

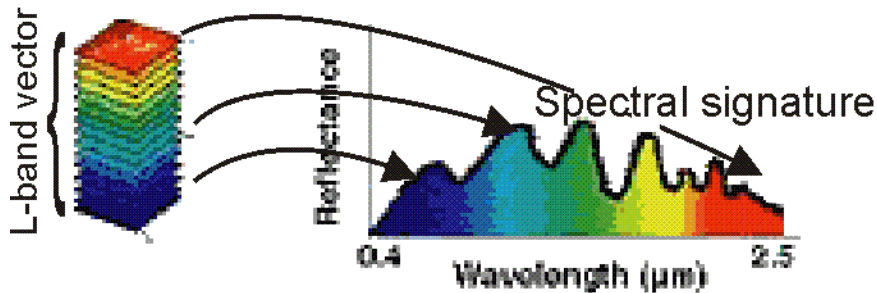
“Αναγνώριση Προτύπων – Μηχανική Μάθηση”

Εργασία Μαθήματος (Project)

Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία ασχολείται με το πρόβλημα της επεξεργασίας υπερφασματικών εικόνων (Hyperspectral Images - HSI).

Υπερφασματικές εικόνες (ΥΕ): Μία ΥΕ απεικονίζει μια συγκεκριμένη περιοχή σε «πολλά» (L) γειτονικά φασματικά κανάλια μικρού εύρους (ουσιαστικά πρόκειται για τη μέτρηση του ποσοστού της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας η οποία ανακλάται ή/και εκπέμπεται από μια επιφάνεια, σε κάθε φασματικό κανάλι). Μια τέτοια εικόνα μπορεί να αναπαρασταθεί από ένα τρισδιάστατο πίνακα¹ διάστασης $M \times N \times L$, όπου οι πρώτες δύο διαστάσεις αντιστοιχούν στη χωρική πληροφορία, ενώ η τρίτη στη φασματική πληροφορία. Μπορούμε λοιπόν να πούμε ότι το (i,j) εικονοστοιχείο μιας τέτοιας εικόνας (όπου i και j οι **χωρικές** συντεταγμένες του εικονοστοιχείου στην εικόνα), $i=1,\dots,M$, $j=1,\dots,N$, αναπαρίσταται από ένα L -διάστατο διάνυσμα, το οποίο απαρτίζεται από τις μετρήσεις για το συγκεκριμένο εικονοστοιχείο στα διάφορα φασματικά κανάλια, και καλείται **φασματική υπογραφή (spectral signature)** του εικονοστοιχείου.

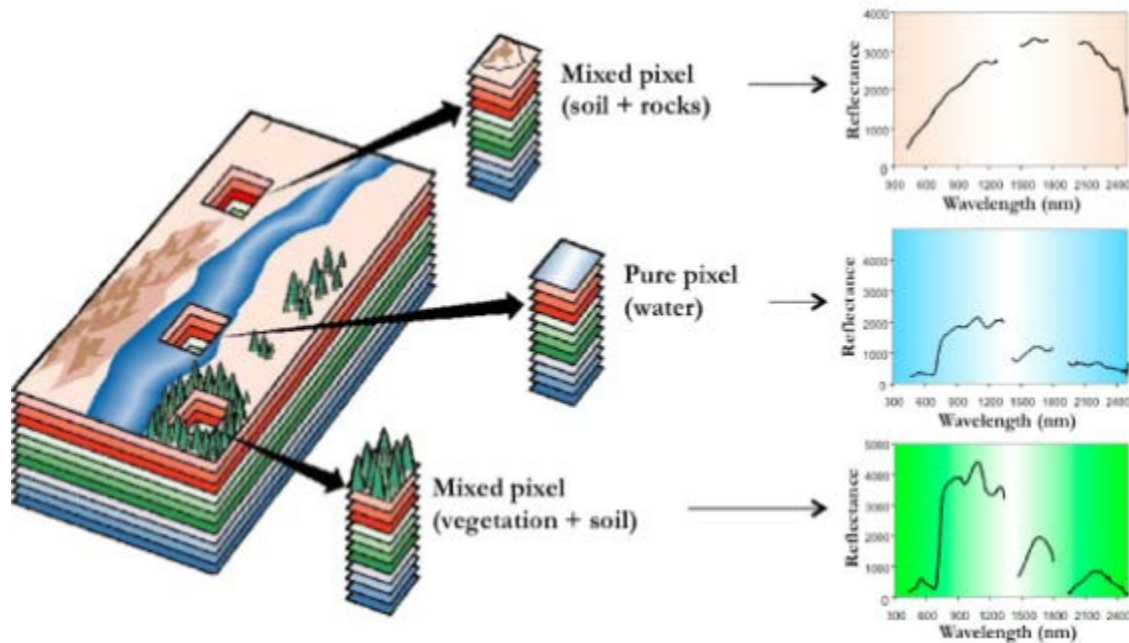


Σε αρκετές εφαρμογές τηλεπισκόπησης (remote sensing), οι ΥΕ (που λαμβάνονται από δορυφόρους) απεικονίζουν συγκεκριμένες περιοχές της γήινης επιφάνειας σε συγκεκριμένη ανάλυση (έτσι, ένα απλό εικονοστοιχείο μπορεί να αναπαριστά μια περιοχής έκτασης από $3 \times 3 \text{ m}^2$ έως $100 \times 100 \text{ m}^2$ ή και περισσότερο)². Ως συνέπεια αυτού του γεγονότος, ένα εικονοστοιχείο είναι πολύ πιθανόν να απεικονίζει περισσότερα από ένα υλικά τα οποία μπορεί να υπάρχουν στην αντίστοιχη περιοχή της γήινης επιφάνειας. Τέτοια εικονοστοιχεία ονομάζονται **μεικτά εικονοστοιχεία (mixed pixels)**

¹ Μερικές φορές χρησιμοποιείται και ο όρος «τρειςδιάστατος κύβος».

² Όταν ένα εικονοστοιχείο απεικονίζει μια περιοχή έκτασης $q \times q \text{ m}^2$, θα λέμε ότι η **χωρική ανάλυση (spatial resolution)** της εικόνας είναι $q \text{ m}$.

και αποτελούν τη συντρυπτική πλειοψηφία των εικονοστοιχείων της εικόνας. Αντίθετα, τα (συνήθως λίγα) εικονοστοιχεία που απεικονίζουν ένα μόνο υλικό καλούνται **καθαρά εικονοστοιχεία (pure pixels)**.



Επεξεργασία ΥΕ: Οι κύριες διαδικασίες επεξεργασίας ΥΕ είναι ο **φασματικός διαχωρισμός (spectral unmixing)** και η (επιβλεπόμενη ή μη) ταξινόμηση (**supervised or unsupervised classification**). Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε μόνο με την **επιβλεπόμενη ταξινόμηση**.

Επιβλεπόμενη ταξινόμηση: Στην περίπτωση αυτή το πρόβλημα διατυπώνεται ως ακολούθως: Έστω ότι όλα τα εικονοστοιχεία της υπό μελέτη ΥΕ είναι γνωστό ότι ανήκουν σε μία από ***m* γνωστές κλάσεις**. Δοθέντος ενός συγκεκριμένου εικονοστοιχείου, ο στόχος είναι να ταξινομηθεί στην πιο κατάλληλη από τις ***m* κλάσεις**.

Όλα τα ζητούμενα της παρούσας εργασίας αναφέρονται σε ΥΕ που θα ονομάζουμε “Salinas”, επειδή αυτή απεικονίζει μια περιοχή της κοιλάδας Salinas που βρίσκεται στην Καλιφόρνια των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής. Πρόκειται για μια ΥΕ χωρικής διάστασης 150x150 εικονοστοιχείων³, η οποία περιλαμβάνει 204 φασματικά κανάλια (από 0.2μm έως 2.4μm), ενώ η χωρική της ανάλυση είναι 3.7m (δηλ., η ΥΕ αναπαρίσταται μέσω ενός τρισδιάστατου κύβου διαστάσεων 150x150x204). Τα

³ Συνεπώς περιέχει 22.500 εικονοστοιχεία.

δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν βρίσκονται στα αρχεία **“Salinas_hyperspectral.mat”** (ο κύβος της “Salinas”) και **“classification_labels.mat”** (περιέχει την κλάση στην οποία ανήκει κάθε εικονοστοιχείο).

ΣΗΜΕΙΩΣΗ:

1. **Μόνο** τα **εικονοστοιχεία** με **μη μηδενική ετικέτα κλάσης** θα ληφθούν υπ’ όψιν στην παρούσα εργασία (μηδενική ετικέτα κλάσης σημαίνει ότι η κλάση για το αντίστοιχο εικονοστοιχείο είναι άγνωστη).

Περιγραφή της εργασίας

Το πρόβλημα στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας είναι η ταξινόμηση κάθε εικονοστοιχείου⁴ στην πιο κατάλληλη ανάμεσα από **5 γνωστές κλάσεις**, οι οποίες αντιστοιχούν σε διαφορετικά είδη αγροτικών καλλιεργειών. Για το σκοπό αυτό θα χρησιμοποιηθούν τρεις ταξινομητές: (i) ο **απλοϊκός ταξινομητής Bayes** (naïve Bayes classifier), (ii) ο **ταξινομητής ελάχιστης Ευκλείδειας απόστασης** (minimum Euclidean distance classifier) και (iii) ο **ταξινομητής των k-πλησιέστερων γειτόνων** (k-nearest neighbor classifier). Για καθέναν από αυτούς θα χρησιμοποιηθούν τα ίδια σύνολα εκπαίδευσης (training), δοκιμής (test) και «λειτουργίας» (operation). Σημειώνουμε ότι, **στην πράξη**, έχουμε στη διάθεσή μας ένα σύνολο δεδομένων, το οποίο το χωρίζουμε σε δύο επιμέρους σύνολα: το σύνολο εκπαίδευσης και το σύνολο δοκιμής. Το σύνολο λειτουργίας που αναφέρεται πιο πάνω αντιστοιχεί στα δεδομένα που οι ταξινομητές θα κληθούν να ταξινομήσουν μετά την ολοκλήρωση της εκπαίδευσής τους και της αξιολόγησης αυτής, δηλ., κατά τη **φάση λειτουργίας** τους.

(A) Εκπαίδευση ταξινομητών

Για τον ταξινομητή των **k-πλησιέστερων γειτόνων**:

- (i) Ο ταξινομητής αυτός εμπλέκει μια παράμετρο (k), η οποία καθορίζεται από το χρήστη. Για να προσδιορίσετε την καλύτερη τιμή της παραμέτρου εφαρμόστε τη μέθοδο της **διασταυρούμενης επικύρωσης (cross validation)**. Πιο συγκεκριμένα, κατ’ αρχήν χωρίστε με τυχαίο τρόπο το **σύνολο εκπαίδευσης** σε 5 ισομεγέθη και ξένα μεταξύ τους σύνολα (μεριμνήστε ώστε περίπου το 1/5 των εικονοστοιχείων κάθε κλάσης να ανήκει σε καθένα από τα παραπάνω σύνολα). Στη συνέχεια, δοκιμάστε την απόδοση του ταξινομητή για ένα συγκεκριμένο εύρος (περιττών) τιμών του k (π.χ. από 1 έως 17). Για κάθε τιμή του k εργαστείτε

⁴ Από αυτά που έχουν μη μηδενική ετικέτα κλάσης.

ως ακολούθως: Εκπαιδεύστε 5 ταξινομητές χρησιμοποιώντας για καθέναν από αυτούς ένα από τα παραπάνω 5 σύνολα για επικύρωση (validation) των αποτελεσμάτων και τα υπόλοιπα τέσσερα για εκπαίδευση. Για κάθε ταξινομητή εκτιμήστε το σφάλμα ταξινόμησης χρησιμοποιώντας τα διανύσματα του συνόλου επικύρωσης και υπολογίστε το μέσο όρο των σφαλμάτων για τη συγκεκριμένη τιμή του k . Ολοκληρώνοντας τη διαδικασία αυτή για όλες τις τιμές του k , επιλέξτε τελικά την τιμή εκείνη η οποία δίνει το μικρότερο (μέσο) σφάλμα ταξινόμησης και προχωρήστε στο επόμενο βήμα (ii).

- (ii) Χρησιμοποιήστε τώρα ολόκληρο το σύνολο εκπαίδευσης για την εκπαίδευση του ταξινομητή των k -πλησιέστερων γειτόνων (για την επιλεγμένη τιμή του k) και αξιολογήστε την απόδοση του ταξινομητή με βάση το σύνολο δοκιμής εργαζόμενοι ως εξής: Κατ' αρχήν, **υπολογίστε το μητρώο σύγχυσης (confusion matrix)**⁵ και προσδιορίστε τις κλάσεις που δεν διαχωρίζονται καλά από τον ταξινομητή (αν υπάρχουν). Στη συνέχεια, **υπολογίστε την ποσοστό επιτυχίας** του ταξινομητή (άθροισμα των διαγώνιων στοιχείων του μητρώου σύγχυσης προς το άθροισμα όλων των στοιχείων του μητρώου).

Για τους ταξινομητές **Naïve Bayes**⁶ και **ελάχιστης Ευκλείδειας απόστασης**:

Αφού αυτοί δεν εμπλέκουν παραμέτρους που ορίζονται από το χρήστη, εφαρμόστε για καθέναν από αυτούς το βήμα (ii) που περιγράφεται πιο πάνω.

- (B) **Συγκρίνετε** τα αποτελέσματα που προκύπτουν για κάθε ταξινομητή και **σχολιάστε** ανάλογα (συσχετίστε το μητρώο σύγχυσης που προκύπτουν για κάθε ταξινομητή (με βάση το σύνολο δοκιμής) και δώστε ιδιαίτερη προσοχή στα μη διαγώνια στοιχεία αυτών, τα οποία είναι «σημαντικά» (δεν είναι πολύ μικρά). Για παράδειγμα, ένα μη διαγώνιο στοιχείο με τιμή 1 δεν δίνει κάποια σημαντική πληροφορία). Επίσης **οπτικοποιήστε** τα αποτελέσματά σας ως εξής: κατασκευάστε μία δι-διάστατη εικόνα (όπου θα απεικονίζονται ΟΛΑ τα εικονοστοιχεία και από τα τρία σύνολα) έτσι ώστε τα εικονοστοιχεία της ίδιας κλάσης να απεικονίζονται με το ίδιο χρώμα. Στη συνέχεια, για κάθε ταξινομητή, κατασκευάστε μια παρόμοια εικόνα όπου τώρα τα εικονοστοιχεία που ταξινομήθηκαν από τον εκάστοτε ταξινομητή στην ίδια κλάση θα απεικονίζονται με το ίδιο χρώμα.

⁵ Στην προκειμένη περίπτωση πρόκειται για ένα πίνακα τάξης 5×5 (αφού στο πρόβλημα εμπλέκονται 5 κλάσεις), του οποίου το (i,j) στοιχείο είναι ο αριθμός των εικονοστοιχείων που ενώ ανήκουν στην i -στη κλάση, αυτά καταχωρούνται από τον ταξινομητή στην j -στη κλάση. Είναι σαφές ότι όσο «πιο διαγώνιος» είναι ο πίνακας, τόσο καλύτερη είναι η απόδοση του ταξινομητή.

⁶ Για τον ταξινομητή αυτό υιοθετήστε μονοδιάστατες κανονικές κατανομές για κάθε χαρακτηριστικό.

(C) Κάτω από ποιες προϋποθέσεις πιστεύετε ότι ο **ταξινομητής Bayes**, χρησιμοποιώντας κανονικές κατανομές για τη μοντελοποίηση των κλάσεων θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στο πλαίσιο της παρούσας εφαρμογής; (θυμηθείτε ότι σε μια τέτοια περίπτωση θα έπρεπε να υπολογιστεί ο πίνακας συνδιασποράς για κάθε κλάση).