

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΕΡΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ HYPERION ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ

Νικολακόπουλος Κ.¹, Καραθανάση Β.²

¹IGME

²ΕΜΠ, Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών

Περίληψη

Το συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη χρήση υπερφασματικών δεδομένων τηλεπισκόπησης αποτέλεσε το κίνητρο ώστε σε αυτή την εργασία να ερευνησουμε τις δυνατότητες των δορυφορικών υπερφασματικών δεδομένων για τη χαρτογράφηση παράκτιων περιοχών.

Η περιοχή μελέτης εντοπίζεται στον κόλπο της Χαλκίδας. Στη συγκεκριμένη θαλάσσια περιοχή έχουμε υποθαλάσσιες και παράκτιες πηγές, σχετικά αβαθή νερά με αυξημένη παρουσία υποθαλάσσιας βλάστησης, βιομηχανικά και αστικά απόβλητα. Όλα αυτά δημιουργούν ένα πολύ δυσδιάκριτο ως προς τη χαρτογράφηση υδάτινο τοπίο. Έτσι, κρίθηκε σκόπιμη η χρήση υπερφασματικών δεδομένων και ειδικών τεχνικών ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας για τη χαρτογράφηση της συγκεκριμένης παράκτιας περιοχής.

Χρησιμοποιήθηκαν δύο εικόνες Hyperion που ελήφθησαν, πάνω από την ίδια περιοχή με διαφορά εννέα ημερών, το καλοκαίρι του 2004. Με GPS εντοπίστηκαν οι περιοχές που εκβάλλουν οι πηγές και έγιναν μετρήσεις με ραδιόμετρο χειρός.

Έγινε μείωση του αρχικού όγκου των δεδομένων, και επιλογή συγκεκριμένων φασματικών ζωνών εφαρμόζοντας μαθηματικά και στατιστικά κριτήρια στη μετρήσεις με το ραδιόμετρο χειρός. Στην συνέχεια εφαρμόστηκαν αλγόριθμοι ταξινόμησης όπως οι SAM, Linear Unmixing κ.α.

Τα αποτελέσματα κρίνονται πολύ ικανοποιητικά. Ο εντοπισμός των υποθαλάσσιων πηγών δεν κατέστη δυνατός λόγω της χωρικής διακριτικής ικανότητας του δέκτη. Θαλάσσια ρεύματα και η παράκτια ζώνη της χλωροφύλλης αναγνωρίστηκαν και χαρτογραφήθηκαν. Επιπλέον εξήχθησαν χρήσιμα συμπεράσματα από τη χρήση των αλγορίθμων τα οποία και παρουσιάζονται στην εργασία.

HYPERSPECTRAL DATA AND METHODS FOR COASTAL WATER MAPPING

Nikolakopoulos Konstantinos G. ¹, Karathanassi Vassilia ²

¹IGME

²National Technical University of Athens, School of Rural and Surveying Engineering,
Remote Sensing Laboratory

Abstract

Motivated by the increasing importance of hyperspectral remote sensing, this study investigates the potential of the current-generation satellite hyperspectral data for coastal water mapping.

Two narrow-band Hyperion images, acquired in summer 2004 within a nine day period, were used. The study area is situated at the northern sector of south Evvoikos Gulf, in Central Greece. Underwater springs, inwater streams, urban waste and industrial waste are present in the gulf. Thus, further research regarding the most appropriate methods for

coastal water mapping is advisable. In situ measurements with a GPS have located the positions of all sources of water and waste. At these positions groundspectro-radiometer measurements were also implemented.

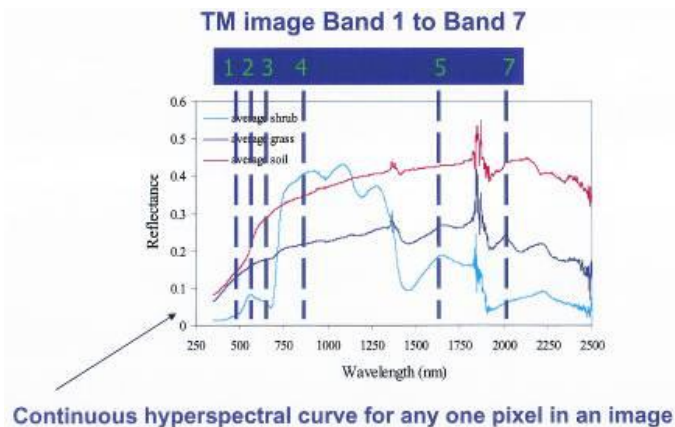
Two different approaches were used for the reduction of the Hyperion bands. First, on the basis of histogram statistics the uncalibrated bands were selected and removed. Then the Minimum Noise Fraction was used to classify the bands according to their signal to noise ratio. The noisiest bands were removed and thirty-eight bands were selected for further processing. Second, mathematical and statistical criteria were applied to the in situ radiometer measurements of reflectance and radiance in order to identify the most appropriate parts of the spectrum for the detection of underwater springs and urban waste. This approach has determined nine hyperspectral bands.

The Pixel Purity Index and the n-D Visualiser methods were used for the identification of the spectra endmembers. Both whole (Spectral Angle Mapper or Spectral Feature Fitting) and sub pixel methods (Linear Unmixing or Mixture-Tuned Matched Filtering) were used for further analysis and classification of the data.

Bands resulting from processing the groundspectro-radiometer measurements produced the highest classification results. The spatial resolution of the Hyperion hyperspectral data does not allow the detection and classification of underwater springs. Contrary, inwater streams and chlorophyll are satisfactorily classified. The SAM classification method seems to work better as the number of endmembers increases. The Linear Unmixing classification method gives better results as the number of endmembers decreases.

Λέξεις κλειδιά: υπερφασματικά δεδομένα, χαρτογράφηση παράκτιας περιοχής.

Key words: Hyperspectral, Hyperion, coastal water mapping.



Σχήμα 1. Ανακλάσεις τριών διαφορετικών επιφανειών (γρασίδι, έδαφος, θάμνοι) όπως καταγράφονται από τις πολυφασματικές και τις υπερφασματικές ζώνες αντίστοιχα.

1. Εισαγωγή

Οι περισσότεροι δορυφορικοί πολυφασματικοί δέκτες (Landsat, SPOT, AVHRR) καταγράφουν την ανάκλαση από τα διάφορα υλικά της γήινης επιφάνειας σε λίγες φαρδιές φασματικές ζώνες μήκους αρκετών δεκάδων ή εκατοντάδων nm. Ανάμεσά τους υπάρχουν φασματικά κενά διαστήματα δηλ στα οποία δεν καταγράφεται η ανακλώμενη ακτινοβολία. Σε

αντίθεση οι υπερφασματικοί δέκτες καταγράφουν τη φασματική ακτινοβολία σε μία σειρά από συνεχείς στενές φασματικές ζώνες της τάξης των 10nm. Έτσι η ανάκλαση ενός εικονοστοιχείου από υπερφασματικό δέκτη απεικονίζεται σαν μία συνεχής γραμμή και μοιάζει σαν ανάκλαση μετρημένη σε εργαστήριο φασματοσκοπίας. Αυτού του τύπου οι φασματικές ζώνες μπορούν θεωρητικά να καταγράψουν πολύ περισσότερη πληροφορία σε σχέση με τις κλασσικές πολυφασματικές ζώνες. Στο σχήμα 1 παρουσιάζονται συγκριτικά οι ανακλάσεις τριών διαφορετικών επιφανειών όπως καταγράφονται από τις πολυφασματικές και τις υπερφασματικές ζώνες αντίστοιχα.

Τα υπερφασματικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για τον εντοπισμό και τη χαρτογράφηση ποικίλων υλικών και σε υδάτινο περιβάλλον. Π.χ. υπερφασματικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της ποιότητας του νερού (Kallio et al., 2001; Ostlund et al., 2001; Flink et al., 2001; Galvao et al., 2003; Hakvoort et al., 2002), την χαρτογράφηση της βαθυμετρίας Sandidge and Holyer (1998) ή του ευτροφισμού σε λίμνες (Vos et al., 2003) και γενικά τη χαρτογράφηση παράκτιων περιοχών (Nikolakopoulos et al., 2006).

2. Περιοχή μελέτης, δεδομένα και προεπεξεργασία των δεδομένων

Η περιοχή μελέτης εντοπίζεται στο βόρειο τμήμα του Νότιου Ευβοϊκού κόλπου. Υποθαλάσσιες πηγές, θαλάσσια ρεύματα, αστικά και βιομηχανικά απόβλητα συνθέτουν ένα περίπλοκο θαλάσσιο περιβάλλον ιδανικό για να δοκιμαστούν οι δυνατότητες που παρέχουν τα υπερφασματικά δεδομένα στο διαχωρισμό συγγενών ειδών.

Στην περιοχή αυτή εμφανίζονται καθ' όλο το έτος επιφανειακές εκκρές γλυκών νερών στην παράκτια ζώνη και επιπλέον διαμορφώνονται υποθαλάσσιες εκκρές, που σχηματίζουν στροβιλισμούς (ανάβαλοι). Οι ορατοί ανάβαλοι είναι 4-5 σε αριθμό, με διάμετρο από 1 έως 5 μ.



Σχήμα 2. Στα αριστερά παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης και θέσεις των επιτόπιων μετρήσεων. Στα δεξιά η θαλάσσια περιοχή μελέτης μετά το διαχωρισμό θάλασσας-ξηράς.

Έγινε εντοπισμός και χαρτογράφηση στο ύπαιθρο με τη χρήση GPS όλων των θέσεων που εκβάλλουν οι υποθαλάσσιες πηγές. Επίσης χαρτογραφήθηκαν οι εστίες μόλυνσης. Σε όλες αυτές τις θέσεις έγιναν μετρήσεις της ανάκλασης με ραδιόμετρο χειρός. Επιπλέον σε συνεργασία με το ΕΛΚΕΘΕ έγιναν μετρήσεις θερμοκρασίας, αλατότητας και θολερότητας σε διάφορες θέσεις (σχήμα 2 αριστερό τμήμα).

Δύο εικόνες Hyperion που ελήφθησαν το καλοκαίρι του 2004 με διαφορά εννέα ημερών χρησιμοποιήθηκαν. Η πρώτη εικόνα ελήφθη στις 24 Ιουνίου και η δεύτερη στις 2 Ιουλίου.

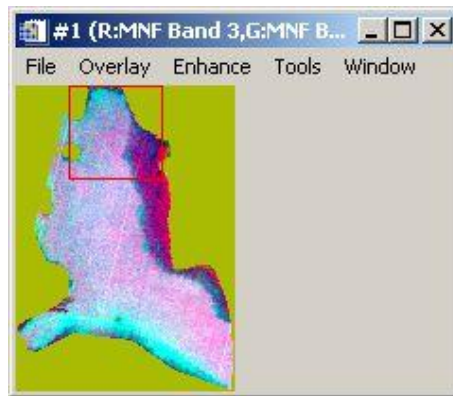
Ο δέκτης Hyperion φέρει δύο ραδιόμετρα και συλλέγει 242 φασματικές ζώνες με εύρος 10 nm. Οι εβδομήντα ζώνες συλλέγονται στο ορατό κοντινό υπέρυθρο τμήμα του φάσματος και οι υπόλοιπες στο μέσο υπέρυθρο. Το πλάτος της εδαφικής λωρίδας που σαρώνεται σε κάθε τροχιά είναι 7,5 km και η χωρική διακριτική ικανότητα είναι 30 μέτρα.

Οι εικόνες γεωαναφέρθηκαν στο προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ 87 και στη συνέχεια διαχωρίστηκε η στεριά από τη θάλασσα χρησιμοποιώντας μία δυαδική μάσκα (σχήμα 2 δεξιά τμήμα).

3. Μείωση του όγκου των δεδομένων και επιλογή φασματικών στόχων

Αρχικά, όλες οι φασματικές ζώνες εξετάστηκαν οπτικά. Ο οπτικός έλεγχος εντόπισε ζώνες που κυριαρχούνταν από θόρυβο ή δεν είχαν καταγράψει καμία πληροφορία. Στη συνέχεια εξετάστηκαν οι στατιστικές παράμετροι των φασματικών ζωνών. Ο έλεγχος των βασικών παραμέτρων του ιστογράμματος όπως η ελάχιστη τιμή, η μέγιστη τιμή, η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση επιβεβαίωσαν την ύπαρξη ζωνών χωρίς χρήσιμη πληροφορία. Σαν αποτέλεσμα των δύο ελέγχων επιλέχθηκαν 118 ζώνες για την περαιτέρω ψηφιακή επεξεργασία.

Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε η τεχνική Minimum Noise Fraction Transform (MNF) που παρουσίασαν οι Green *et al.*, (1988) για τη κατάταξη των υπερφασματικών ζωνών με βάση το λόγο σήματος προς θόρυβο και την μείωση του όγκου των δεδομένων. Οι πρώτες 38 συνιστώσες MNF (σχήμα 3) περιέχουν το μεγαλύτερο όγκο πληροφορίας (καλύτερο λόγο σήματος προς θόρυβο) ενώ οι τελευταίες συνιστώσες κυριαρχούνται από θόρυβο. Οι 38 αυτές συνιστώσες αποτέλεσαν ένα πρώτο σετ δεδομένων.



Σχήμα 3. Ψευδέγχρωμος συνδυασμός από τις τρεις πρώτες συνιστώσες MNF.

Κατόπιν ο δείκτης ευαισθησίας Schlapfer (Schlapfer *et al.*, 1995) εφαρμόστηκε στις μετρήσεις reflectance and radiance του ραδιομέτρου με σκοπό να αναγνωριστούν οι πιο κατάλληλες περιοχές του φάσματος για τη διάκριση των υποθαλάσσιων αναβλύσεων. Οι υπαίθριες μετρήσεις έγιναν στις 23 Ιουνίου 2005 και απέδωσαν δεκαοχτώ ζώνες ευαίσθητες στον εντοπισμό των υποθαλάσσιων πηγών. Οι εννέα ζώνες προήλθαν από τις μετρήσεις radiance και οι άλλες εννέα από τις μετρήσεις reflectance. Ένα δεύτερο (από τις μετρήσεις radiance) και ένα τρίτο (από τις μετρήσεις reflectance) σετ δεδομένων δημιουργήθηκαν.

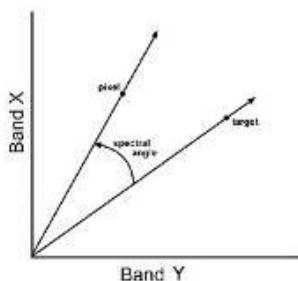
Οι συνιστώσες MNF προβάλλονται σε ένα χώρο n -διαστάσεων όπου με γεωμετρικές μεθόδους απομονώνονται εικονοστοιχεία που παρουσιάζουν ακραίες τιμές (Boardman, 1993). Οι τεχνικές αυτές περιγράφηκαν για πρώτη φορά το 1990 (Craig, 1990). Ορίζεται μία σειρά από τυχαίες διευθύνσεις στο χώρο και πάνω σε αυτές προβάλλονται τα εικονοστοιχεία. Τυχόν ακραίες τιμές (χαμηλές ή υψηλές) σημειώνονται και για κάθε εικονοστοιχείο σημειώνεται το πόσες φορές θεωρήθηκε ακραίο (Boardman *et al.*, 1995). Στη συνέχεια τα εικονοστοιχεία με τις υψηλότερες τιμές (μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης σαν ακραίο) περνούν από μία διαδικασία ομαδοποίησης (clustering) η οποία δημιουργεί τους τελικούς φασματικούς στόχους.

4. Ανάλυση υπερφασματικών δεδομένων και ταξινόμηση

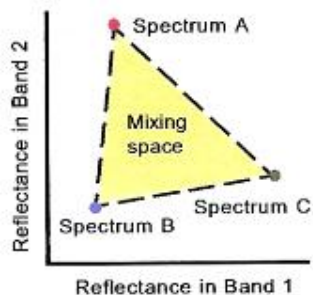
Πολλές μέθοδοι ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας αναπτύχθηκαν ειδικά για την εκμετάλλευση του μεγάλου όγκου πληροφορίας που περιέχεται στις υπερφασματικές εικόνες. Οι μέθοδοι αυτοί συγκρίνουν τη φασματική ανάκλαση του εικονοστοιχείου με μία φασματική ανάκλαση αναφοράς. Η ανάκλαση αναφοράς μπορεί να προέρχεται είτε από μία φασματική βιβλιοθήκη, είτε από συγκεκριμένες περιοχές που έχουν χαρτογραφηθεί, είτε από την ίδια την εικόνα (φασματικοί στόχοι).

Αυτές οι τεχνικές χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Στην πρώτη περίπτωση θεωρούμε ότι σε κάθε εικονοστοιχείο περιλαμβάνεται ένας φασματικός στόχος. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται αλγόριθμοι επιβλεπόμενης ταξινόμησης όπως οι minimum distance ή maximum likelihood (Richards and Jia, 1999), καθώς και αλγόριθμοι ειδικά σχεδιασμένοι για την ταξινόμηση υπερφασματικών δεδομένων όπως ο Spectral Angle Mapper (Yúhas et al., 1992) ή ο Spectral Feature Fitting που βασίζεται σε εργασία των (Clark et al., 1991). Ο αλγόριθμος Spectral Angle Mapper (SAM) παρουσιάζεται στο σχήμα 4 υπολογίζει τη γωνία που δημιουργείται μεταξύ του διανύσματος κάθε εικονοστοιχείου και του διανύσματος του φασματικού στόχου.

Στην παραπάνω περίπτωση θεωρήθηκε ότι κάθε εικονοστοιχείο περιέχει ένα μόνο φασματικό στόχο άρα και η ανάκλαση του είναι αντιπροσωπευτική του φασματικού στόχου. Δυστυχώς στη φύση αυτό δεν συμβαίνει. Κάθε εικονοστοιχείο αποτελεί μείγμα περισσότερων του ενός φασματικών στόχων, εξαλλοιώσεων της βλάστησης του νερού και της σκίασης του αναγλύφου. Κατά συνέπεια και η ανάκλαση από αυτό το εικονοστοιχείο διαφοροποιείται από την αντίστοιχη των φασματικών στόχων και πιθανότατα αποτελεί ένα μείγμα όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 5. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται αλγόριθμοι όπως ο Complete Linear Spectral Unmixing (Adams et al., 1986, Boardman, 1989) ή ο Matched Filtering (Boardman et al., 1995). Σε ιδανικές συνθήκες οι αλγόριθμοι αυτοί μπορούν να εντοπίσουν φασματικούς στόχους που καλύπτουν μόλις το 1-3% του εικονοστοιχείου.



Σχήμα 4. Ταξινόμηση υπερφασματικών δεδομένων με βάση τον αλγόριθμο Spectral Angle Mapper (SAM).



Σχήμα 5. Τιμή ανάκλασης ενός σύνθετου εικονοστοιχείου TNT MIPS (2005).

5. Αποτελέσματα

Για την ταξινόμηση των MNF συνιστώσων χρησιμοποιήθηκαν τρεις από τους παραπάνω αλγόριθμους. Ειδικότερα οι αλγόριθμοι SAM, Linear Spectral Unmixing, και Mixture-Tuned Matched Filtering εφαρμόστηκαν σε τρία σετ δεδομένων. Το πρώτο αποτελούνταν από τις 38 συνιστώσες MNF. Το δεύτερο από τις εννέα ζώνες που επιλέχθηκαν με βάση τις μετρήσεις reflectance και το τρίτο αποτελούνταν από τις εννέα ζώνες που επιλέχθηκαν με βάση τις μετρήσεις radiance.

Καθώς ο ακριβής αριθμός των φασματικών στόχων δεν ήταν γνωστός έγιναν πολλές δοκιμές ταξινόμησης θεωρώντας ότι ο αριθμός των φασματικών στόχων ποίκιλε. Για το πρώτο σετ δεδομένων υποθέσαμε ότι ο αριθμός των φασματικών στόχων κυμαινόταν μεταξύ 17 και 3. Για το δεύτερο και το τρίτο σετ δεδομένων θεωρήθηκε ότι ο αριθμός των φασματικών στόχων κυμαινόταν μεταξύ 9 και 3.

Παρατηρήθηκε ότι ο αριθμός των επεξεργασμένων ζωνών διαφοροποιεί το τελικό αποτέλεσμα της ταξινόμησης. Στα σχήματα 6, 7 και 8 αποτυπώνονται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης από τρία διαφορετικά σετ δεδομένων. Και στις τρεις περιπτώσεις θεωρήθηκε ότι ο αριθμός των φασματικών στόχων που περιέχονται στην εικόνα είναι 9. Η ταξινόμηση από το σετ δεδομένων των 38 MNF συνιστωσών έδωσε τα χειρότερα αποτελέσματα. Οι υποθαλάσσιες πηγές δεν εντοπίστηκαν (σχήμα 6). Αντιθέτως, τα σετ δεδομένων των εννέα ζωνών που επιλέχθηκαν με βάση τις μετρήσεις του ραδιομέτρου έδωσαν καλύτερα αποτελέσματα. Στο Βόρειο-ανατολικό τμήμα του κόλπου όταν εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος SAM στις μετρήσεις reflectance, παρατηρήθηκε θολερότητα του νερού (μωβ χρώμα) που δημιουργείται από τις δύο υποθαλάσσιες αναβλύσεις, από θαλάσσια ρεύματα και από διελεύσεις σκαφών (σχήμα 7). Η ίδια θολερότητα εντοπίζεται με δυσκολία όταν χρησιμοποιείται το σετ δεδομένων από τις μετρήσεις radiance (σχήμα 8). Κυρίως στο σχήμα 7 και λιγότερο στο σχήμα 8 φαίνεται ότι η παρουσία του φρέσκου νερού διαφοροποιεί το μωβ χρώμα της θάλασσας χωρίς όμως να μπορεί να χαρτογραφηθεί η ανάβλυση. Οι δεκαοχτώ ζώνες που επιλέχθηκαν με βάση τις μετρήσεις του ραδιομέτρου περιλαμβάνονται και στο σετ των 38 άρα καθίσταται προφανές ότι ο μεγάλος αριθμός των ζωνών δεν επέτρεψε τον εντοπισμό του τυρβώδους ρεύματος αφού και στις τρεις περιπτώσεις οι ίδιοι αλγόριθμοι ταξινόμησης χρησιμοποιήθηκαν.

Τα θαλάσσια ρεύματα εντοπίζονται και χαρτογραφούνται με ευκολία στα δύο πρώτα σετ δεδομένων. Στη μέση του κόλπου και με διεύθυνση Α-Δ υπάρχει ένα θαλάσσιο ρεύμα το οποίο εντοπίζεται με άσπρο χρώμα στο σχήμα 6 και με μωβ στο σχήμα 7. Η χλωροφύλλη καλύπτει όλη σχεδόν την ανατολική ακτή του κόλπου. Εντοπίστηκε και χαρτογραφήθηκε σε όλα τα σετ δεδομένων με τη χρήση του αλγόριθμου SAM. Παρουσιάζεται με διαφορετικά χρώματα (άσπρο χρώμα στο σχήμα 6 δεξιά, πράσινο χρώμα στο σχήμα 7 και φούξια στο σχήμα 8) ανάλογα με το σετ δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε για την ταξινόμηση.

Καθώς ο αριθμός των φασματικών στόχων μειώνεται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης βελτιώνονται όταν χρησιμοποιούνται οι αλγόριθμοι Linear Spectral Unmixing (σχήμα 9) και Mixture-Tuned Matched Filtering (σχήμα 10). Αντιθέτως, καθώς ο αριθμός των φασματικών στόχων μειώνεται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης χειροτερεύουν όταν ο αλγόριθμος Spectral Angle Mapper χρησιμοποιείται (σχήμα 11).

Γενικότερα, γίνεται αντιληπτό ότι ο αλγόριθμος MTMF δίνει τα χειρότερα αποτελέσματα ανεξάρτητα από τον αριθμό των ζωνών που επεξεργάζονται και ανεξάρτητα από τον αριθμό των φασματικών στόχων που περιλαμβάνονται.

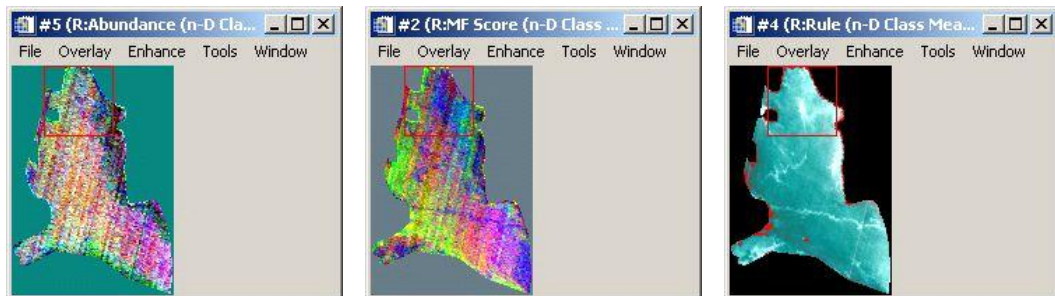
6. Συμπεράσματα

Τα δορυφορικά υπερφασματικά δεδομένα Hyperion αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο για τη χαρτογράφηση παράκτιων περιοχών. Η χωρική διακριτική ικανότητα του δέκτη δεν επιτρέπει τον εντοπισμό μικρών παράκτιων πηγών. Καθώς ο αριθμός των επεξεργασμένων ζωνών μειώνεται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης βελτιώνονται. Τα υπερφασματικά δεδομένα Hyperion δίνουν πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα στην ανίχνευση και ταξινόμηση τόσο της υποθαλάσσιας πανίδας (χλωροφύλλης) όσο και στον εντοπισμό θαλάσσιων ρευμάτων.

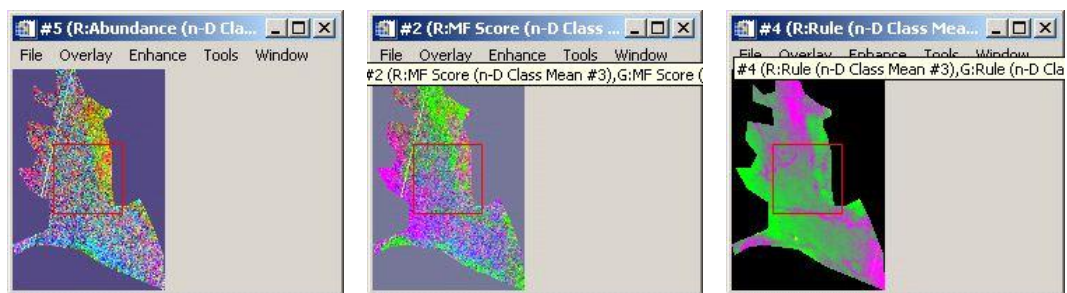
Για να επιτευχθεί η σωστή ταξινόμηση μίας εικόνας είναι απαραίτητη η εκ των προτέρων γνώση του αριθμού των φασματικών στόχων που περιλαμβάνονται στην εικόνα.

Καθώς ο αριθμός των φασματικών στόχων μειώνεται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης βελτιώνονται όταν ο αλγόριθμος Linear Spectral Unmixing χρησιμοποιείται.

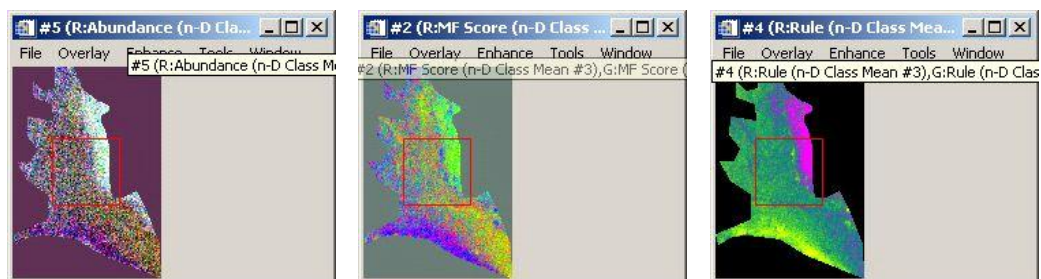
Αντιθέτως, καθώς ο αριθμός των φασματικών στόχων μειώνεται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης χειροτερεύουν όταν ο αλγόριθμος Spectral Angle Mapper χρησιμοποιείται.



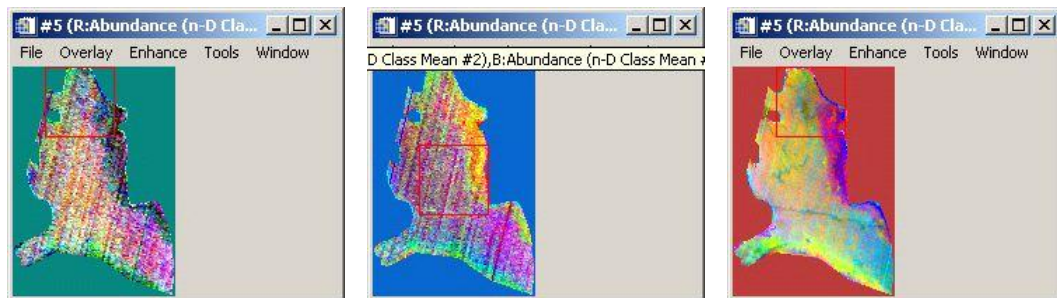
Σχήμα 6. Το σετ των δεδομένων αποτελείται από τις 38 συνιστώσες MNF. Θεωρήθηκε ότι η εικόνα περιέχει εννέα φασματικού στόχους. Από αριστερά προς τα δεξιά το αποτέλεσμα της ταξινόμησης με βάση τους αλγόριθμους Linear Spectral Unmixing, Mixture-Tuned Matched Filtering και Spectral Angle Mapper.



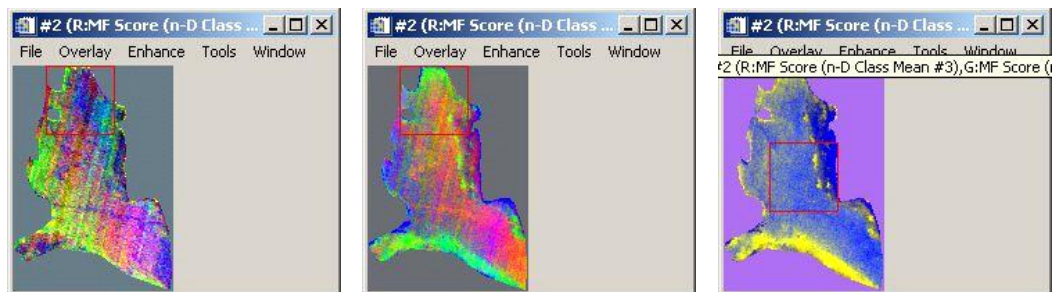
Σχήμα 7. Το σετ των δεδομένων αποτελείται από εννέα ζώνες του Hyperion που επιλέχθηκαν με βάση τις μετρήσεις reflectance του ραδιομέτρου. Θεωρήθηκε ότι η εικόνα περιέχει εννέα φασματικού στόχους. Από αριστερά προς τα δεξιά το αποτέλεσμα της ταξινόμησης με βάση τους αλγόριθμους Linear Spectral Unmixing, Mixture-Tuned Matched Filtering και Spectral Angle Mapper.



Σχήμα 8. Το σετ των δεδομένων αποτελείται από εννέα ζώνες του Hyperion που επιλέχθηκαν με βάση τις μετρήσεις radiance του ραδιομέτρου. Θεωρήθηκε ότι η εικόνα περιέχει εννέα φασματικούς στόχους. Από αριστερά προς τα δεξιά το αποτέλεσμα της ταξινόμησης με βάση τους αλγόριθμους Linear Spectral Unmixing, Mixture-Tuned Matched Filtering και Spectral Angle Mapper.



Σχήμα 9. Καθώς ο αριθμός των φασματικών στόχων μειώνεται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης βελτιώνονται όταν ο αλγόριθμος *Linear Spectral Unmixing* χρησιμοποιείται. Από αριστερά προς τα δεξιά ο αριθμός των φασματικών στόχων μειώνεται (12, 5 και 3 αντίστοιχα). Το σετ των δεδομένων αποτελείται από τις 38 συνιστώσες MNF.



Σχήμα 10. Καθώς ο αριθμός των φασματικών στόχων μειώνεται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης βελτιώνονται όταν ο αλγόριθμος *Mixture-Tuned Matched Filtering* χρησιμοποιείται. Από αριστερά προς τα δεξιά ο αριθμός των φασματικών στόχων μειώνεται (12, 5 και 3 αντίστοιχα). Το σετ των δεδομένων αποτελείται από τις 38 συνιστώσες MNF.



Σχήμα 11. Καθώς ο αριθμός των φασματικών στόχων μειώνεται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης χειροτερεύουν όταν ο αλγόριθμος *SAM* χρησιμοποιείται. Από αριστερά προς τα δεξιά ο αριθμός των φασματικών στόχων μειώνεται (9, 5 και 3 αντίστοιχα). Το σετ των δεδομένων αποτελείται από τις 9 εννέα ζώνες του *Hyperion* που επιλέχθηκαν με βάση τις μετρήσεις *radiance* του ραδιομέτρου.

Ευχαριστίες

Η παρούσα μελέτη έγινε στα πλαίσια του προγράμματος «*Ανάπτυξη Αερομεταφερόμενου Συστήματος Τηλεσκοπικών Υπερφασματικών Δεκτών για την Εύρεση Υποθαλάσσιων και Παράκτιων Πηγών Γλυκού Νερού*» που χρηματοδοτήθηκε από το πρόγραμμα Ανταγωνιστικότητα του Υπουργείου Ανάπτυξης.

Βιβλιογραφία

Adams, J. B., Smith, M. O., and Johnson, P.E., 1986. Spectral mixture modelling: A new analysis of rock and soil types at the Viking Lander 1 site. *Journal of Geophysical Research*, vol. 91(B8), pp. 8090-8112.

Boardman, J. W., 1989. Inversion of imaging spectrometry data using singular value decomposition. *Proceedings of the Twelfth Canadian Symposium on Remote Sensing*, v. 4., pp. 2069-2072.

Boardman, J. W., 1993. Automating spectral unmixing of AVIRIS data using convex geometry concept. In *Summaries of the Fourth Annual JPL Airborne Geosciences Workshop, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, 25-29 October 1993*, 93-26, 11-14.

Boardman, J. W., Kruse, F. A., and Green, R. O., 1995. Mapping target signatures via partial unmixing of AVIRIS data. In *Summaries of the Fifth JPL Airborne Earth Science Workshop, JPL Publication 95-1*, v. 1, pp. 23-26.

Clark, R. N., Swayze, G. A., Gallagher, A., Gorelick, N., and Kruse, F. A., 1991. Mapping with imaging spectrometer data using the complete band shape leastsquares algorithm simultaneously fit to multiple spectral features from multiple materials. In *Proceedings of the Third Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) workshop, JPL Publication 91-28*, pp. 2-3.

Craig, M. D., 1990. Unsupervised unmixing of remotely sensed images. In *Proceedings Fifth Australasian Remote Sensing Conference, Perth, Western Australia, 8-12 October 1990* (published by 5th Australian Remote Sensing Conference Incorporated, Perth), pp. 324-330.

Flink, P., T. Lindell, et al. (2001). Statistical analysis of hyperspectral data from two Swedish lakes. *Science of the Total Environment* 268(1-3): 155-169.

Galvao, L. S., W. Pereira, et al. (2003). Spectral reflectance characterization of shallow lakes from the Brazilian Pantanal wetlands with field and airborne hyperspectral data. *International Journal of Remote Sensing* 24(21): 4093-4112.

Green, A.A, Berman, M., Switzer, P., Craig, M.D., 1988. A transformation for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 26, pp. 65-74.

Hakvoort Hans, Johan de Haan, Rob Jordans, Robert Vos, Steef Peters, & Machteld Rijkeboer. Towards airborne remote sensing of water quality in The Netherlands—validation and error analysis. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 57 (2002) 171-183.

Kallio, K., T. Kutser, et al. 2001. Retrieval of water quality from airborne imaging spectrometry of various lake types in different seasons. *Science of the Total Environment* 268(1-3): 59-77.

Ostlund, C., P. Flink, et al. 2001. Mapping of the water quality of Lake Erken, Sweden, from Imaging Spectrometry and Landsat Thematic Mapper. *Science of the Total Environment* 268(1-3): 139-154.

TNTMIPS 2005. Introduction to Hyperspectral Imaging. p.24. Microimages, Inc. Lincoln, Nebraska, USA.

Richards, J.A., and Jia, X., 1999. Remote Sensing Digital Image Analysis, an Introduction. Third Edition. Springer-Verlag: Berlin.

Sandidge Juanita C. and Ronald J. Holyer, 1998. Coastal Bathymetry from Hyperspectral Observations of Water Radiance. Remote Sensing of Environment 65: 341–352.

Schlapfer D., Keller J., Schaepman M., Itten K.I., 1995. Imaging spectrometry of tropospheric ozone: methodology of channel selection. Presented at the International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS '95, IEEE International, July 10-14, Florence, Italy, Paper not published in the proceedings due to shortterm acceptance.

Vos R.J., J.H.M. Hakvoort, R.W.J. Jordans , B.W. Ibelings, 2003. Multiplatform optical monitoring of eutrophication in temporally and spatially variable lakes. The Science of the Total Environment 312 221–243.

Yuhas, R.H., Goetz, A. F. H., and Boardman, J. W., 1992. Discrimination among semiarid landscape endmembers using the spectral angle mapper (SAM) algorithm. In Summaries of the Third Annual JPL Airborne Geoscience Workshop, JPL Publication 92-14, vol. 1, pp. 147-149.