

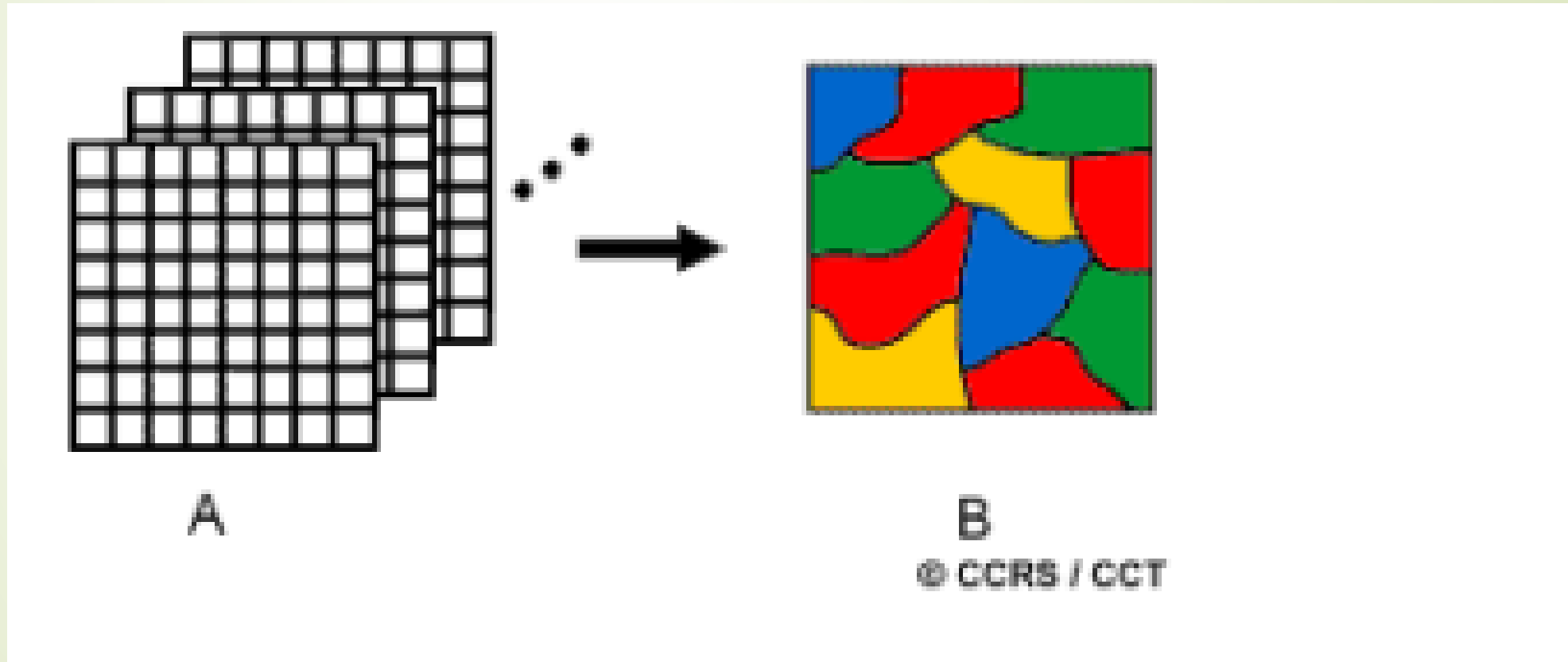


Τηλεπισκόπηση

Ταξινόμηση

Ταξινόμηση

- Με τον όρο ταξινόμηση εννοείται η διαδικασία καταχώρισης κάθε εικονοστοιχείου σε κάποια χρήση ή κάλυψη γης.



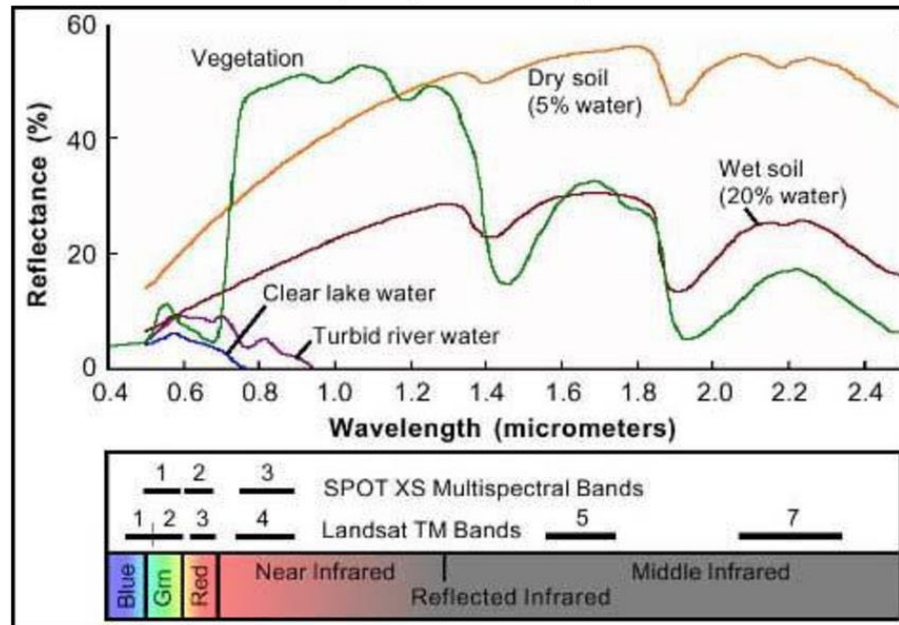
Ταξινόμηση

- Για κάθε εικονοστοιχείο, δύο χαρακτηριστικά γνωρίζουμε (όπως γενικότερα και σε κάθε ψηφιδωτό αρχείο)
 1. τη χωρική θέση του εικονοστοιχείου και
 1. τη ραδιομετρική τιμή του (ποσοστό ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε αριθμητικές τιμές).

Ταξινόμηση

- Κάθε υλικό αντιδρά, απορροφώντας ή μεταδίδοντας την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια, με διαφορετικό τρόπο ανάλογα με το μήκος κύματος.
- => **Δομή Φασματικής Ανάκλασης**

Spectral Response Curve ("signature")

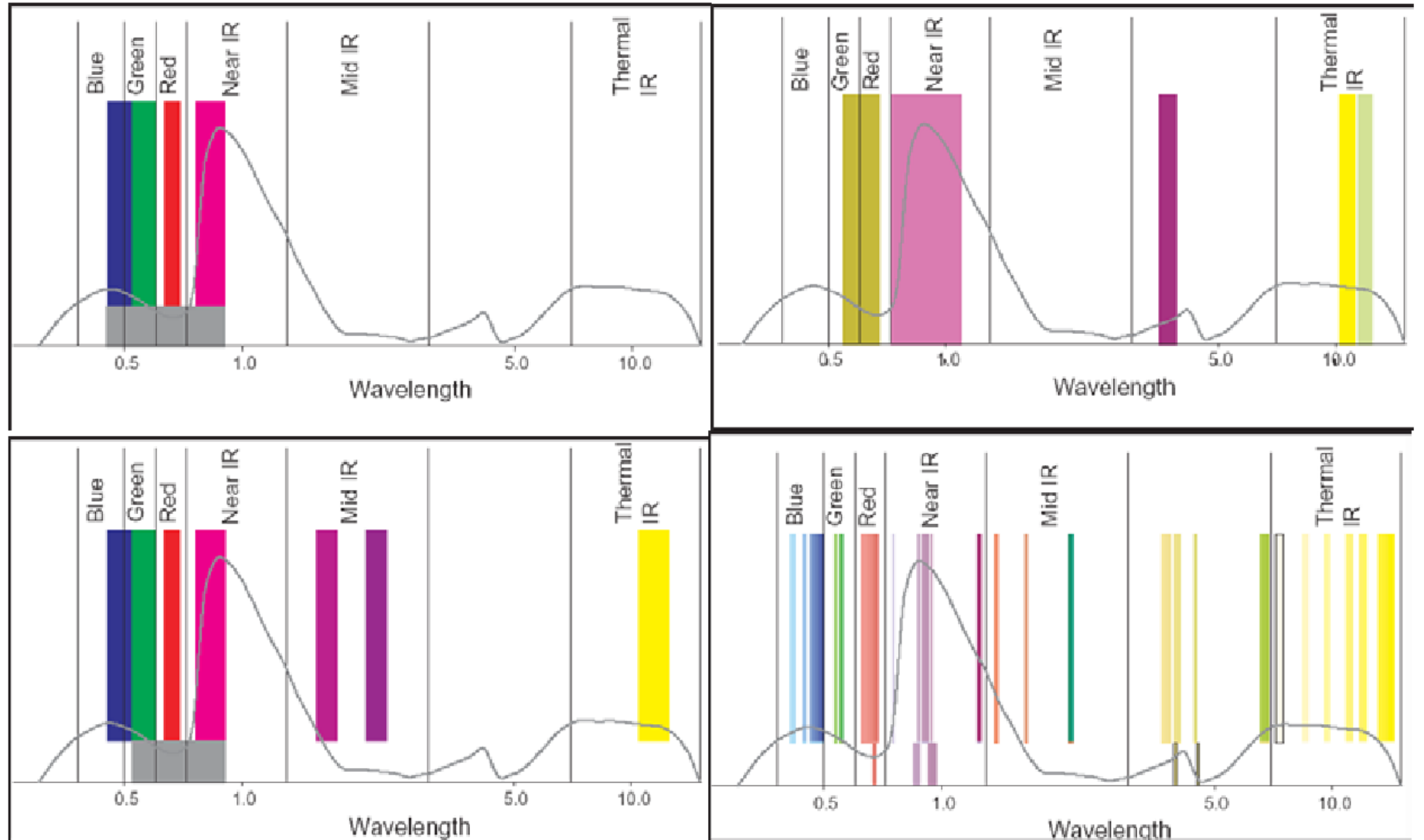


Natural objects appear to be the color they most reflect!

Ταξινόμηση

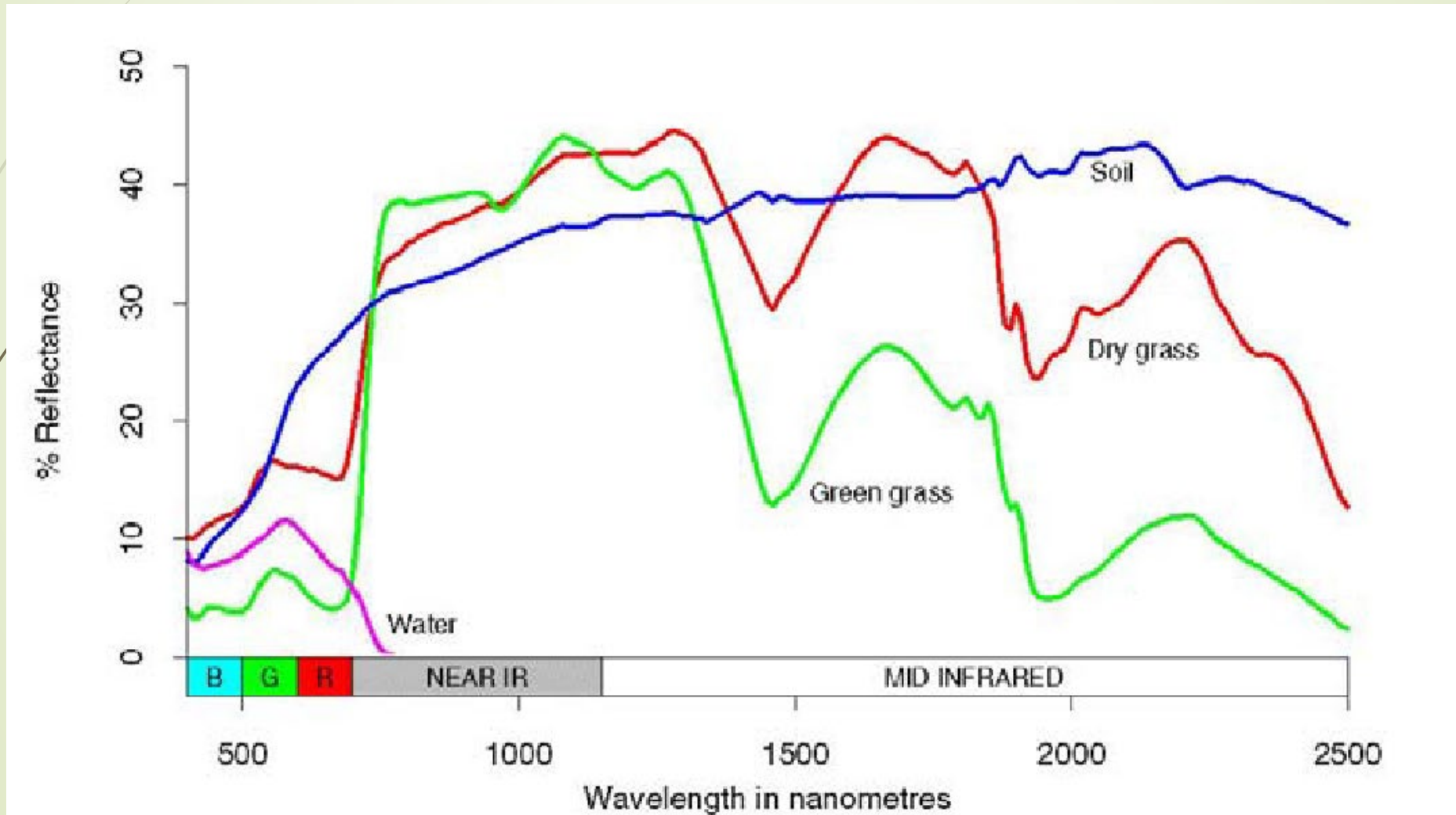
- Στις δορυφορικές εικόνες, κάθε εικονοστοιχείο χαρακτηρίζεται από n ραδιομετρικές τιμές,
- όπου n = αριθμός των φασματικών διαύλων (μπαντών) που έχει η εικόνα μας.
- **Οι τιμές αυτές αποτελούν τη φασματική δομή του εικονοστοιχείου.**

Ταξινόμηση

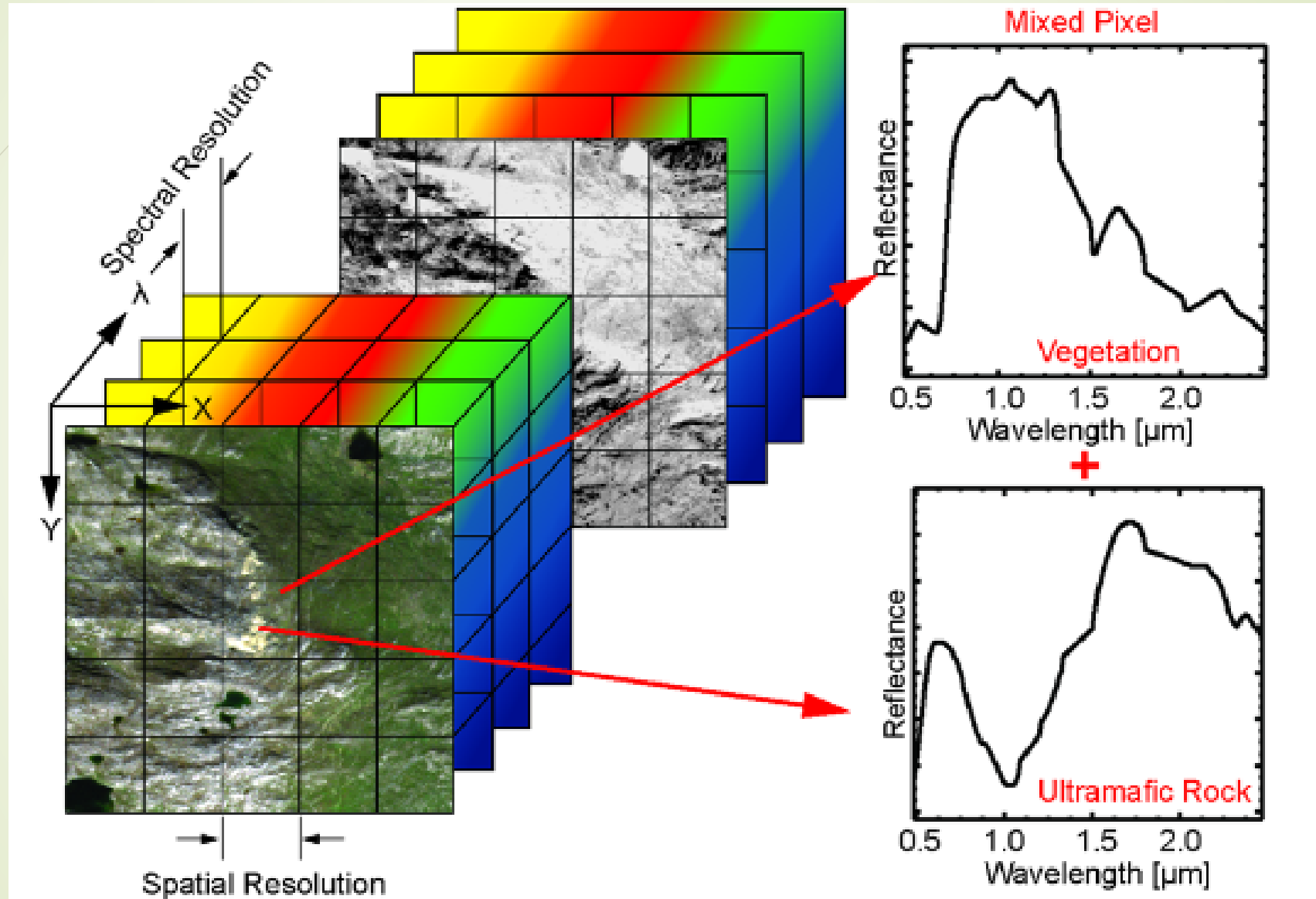


Ταξινόμηση

- Φασματική δομή του εικονοστοιχείου

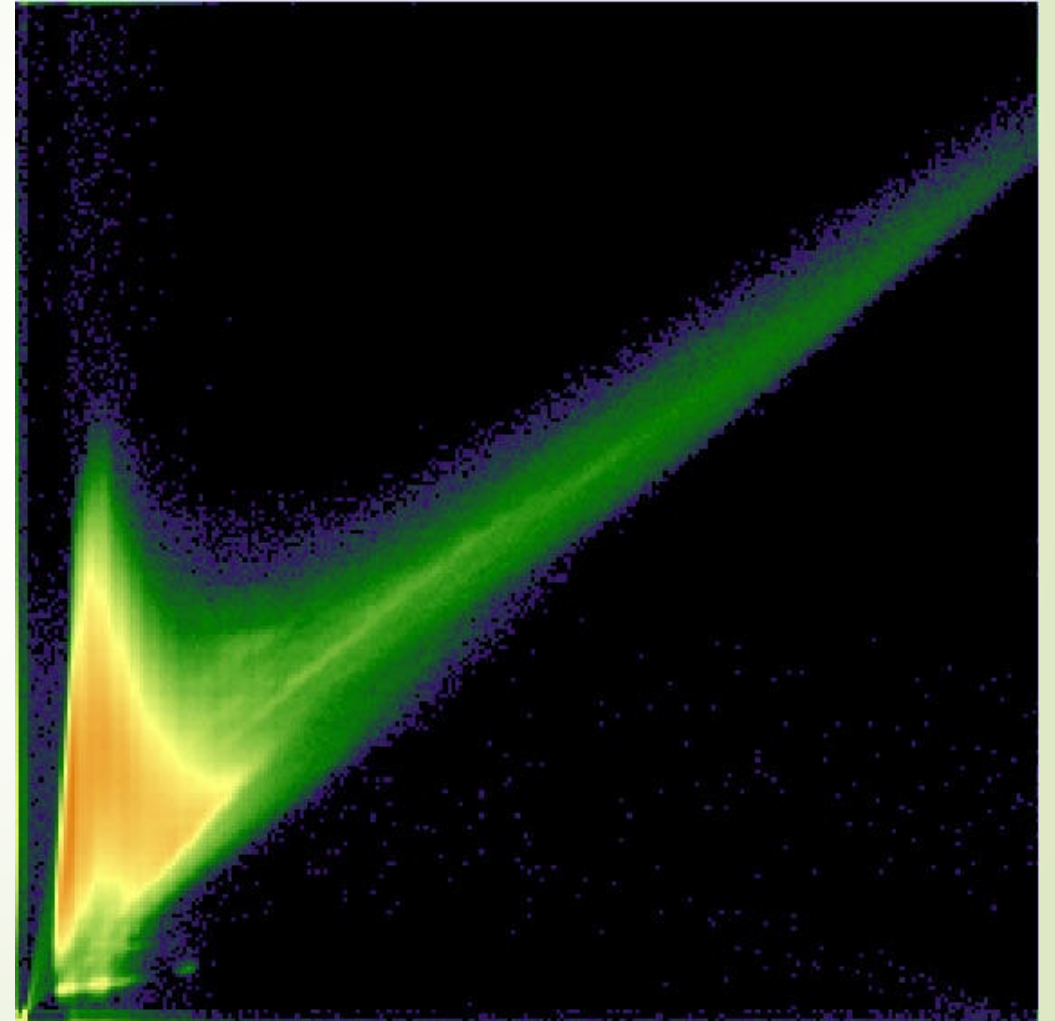
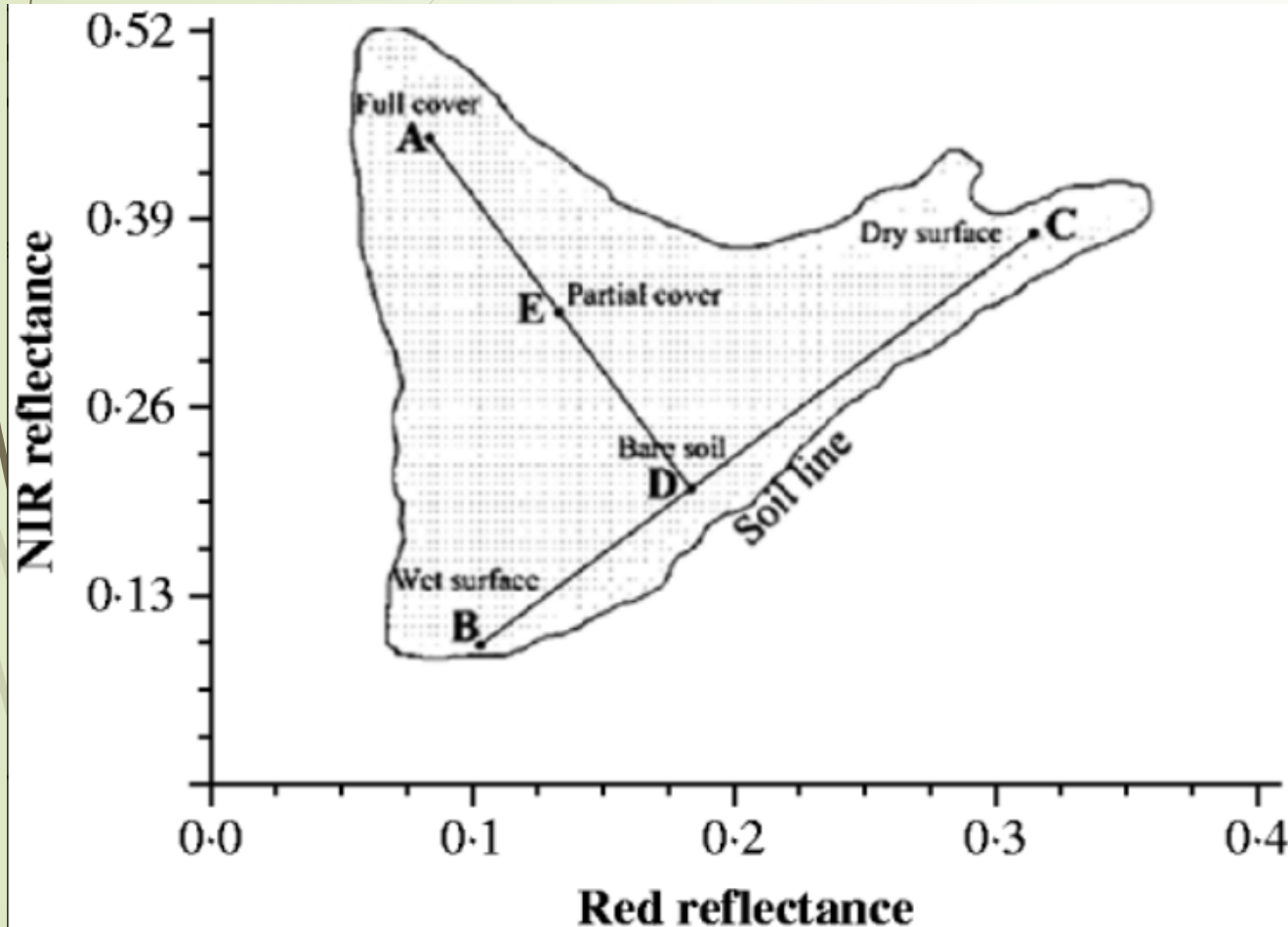


Ταξινόμηση



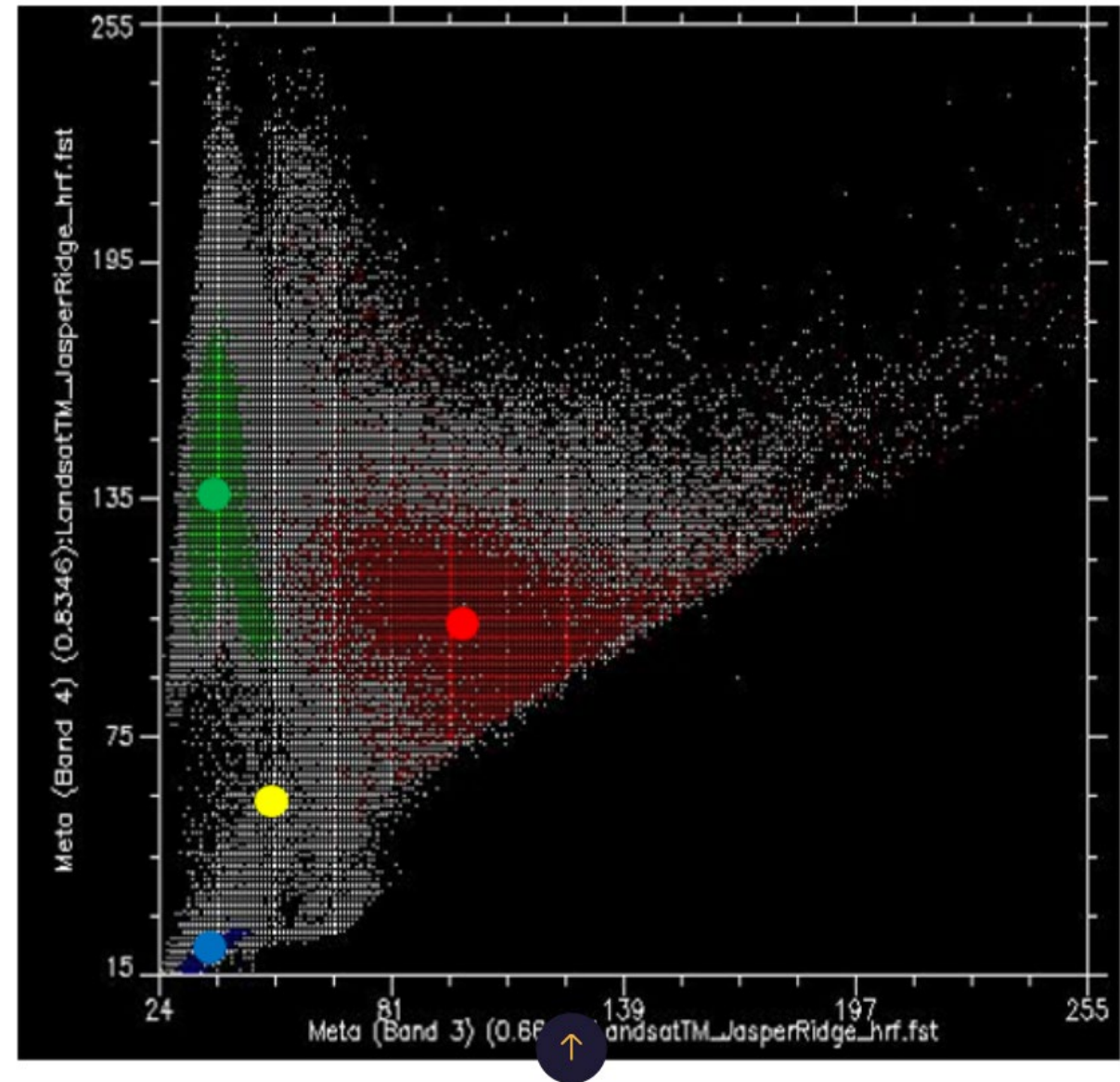
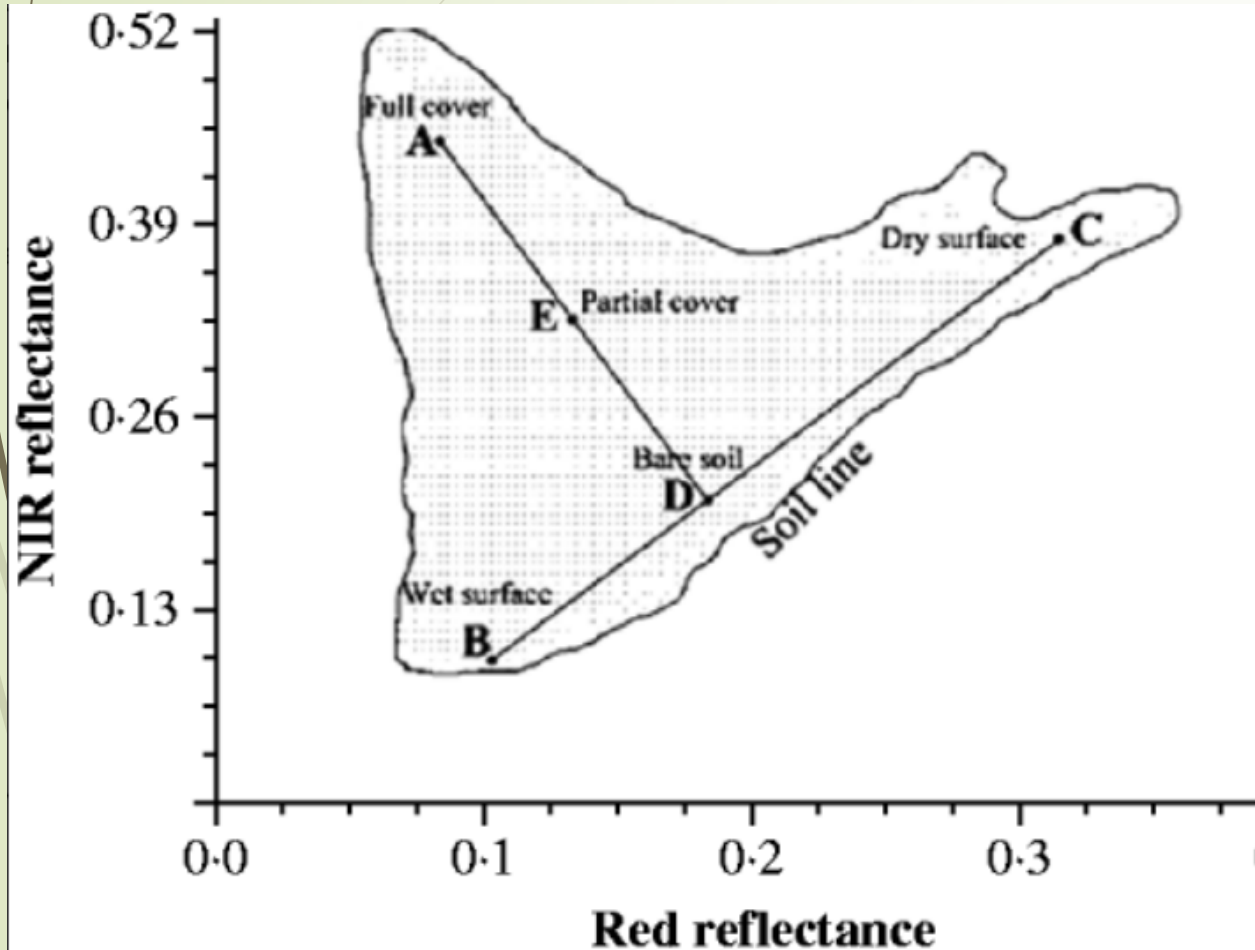
Ταξινόμηση

Φασματική δομή



Ταξινόμηση

Φασματική δομή



Ταξινόμηση

- Η βάση της ταξινόμησης είναι η εύρεση μιας περιοχής του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, που η συμπεριφορά του υλικού να είναι διαφορετική από αυτή των άλλων υλικών.

- Δύσκολος ο καθορισμός της Δομής Φασματικής Ανάκλασης
- Τα βασικότερα προβλήματα είναι:
 - Τα περισσότερα είδη βλάστησης δεν έχουν σταθερή Δομή Φασματικής Ανάκλασης (φαινολογικές αλλαγές)
 - Μεταβολές στο φωτισμό (διαφορετική κλίση, εποχή) και στην υγρασία
 - Τα περισσότερα είδη εδαφοκάλυψης είναι μίγματα βιοφυσικών στοιχείων

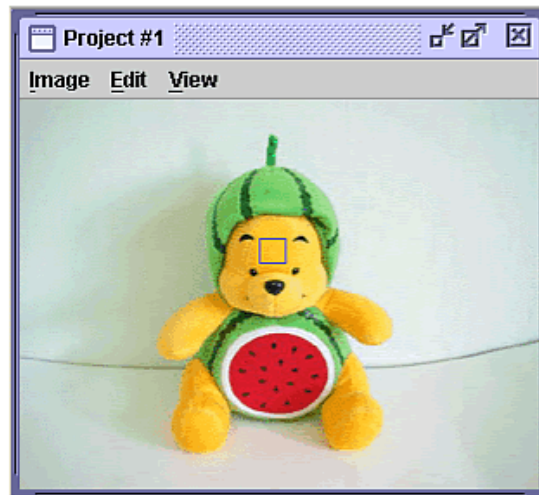
- Περιοχές εκπαίδευσης
- Με βάση τα προηγούμενα προβλήματα, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν γενικές βιβλιοθήκες ως τυπικές Δομές Φασματικής Ανάκλασης
- Ανάπτυξη φασματικών ταυτοτήτων μέσα από την ίδια την εικόνα που θα ταξινομηθεί





Περιοχές εκπαίδευσης

Τηλεπισκόπηση

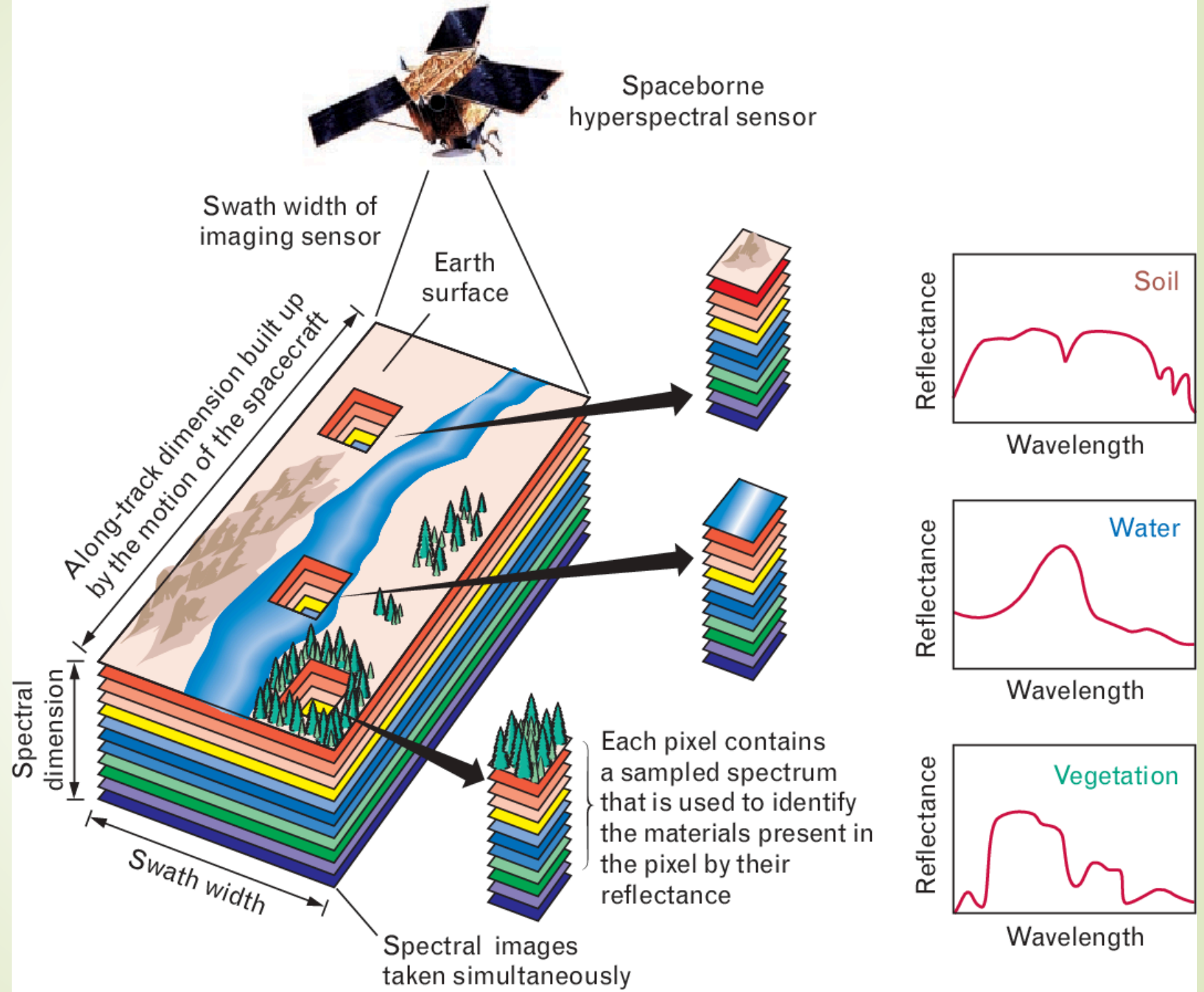
- Χρήση περιοχών εκπαίδευσης
- Ο αναλυτής εκπαιδεύει τον ταξινομητή στο τι θα ψάξει και τελικά θα ταξινομηθεί.



Class Name	ROI	Signature	Legend	
Bear's Skin		(254, 197, 42)		<input checked="" type="checkbox"/>

Ταξινόμηση

Η ταξινόμηση ενός εικονοστοιχείου σε μια τάξη γίνεται με βάση στατιστικούς κανόνες.



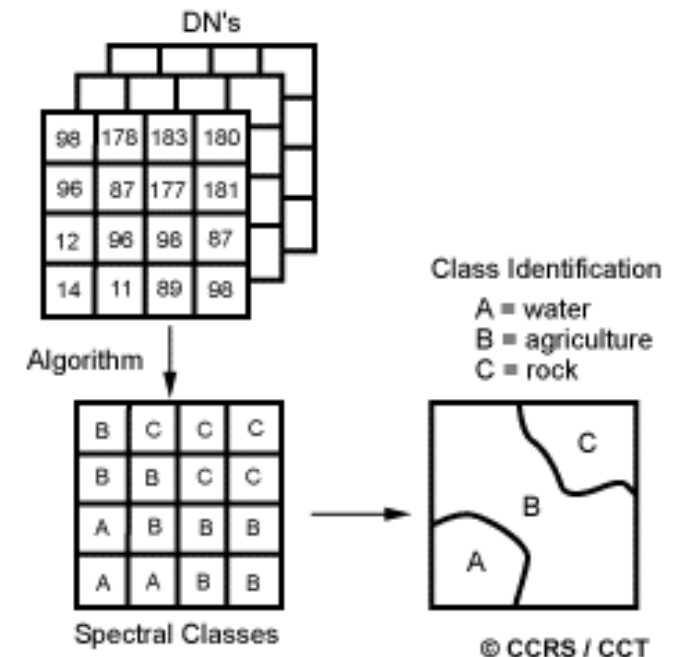
Ταξινόμηση

- 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.

Ταξινόμηση

- 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.

Data point	Band 1 value	Band 2 value	Actual class
1	10	30	A
2	20	40	A
3	30	40	A
4	15	55	B
5	35	40	B
6	40	35	B
7	45	35	B



Ταξινόμηση

- Αυτός ο τύπος ταξινόμησης ονομάζεται αναγνώριση φασματικού μοτίβου (**spectral pattern recognition**).
- Σε κάθε περίπτωση, ο στόχος είναι να ταξινομήσουμε όλα τα εικονοστοιχεία στην εικόνα, σε συγκεκριμένες κατηγορίες ή θέματα (π.χ. νερό, δάσος κωνοφόρων, φυλλοβόλο δάσος, καλαμπόκι, σιτάρι) που έχουν καθοριστεί από το χρήστη.
- 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 αρχικής εικόνας

Ταξινόμηση

- Θα πρέπει να γίνει διάκριση μεταξύ
 1. των φασματικών κλάσεων (information classes and spectral classes) και
 2. των κλάσεων της πληροφορίας
- **Οι φασματικές κατηγορίες** είναι ομάδες εικονοστοιχείων που είναι ομοιόμορφες (ή σχεδόν παρόμοιες) σε σχέση με τις τιμές φωτεινότητας τους στα διάφορα φασματικά κανάλια των δεδομένων (στατιστικά συσχετιζόμενες ραδιομετρικές τιμές).

Ταξινόμηση

- Θα πρέπει να γίνει διάκριση μεταξύ
 1. των φασματικών κλάσεων (information classes and spectral classes) και
 2. των κλάσεων της πληροφορίας
- **Οι κατηγορίες πληροφοριών (ή βιοφυσικές κατηγορίες)** είναι οι κατηγορίες αυτές του ενδιαφέροντος, που στην πραγματικότητα ο αναλυτής προσπαθεί να ταυτοποιήσει στην εικόνα,
- όπως τα διαφορετικά είδη καλλιεργειών, τους διαφορετικούς τύπους δασών ή είδη δένδρων, τις διαφορετικές γεωλογικές μονάδες ή τύπους πετρωμάτων

Ταξινόμηση

- Το σύνολο των σημείων σε ένα φασματικό χώρο που έχουν παρόμοια φασματικά χαρακτηριστικά (αντιστοιχούν σε εικονοστοιχεία της ίδιας επιφάνειας) ομαδοποιούνται και χαρακτηρίζονται φασματικές τάξεις



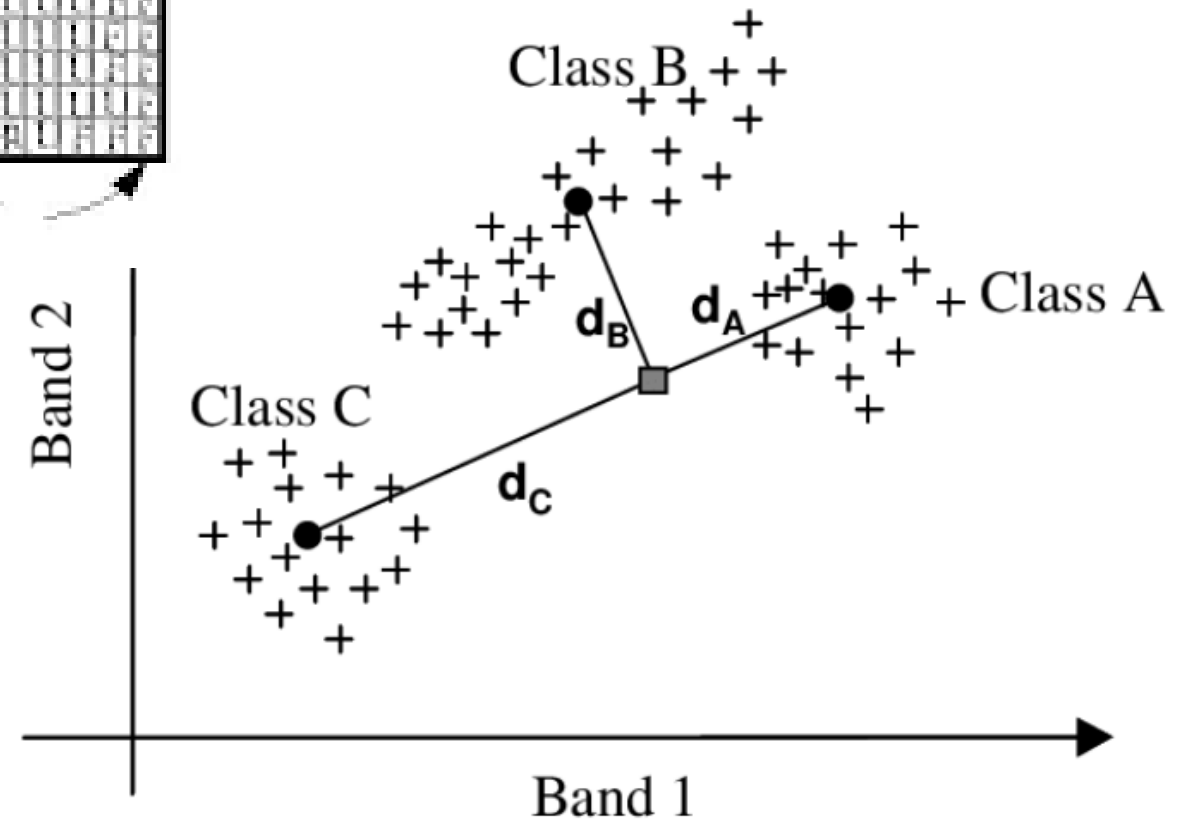
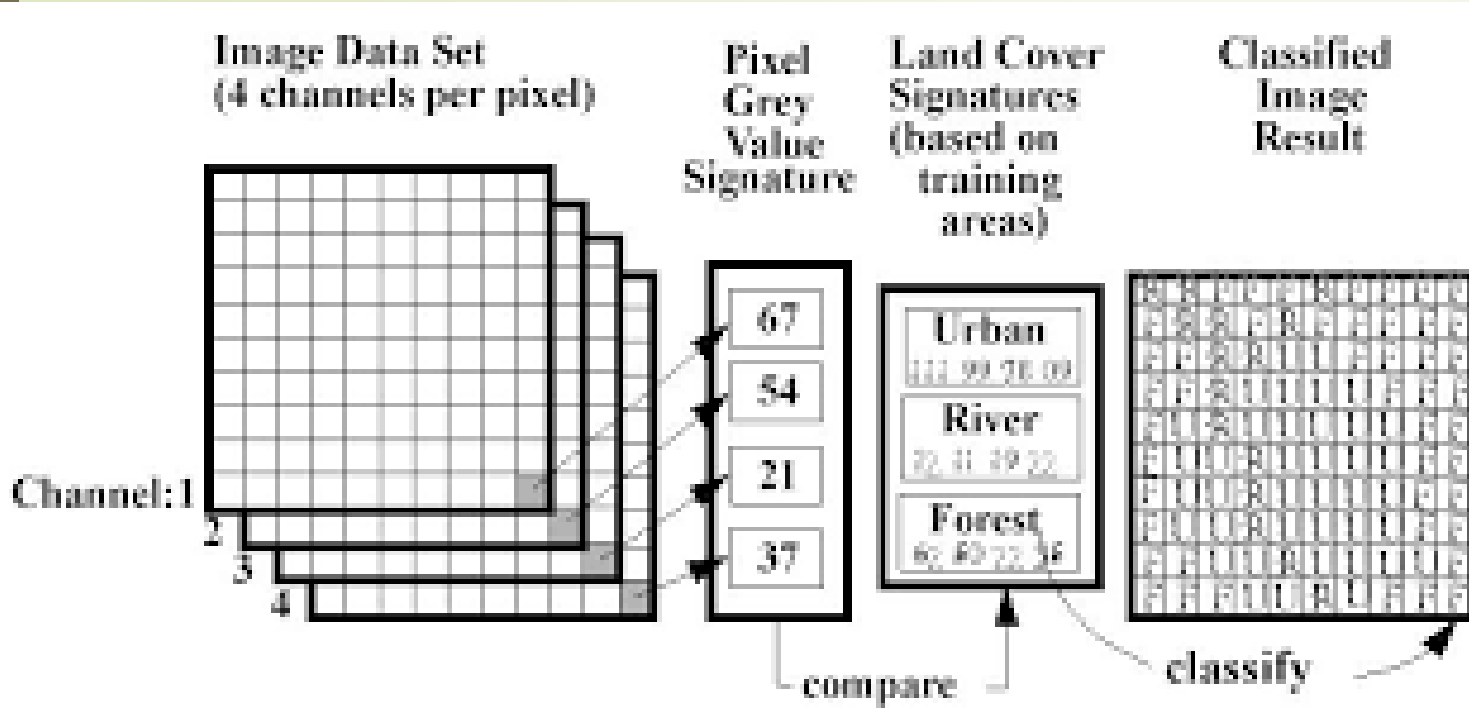
Με χρήση στατιστικών κανόνων (μέσες τιμές, τυπικές αποκλίσεις, πιθανότητες κλπ)



Διαχωρισμός με όρια τις τάξεις αυτές, ώστε οποιαδήποτε τυχαίο εικονοστοιχείο να ταξινομείται σε μια τάξη ανάλογα με τη θέση του στο φασματικό χώρο => τάξεις (κατηγορίες πληροφοριών)

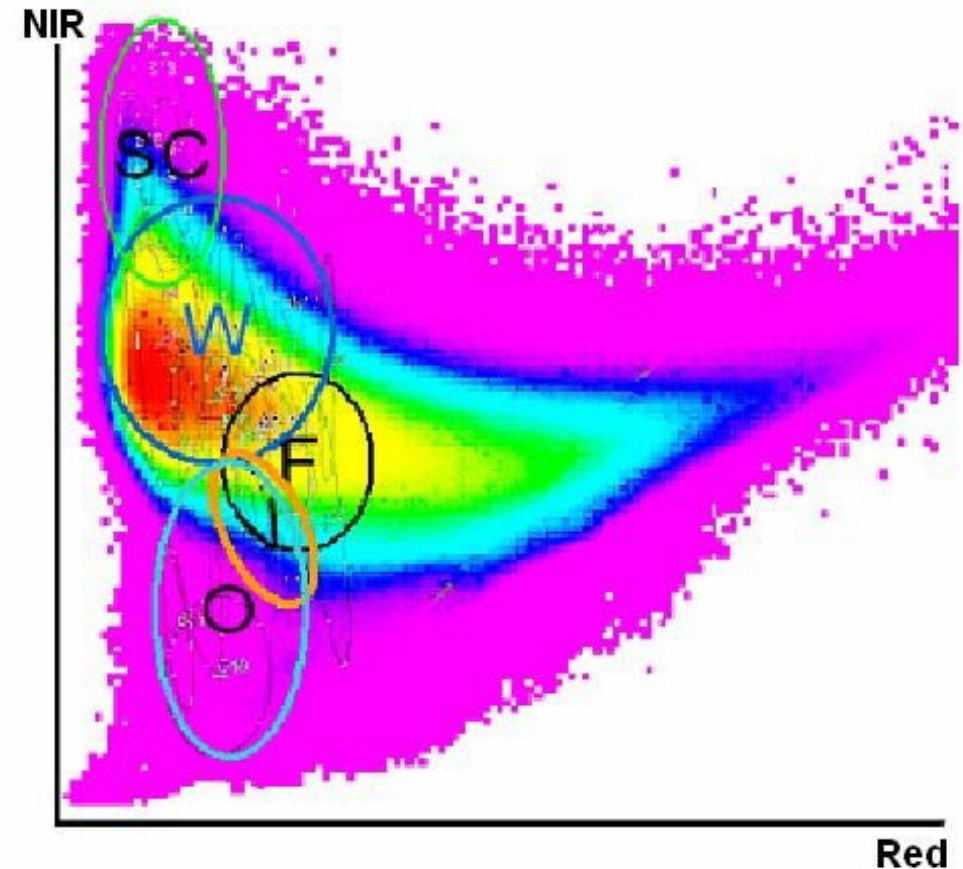
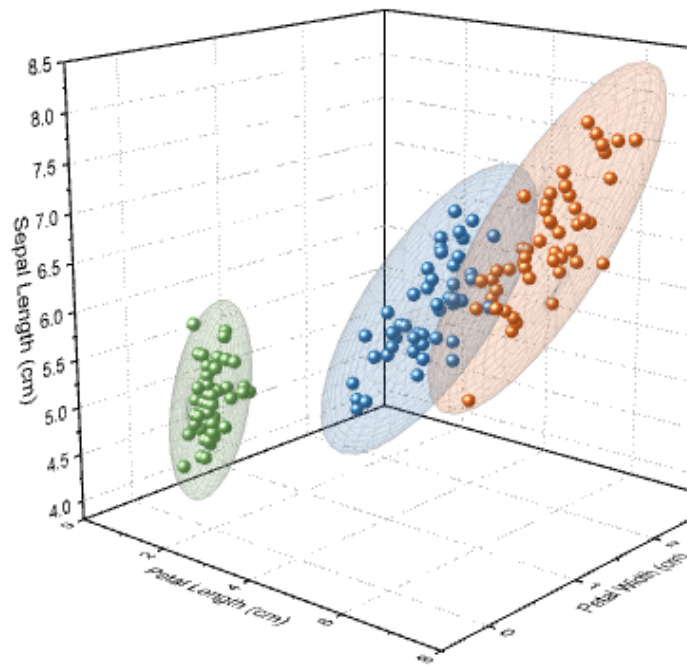
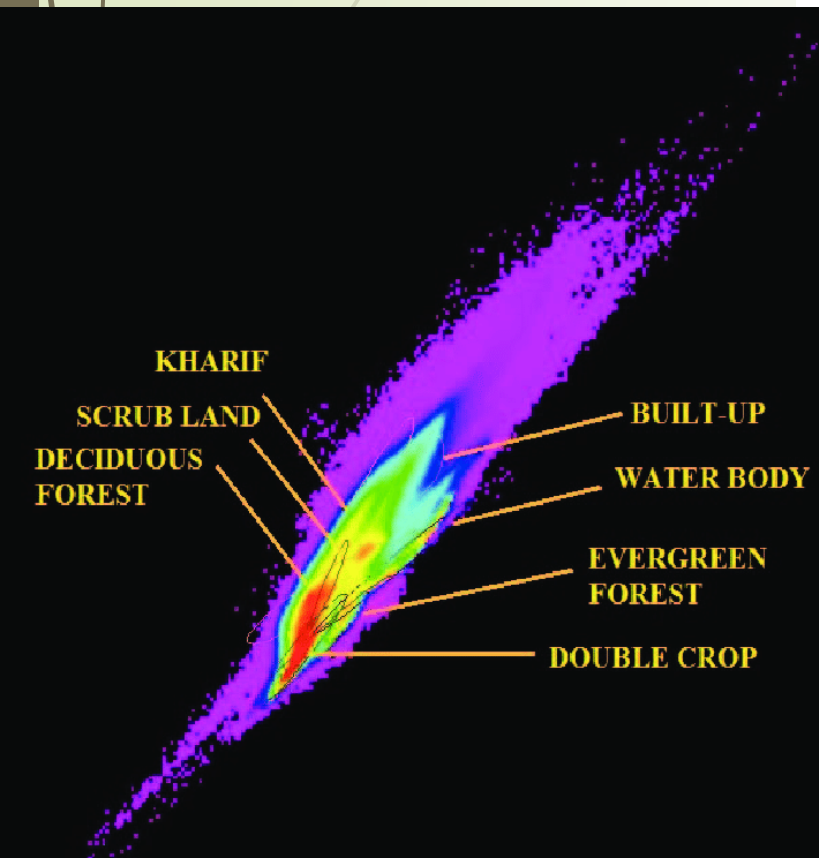
Ταξινόμηση

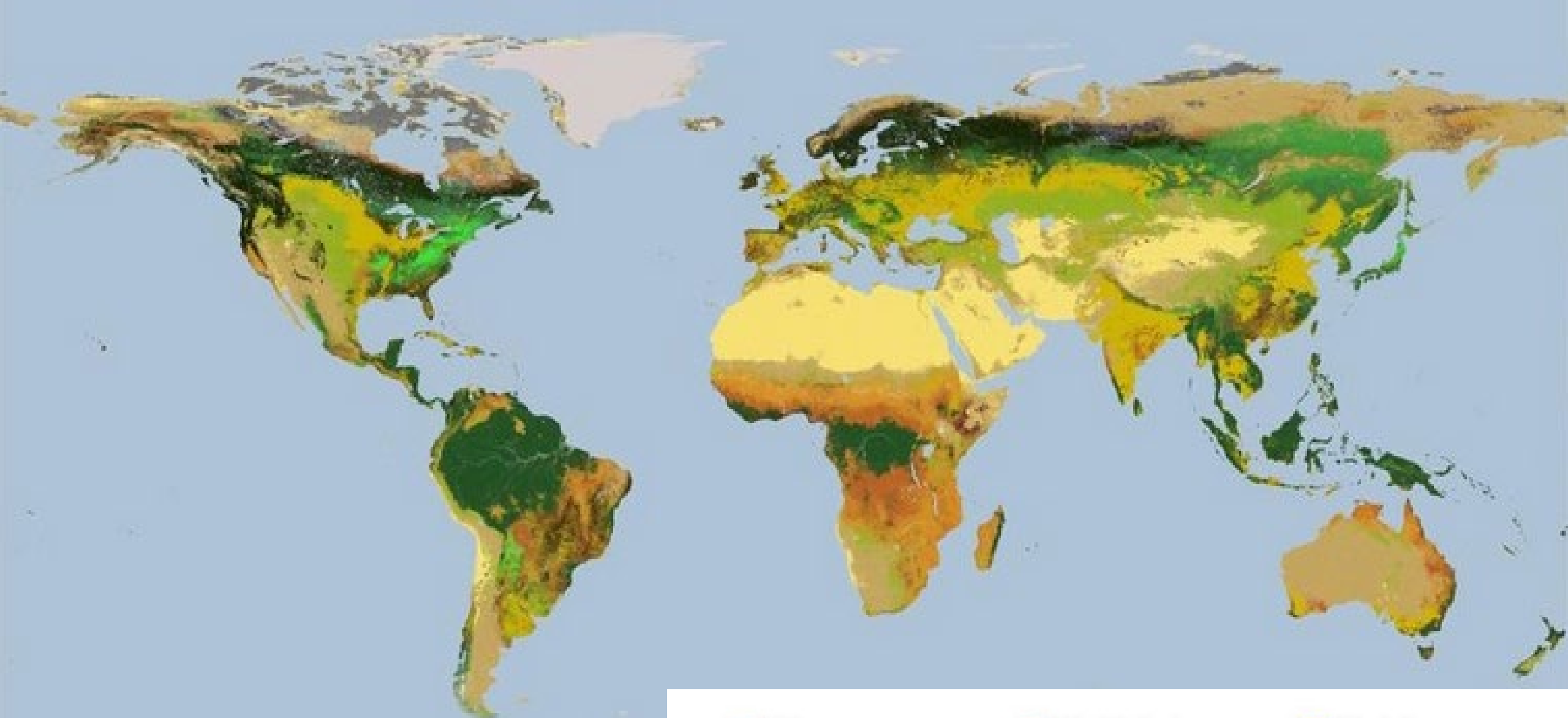
Η ταξινόμηση ενός εικονοστοιχείου σε μια τάξη γίνεται με βάση στατιστικούς κανόνες.



Ταξινόμηση

- Ο διαχωρισμός των τάξεων γίνεται σε φασματικό χώρο πολλών καναλιών





ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ

- **Ανελαστικοί ταξινόμησης**
 - Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση (*unsupervised classification*)
 - Επιβλεπόμενη ταξινόμηση (*supervised classification*)
- **Ελαστικοί ταξινομητές**
 - Η ασαφής λογική – ταξινόμηση υπο-εικονοστοιχείων)
 - Τα νευρωνικά δίκτυα
- **Αντικειμενοστραφής ταξινόμηση (object oriented classification)**

- Ανελαστικοί vs Ελαστικούς Ταξινομητές
- Οι ελαστικοί ταξινομητές εκφράζουν το βαθμό στον οποίο ένα εικονοστοιχείο ανήκει σε κάθε μια από τις πιθανές βιοφυσικές κλάσεις.
 - ▶ Π.χ. Αντί ο ταξινομητής να αποφασίσει ότι ένα εικονοστοιχείο είναι από πλατύφυλλα ή κωνοφόρα μπορεί να υποδείξει ότι ο βαθμός συμμετοχής της πλατύφυλλης κλάσης είναι 40% και κωνοφόρων 50%.

Ανελαστικοί vs Ελαστικούς Ταξινομητές

- Άλλο πλεονέκτημα ελαστικών ταξινομητών
 - Η δυνατότητα χρήσης θεματικών διανυσματικών υποβάθρων και μοντέλων με σκοπό τη συμπλήρωση των πληροφοριών που χρησιμοποιούνται για να παραχθεί η τελική απόφαση.

- Ανελαστικοί vs Ελαστικούς Ταξινομητές
- Άλλο πλεονέκτημα ελαστικών ταξινομητών
 - Π.χ. Χάρτης που δείχνει πιθανότητες κάθε εικονοστοιχείου να ανήκει σε κάποιο είδος εδαφοκάλυψης (π.χ. Κατοικημένη περιοχή)
 - Μετά διάνυσμα με δρόμους και χάρτης αποστάσεων
 - Σε συνδυασμό η πιθανότητα ένα τμήμα της εικόνας να μην είναι κατοικημένη περιοχή (πολύ μακριά από δρόμους)

- Ανελαστικοί vs Ελαστικούς Ταξινομητές
- Άλλο πλεονέκτημα ελαστικών ταξινομητών
 - Η εκτίμηση της ακρίβειας ταξινόμησης κατά τη διάρκεια της διαδικασίας
 - Πως;
 - Κάθε ελαστικός ταξινομητής παράγει μια εικόνα αβεβαιότητας (βαθμός δυσκολίας στον καθορισμό της κλάσης)

- Ανελαστικοί vs Ελαστικούς Ταξινομητές
- Περιοχές με υψηλή αβεβαιότητα θέλουν προσοχή στην ποιότητα της ταξινόμησης
- Πως εισάγεται η αβεβαιότητα σε έναν ταξινομητή;
 - Το εικονοστοιχείο περιέχει ένα μίγμα περισσότερων της μια βασικών κατηγοριών κάλυψης
 - Το εικονοστοιχείο δεν είναι όμοιο με καμιά από τις φασματικές ταυτότητες (περιοχές εκπαίδευσης)

Στάδια ταξινόμησης: Η διαδικασία της ταξινόμησης γίνεται σε επτά στάδια

1. Το στάδιο της εκπαίδευσης (training)
2. Το στάδιο της επιλογής του κανόνα ταξινόμησης (decision rule)
3. Το στάδιο της αξιολόγησης των υπογραφών
4. Το στάδιο της εφαρμογής του κανόνα ταξινόμησης
5. Το στάδιο της αντιστοίχισης των φασματικών τάξεων σε τάξεις πληροφορίας
6. Το στάδιο της δημιουργίας χάρτη
7. Το τελικό στάδιο αξιολόγησης της ταξινόμησης

Στάδιο εκπαίδευσης

- Αρχικά καθορίζονται τα κριτήρια με τα οποία αναγνωρίζονται οι δομές στην εικόνα.
 - Κριτήρια με τα οποία ορίζονται οι τάξεις
- Η εκπαίδευση μπορεί να γίνει με
 1. Επιβλεπόμενη εκπαίδευση (supervised)
 2. Μη επιβλεπόμενη εκπαίδευση (unsupervised)
 3. Υβριδική ταξινόμηση

➤ Μέθοδοι ταξινόμησης

- **Επιβλεπόμενη ταξινόμηση**
 - Επιβλεπόμενη ταξινόμηση παρέχει μια στατιστική περιγραφή του τρόπου με τον οποίο πιθανές κλάσεις κάλυψης γης θα εμφανίζονται στην εικόνα και στη συνέχεια
 - Με τη χρήση ενός ταξινομητού αξιολογεί την πιθανότητα ότι κάθε εικονοστοιχείου ανήκει σε μια από αυτές τις κλάσεις.

➤ Μέθοδοι ταξινόμησης

- **Μη Επιβλεπόμενη ταξινόμηση**
 - Είναι πιο αυτοματοποιημένη μέθοδος.
 - Χρησιμοποιεί στατιστικούς κανόνες για τον εντοπισμό ομάδων εικονοστοιχείων με παρόμοια φασματικά χαρακτηριστικά που καλούνται εκπαιδευτικές ομάδες (training clusters).

➤ Μέθοδοι ταξινόμησης

- **Μη Επιβλεπόμενη ταξινόμηση**

- Στην περίπτωση αυτή ένας ειδικός τύπος ταξινομητή χρησιμοποιείται για να αποκαλύψει διακριτές φασματικές δομές στην εικόνα, με την παραδοχή ότι οι δομές αυτές αντιπροσωπεύουν κλάσεις κάλυψης γης.
- Η απόδοση των ομάδων αυτών σε τάξεις με φυσική σημασία, γίνεται με τη βοήθεια του αναλυτή, που εξακριβώνει ή καθορίζει την ταυτότητα κάθε κλάσης με ένα συνδυασμό πείρας και εργασίας υπαίθρου.

➤ Μέθοδοι ταξινόμησης

- **Μη Επιβλεπόμενη ταξινόμηση**

- Ομαδοποίηση των εικονοστοιχείων με βάση τα φασματικά χαρακτηριστικά τους



- Ομαδοποίηση σε αναγνωρίσιμες κατηγορίες

► Επιβλεπόμενη ταξινόμηση vs Μη Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

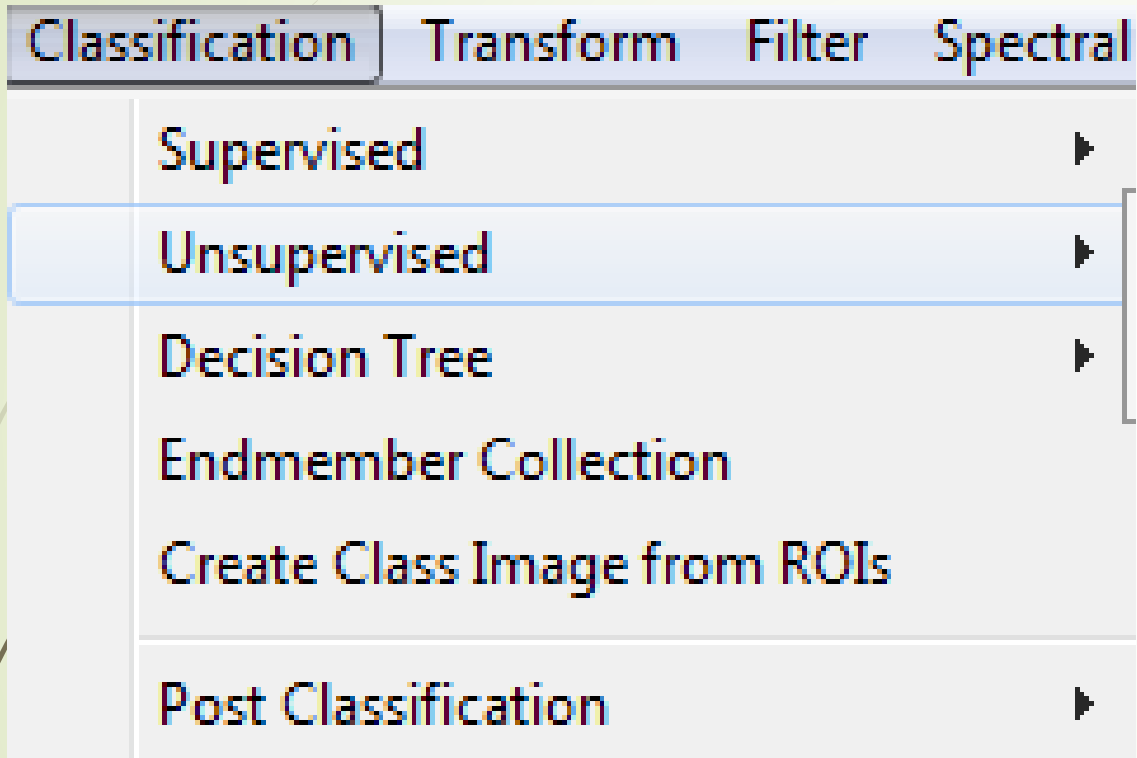
- Η βασική διαφορά είναι ότι στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση οι κλάσεις είναι γνωστές ή υποτίθεται ότι είναι γνωστές πριν εφαρμοστεί ο αλγόριθμος ταξινόμησης. Διαδικασία λήψης απόφασης, που βασίζεται σε διαθέσιμες πληροφορίες.
- Ενώ το αντίθετο συμβαίνει στην μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση.

Τηλεπισκόπηση - Στάδιο εκπαίδευσης

➤ Υβριδική ταξινόμηση, περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

- 1) μαλακή (soft) ταξινόμηση βασισμένη σε pixel.
- 2) υπολογισμός της αβεβαιότητας ταξινόμησης
- 3) ανάπτυξη κανόνων για τον συνδυασμό των ήπιων ταξινομήσεων, οι οποίες ενσωματώνουν τις πληροφορίες που παρέχονται από την προηγούμενη ταξινόμηση βάσει εικονοστοιχείων και τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το μέτρο αβεβαιότητας
- 4) κατάτμηση εικόνας και
- 5) ταξινόμηση αντικειμένων βάσει κανόνων απόφασης που περιλαμβάνουν τα αποτελέσματα της συνδυασμένης ταξινόμησης που βασίζεται σε μαλακά pixel και την αβεβαιότητά της.

ΜΗ Επιβλεπόμενη εκπαίδευση

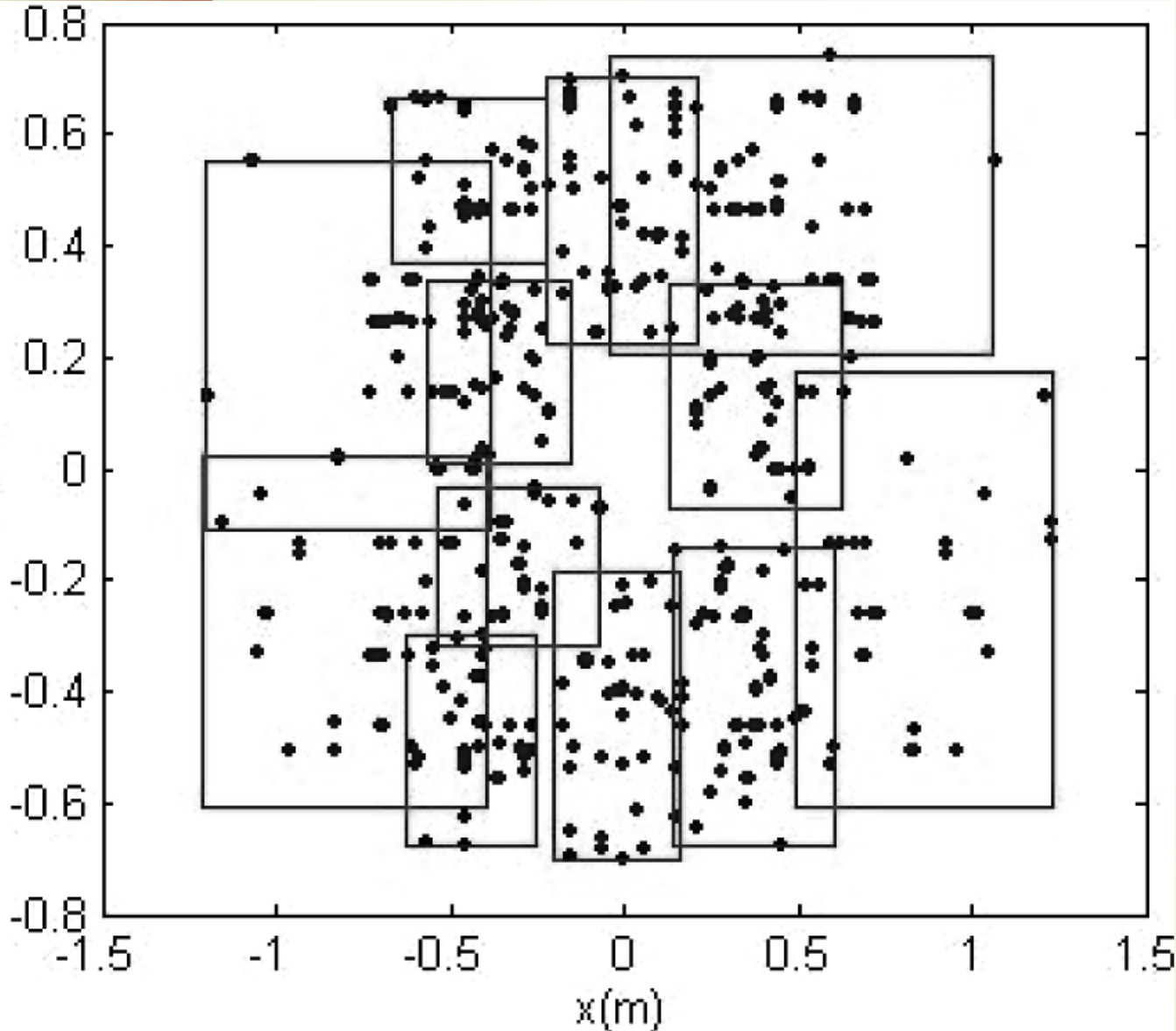


IsoData

K-Means

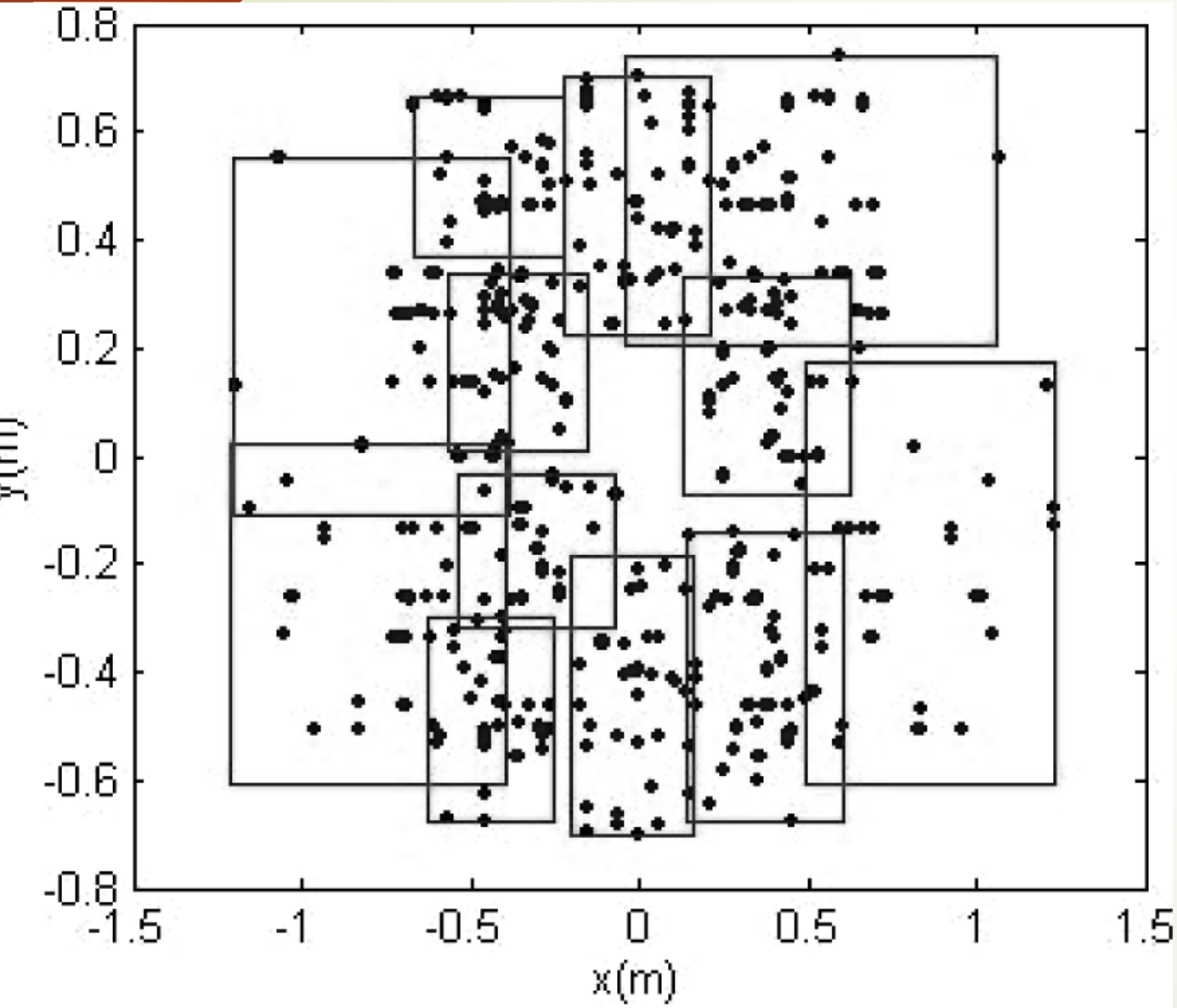
ΜΗ Επιβλεπόμενη εκπαίδευση

IsoData



- Η μέθοδος αυτή υπολογίζει ομάδες κλάσεων ομαλά κατανεμημένες στο χώρο των δεδομένων (clusters)
- με μια διαδικασία που περιλαμβάνει υπολογισμό κλάσης, συγκέντρωση εναπομεινάντων pixels, επαναπροσδιορισμό κλάσεων κ.ο.κ. χρησιμοποιώντας την τεχνική των ελαχίστων αποστάσεων.

ΜΗ Επιβλεπόμενη εκπαίδευση

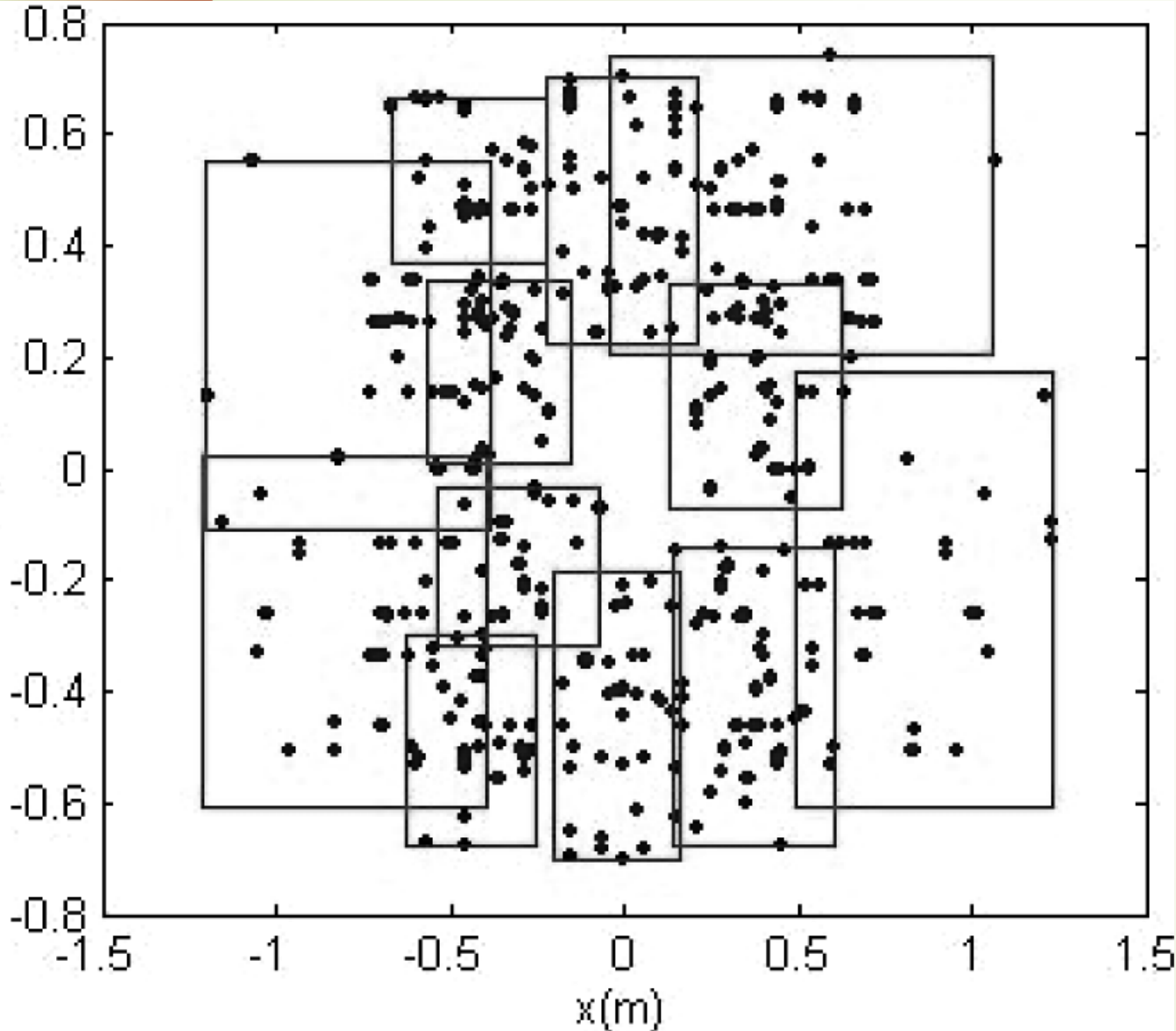


IsoData

- Σε κάθε επανάληψη
- επαναυπολογίζεται ο μέσος
- και επαναταξινομούνται τα εικονοστοιχεία σε σχέση με τους νέους μέσους.

ΜΗ Επιβλεπόμενη εκπαίδευση

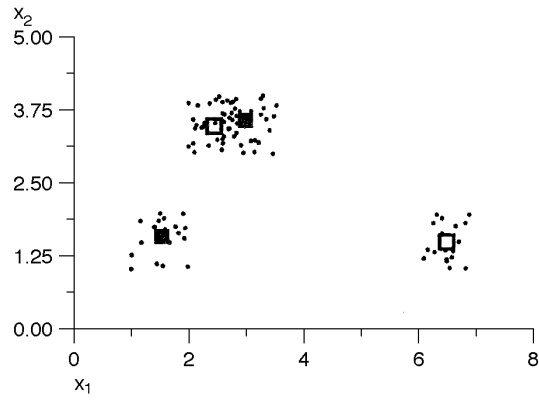
IsoData



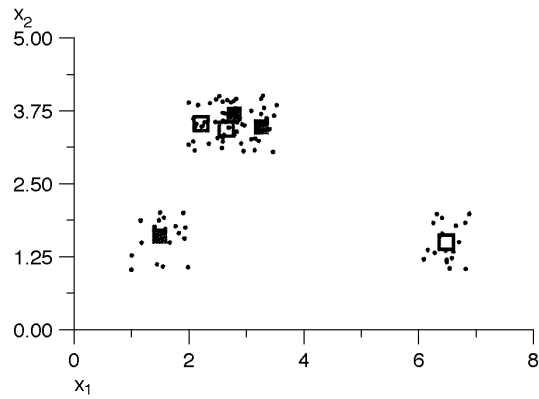
- Σε κάθε επανάληψη
- επαναυπολογίζεται ο μέσος και επαναταξινομούνται τα εικονοστοιχεία σε σχέση με τους νέους μέσους.
- Η επαναλαμβανόμενη διαίρεση, συγχώνευση και διαγραφή των κλάσεων γίνεται με βάση τα όρια εμπιστοσύνης που θέτει ο χρήστης.

ΜΗ Επιβλεπόμενη εκπαίδευση

IsoData



(a)



(b)

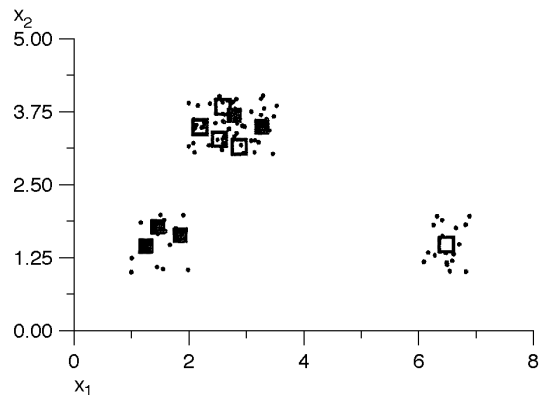


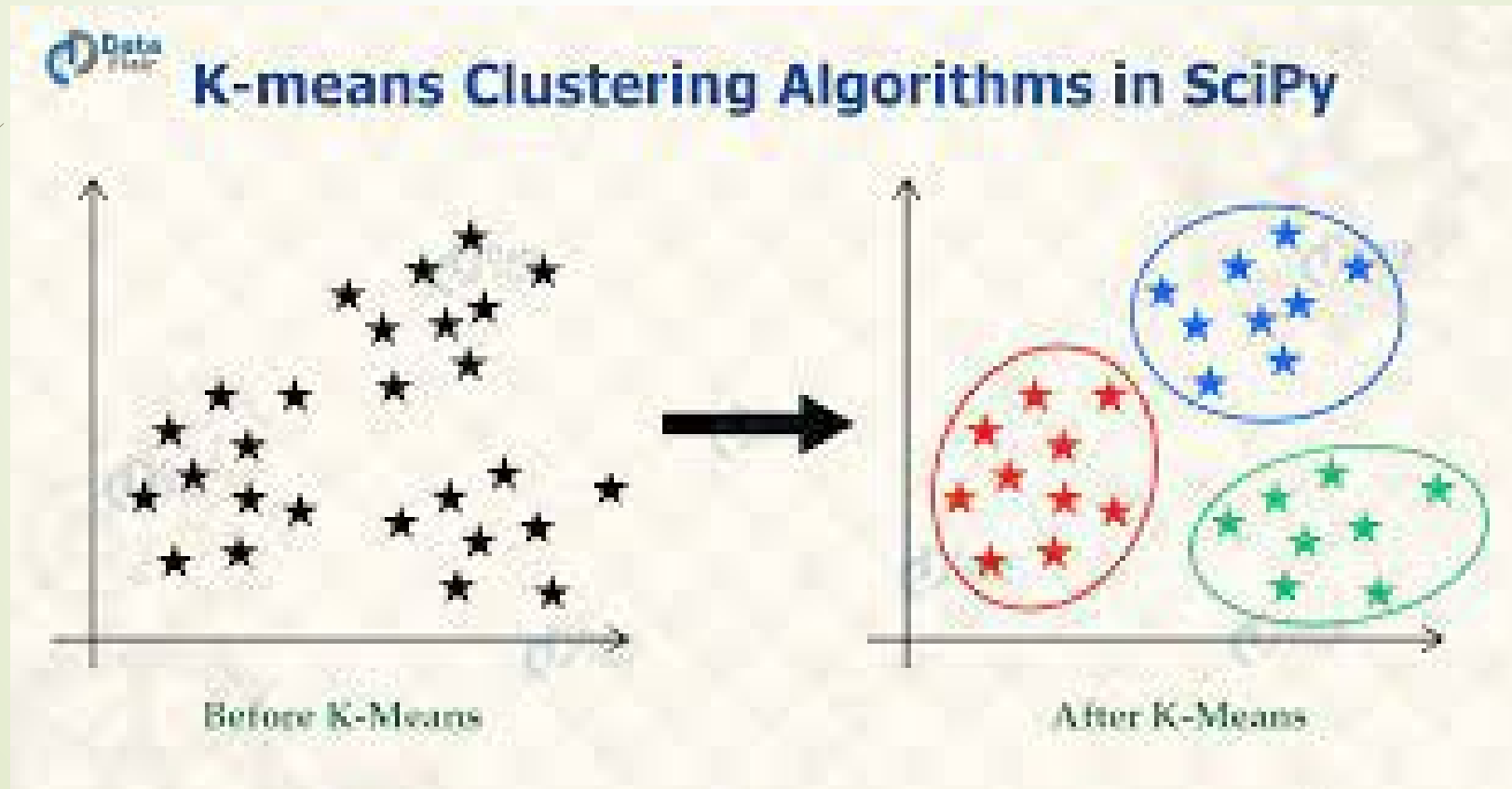
Figure 4.
Prototypes of the
clusters: (a) $c = 2$
clusters per class;
(b) $c = 3$ clusters per
class; (c) $c = 5$ clusters
per class

- Όλα τα εικονοστοιχεία ταξινομούνται στην κοντινότερη προς το καθένα κλάση,
- εκτός και εάν έχει καθορισθεί κάποια τιμή τυπικής απόκλισης ή όριο απόστασης,
- οπότε κάποια εικονοστοιχεία θα μείνουν αταξινόμητα αν δεν πληρούν τα προκαθορισμένα κριτήρια.

ΜΗ Επιβλεπόμενη εκπαίδευση - K-means

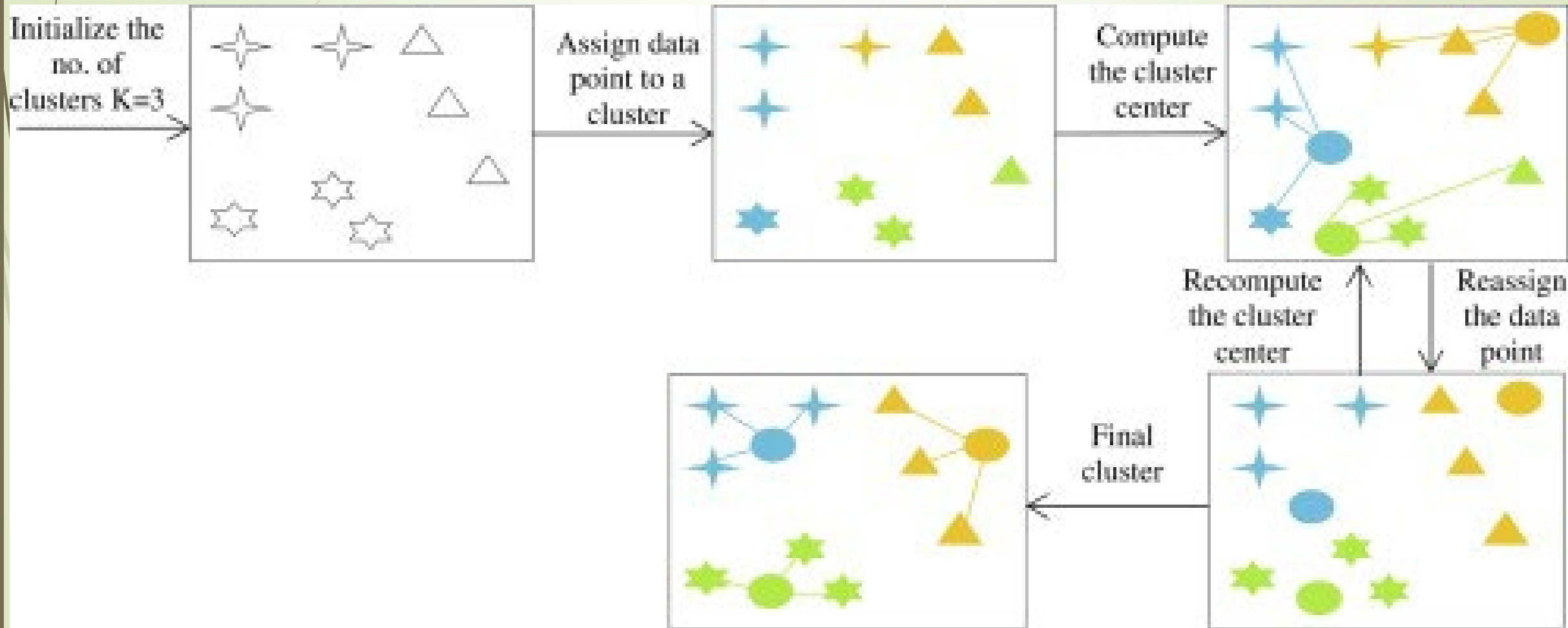
Η χωρίς επίβλεψη ταξινόμηση K-Means υπολογίζει τις μέσες τιμές των αρχικών κλάσεων ομοιόμορφα κατανομημένα στο χώρο δεδομένων

και, στη συνέχεια, ομαδοποιεί επαναλαμβανόμενα τα εικονοστοιχεία στην πλησιέστερη κλάση, χρησιμοποιώντας μια τεχνική ελάχιστης απόστασης.



ΜΗ Επιβλεπόμενη εκπαίδευση - K-means

Σε κάθε επανάληψη υπολογίζει εκ νέου τα μέσα κλάσης και αναταξινομεί τα pixel σε σχέση με τα νέα μέσα.

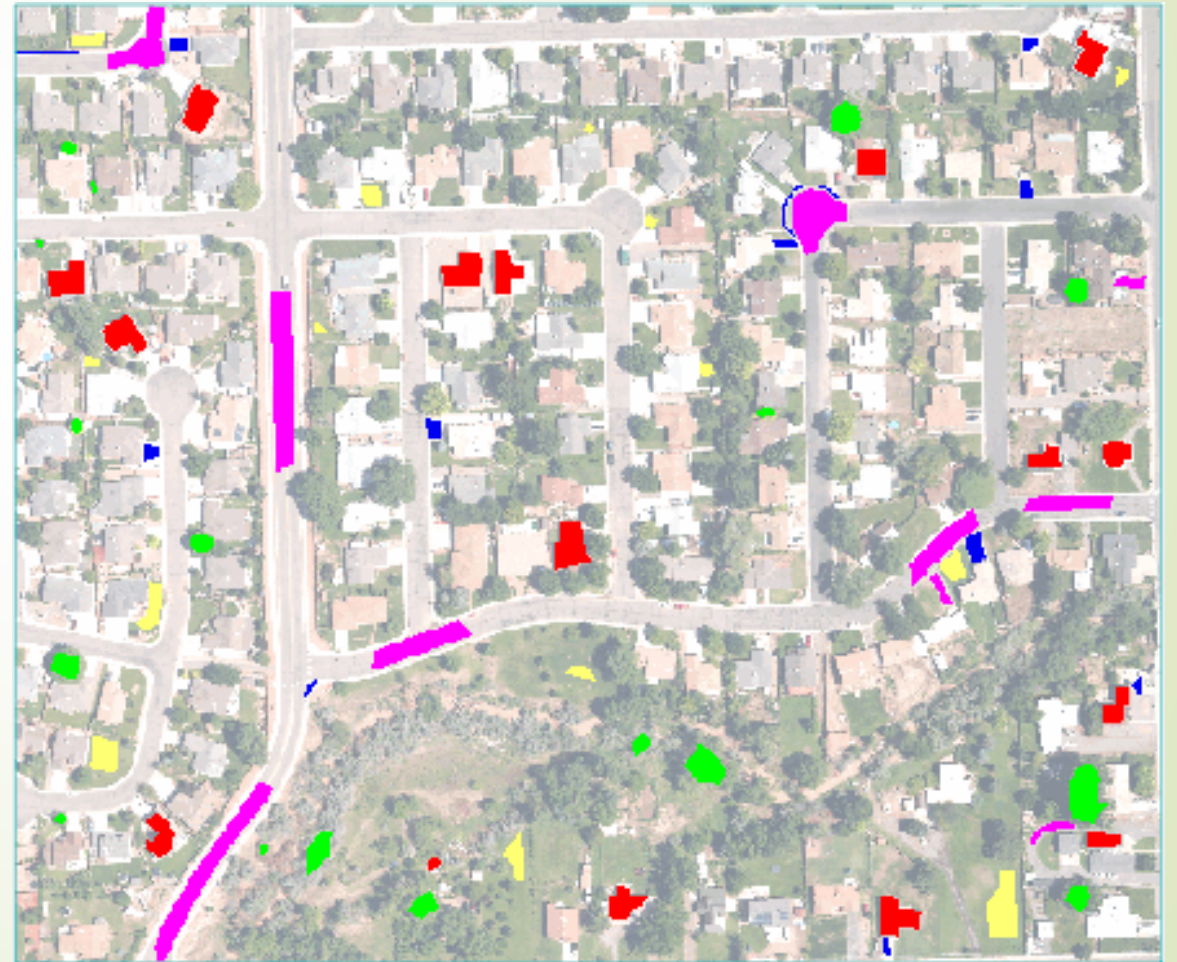
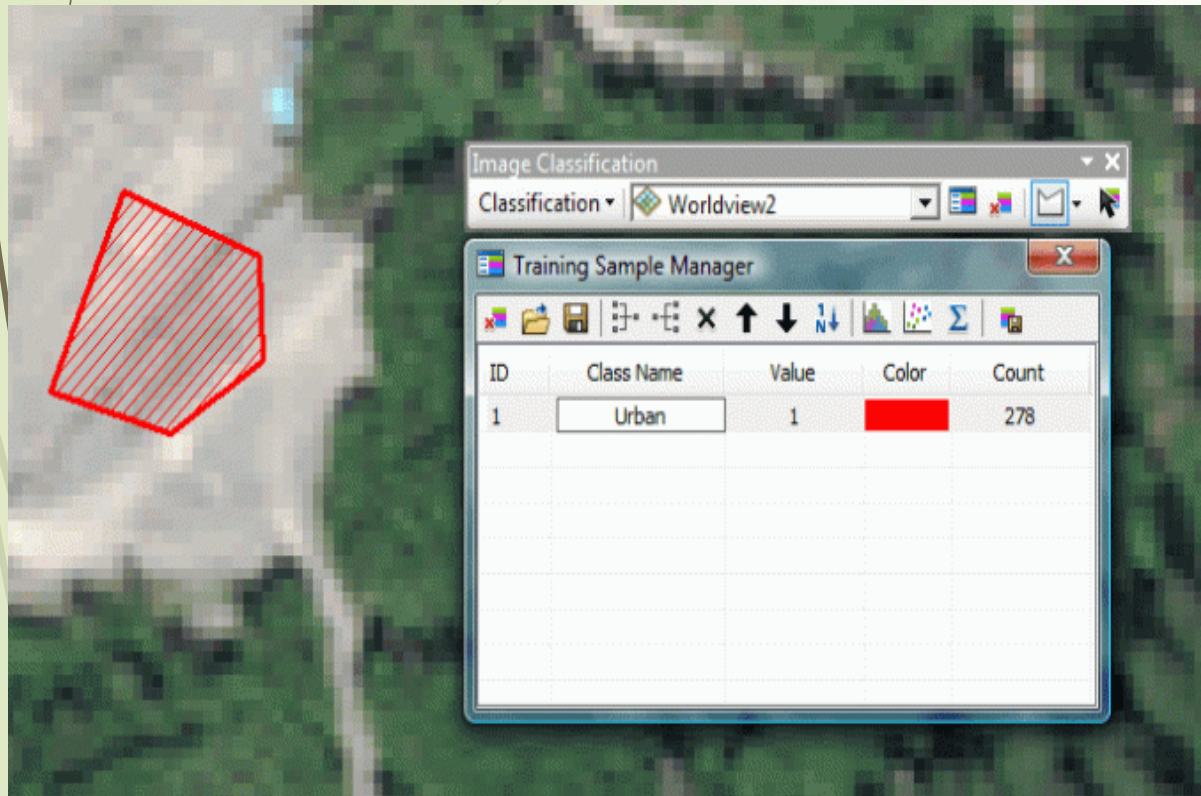


Επιβλεπόμενη εκπαίδευση - Στάδιο εκπαίδευσης

- Η επιβλεπόμενη εκπαίδευση αποτελεί μια διαδικασία η οποία ελέγχεται απόλυτα από τον αναλυτή.
- Με τη μέθοδο αυτή επιλέγονται εικονοστοιχεία τα οποία αντιπροσωπεύουν αναγνωρίσιμες δομές στην εικόνα (στοιχεία κάλυψης).
- Το σύνολο των εικονοστοιχείων => εκπαιδευτικό δείγμα ή περιοχές εκπαίδευσης
- Ο αναλυτής εκπαιδεύει τον ταξινομητή στο τι θα ψάξει και τελικά θα ταξινομηθεί.

Επιβλεπόμενη εκπαίδευση

- Για την επιλογή του δείγματος χρησιμοποιούνται πολύγωνα.



Ταξινόμηση

- Μπορούν να επιλεχθούν εικονοστοιχεία και τα scatter plots

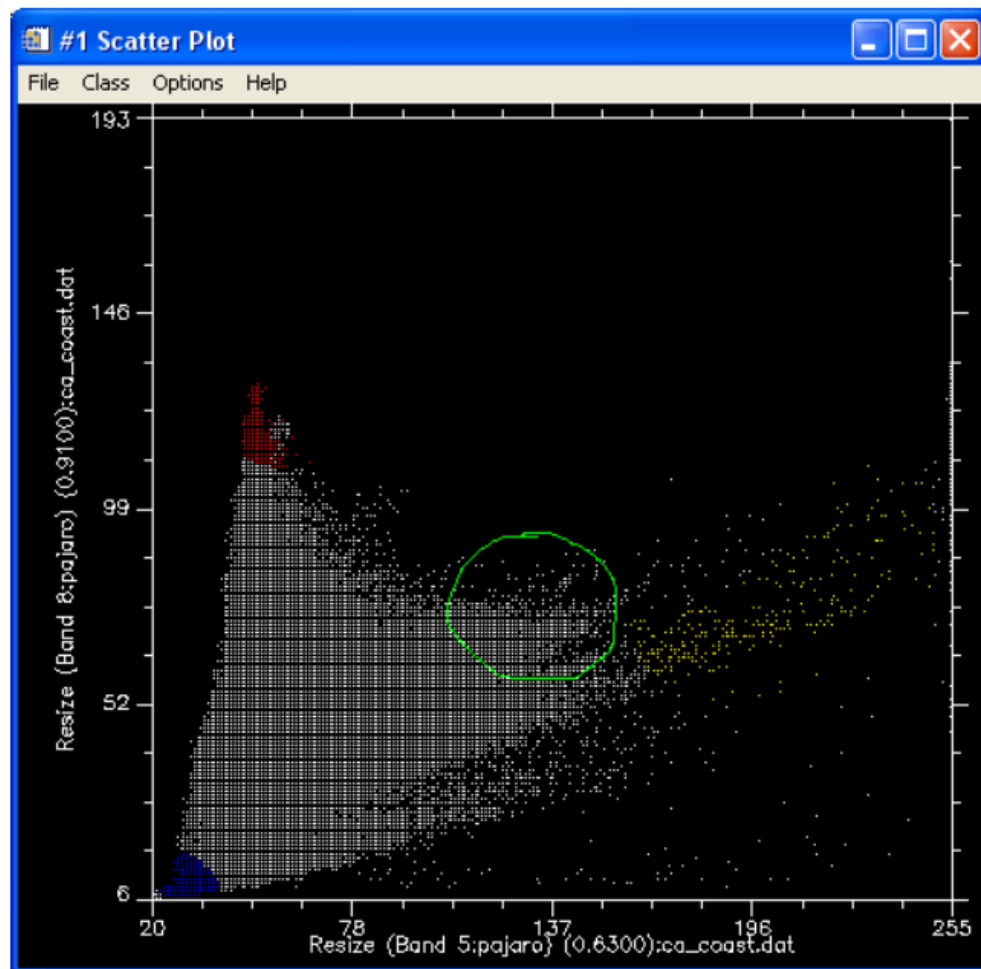


Figure 1: Drawing ROIs on a Scatter Plot

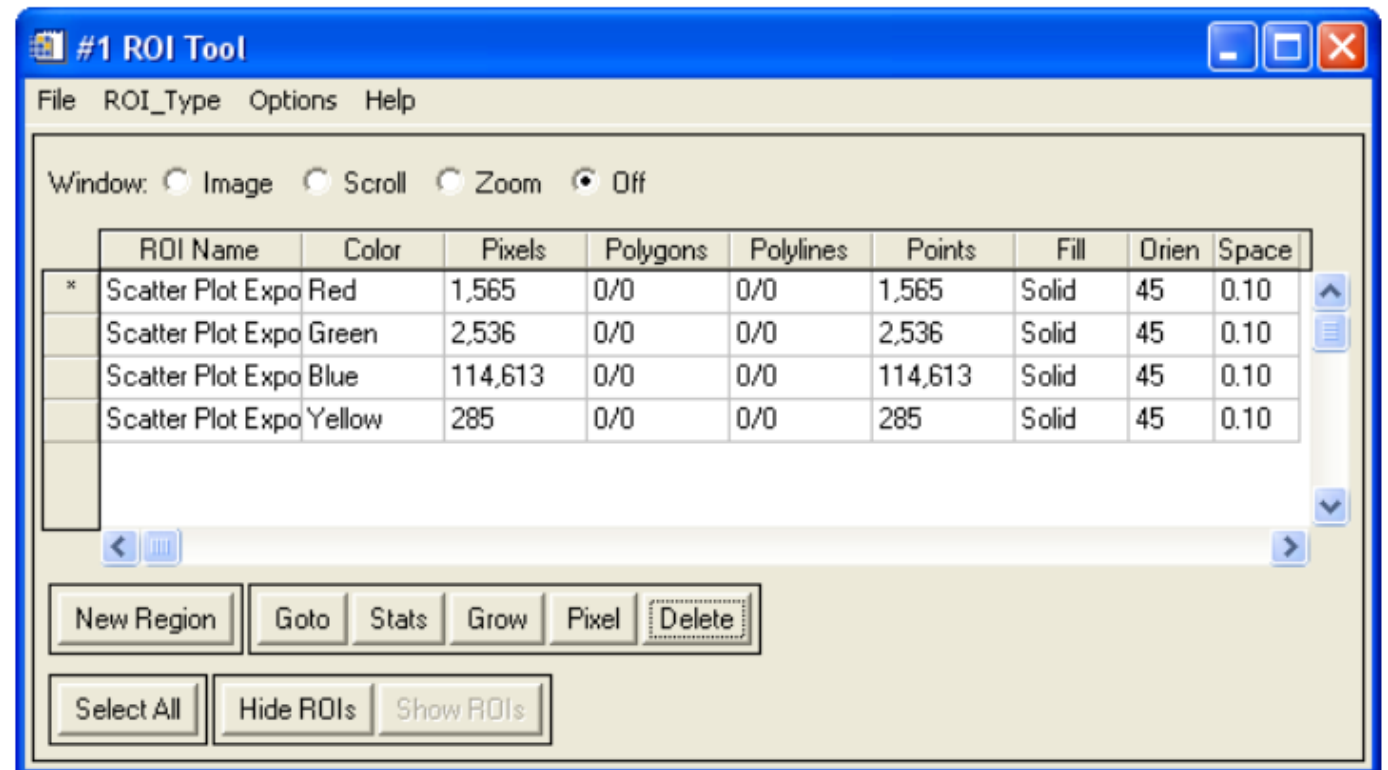


Figure 2: ROI Tool

Επιβλεπόμενη εκπαίδευση

- Για τον εντοπισμό των εκπαιδευτικών δειγμάτων χρησιμοποιούνται βοηθητικά και άλλες πηγές, όπως εργασία πεδίου (επιτόπιες παρατηρήσεις), αεροφωτογραφίες κλπ



φασματικές ταυτότητες

Επιβλεπόμενη εκπαίδευση

- ΒΑΣΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ
 - ❖ Αριθμός εικονοστοιχείων: Για κάθε τάξη πληροφόρησης, ο συνολικός αριθμός των εικονοστοιχείων να είναι μεγαλύτερος του 100
 - ❖ Μέγεθος: Το μέγεθος των πεδίων είναι σημαντικό.
 - i. Αρκετά μεγάλο για να περιέχει αρκετή πληροφορία για τα φασματικά χαρακτηριστικά της τάξης που αντιπροσωπεύει και τη διαχωρίζει από τις υπόλοιπες τάξεις
 - ii. Όχι τόσο μεγάλο, που να υπάρχει ανομοιογένεια στη φασματική υπογραφή που δημιουργείται.

Επιβλεπόμενη εκπαίδευση

- ΒΑΣΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ
 - ❖ Σχήμα: Δεν έχει σημασία, συνήθως πολύγωνα
 - ❖ Θέση: Να διασφαλίζεται η ομοιόμορφη κατανομή των πεδίων σε όλη την εικόνα, ώστε να καλύπτεται η ποικιλομορφία μέσα στην τάξη, αλλά και να υπάρχει όσο το δυνατό ομοιογένεια ως προς τα φασματικά χαρακτηριστικά.
 - ❖ Αριθμός: Ο βέλτιστος αριθμός εξαρτάται από τον αριθμό των κλάσεων πληροφόρησης για την τελική ταξινόμηση και τη ποικιλομορφία. Για κάθε τάξη ~ 5-10 πεδία
 - Πολλά και μικρά, από λίγα και μεγάλα

Στάδιο εκπαίδευσης

1. Το στάδιο της εκπαίδευσης (training)
2. **Το στάδιο της επιλογής του κανόνα ταξινόμησης (decision rule)**
3. Το στάδιο της αξιολόγησης των υπογραφών
4. Το στάδιο της εφαρμογής του κανόνα ταξινόμησης
5. Το στάδιο της αντιστοίχισης των φασματικών τάξεων σε τάξεις πληροφορίας
6. Το στάδιο της δημιουργίας χάρτη
7. Το τελικό στάδιο αξιολόγησης της ταξινόμησης

Το στάδιο της επιλογής του κανόνα ταξινόμησης (decision rule)

- Μετά τον καθορισμό των υπογραφών (εκπαιδευτικών περιοχών)
- Τα εικονοστοιχεία θα πρέπει να αποδοθούν σε τάξεις με τη χρήση ενός κανόνα ταξινόμησης.
- Αποτελεί μια μαθηματική έκφραση, η οποία ταξινομεί τα εικονοστοιχεία σε διακριτές τάξεις χρησιμοποιώντας τα δεδομένα των υπογραφών.

Το στάδιο της επιλογής του κανόνα ταξινόμησης (decision rule)

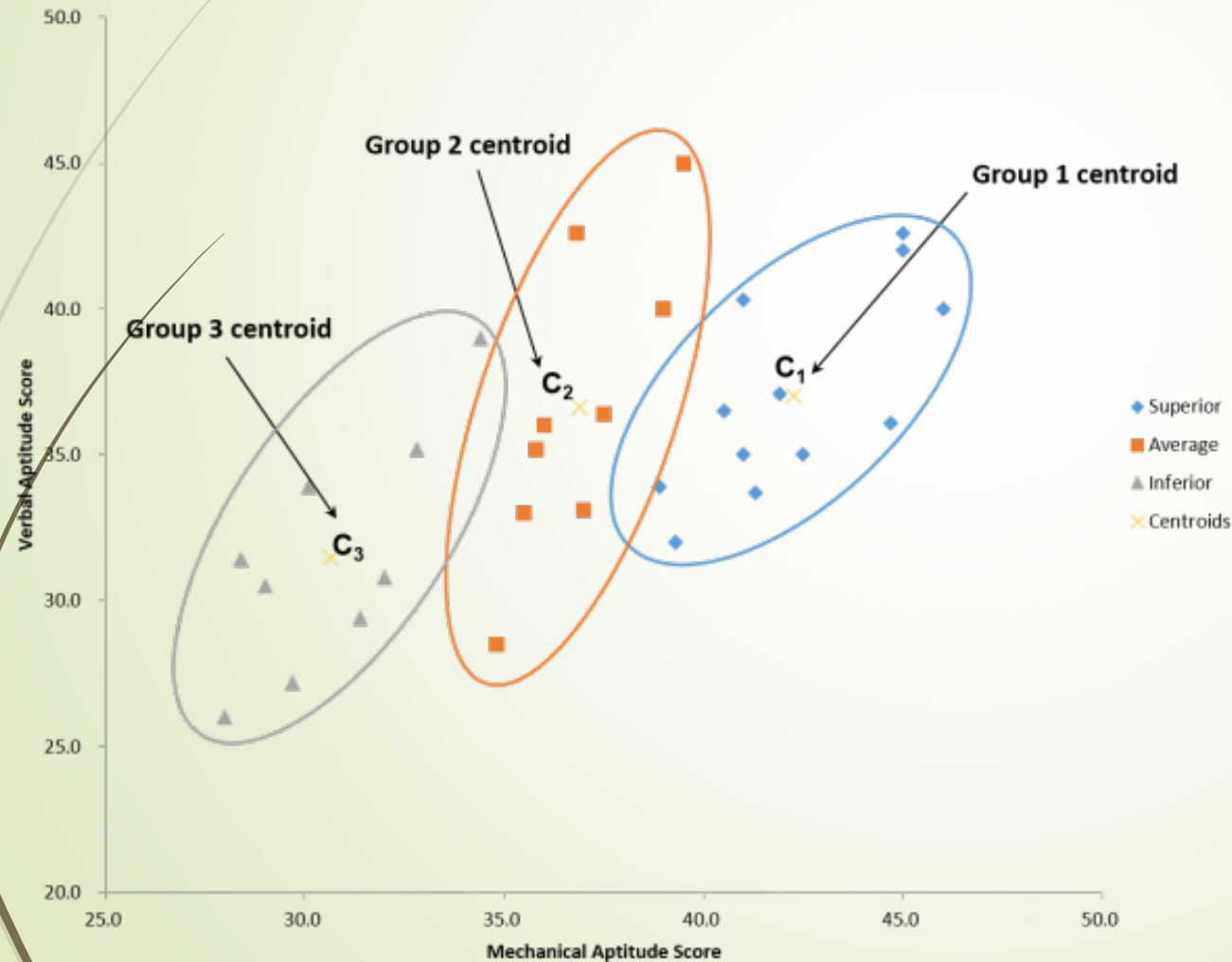
- ▶ Ένας ταξινομητής μπορεί να είναι παραμετρικός ή μη παραμετρικός
- ▶ Ο παραμετρικός ταξινομητής χρησιμοποιεί παραμετρικές υπογραφές οι οποίες χαρακτηρίζονται από τα στατιστικά χαρακτηριστικά



1. Μέση τιμή
2. Τυπική απόκλιση
3. Πίνακας συμμεταβλητότητας

Το στάδιο της επιλογής του κανόνα ταξινόμησης (decision rule)

- ▶ Παραμετρικοί ταξινομητές:
- ▶ Ο κανόνας της απόστασης Mahalanobis

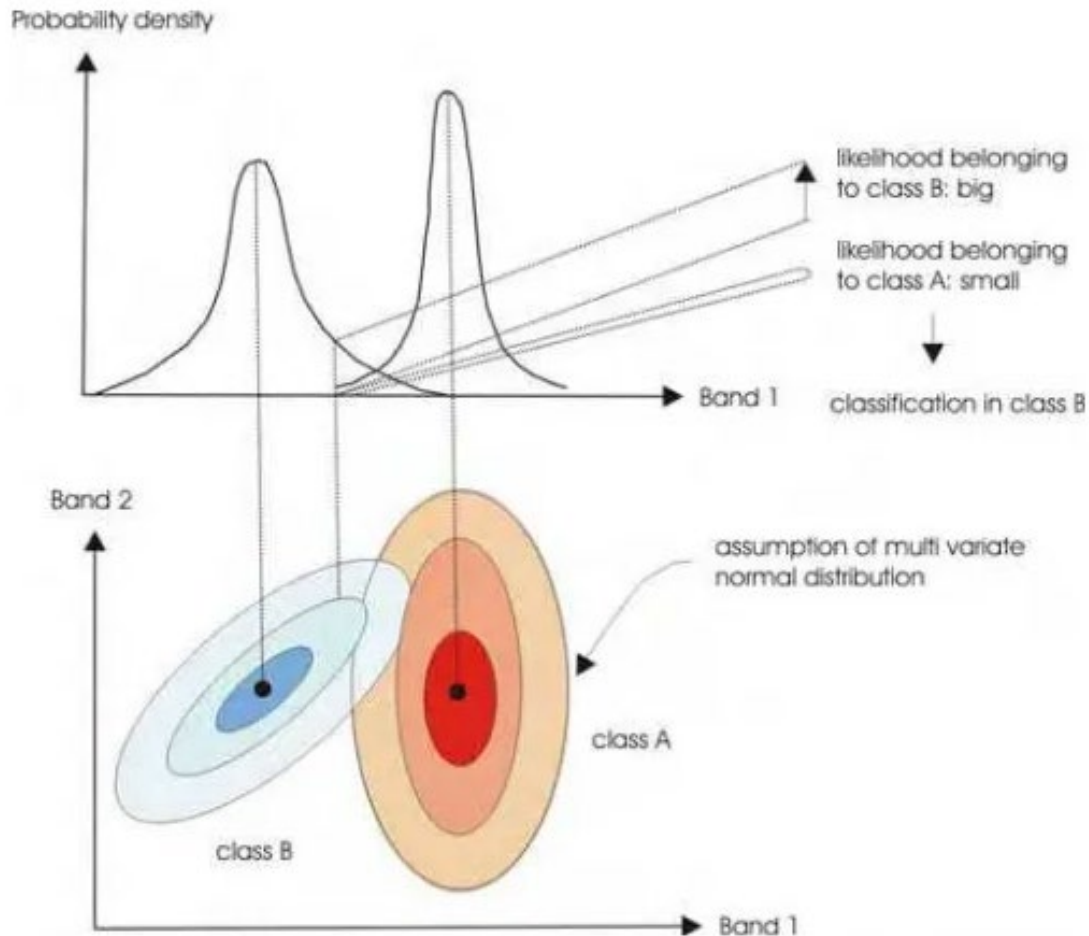


- λαμβάνεται υπόψη και η μεταβλητότητα

Το στάδιο της επιλογής του κανόνα ταξινόμησης (decision rule)

➤ Παραμετρικοί ταξινομητές:

➤ Ο κανόνας της μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood)



- Βασίζεται στην πιθανότητα να ανήκει ένα εικονοστοιχείο σε μια συγκεκριμένη τάξη.
- Λύση στο πρόβλημα αλληλοεπικάλυψης των υπογραφών στο φασματικό χώρο.
- Αποτελεί μια ακριβή μέθοδο ταξινόμησης, με την προϋπόθεση ότι οι υπογραφές έχουν οριστεί σωστά, είναι αντιπροσωπευτικές των αντίστοιχων τάξεων και έχουν κανονική κατανομή
- (ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ έλεγχος του ιστογράμματος της κάθε υπογραφής για να αποφευχθούν μεγάλες αποκλίσεις από την κανονική κατανομή)

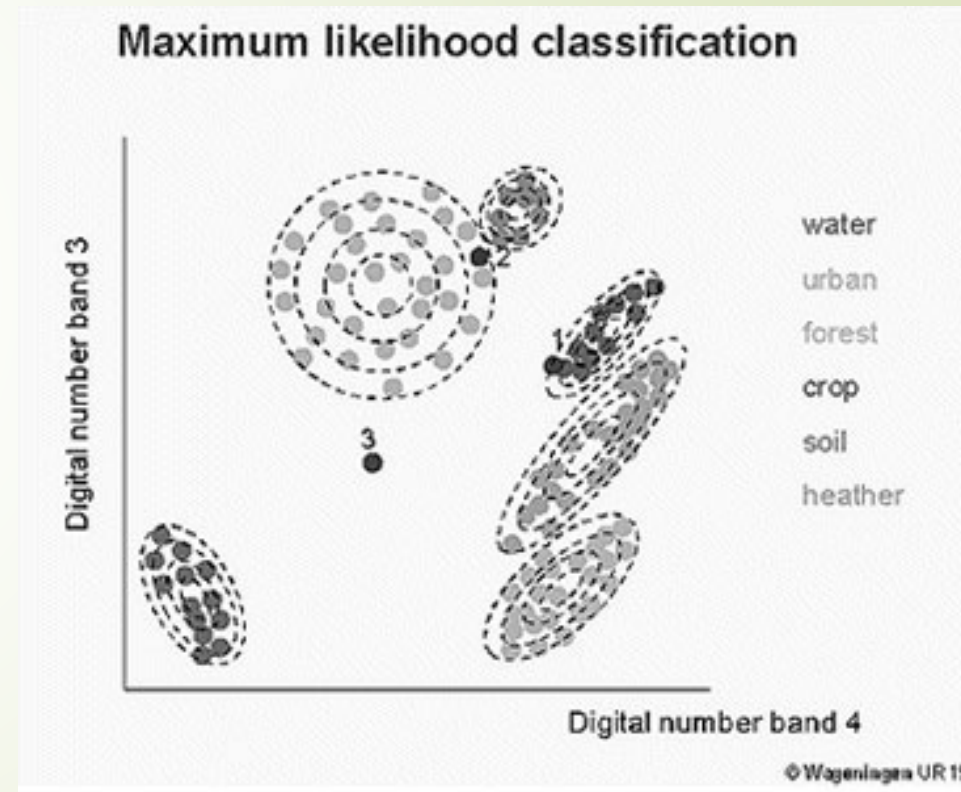
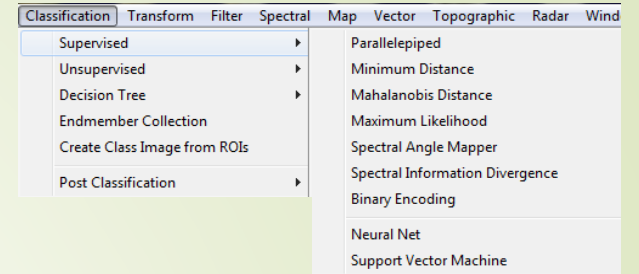
- Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Μέθοδος της Μέγιστης Πιθανοφάνειας

Η ΜΜΠ διαχωρίζει ελλειψοειδείς «**καμπύλες ίσης πιθανότητας**» στο δισδιάστατο διάγραμμα.

Είναι η συνηθέστερη τεχνική ταξινόμησης.

Η ΜΜΠ είναι παρόμοια με την μέθοδο της ελάχιστης απόστασης (όταν επιλέγεται η κανονικοποιημένη απόσταση), αν και η ΜΜΠ λαμβάνει υπόψη την αλληλοσυσχέτιση μεταξύ των καναλιών.

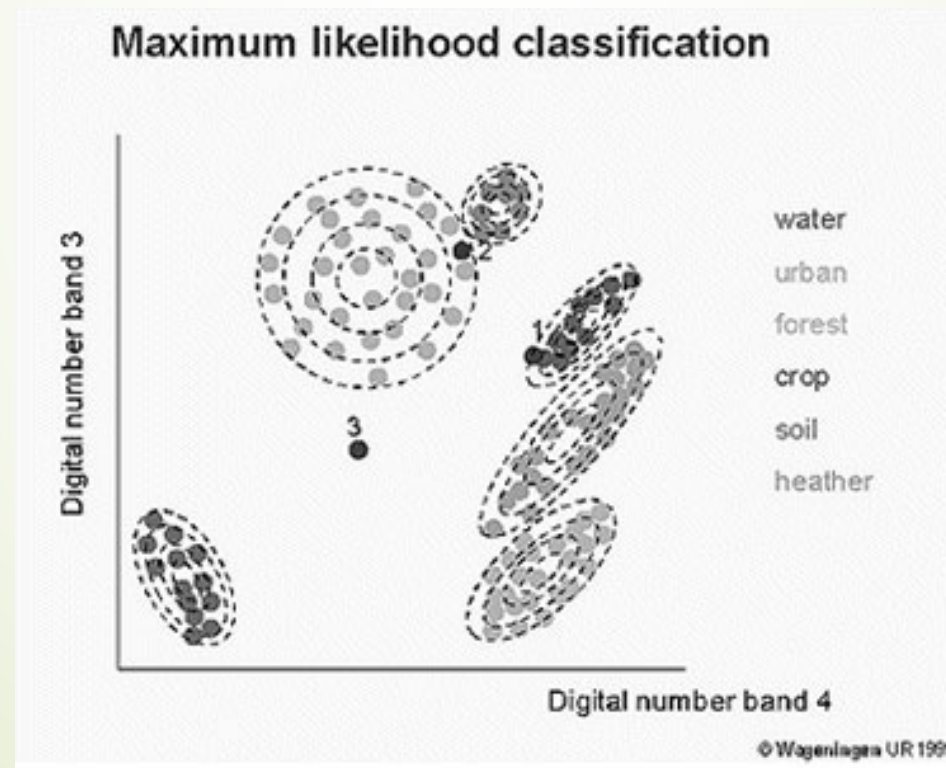
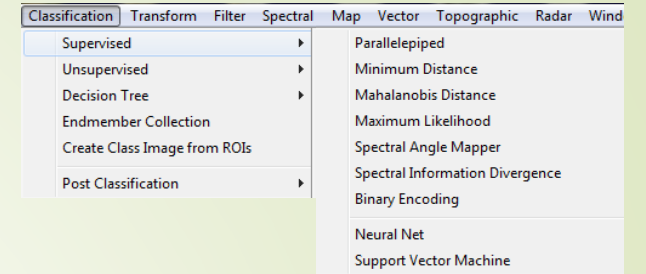


- Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

- Μέθοδος της Μέγιστης Πιθανοφάνειας

Μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα να ανήκει σε μια κεντρική κλάση,

Πιθανότητα που μειώνεται καθώς απομακρύνεται από το κέντρο ακολουθώντας μια ελλειπτική δομή.

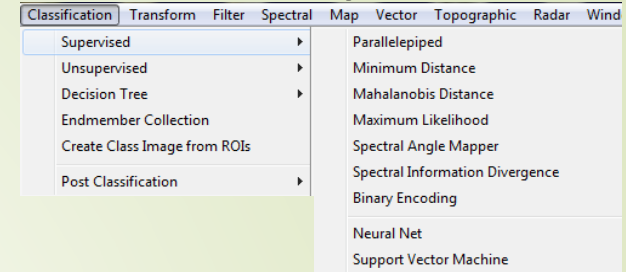


Το στάδιο της επιλογής του κανόνα ταξινόμησης (decision rule)

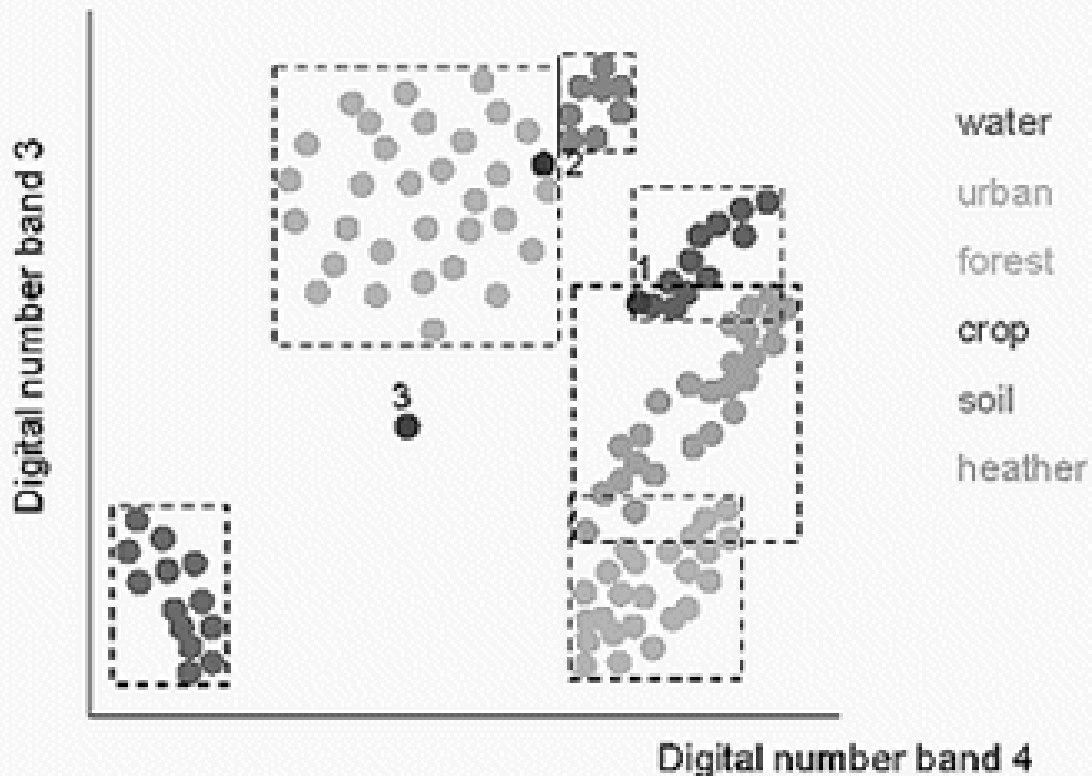
- ▶ Ένας ταξινομητής μπορεί να είναι παραμετρικός ή μη παραμετρικός
- ▶ Ο μη παραμετρικός ταξινομητής δεν βασίζεται σε στατιστικά στοιχεία και για αυτό δεν εξαρτάται από τις ενδογενείς ιδιότητες των δεδομένων.
- ▶ Στην περίπτωση αυτή, ένα εικονοστοιχείο αποδίδεται σε μια τάξη αν βρίσκεται μέσα στα όρια μιας μη παραμετρικής υπογραφής στο φασματικό χώρο.

Το στάδιο της επιλογής του κανόνα ταξινόμησης (decision rule)

- Μη Παραμετρικοί ταξινομητές:
- Παραλληλοεπίπεδο



Parallelepiped (box) classification

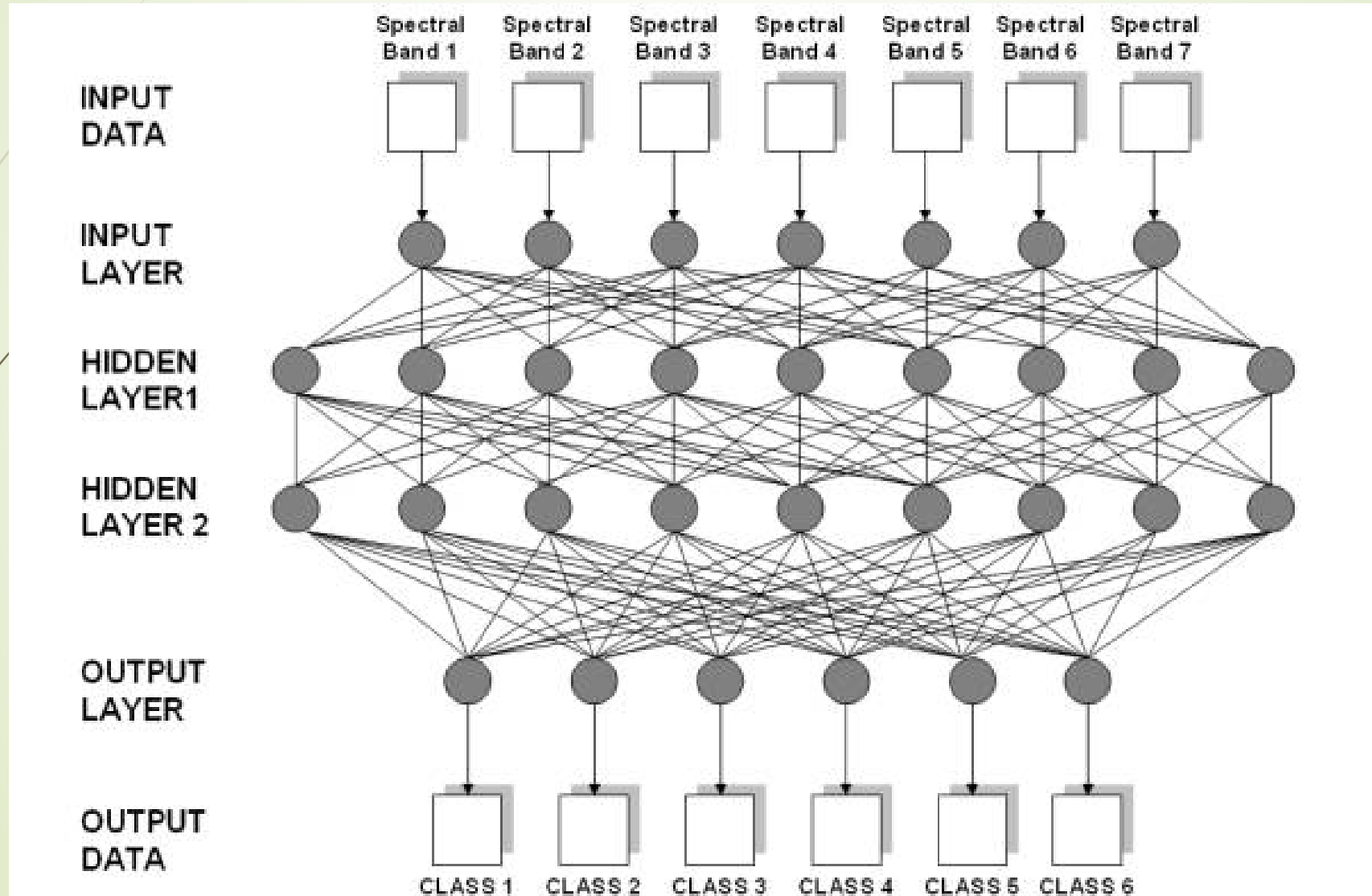



© Wageningen UR 1999

- Ένα άγνωστο εικονοστοιχείο ταξινομείται σύμφωνα με το εύρος της κατηγορίας ή σύμφωνα με την περιοχή απόφασης στην οποία βρίσκεται
- Η ταξινομείται ως «άγνωστο» όταν βρίσκεται έξω από όλες τις περιοχές
- Γρήγορη μέθοδος
- Το μειονέκτημα είναι οι περιοχές επικάλυψης.
- Σε αυτή την περίπτωση, τα «κοινά» εικονοστοιχεία θα ταξινομηθούν ως «αβέβαια» ή θα ταξινομηθούν τυχαία σε μια από τις δύο επικαλυπτόμενες περιοχές.

Ταξινόμηση - Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

- ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ



- 
1. Το στάδιο της εκπαίδευσης (training)
 2. Το στάδιο της επιλογής του κανόνα ταξινόμησης (decision rule)
 - 3. Το στάδιο της αξιολόγησης των υπογραφών**
 4. Το στάδιο της εφαρμογής του κανόνα ταξινόμησης
 5. Το στάδιο της αντιστοίχισης των φασματικών τάξεων σε τάξεις πληροφορίας
 6. Το στάδιο της δημιουργίας χάρτη
 7. Το τελικό στάδιο αξιολόγησης της ταξινόμησης

Στάδιο αξιολόγησης των υπογραφών

- ▶ Πριν την εφαρμογή του κανόνα ταξινόμησης, οι υπογραφές που παράχθηκαν από τη διαδικασία εκπαίδευσης θα πρέπει να αξιολογηθούν.
- ▶ Σύγκριση με αρχική εικόνα (ικανότητα αναλυτή να αναγνωρίζει πρότυπα).
- ▶ Οι υπογραφές αξιολογούνται συγκρίνοντας τα ταξινομημένα εικονοστοιχεία με την αρχική εικόνα (Για κάθε υπογραφή, τα ταξινομημένα εικονοστοιχεία π.χ. με τη μέθοδο του Παραλληλεπίπεδου, ή κάθε υπογραφή με την τελική ταξινομημένη εικόνα)

Στάδιο αξιολόγησης των υπογραφών

- ▶ Πριν την εφαρμογή του κανόνα ταξινόμησης, οι υπογραφές που παράχθηκαν από τη διαδικασία εκπαίδευσης θα πρέπει να αξιολογηθούν.
- ▶ Αξιολόγηση στο φασματικό χώρο
 - ▶ Με τη μέθοδο αυτή, κάθε υπογραφή, αναπαρίσταται στο δισδιάστατο φασματικό χώρο δύο καναλιών της εικόνας με σχήματα όπως οι ελλείψεις.

Στάδιο αξιολόγησης των υπογραφών

- ▶ Πριν την εφαρμογή του κανόνα ταξινόμησης, οι υπογραφές που παράχθηκαν από τη διαδικασία εκπαίδευσης θα πρέπει να αξιολογηθούν.
- ▶ Ιστογράμματα υπογραφών
 - ▶ Ιδανικές υπογραφές αποτελούν αυτές με κανονική κατανομή, ενώ υπογραφές με διπλές ή τριπλές κορυφές χαρακτηρίζονται από μεγάλη ανομοιογένεια

Στάδιο αξιολόγησης των υπογραφών

- ▶ Πριν την εφαρμογή του κανόνα ταξινόμησης, οι υπογραφές που παράχθηκαν από τη διαδικασία εκπαίδευσης θα πρέπει να αξιολογηθούν.
- ▶ Διαχωριστικότητα (separability)
 - ▶ Η διαχωριστικότητα των υπογραφών αποτελεί ένα στατιστικό μέτρο της απόστασης δυο υπογραφών στο φασματικό χώρο.
 - ▶ Η διαχωριστικότητα μπορεί να υπολογιστεί για κάθε δυνατό συνδυασμό
 - ▶ Χρησιμοποιούνται πίνακες συμμεταβλητότητας και κέντρα υπογραφών.

Στάδιο αξιολόγησης των υπογραφών

➤ Διαχωριστικότητα (separability)

- Στο ENVI, αναφέρονται δύο μέτρα διαχωρισμού Jeffries-Matusita και μετασχηματισμένης απόκλισης (Transformed Divergence).
- Αυτές οι τιμές κυμαίνονται από 0 έως 2,0 και υποδεικνύουν πόσο καλά τα επιλεγμένα ζεύγη απόδοσης επένδυσης είναι στατιστικά ξεχωριστά.
- Τιμές μεγαλύτερες από 1,9 υποδεικνύουν ότι τα ζεύγη απόδοσης επένδυσης έχουν καλή διαχωρισιμότητα.
- Για ζεύγη ROI με χαμηλότερες τιμές διαχωρισιμότητας, θα πρέπει βελτιωθεί η διαχωρισιμότητα με επεξεργασία των ROI ή επιλέγοντας νέα ROI.
- Για ζεύγη ROI με πολύ χαμηλές τιμές διαχωρισμού (μικρότερες από 1), ίσως θα πρέπει να συνδυαστούν ως ενιαίο ROI.

Στάδιο εκπαίδευσης

1. Το στάδιο της εκπαίδευσης (training)
2. Το στάδιο της επιλογής του κανόνα ταξινόμησης (decision rule)
3. Το στάδιο της αξιολόγησης των υπογραφών
- 4. Το στάδιο της εφαρμογής του κανόνα ταξινόμησης**
- 5. Το στάδιο της αντιστοίχισης των φασματικών τάξεων σε τάξεις πληροφορίας**
6. Το στάδιο της δημιουργίας χάρτη
7. Το τελικό στάδιο αξιολόγησης της ταξινόμησης

Ταξινόμηση - πίνακας σφάλματος

Πολλές φορές ο πίνακας αυτός ονομάζεται πίνακας ασάφειας ή πίνακας συνάφειας (confusion matrix ή contingency table). Στον πίνακα αυτό, η ταξινόμηση δίνεται σε γραμμές και η επαλήθευση (δείγματα εδάφους) δίνεται σε στήλες για κάθε σημείο δείγματος.

		Reference Data			
		Water	Forest	Urban	Total
Classified Data	Water	21	6	0	27
	Forest	5	31	1	37
	Urban	7	2	22	31
	Total	33	39	23	95

		Actual Class	
		1	0
Predicted Class	1	True Positive	False Positive
	0	False Negative	True Negative

Ταξινόμηση

Confusion matrix, με δείγματα πεδίου

- Η αξιολόγηση ακρίβειας γίνεται μέσω ενός πίνακα σύγχυσης ή σφάλματος.
- Ένας πίνακας σύγχυσης περιέχει πληροφορίες σχετικά με τις πραγματικές και προβλεπόμενες ταξινομήσεις που πραγματοποιούνται από ένα σύστημα ταξινόμησης.
- Το εικονοστοιχείο που έχει κατηγοριοποιηθεί από την εικόνα συγκρίνεται με την ίδια τοποθεσία στο πεδίο.
- Το αποτέλεσμα μιας αξιολόγησης ακρίβειας παρέχει συνήθως στους χρήστες ένα δείκτη συνολικής ακρίβειας της ταξινόμησης και ακρίβεια για κάθε κλάση στο χάρτη.

		Actual Class	
		1	0
Predicted Class	1	True Positive	False Positive
	0	False Negative	True Negative

Ταξινόμηση

Confusion matrix

Τα παραγόμενα σφάλματα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες,

1. πρώτον σε σφάλματα παράλειψης τα οποία αντιστοιχούν σε εκείνα τα στοιχεία εικόνας που ανήκουν στην τάξη που μας ενδιαφέρει αλλά ο ταξινομητής εσφαλμένα δεν τα έχει προσδιορίσει και
2. δεύτερον σε σφάλματα πρόσθεσης τα οποία αντιστοιχούν σε στοιχεία εικόνας από άλλες τάξεις αλλά ο ταξινομητής εσφαλμένα τα ταξινομεί στην ενδιαφερόμενη τάξη.

		Actual Class	
		1	0
Predicted Class	1	True Positive	False Positive
	0	False Negative	True Negative

Ταξινόμηση - Confusion matrix

Τα αποτελέσματα της σύγκρισης συνοψίζονται σε πίνακες συνάφειας.

Τα σφάλματα παράλειψης αναπαριστώνται στην στήλη του πίνακα και τα σφάλματα πρόσθεσης στην γραμμή αυτού.

Η συνολική ακρίβεια του δείγματος προκύπτει από το σταθμισμένο μέσο των στοιχείων της διαγωνίου.

		Actual Class	
		1	0
Predicted Class	1	True Positive	False Positive
	0	False Negative	True Negative

Ταξινόμηση – Error matrix

$$\text{Overall accuracy} = \frac{\text{Total number of correct samples}}{\text{Total number of samples}} \times 100$$

‘Ολική Ακρίβεια’ (Overall Accuracy)

ο λόγος, του αθροίσματος των καταχωρήσεων της κύριας διαγωνίου προς το συνολικό αριθμό των δειγμάτων του πίνακα λάθους και αποτελεί ένα γενικό μέτρο της εκτίμησης

		Reference test information				Row total	User's Accuracy
		Class	Road	Building	Green		
Remote sensing classification	Road	101	0	25	20	146	69.18%
	Building	0	128	0	17	145	88.28%
	Green	10	0	104	1	115	90.43%
	Bare	2	4	2	105	113	92.92%
Column total		113	132	131	143	519	
Producer's accuracy		89.38%	96.97%	79.39%	73.43%		

Overall accuracy = 84.4%. Kappa coefficient: 0.825.

Ταξινόμηση

Producer's accuracy (%) = 100% - error of omission (%)

User's accuracy (%) = 100% - error of commission (%)

		Actual Class	
		1	0
Predicted Class	1	True Positive	False Positive
	0	False Negative	True Negative

Confusion matrix, με δείγματα πεδίου

- Εκτός από τη συνολική ακρίβεια, η ακρίβεια ταξινόμησης των επιμέρους κλάσεων υπολογίζεται με δύο προσεγγίσεις
 - η ακρίβεια του χρήστη και η ακρίβεια του παραγωγού.
- Η ακρίβεια του παραγωγού προκύπτει διαιρώντας τον αριθμό των σωστών εικονοστοιχείων σε μία κλάση διαιρούμενο με το σύνολο του αριθμού των εικονοστοιχείων όπως προκύπτει από δεδομένα αναφοράς.
- Η ακρίβεια του παραγωγού μετρά πόσο καλά έχει ταξινομηθεί μια συγκεκριμένη περιοχή.
- Περιλαμβάνει το σφάλμα παράλειψης που αναφέρεται στο ποσοστό παρατηρούμενων χαρακτηριστικών στο έδαφος που δεν ταξινομούνται στον χάρτη.

Ταξινόμηση - Confusion matrix

		Actual Class	
		1	0
Predicted Class	1	True Positive	False Positive
	0	False Negative	True Negative

Από τον πίνακα λάθους εκτιμάται και η ακρίβεια της κάθε κατηγορίας (κλάσης) με τη χρησιμοποίηση των 'λαθών πρόσθεσης' (commission errors) και των 'λαθών παράλειψης' (omission errors).

- Το 'λάθος πρόσθεσης' είναι η προσθήκη μίας περιοχής σε μία κατηγορία ενώ δεν ανήκει σε αυτή την κατηγορία.
- Το 'λάθος παράλειψης' είναι η εξαίρεση μίας περιοχής από μία κατηγορία ενώ πραγματικά ανήκει σε αυτή την κατηγορία.

Ταξινόμηση - Confusion matrix

- Το 'λάθος πρόσθεσης' – commission error είναι η προσθήκη μίας περιοχής σε μία κατηγορία ενώ δεν ανήκει σε αυτή την κατηγορία.
- Δρόμοι: $(0 + 25 + 20) / 146 = 0,30$
- Πράσινο $(10 + 0 + 1)/115 = 0,09$

		Reference test information				Row total	User's Accuracy
		Class	Road	Building	Green		
Remote sensing classification	Road	101	0	25	20	146	69.18%
	Building	0	128	0	17	145	88.28%
	Green	10	0	104	1	115	90.43%
	Bare	2	4	2	105	113	92.92%
Column total		113	132	131	143	519	
Producer's accuracy		89.38%	96.97%	79.39%	73.43%		

Overall accuracy = 84.4%, Kappa coefficient: 0.825.

Ταξινόμηση - Confusion matrix

- Το 'λάθος παράλειψης' – omission error είναι η εξαίρεση μίας περιοχής από μία κατηγορία ενώ πραγματικά ανήκει σε αυτή την κατηγορία.
- Δρόμοι: $(0 + 10 + 2) / 113 = 0,10$
- Πράσινο $(25 + 0 + 2)/131 = 0,2$

		Reference test information				Row total	User's Accuracy
		Class	Road	Building	Green		
Remote sensing classification	Road	101	0	25	20	146	69.18%
	Building	0	128	0	17	145	88.28%
	Green	10	0	104	1	115	90.43%
	Bare	2	4	2	105	113	92.92%
Column total		113	132	131	143	519	
Producer's accuracy		89.38%	96.97%	79.39%	73.43%		

Overall accuracy = 84.4%, Kappa coefficient: 0.825.

Ταξινόμηση - Confusion matrix

Producer's accuracy (%) = 100% - error of omission (%)

User's accuracy (%) = 100% - error of commission (%)

		Actual Class	
		1	0
Predicted Class	1	True Positive	False Positive
	0	False Negative	True Negative

Commission error = User's accuracy

- Δρόμοι: $(0 + 25 + 20) / 146 = 0,3082 \Rightarrow 100 - 30,82 = 69,18\%$
- Πράσινο $(10 + 0 + 1)/115 = 0,0965 \Rightarrow 100 - 9,65 = 90.43 \%$

Omission error = Producer's accuracy

- Δρόμοι: $(0 + 10 + 2) / 113 = 0,1061 \Rightarrow 100 - 10,61 = 89,38\%$
- Πράσινο $(25 + 0 + 2)/131 = 0,2061 \Rightarrow 100 - 20,61 = 79,39\%$

		Reference test information				Row total	User's Accuracy
		Class	Road	Building	Green		
Remote sensing classification	Road	101	0	25	20	146	69.18%
	Building	0	128	0	17	145	88.28%
	Green	10	0	104	1	115	90.43%
	Bare	2	4	2	105	113	92.92%
Column total		113	132	131	143	519	
Producer's accuracy		89.38%	96.97%	79.39%	73.43%		

Overall accuracy = 84.4%, Kappa coefficient: 0.825.

ΠΙΟ ΓΡΗΓΟΡΟΣ ΤΡΟΠΟΣ

- Το 'λάθος παράλειψης' μίας κατηγορίας υπολογίζεται από το λόγο των εικονοστοιχείων που δεν ταξινομήθηκαν σε αυτή την κατηγορία (ενώ ανήκαν σε αυτή βάση των σημείων έλεγχου) προς τον ολικό αριθμό των σημείων έλεγχου της κατηγορίας αυτής (Π.χ. δρόμοι: $(101/146) * 100 = 69.18\%$)
- Το λάθος πρόσθεσης υπολογίζεται από το λόγο των εικονοστοιχείων που ταξινομήθηκαν σε αυτήν την κατηγορία (ενώ ανήκαν σε άλλες κατηγορίες) προς το συνολικό αριθμό των εικονοστοιχείων που ταξινομήθηκαν σε αυτήν την κατηγορία (Π.χ. δρόμοι: $(101/113) * 100 = 89,38\%$)

	Class	Reference test information				Row total	User's Accuracy
		Road	Building	Green	Bare		
Remote sensing classification	Road	101	0	25	20	146	69.18%
	Building	0	128	0	17	145	88.28%
	Green	10	0	104	1	115	90.43%
	Bare	2	4	2	105	113	92.92%
Column total		113	132	131	143	519	
Producer's accuracy		89.38%	96.97%	79.39%	73.43%		

Overall accuracy = 84.4%, Kappa coefficient: 0.825.

Συντελεστής Καρρα

Ο συντελεστής καρρα μετρά τη συμφωνία μεταξύ των τιμών ταξινόμησης και πραγματικών τιμών. Μια τιμή κάππα = 1 αντιπροσωπεύει τέλεια συμφωνία, ενώ μια τιμή 0 αντιπροσωπεύει καμία συμφωνία.

$$\hat{K} = \frac{N * \sum_{i=1}^k x_{ii} - \sum_{i=1}^k (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^k (x_{i+} * x_{+i})}$$

Καρρα	Interpretation			
< 0	No agreement			
0.0 - 0.20	Slight agreement			
0.21 - 0.40	Fair agreement			
0.41 - 0.60	Moderate agreement			
0.61 - 0.80	Substantial agreement			
0.81 - 1.00	Almost perfect agreement			

Bare	Row total	User's Accuracy
20	146	69.18%
17	145	88.28%
1	115	90.43%
105	113	92.92%
143	519	
3.43%		

Overall accuracy = 84.4%, Kappa coefficient: 0.825.

Ταξινόμηση

Confusion Matrix Parameters

Output Confusion Matrix in Pixels Percent

Report Accuracy Assessment Yes No

Output Error Images ? Yes No

Output Result to File Memory

Enter Output Error Filename

Class Confusion Matrix

File

Confusion Matrix: C:\ATRS\Class CD\lab 4\IKON_class_image

Overall Accuracy = (10634793/16000000) 66.4675%
Kappa Coefficient = 0.4542

Class	Ground Truth (Pixels)				Total
	Unclassified	Soil [Red]	Grass [Green]	Forest [Blue]	
Unclassified	0	0	0	0	0
Soil [Magenta]	0	1347866	880119	542131	2770116
Grass [Yellow]	0	714976	3578431	1163373	5456780
Forest [Green]	0	86022	1978586	5708496	7773104
Total	0	2148864	6437136	7414000	16000000

Class	Ground Truth (Percent)				Total
	Unclassified	Soil [Red]	Grass [Green]	Forest [Blue]	
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Soil [Magenta]	0.00	62.72	13.67	7.31	17.31
Grass [Yellow]	0.00	33.27	55.59	15.69	34.10
Forest [Green]	0.00	4.00	30.74	77.00	48.58
Total	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Class	Commission (Percent)		Omission (Pixels)	
	(Percent)	(Percent)	(Pixels)	(Pixels)
Unclassified	0.00	0.00	0/0	0/0
Soil [Magenta]	51.34	37.28	1422250/2770116	800998/2148864
Grass [Yellow]	34.42	44.41	1878349/5456780	2858705/6437136
Forest [Green]	26.56	23.00	2064608/7773104	1705504/7414000

Class	Prod. Acc. (Percent)		User Acc. (Pixels)	
	(Percent)	(Percent)	(Pixels)	(Pixels)
Unclassified	0.00	0.00	0/0	0/0
Soil [Magenta]	62.72	48.66	1347866/2148864	1347866/2770116
Grass [Yellow]	55.59	65.58	3578431/6437136	3578431/5456780
Forest [Green]	77.00	73.44	5708496/7414000	5708496/7773104

Ταξινόμηση – Error matrix

$$\text{Overall accuracy} = \frac{\text{Total number of correct samples}}{\% \text{Total number of samples}} \times 100$$

		Reference test information				Row total	User's Accuracy
		Road	Building	Green	Bare		
Remote sensing classification	Class	Road	Building	Green	Bare		
	Road	101	0	25	20	146	69.18%
	Building	0	128	0	17	145	88.28%
	Green	10	0	104	1	115	90.43%
	Bare	2	4	2	105	113	92.92%
	Column total	113	132	131	143	519	
	Producer's accuracy	89.38%	96.97%	79.39%	73.43%		

Overall accuracy = 84.4%, Kappa coefficient: 0.825.

Producer's accuracy (%) = 100% - error of omission (%)

User's accuracy (%) = 100% - error of commission (%)

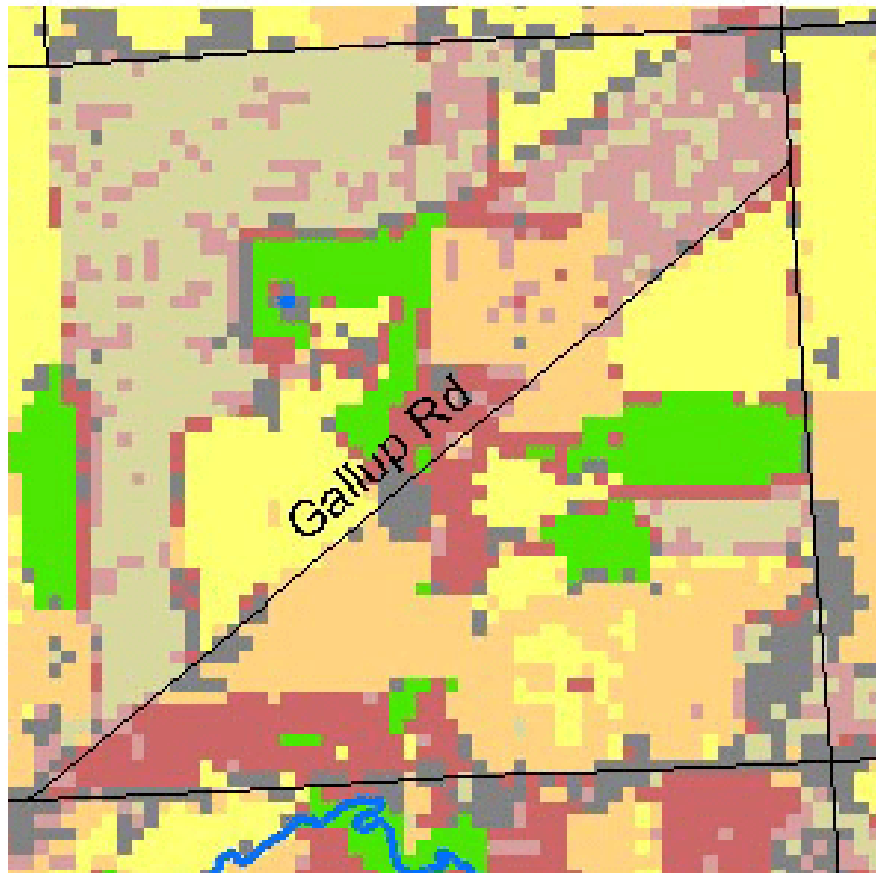
Στάδιο εκπαίδευσης

1. Το στάδιο της εκπαίδευσης (training)
2. Το στάδιο της επιλογής του κανόνα ταξινόμησης (decision rule)
3. Το στάδιο της αξιολόγησης των υπογραφών
4. Το στάδιο της εφαρμογής του κανόνα ταξινόμησης
5. Το στάδιο της αντιστοίχισης των φασματικών τάξεων σε τάξεις πληροφορίας
6. Το στάδιο της δημιουργίας χάρτη
- 7. Το τελικό στάδιο αξιολόγησης της ταξινόμησης**

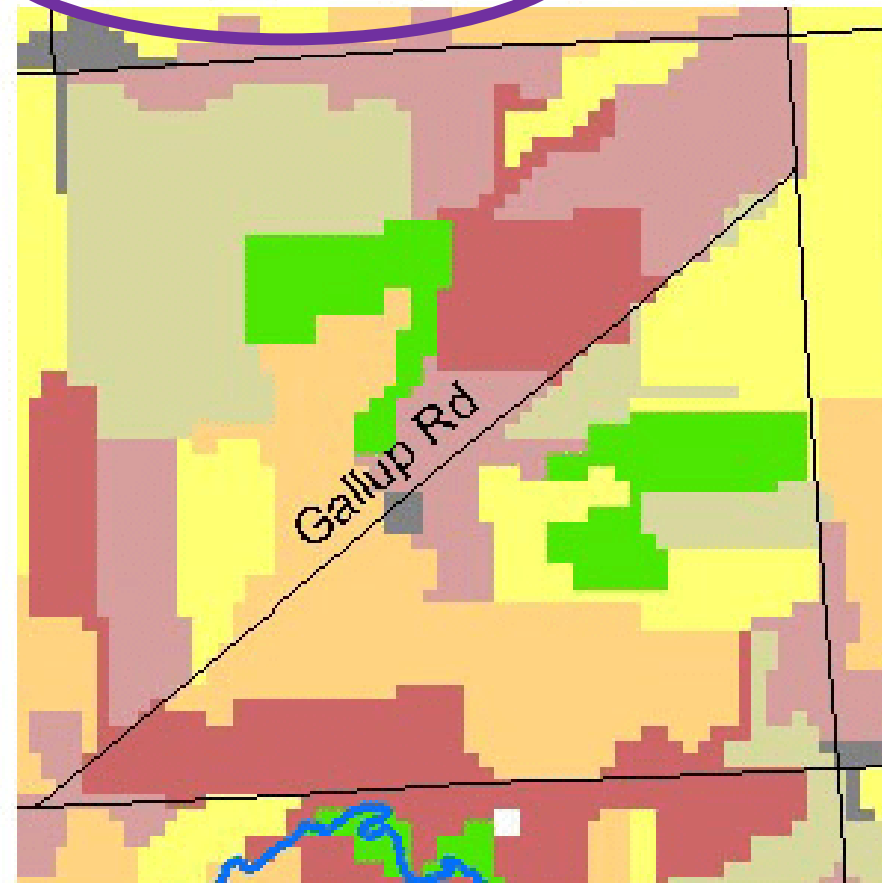
Μετά από την ταξινόμηση μερικές φορές φίλτρο 3X3 εικονοστοιχείων για γενίκευση της εικόνας...

- ΑΛΛΑ προσοχή = ανθρώπινη παρέμβαση

Pixel-based



Object-based



Ταξινόμηση – μια σχέση αγάπης και μίσους

