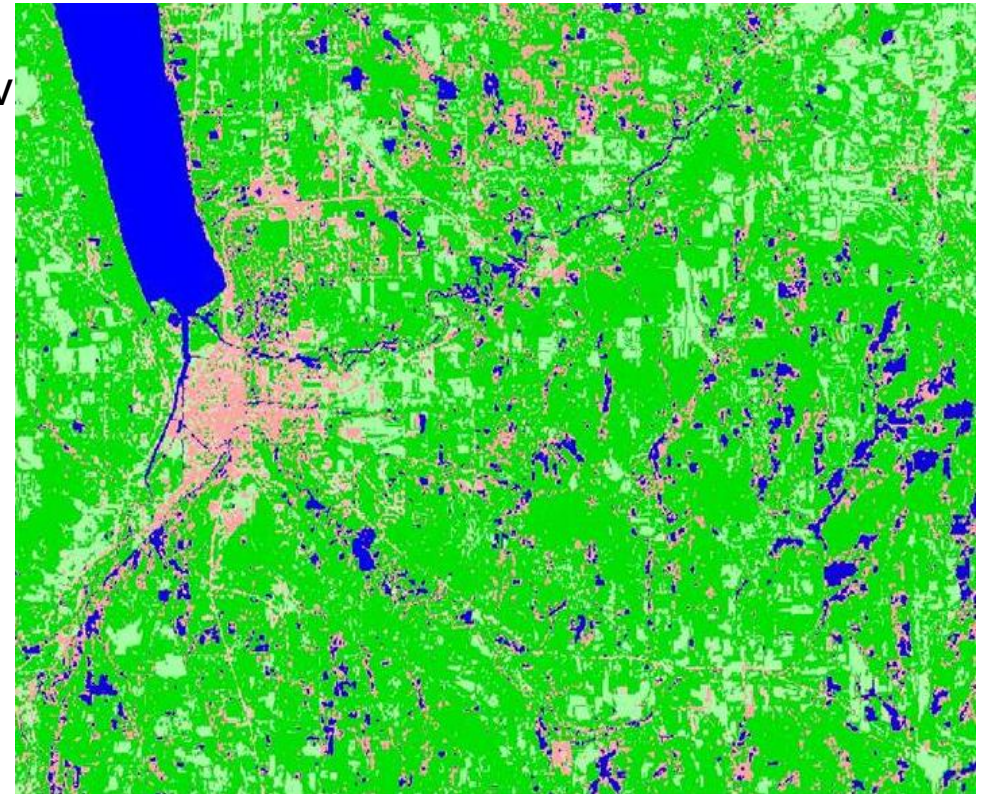


Ταξινόμηση απεικόνισης

Μη-επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Γενίκευση

- Κάποιες κατηγορίες μπορεί να εντοπισθούν άμεσα βάση γνωστών χαρακτηριστικών.
- Άλλες απαιτούν επιπλέον επεξεργασία.
- Μερικές δεν είναι δυνατό να εντοπισθούν (πχ μεταλλεία).
- Οφείλεται στη φασματική σύγχυση.
- Δεν είναι εφικτός ο διαχωρισμός μεταξύ αντικειμένων που παρουσιάζουν σχετικές ομοιότητες.
- Επιλογή μεγαλύτερου πλήθους αρχικών ομάδων πιθανότατα επιλύει τη σύγχυση.

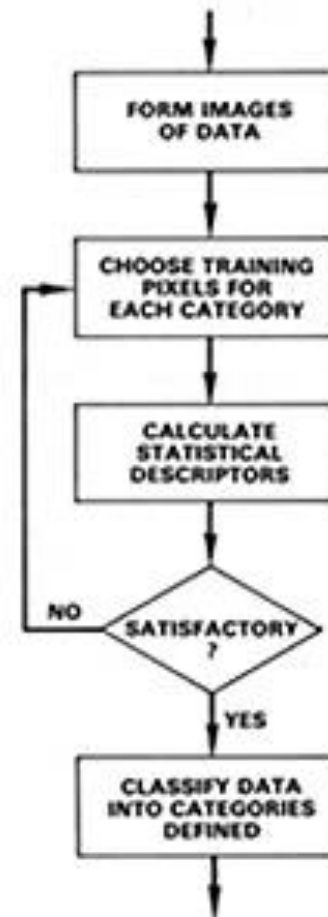


Ταξινόμηση απεικόνισης

Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

- **Μη-επιβλεπόμενη Ταξινόμηση:**
ομαδοποίηση των εικονοστοιχείων
βάση στατιστικής διαφοροποίησης
της φασματικής τους απόκρισης.
- **Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση:**
συμβατικές (υπαρκτές και οικείες)
κατηγορίες αναγνωρίζονται στην
απεικόνιση εμπειρικά, ή με τη
χρήση θεματικών χαρτών ή με
οπτική παρατήρηση στο πεδίο.

SUPERVISED CLASSIFICATION



B

Ταξινόμηση απεικόνισης

Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

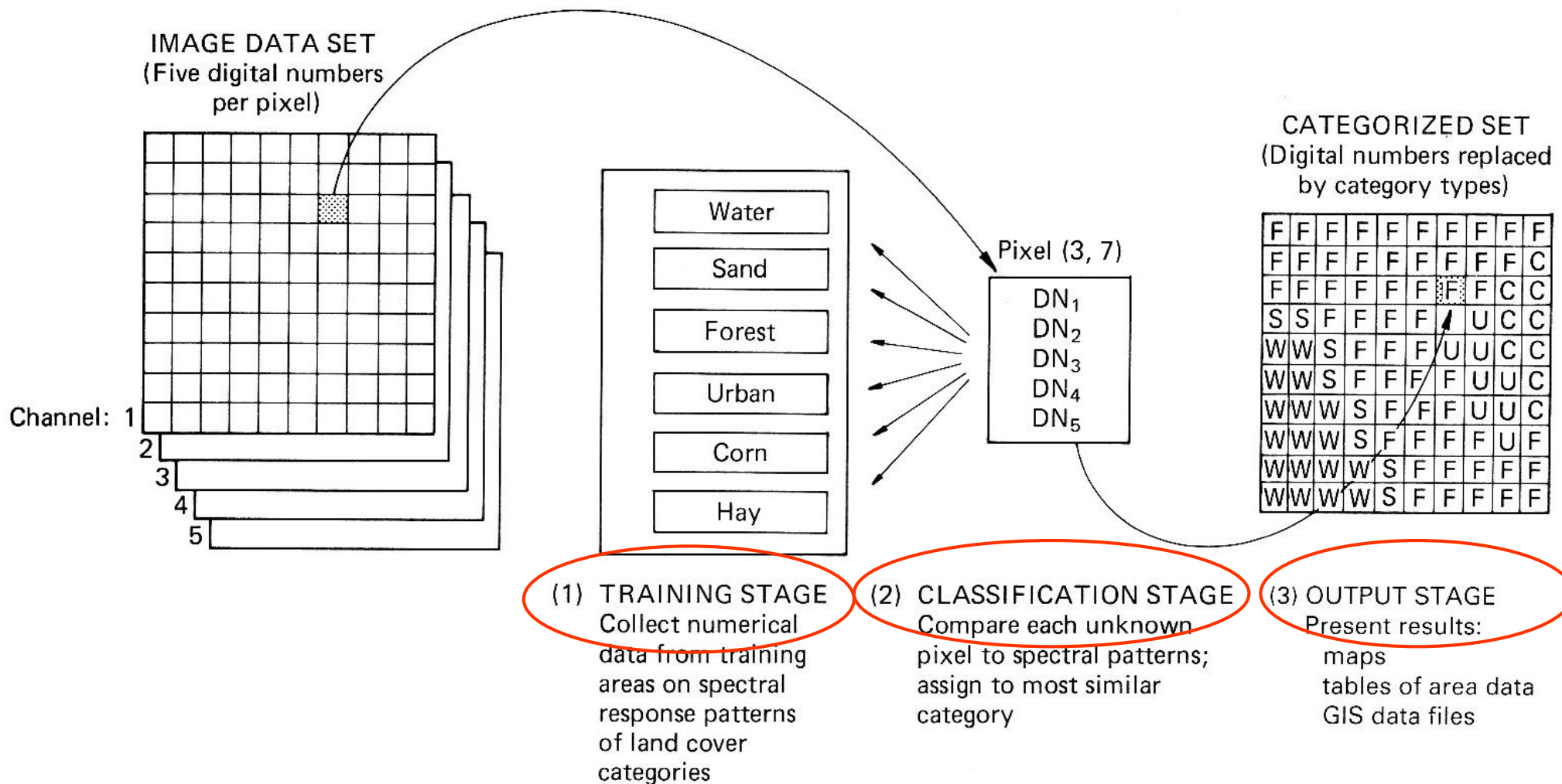
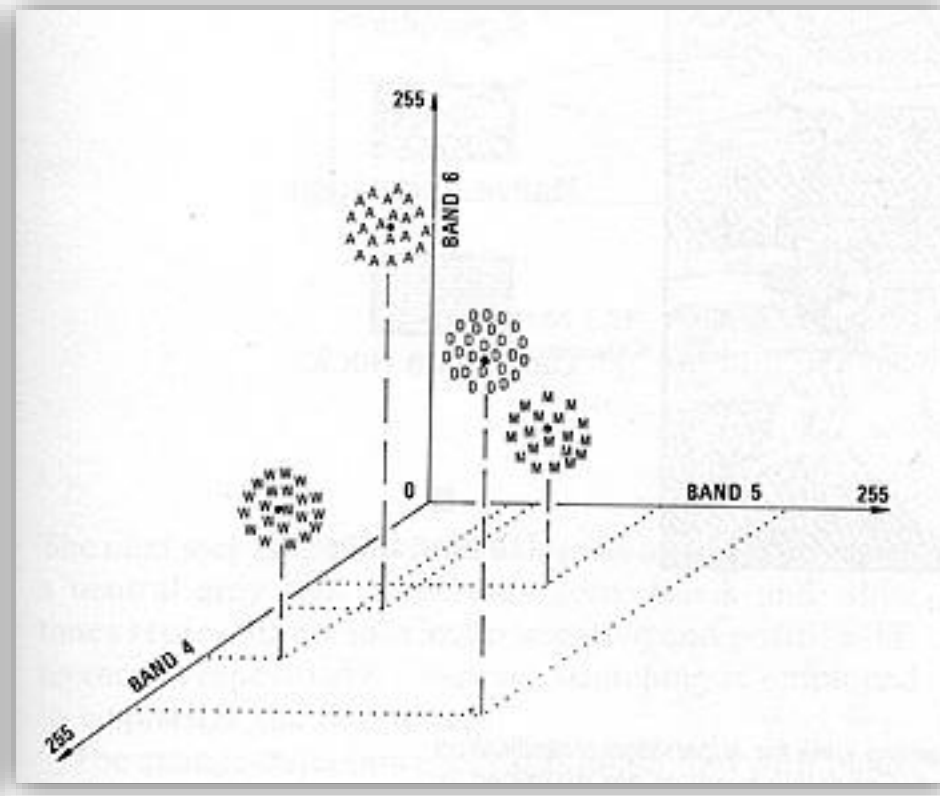
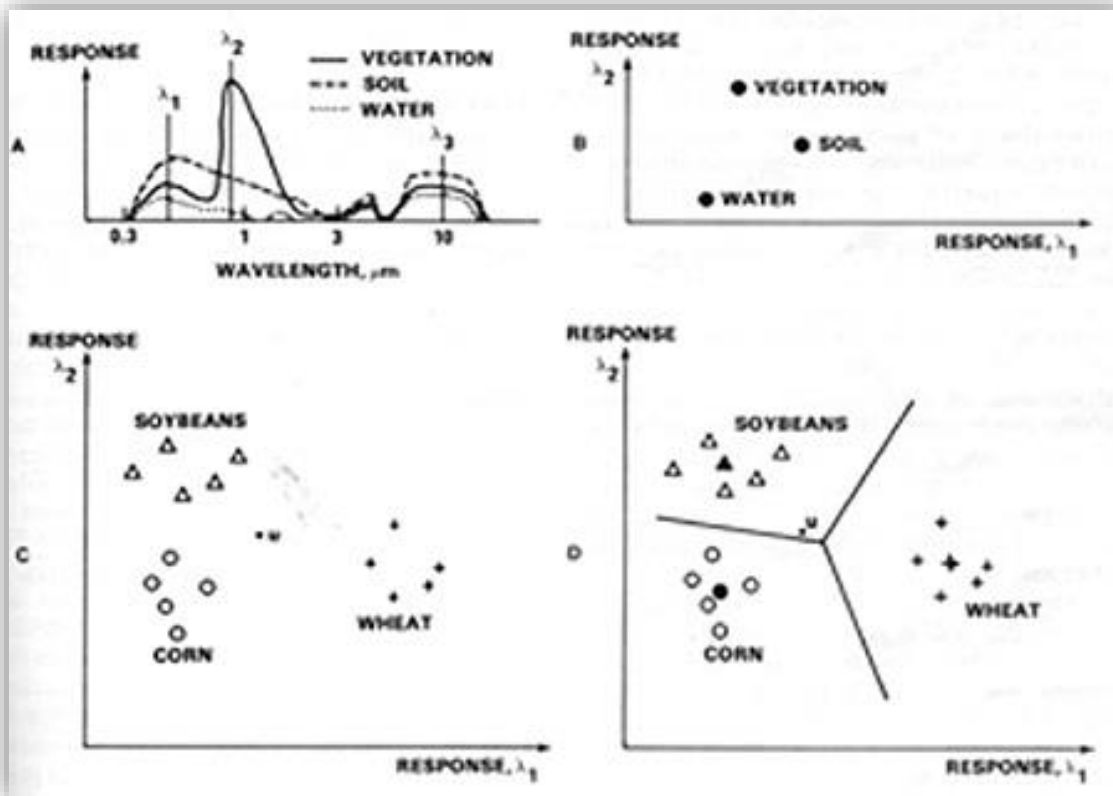


Figure 7.37 Basic steps in supervised classification.

Ταξινόμηση απεικόνισης

Επιβλεπόμενη ταξινόμηση



Ταξινόμηση απεικόνισης

Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Βήματα εφαρμογής επιβλεπόμενης ταξινόμησης:

1. **Συγκέντρωση διαθέσιμων στοιχείων** (χάρτες, αεροφωτογραφίες, στατιστικά στοιχεία για την κάλυψη γης, μελέτες για την περιοχή κτλ)
2. **Προκαταρκτική εξέταση της δορυφορικής εικόνας**. Αναγνώριση περιοχών (προσβασιμότητα, ομοιογένεια, ανακλαστικότητα, διαφορές)
3. **Προ-επεξεργασία της εικόνας**
4. **Δειγματοληπτικός σχεδιασμός και συλλογή εκπαιδευτικών πεδίων** (training sites)
5. **Απεικόνιση των εκπαιδευτικών πεδίων στην εικόνα και δημιουργία φασματικών υπογραφών**
6. **Εξέταση και επεξεργασία δειγμάτων**
7. **Επιλογή κανόνα ταξινόμησης και ταξινόμηση**.
8. **Εξέταση αποτελέσματος και επανάληψη των βημάτων 4-7 αν χρειάζεται**.

Ταξινόμηση απεικόνισης

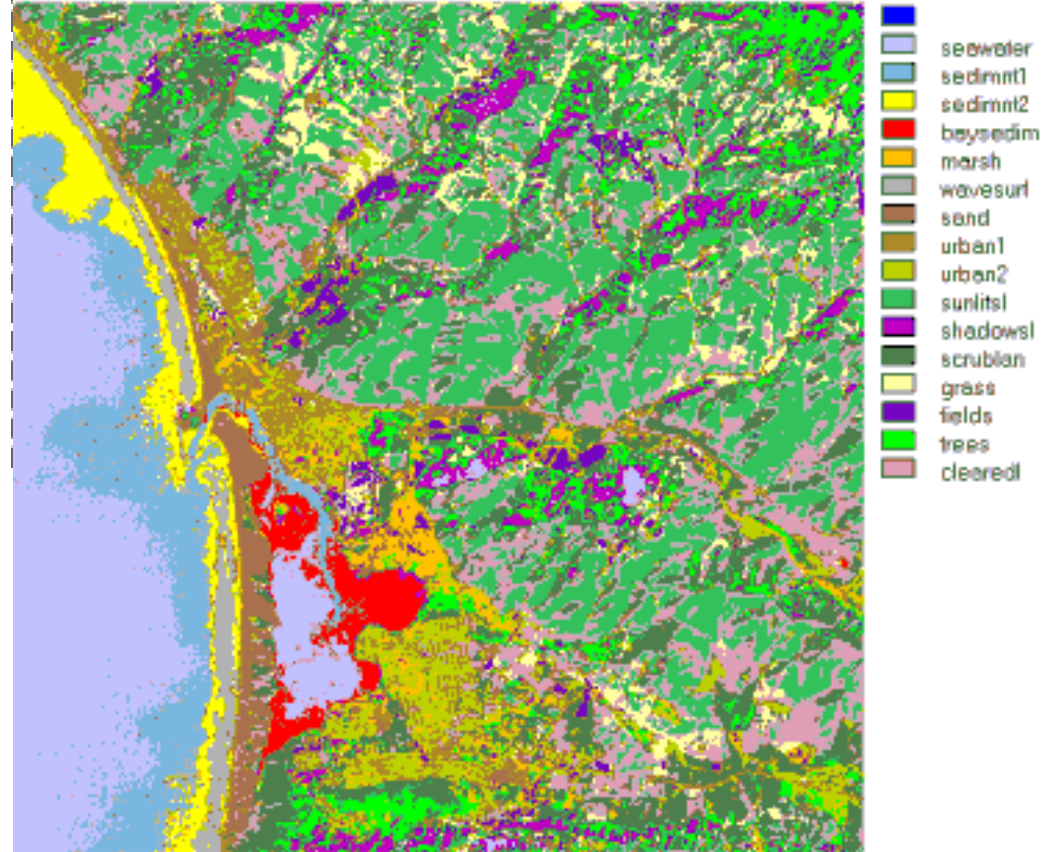
Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Περιοχές εκπαίδευσης (training sites):

Morro Bay Bands 3,2,1 Idrisi Composit



Morro Bay, Minimum Distance Classification

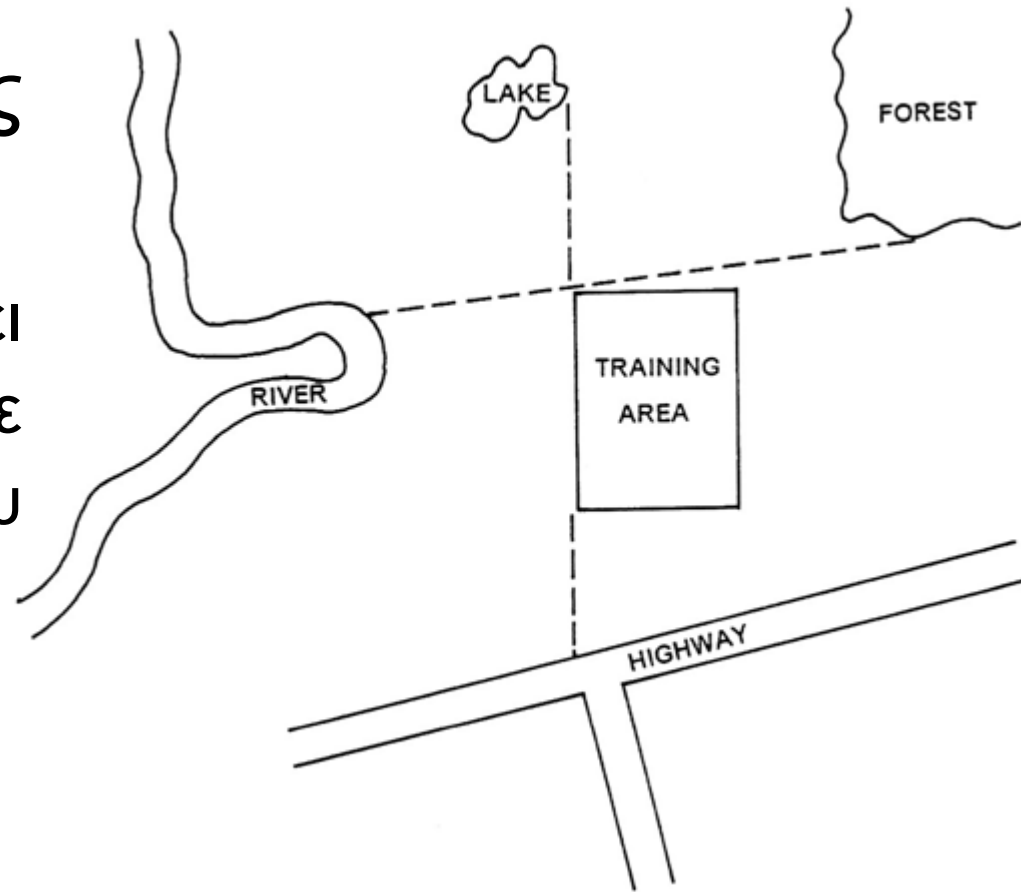


Ταξινόμηση απεικόνισης

Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Περιοχές εκπαίδευσης
(training sites):

Η θέση τους πρέπει να είναι κοντά σε χαρακτηριστικά που αναγνωρίζονται εύκολα στο πεδίο.

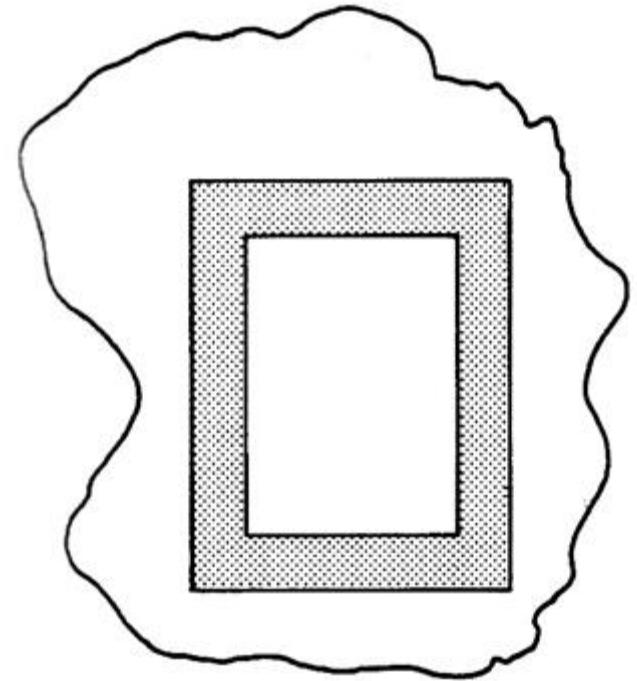


Ταξινόμηση απεικόνισης

Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Περιοχές εκπαίδευσης
(training sites):

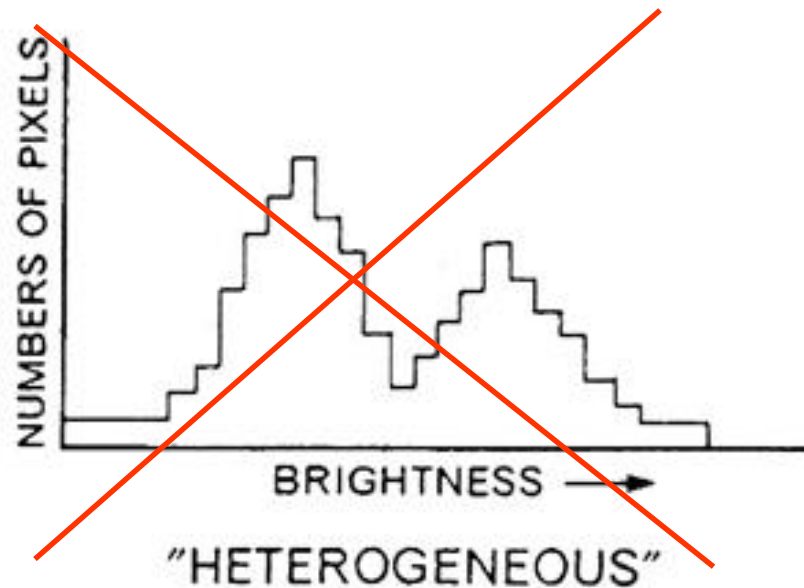
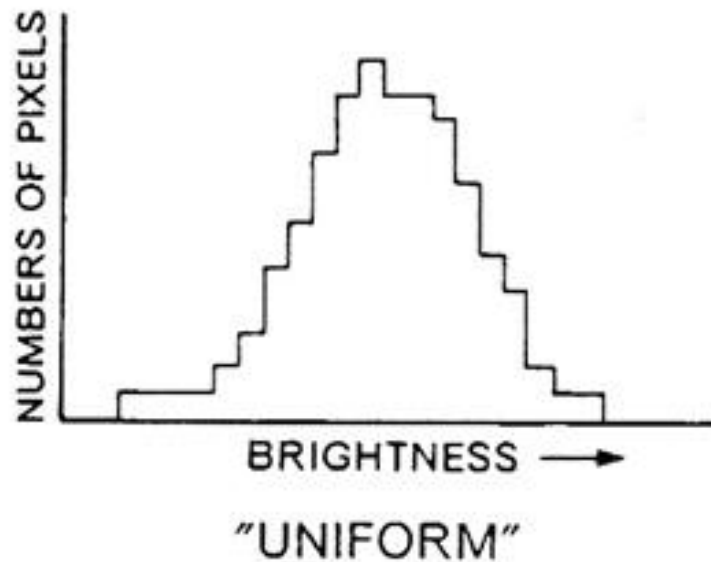
Πρέπει να απέχουν από τα
όρια για να αποφεύγονται
λάθη συμψηφισμού
εικονοστοιχείων και άλλων
τύπων κάλυψης.



Ταξινόμηση απεικόνισης

Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Περιοχές εκπαίδευσης (training sites):



Ταξινόμηση απεικόνισης

Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Περιοχές εκπαίδευσης (training sites):

– Μέγεθος δείγματος: ~ **50-100 pixels** (από την πλειονότητα της επιστημονικής κοινότητας π.χ Hay, 1979; Campbell 1987; Mather, 1987; Congalton and Green 1999)

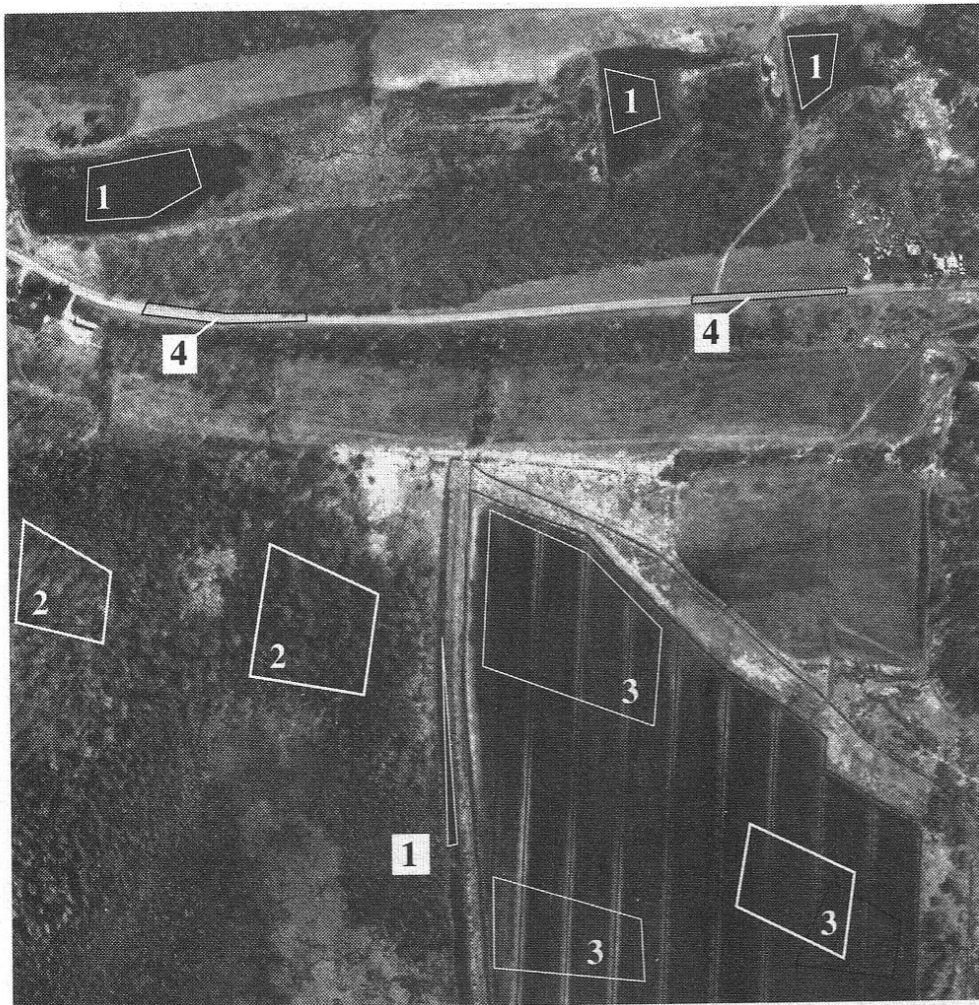
– Οι Swain and Davis (1978) προτείνουν:

- **$10 * N$** = ελάχιστο μέγεθος (**N ο αριθμός των καναλιών**)
- **$100 * N$** = μέγιστο μέγεθος

Ταξινόμηση απεικόνισης

Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Παράδειγμα περιοχών εκπαίδευσης (training sites):



Class 1 : Open water

Class 2 : Forest

Class 3 : Agricultural muckland

Class 4 : Roads



Ταξινόμηση απεικόνισης

Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Φασματικές υποκλάσεις;

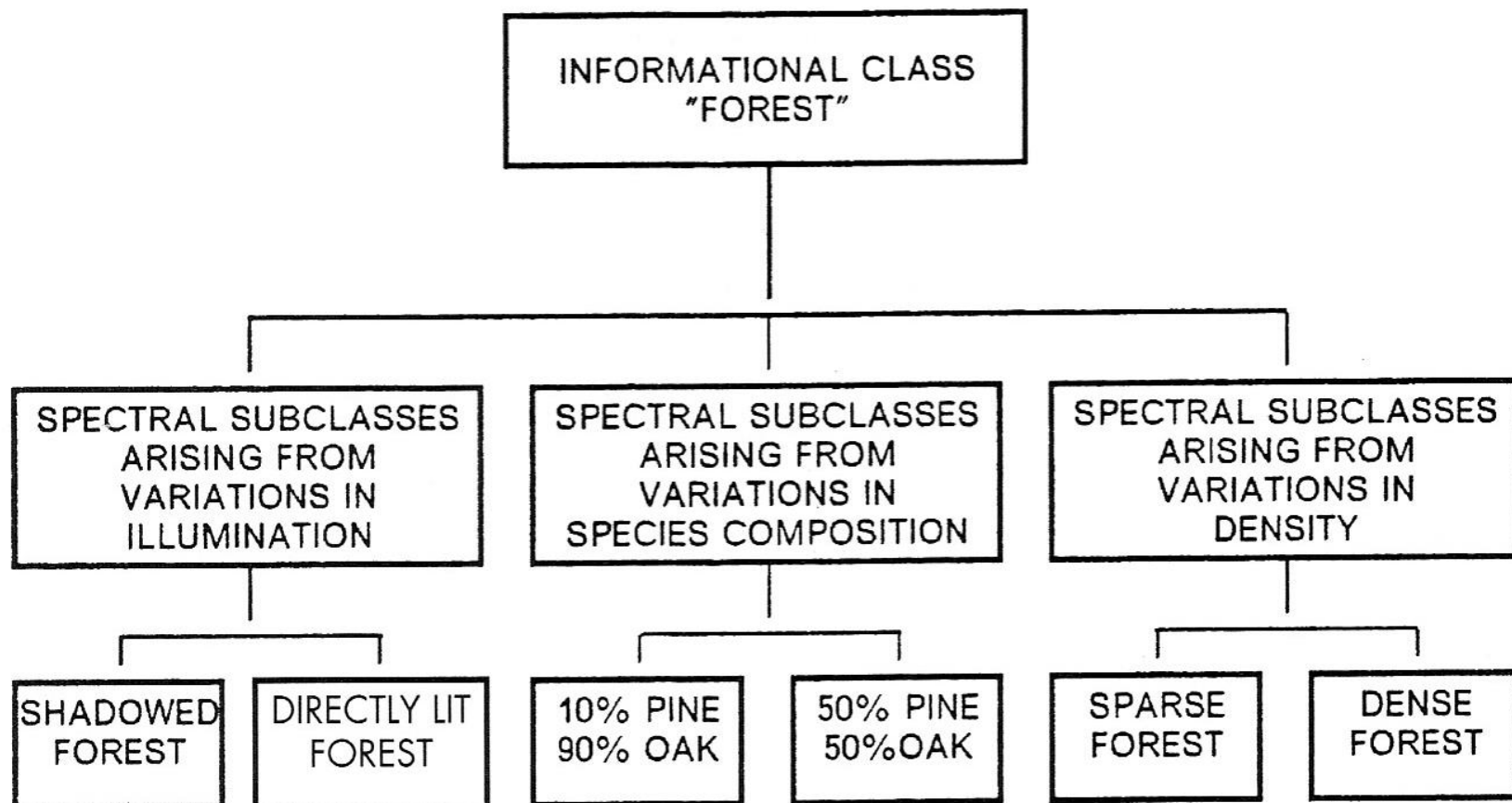


FIGURE 11.4. Spectral subclasses.

Ταξινόμηση απεικόνισης

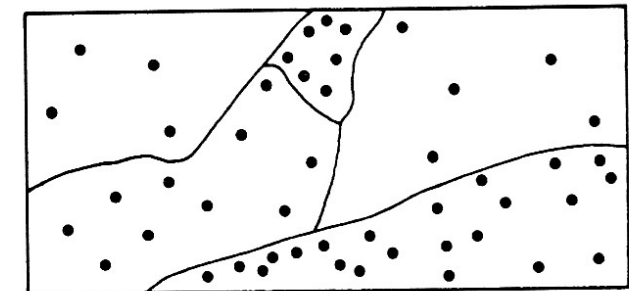
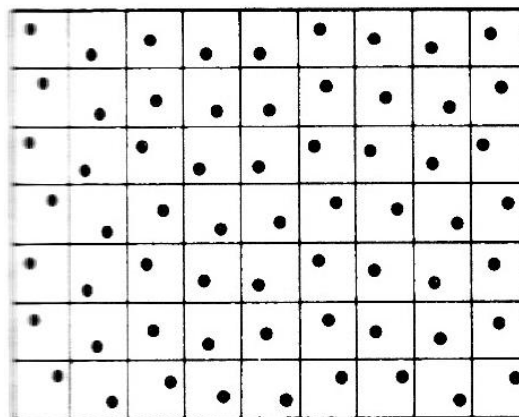
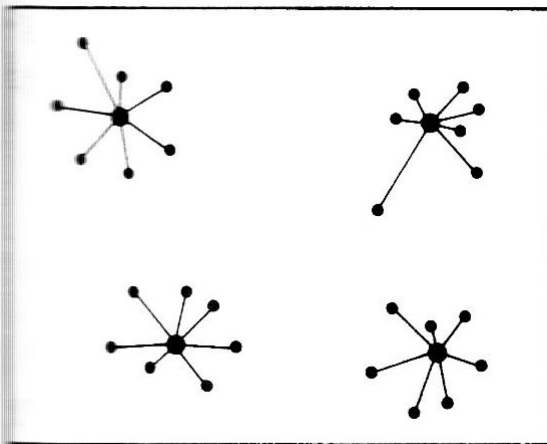
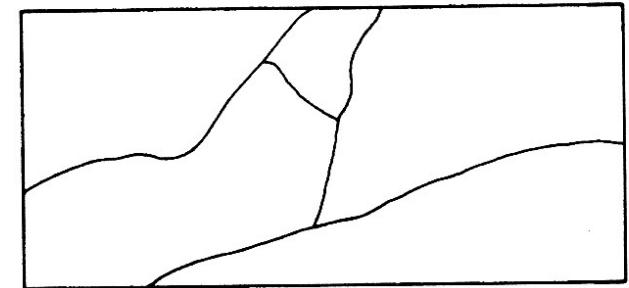
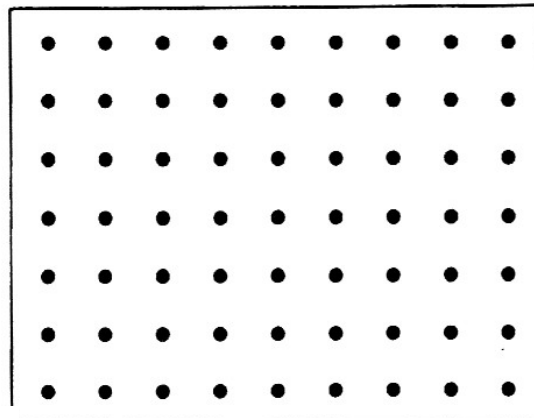
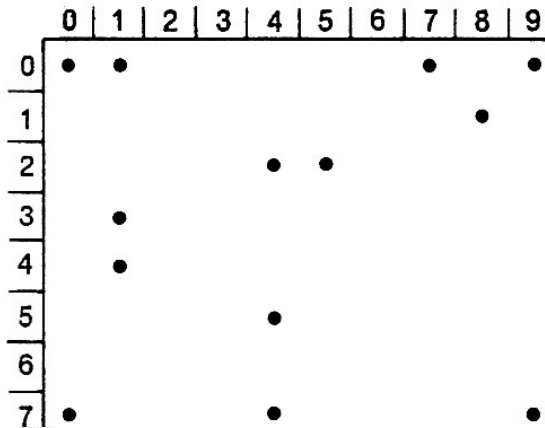
Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Δειγματοληπτικά σχήματα

τυχαία

συστηματική

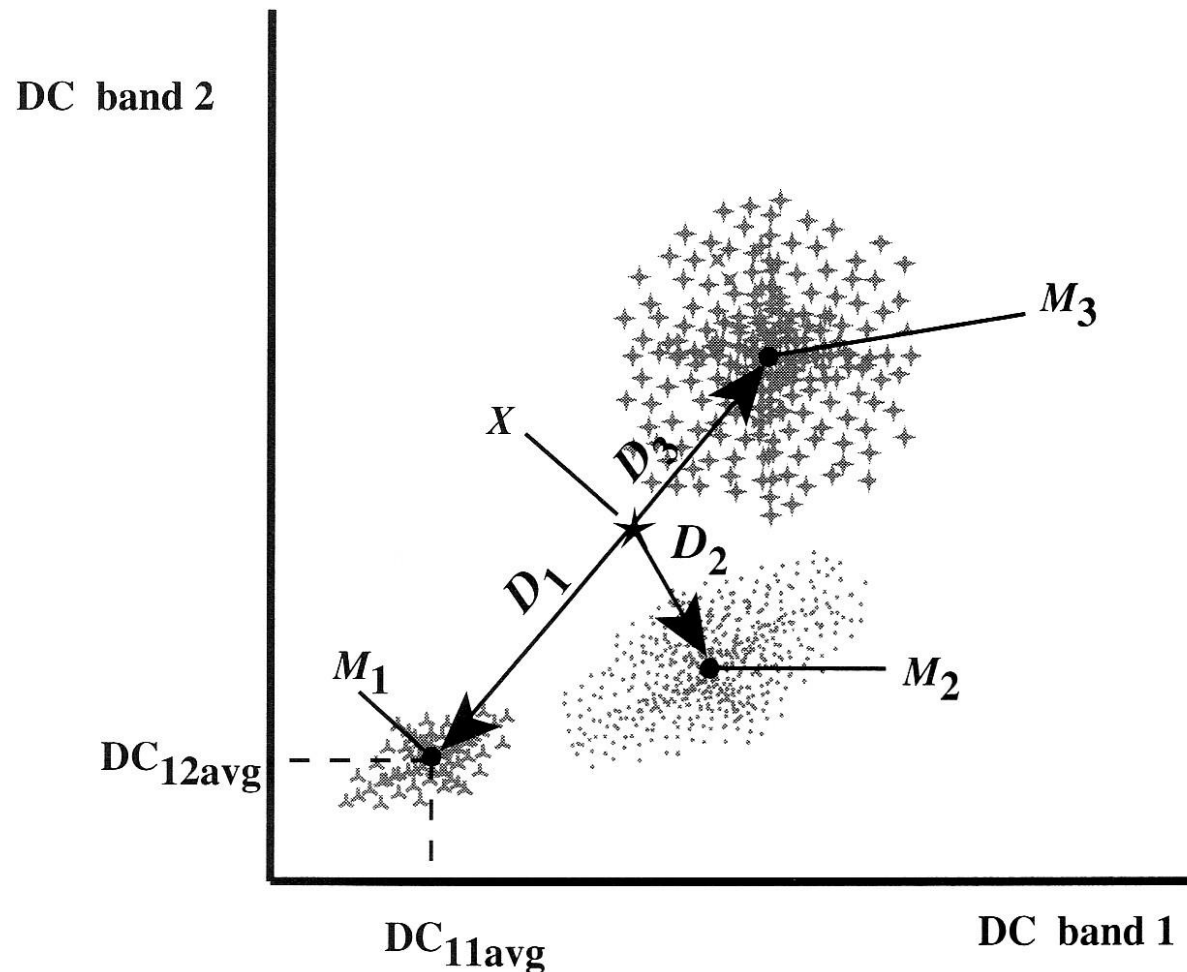
τυχαία ανά κατηγορία



Ταξινόμηση απεικόνισης

Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

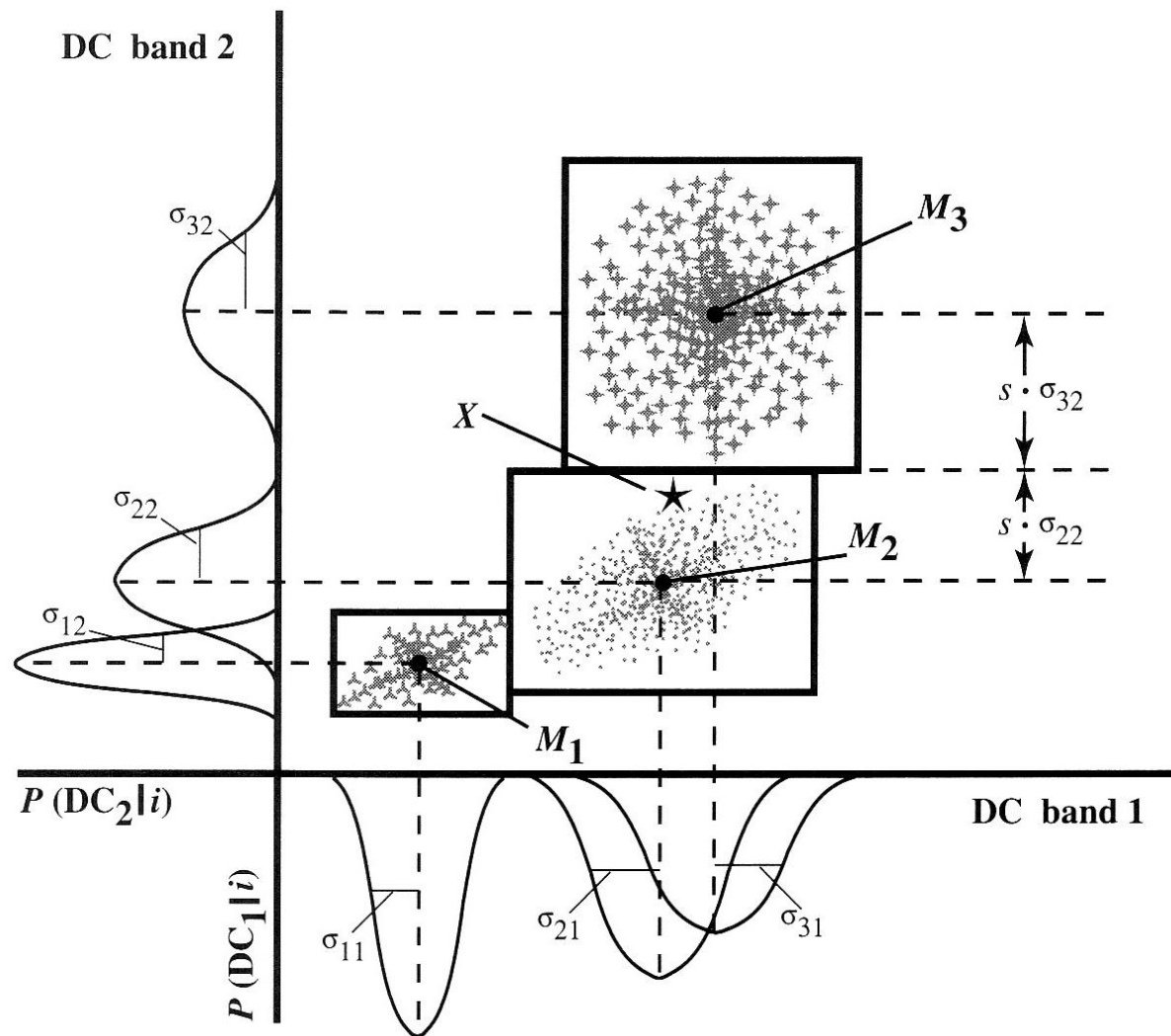
Ταξινόμηση ελάχιστης απόστασης



Ταξινόμηση απεικόνισης

Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Ταξινόμηση παραλληλεπιπέδου

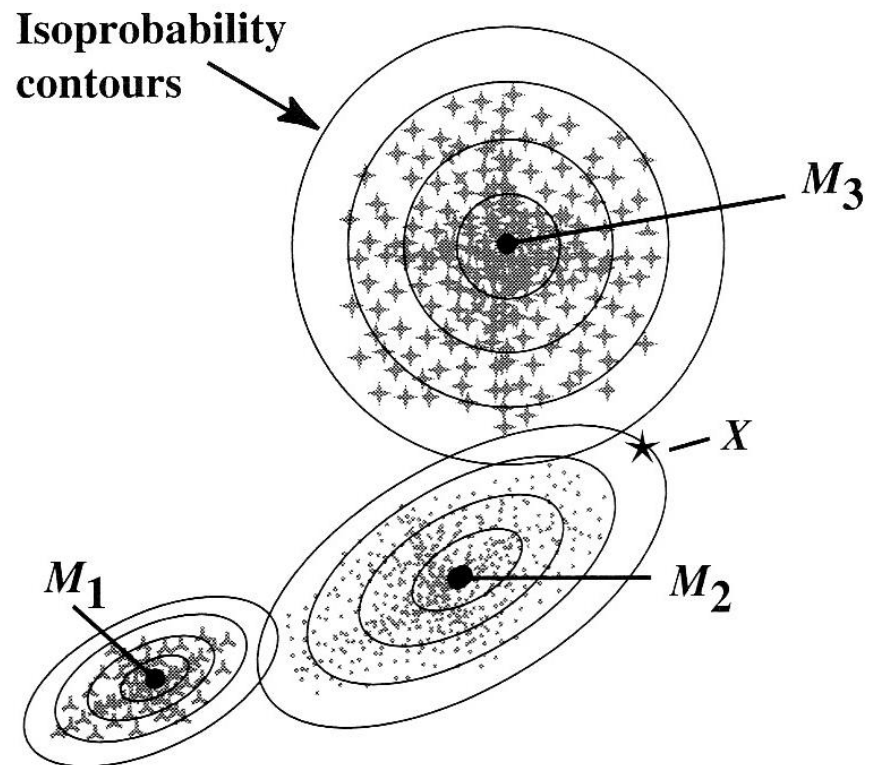


Ταξινόμηση απεικόνισης

Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Ταξινόμηση Μεγίστης Πιθανοφάνειας
(Maximum Likelihood Classification)

DC band 2

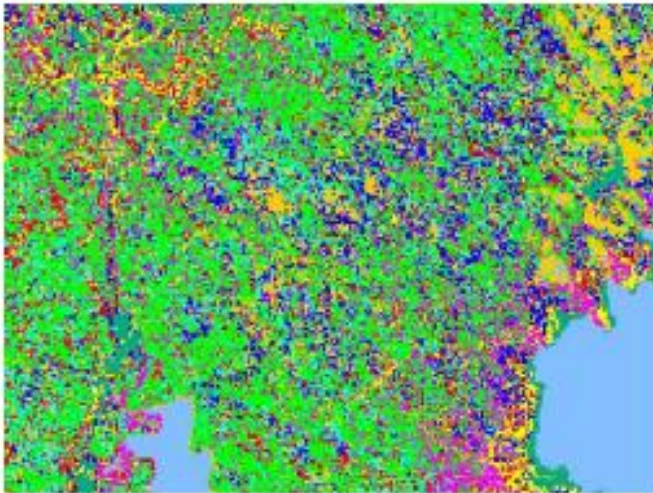


Ταξινόμηση απεικόνισης

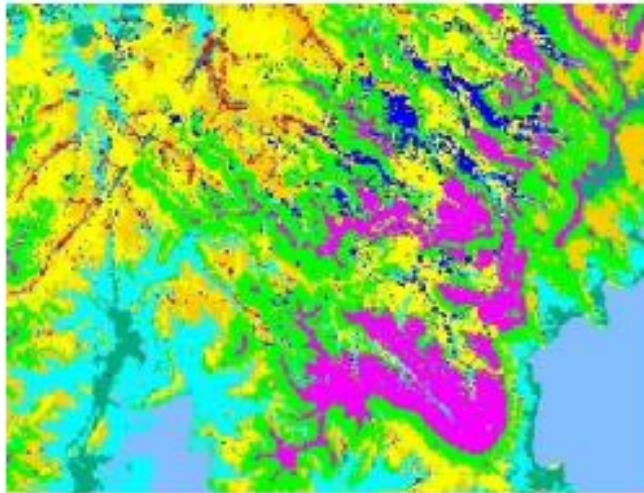
Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Multiple classifiers approach

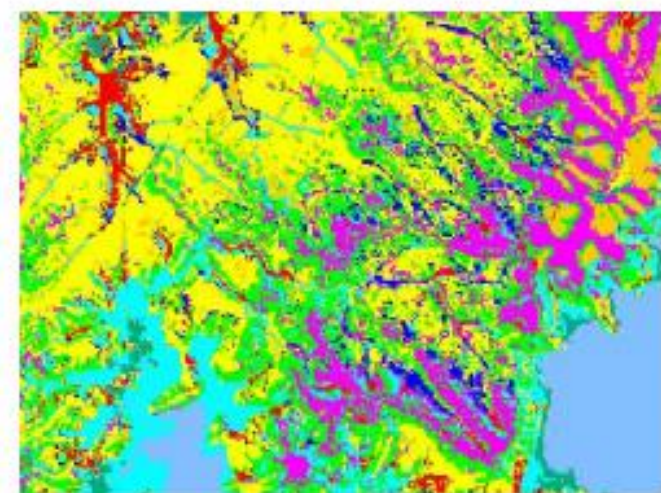
How different the results from different classifiers can be?



Maximum likelihood



Artificial Neural Networks



Decision tree

Εκτίμηση ακρίβειας ταξινόμησης

1. Συλλογή δεδομένων εκπαίδευσης ταξινομητή (training data).
2. Επιβλεπόμενη ταξινόμηση.
3. Συλλογή δεδομένων αναφοράς: «αλήθεια εδάφους» (δεδομένων εκτίμησης της ακρίβειας) (ground truth ή validation data).
4. Σύγκριση αποτελεσμάτων δεδομένων αναφοράς με τα αποτελέσματα ταξινόμησης.

Πως;

Εκτίμηση ακρίβειας ταξινόμησης

Reference Plot / ID Number	Καθορισμός κατηγορίας από τα δεδομένα αναφοράς (reference source)	Καθορισμός κατηγορίας από την ταξινομημένη εικόνα (classified map)	Συμφωνία;
1	κωνοφόρα	κωνοφόρα	Ναι
2	εσπεριδοειδή	κωνοφόρα	Όχι
3	νερό	νερό	Ναι
4	εσπεριδοειδή	εσπεριδοειδή	Ναι
5	Γρασίδι	εσπεριδοειδή	Όχι
6	Κλπ...		

Πως ομαδοποιείται και ποσοτικοποιείται;

Εκτίμηση ακρίβειας ταξινόμησης

Πίνακας ακρίβειας (συμμεταβλητότητας, λάθους) (accuracy matrix, error matrix)

	Καθορισμός κατηγορίας από τα δεδομένα αναφοράς (reference source)				
	# A/A	κωνοφόρα	γρασίδι	νερό	Σύνολο
Καθορισμός κατηγορίας από την ταξινομημένη εικόνα (classified map)	κωνοφόρα	50	5	2	57
	γρασίδι	14	13	0	27
	νερό	3	5	8	16
	Totals	67	23	10	100

Εκτίμηση ακρίβειας ταξινόμησης

Πίνακας ακρίβειας (συμμεταβλητότητας, λάθους) (accuracy matrix, error matrix)

Συνολική ακρίβεια: αριθμός σωστών δειγμάτων / σύνολο δειγμάτων

	Καθορισμός κατηγορίας από τα δεδομένα αναφοράς (reference source)				
Καθορισμός κατηγορίας από την ταξινομημένη εικόνα (classified map)	# A/A	κωνοφ όρα	γρασί δι	νερό	Σύνολο
	κωνοφόρα	50	5	2	57
	γρασίδι	14	13	0	27
	νερό	3	5	8	16
	Totals	67	23	10	100

$$Accuracy_{Total} = \frac{50+13+8}{100} * 100 = 71\%$$

Διαγώνιοι: δείγματα που έχουν ταξινομηθεί σωστά σύμφωνα με τα στοιχεία αναφοράς

Εκτός διαγωνίων: δείγματα που έχουν ταξινομηθεί λανθασμένα σύμφωνα με τα στοιχεία αναφοράς

Εκτίμηση ακρίβειας ταξινόμησης

Πίνακας ακρίβειας
(συμμεταβλητότητας, λάθους)
(accuracy matrix, error matrix)

Συνολική ακρίβεια: αριθμός σωστών δειγμάτων / σύνολο δειγμάτων

Μειονέκτημα Συνολικής Ακρίβειας:

Η τελική τιμή είναι ένας μέσος όρος και δεν αποκαλύπτει εάν το λάθος είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο σε όλες τις κατηγορίες ή πόσο καλή είναι η ταξινόμηση σε κάθε κατηγορία.

«Νέες Ακρίβειες»:

Ακρίβεια χρήστη (user's accuracy)
Ακρίβεια παραγωγού (producer's accuracy)

Λάθη συμπερίληψης (commission error)
Λάθη αποκλεισμού (omission error)

Εκτίμηση ακρίβειας ταξινόμησης

Πίνακας ακρίβειας
(συμμεταβλητότητας, λάθους)
(accuracy matrix, error matrix)

Ακρίβεια χρήστη
(user's accuracy)

Αντιστοιχεί στην ακρίβεια που προέρχεται από το σφάλμα της συμπερίληψης (ενσωμάτωση)

1 θάμνος και 3 κωνοφόρα περιλαμβάνονται λανθασμένα στην κατηγορία γρασίδι

Ακρίβεια παραγωγού
(producer's accuracy)

Αντιστοιχεί στην ακρίβεια που προέρχεται από το σφάλμα της παράλειψης (αποκλεισμού)

7 κωνοφόρα και 1 θάμνος αποκλειστήκαν λανθασμένα από την κατηγορία γρασίδι

Εκτίμηση ακρίβειας ταξινόμησης

Πίνακας ακρίβειας
(συμμεταβλητότητας, λάθους)
(accuracy matrix, error matrix)

Λάθη συμπερίληψης
(commission error)

Αντιστοιχεί στο λάθος που οφείλεται από την συμπερίληψη (ενσωμάτωση)

1 θάμνος και 3 κωνοφόρα περιλαμβάνονται λανθασμένα στην κατηγορία γρασίδι

Λάθη αποκλεισμού
(ommission error)

Αντιστοιχεί στο λάθος που οφείλεται από την παράλειψη (αποκλεισμό)

7 κωνοφόρα και 1 θάμνος αποκλειστήκαν λανθασμένα από την κατηγορία γρασίδι

Εκτίμηση ακρίβειας ταξινόμησης

Πίνακας ακρίβειας
(συμμεταβλητότητας, λάθους)
(accuracy matrix, error matrix)

Ακρίβεια χρήστη
(user's accuracy)

+

Λάθη συμπερίληψης
(commission error)

=

1

Ακρίβεια παραγωγού
(producer's accuracy)

+

Λάθη αποκλεισμού
(ommission error)

=

1

Εκτίμηση ακρίβειας ταξινόμησης

Πίνακας ακρίβειας
(συμμεταβλητότητας, λάθους)
(accuracy matrix, error matrix)

Ακρίβεια χρήστη
(user's accuracy)

**Από την οπτική ενός χρήστη της ταξινόμησης:
Πόσο ακριβής είναι η ταξινόμηση;**

**Για μια δεδομένη κατηγορία, πόσα από τα εικονοστοιχεία
στο χάρτη είναι πραγματικά αυτό που λένε ότι είναι;**

Υπολογίζεται ως:

Ακρίβεια χρήστη (user's accuracy):
Αριθμός που έχουν αναγνωρισθεί σωστά σε μια κατηγορία /
Συνολικός αριθμός που φαίνεται να ανήκει σε αυτή την κατηγορία

Εκτίμηση ακρίβειας ταξινόμησης

Πίνακας ακρίβειας
(συμμεταβλητότητας, λάθους)
(accuracy matrix, error matrix)

Ακρίβεια χρήστη
(user's accuracy)

	Καθορισμός κατηγορίας από τα δεδομένα αναφοράς (reference source)				
Καθορισμός κατηγορίας από την ταξινομημένη εικόνα (classified map)	# A/A	κωνοφόρα	γρασίδι	νερό	Σύνολο
κωνοφόρα		50	5	2	57
γρασίδι		14	13	0	27
νερό		3	5	8	16
Totals		67	23	10	100

Παράδειγμα Κωνοφόρα

$$Accuracy_{User's, \text{Konofora}} = \frac{50}{57} * 100 = 88\%$$

Εκτίμηση ακρίβειας ταξινόμησης

Πίνακας ακρίβειας
(συμμεταβλητότητας, λάθους)
(accuracy matrix, error matrix)

Ακρίβεια παραγωγού
(producer's accuracy)

**Από την οπτική αυτού που έκανε της ταξινόμηση (παραγωγού):
Πόσο ακριβής είναι η ταξινόμηση;**

**Για μια δεδομένη κατηγορία, πόσα από τα εικονοστοιχεία
των δεδομένων ακρίβειας έχουν ταξινομηθεί σωστά;**

Υπολογίζεται ως:

**Ακρίβεια παραγωγού (producer's accuracy):
Αριθμός δεδομένων που έχουν αναγνωρισθεί σωστά σε μια κατηγορία /
Συνολικός αριθμός δεδομένων (ακρίβειας) σε αυτή την κατηγορία**

Εκτίμηση ακρίβειας ταξινόμησης

Πίνακας ακρίβειας
(συμμεταβλητότητας, λάθους)
(accuracy matrix, error matrix)

Ακρίβεια παραγωγού
(producer's accuracy)

	Καθορισμός κατηγορίας από τα δεδομένα αναφοράς (reference source)				
Καθορισμός κατηγορίας από την ταξινομημένη εικόνα (classified map)	# A/A	κωνοφόρα	γρασίδι	νερό	Σύνολο
κωνοφόρα		50	5	2	57
γρασίδι		14	13	0	27
νερό		3	5	8	16
Totals		67	23	10	100

Παράδειγμα Κωνοφόρα

$$Accuracy_{\text{producers, Konofoora}} = \frac{50}{67} * 100 = 75\%$$

Εκτίμηση ακρίβειας ταξινόμησης

Πίνακας ακρίβειας (συμμεταβλητότητας, λάθους) (accuracy matrix, error matrix)

	Καθορισμός κατηγορίας από τα δεδομένα αναφοράς (reference source)					Ακρίβεια χρήστη (user's accuracy)
Καθορισμός κατηγορίας από την ταξινομημένη εικόνα (classified map)	# A/A	κωνοφόρα	γρασίδι	νερό	Σύνολο	
	κωνοφόρα	50	5	2	57	88%
	γρασίδι	14	13	0	27	48%
	νερό	3	5	8	16	50%
	Totals	67	23	10	100	
Ακρίβεια παραγωγού (producer's accuracy)		75%	57%	80%		Total: 71%

Εκτίμηση ακρίβειας ταξινόμησης

Συντελεστής Κάππα (Kappa index)

Υπολογίζεται ως: \hat{K} Παίρνει τιμές 0-1.

Αντανακλά τη διαφορά στην ακρίβεια μεταξύ μιας συγκεκριμένης ταξινόμησης (ή ταξινομητή) και μιας τυχαίας ταξινόμησης.

Kappa 0,85 σημαίνει ότι υπάρχει 85% καλύτερη συμφωνία (ταξινόμηση) από ότι εάν η ταξινόμηση είχε γίνει τυχαία.

$$\hat{K} = \frac{\text{Συμφωνία} - \text{Ασυμφωνία}}{1 - \text{Ασυμφωνία}}$$

$$\hat{K} = \frac{\text{observed accuracy} - \text{chance agreement}}{1 - \text{chance agreement}}$$

Εκτίμηση ακρίβειας ταξινόμησης

Συντελεστής Κάππα (Kappa index)

$$\hat{K} = \frac{\text{Συμφωνία} - \text{Ασυμφωνία}}{1 - \text{Ασυμφωνία}}$$

$$\hat{K} = \frac{\text{observed accuracy} - \text{chance agreement}}{1 - \text{chance agreement}}$$

Συμφωνία: Συνολική ακρίβεια από τη διαγώνιο του πίνακα ακρίβειας

Ασυμφωνία: από μαθηματικό τύπο που εξαρτάται από τα στοιχεία του πίνακα ακρίβειας εκτός της διαγωνίου.

$$p_o = \sum_{i=1}^k p_{ii}$$

Δεδομένα που συμπίπτουν στη ταξινόμηση (συμφωνία)

$$\hat{K} = \frac{p_o - p_c}{1 - p_c}$$

$$p_c = \sum_{i=1}^k p_{i+} p_{+i}$$

Δεδομένα που δε συμπίπτουν στη ταξινόμηση (ασυμφωνία)

$$\hat{K} = \frac{n \sum_{i=1}^k n_{ii} - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i}}$$

Εκτίμηση ακρίβειας ταξινόμησης

Kappa Hat = 0.46

	Καθορισμός κατηγορίας από τα δεδομένα αναφοράς (reference source)					Ακρίβεια χρήστη (user's accuracy)
Καθορισμός κατηγορίας από την ταξινομημένη εικόνα (classified map)	# A/A	κωνοφόρα	γρασίδι	νερό	Σύνολο	
κωνοφόρα		50	5	2	57	88%
γρασίδι		14	13	0	27	48%
νερό		3	5	8	16	50%
Totals		67	23	10	100	
Ακρίβεια παραγωγού (producer's accuracy)		75%	57%	80%		Total: 71%

Εκτίμηση ακρίβειας ταξινόμησης

Συντελεστής Κάππα (Kappa index)

Άλλες χρήσεις:

Σύγκριση δύο πινάκων ακρίβειας

**Βαρύτητα σε κελιά του πίνακα ακρίβειας
ανάλογα με την λανθασμένη
ταξινόμηση**

Παροχή ορίων σφαλμάτων στην ακρίβεια

Εκτίμηση ακρίβειας ταξινόμησης

Κάθε ακρίβεια περιέχει συγκεκριμένη πληροφορία

Εάν εστιάσουμε μόνο σε μια μπορεί να πάρουμε σημαντικά εσφαλμένη πληροφορία

	Καθορισμός κατηγορίας από τα δεδομένα αναφοράς (reference source)					Ακρίβεια χρήστη (user's accuracy)	
Καθορισμός κατηγορίας από την ταξινομημένη εικόνα (classified map)	# A/A	κωνοφ όρα	γρασί δι	νερό	Σύνολο		
	κωνοφόρα	50	5	2	57	88%	
	γρασίδι	14	13	0	27	48%	Ακρίβεια χρήστη γρασιδιού
	νερό	3	5	8	16	50%	
	Totals	67	23	10	100		
Ακρίβεια παραγωγού (producer's accuracy)		75%	57%	80%		Total: 71%	Συνολική Ακρίβεια

Εκτίμηση ακρίβειας ταξινόμησης

Τι αναφέρουμε;

Εξαρτάται από:

Το που απευθύνεται
Το στόχο της εργασίας

Πίνακας ακρίβειας, ακρίβειες χρήση και παραγωγού
και Κάππα

Εκτίμηση ακρίβειας ταξινόμησης

Variance of \hat{K}

$$\text{vâr}(\hat{K}) = \frac{1}{n} \left\{ \frac{\theta_1(1-\theta_1)}{(1-\theta_2)^2} + \frac{2(1-\theta_1)(2\theta_1\theta_2 - \theta_3)}{(1-\theta_2)^3} + \frac{(1-\theta_1)^2(\theta_4 - 4\theta_2^2)}{(1-\theta_2)^4} \right\}$$

$$\theta_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k n_{ii},$$

$$\theta_3 = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^k n_{ii}(n_{i+} + n_{+i}),$$

$$\theta_2 = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^k n_{i+}n_{+i},$$

$$\theta_4 = \frac{1}{n^3} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k n_{ij}(n_{j+} + n_{+i})^2.$$

Συντελεστής Z
(Z-score)

$$Z = \frac{\hat{K}_1}{\sqrt{\text{vâr}(\hat{K}_1)}}.$$

Εκτίμηση ακρίβειας ταξινόμησης

Γιατί η ταξινόμηση δεν είναι καλή;
Τι δεν έγινε σωστά;



Εκτίμηση ακρίβειας ταξινόμησης

Λάθη στα δεδομένα αναφοράς (reference data)

1. Λάθη θέσης (γεωμετρική διόρθωση),
2. Λάθη χρήστη,
3. Δεδομένα αναφοράς ακατάλληλα για σωστή ταξινόμηση.

Λάθη στη ταξινόμηση (classified map)

1. Τα τηλεπισκοπικά δεδομένα δε μπορούν να διαχωρίσουν τις πραγματικές κατηγορίες,
2. Διαφορά μεταξύ χρήσης γης και κάλυψη γης,
3. Οι κατηγορίες δε μπορούν να διαχωριστούν φασματικά,
4. Η ατμόσφαιρα μπορεί να εξαλείψει μικρές σημαντικές διαφορές,
5. Η ανάλυση των απεικονίσεων δε συνάδει με τη κλίμακα της απαιτούμενης ταξινόμησης.

Εκτίμηση ακρίβειας ταξινόμησης: Σύνοψη

Σημαντική η επιλογή των δεδομένων αναφοράς

Ο πίνακας ακρίβειας είναι απαραίτητος για κάθε ταξινόμηση

Όλες οι ακρίβειες θα πρέπει να αναφέρονται

Παρατηρώντας τις ακρίβειες ανά κατηγορία μπορούν να βρεθούν τρόποι βελτίωσης της συνολικής ακρίβειας

Εκτίμηση ακρίβειας ταξινόμησης

Βιβλιογραφία

Lillesand and Kiefer, Chapter 7

Congalton, R. G. and K. Green. 1999. *Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices*. Lewis Publishers, Boca Raton.

Congalton, R.G. 1991. A review of assessing the accuracy of classification of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment* 37:35-46