

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΒΑΣΗΣ ΓΝΩΣΗΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΟΥ EXPERT CLASSIFIER ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΛΥΨΗΣ/ΧΡΗΣΗΣ ΓΗΣ (ΕΠΙΠΕΔΟ Ι) ΑΠΟ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΙΚΟΝΟΣ¹

ΑΡΓΙΑΛΑΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ² , ΓΚΟΥΝΤΟΥΛΑ ΒΑΣΙΛΙΚΗ²

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκε η ταξινόμηση κάλυψης και χρήσης γης από δεδομένα υψηλής ανάλυσης του δορυφόρου ΙΚΟΝΟΣ με χρήση εμπειρών συστημάτων για ένα τυπικό Ελληνικό τοπίο. Αρχικά έγινε φωτοερμηνεία της εικόνας και επιβλεπόμενη ταξινόμηση με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας. Στη συνέχεια αναπτύχθηκε η λεπτομερής ιεραρχική δομή μιας βάσης γνώσης ταξινόμησης. Η βάση γνώσης αναπαρίσταται με τη μορφή ενός δικτύου κανόνων. Ο κάθε κανόνας αποτελείται από την υπόθεση μιας τάξης και τις συνθήκες που πρέπει να ικανοποιούνται για να ισχύει η υπόθεση του κανόνα. Η κάθε συνθήκη αποτελείται από μεταβλητές (ράστερ, διανυσματικής ή βαθμωτής μορφής). Η παρούσα εργασία παρουσιάζει του κανόνες του επιπέδου Ι της ταξινόμησης το οποίο περιέλαβε τις κατηγορίες βλάστηση, νερό και έδαφος. Η ακρίβεια της επιβλεπόμενης ταξινόμησης ήταν 72% ενώ αυτή του εμπειρού συστήματος ήταν 82%.

ABSTRACT

Land cover and land use classification from the new high-resolution remote sensing data are one of the challenges Earth Observation faces today. High spatial resolution imagery contain much higher information than any previous type of imagery and thus it is difficult to be classified using the usual techniques of multi-spectral classification since a whole category can consist of many pixels of different spectral characteristics. Unlike the traditional pixel-based classifiers, expert systems can include rules for spectral relations and ancillary information. The aim of this study was to examine the potential of extracting land cover / land use classes from high spatial resolution data for a typical Greek landscape. Data used included an IKONOS image of the Arkadi area in Crete acquired on September 2000, and a digital terrain model. The Expert system shell Expert Classifier of ERDAS Imagine was used for the knowledge base development. First was carried out photointerpretation of the image using color composites, band ratios and maps of scale 1:5.000 and 1:50.000. The method of maximum likelihood was used for per pixel supervised classification, the accuracy of which was about 72%. A knowledge base containing 51 production rules, 44 hypotheses and 12 variables was developed in the Expert Classifier. The organization of the classification categories was slightly different from that used in supervised classification. A hierarchical organization of classes was developed finally in four levels based on the photointerpreter's perception for the natural world and on the study of the relative measures from the image as well. These measures were spectral reflectance diagrams and thematic class histograms. So the image was first classified into three general categories, water like materials, vegetation like materials and soil like materials. These were then separated in the next three classification levels into sub-classes. Rules, apart from the spectral characteristics, were enriched with ancillary data like the slopes produced from the digital terrain model of the area, the digitized road network, the NDVI vegetation index, the results of a spatial model computing texture, the polygons shape and perimeter indices as well. Overall accuracy of the classification with the expert system was about 82%.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Εμπειρο σύστημα, ERDAS IMAGINE, χωρικό μοντέλο

KEY WORDS: Expert systems, ERDAS IMAGINE, spatial model

1: KNOWLEDGE BASE DEVELOPMENT IN THE EXPERT CLASSIFIER ENVIRONMENT FOR LAND USE / LAND COVER CLASSIFICATION (LEVEL I) FROM IKONOS DATA.

2: D. P. Argialas, V. N. Goudoula, National Technical University of Athens, Department of Rural & Surveying Engineering, Remote Sensing Laboratory, Zografou Campus, 15780, Greece. Tel: 0030-10-772-2595, e-mail: argialas@central.ntua.gr

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μια από τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει σήμερα η Τηλεπισκόπηση είναι η καταγραφή τάξεων κάλυψης/χρήσης γης από τις νέες εικόνες υψηλής χωρικής ανάλυσης οι οποίες περιέχουν περισσότερη χωρική πληροφορία από οποιαδήποτε προηγούμενα δεδομένα. Οι εικόνες υψηλής ανάλυσης είναι δύσκολο να ταξινομηθούν με τις συμβατικές τεχνικές πολυφασματικής ταξινόμησης καθώς μια μοναδική θεματική κατηγορία μπορεί να αποτελείται από πολλά εικονοστοιχεία με διαφορετικά φασματικά χαρακτηριστικά. Σε αντίθεση με τους παραδοσιακούς ταξινομητές που βασίζονται αποκλειστικά στη φασματική πληροφορία των εικονοστοιχείων, τα έμπειρα συστήματα μπορούν να ενσωματώσουν κανόνες για χωρικές σχέσεις και βοηθητική πληροφορία (Argialas and Harlow, 1990, ERDAS, 2000).

Στόχος της παρούσας μελέτης ήταν να διερευνηθεί η δυνατότητα εξαγωγής τάξεων κάλυψης γης και χρήσης γης από δεδομένα υψηλής ανάλυσης με χρήση εμπειρών συστημάτων για ένα τυπικό Ελληνικό τοπίο. Για την εκπόνηση της μελέτης χρησιμοποιήθηκε μια εικόνα της περιοχής Αρκαδίου Κρήτης από το δορυφόρο IKONOS, λήψης Σεπτεμβρίου 2000 (© Copyright Space Imaging Europe 2000), καθώς και ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους.

Το κέλυφος εμπειρών συστημάτων που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη της βάσης γνώσης ήταν το λογισμικό Expert Classifier της ERDAS IMAGINE (ERDAS, 2000). Η βάση γνώσης αναπαρίσταται σχηματικά με τη μορφή ενός δικτύου κανόνων. Ο κάθε κανόνας αποτελείται από την υπόθεση μιας τάξης και τις συνθήκες που πρέπει να ικανοποιούνται για να ισχύει η υπόθεση του κανόνα. Η κάθε συνθήκη αποτελείται από μεταβλητές (ράστερ, διανυσματικής ή βαθμωτής μορφής).

Σε προηγούμενες εργασίες που αναφέρονται στη δημιουργία βάσεων γνώσης εμπειρών συστημάτων για εφαρμογές ταξινόμησης, επιχειρήθηκε η δημιουργία ιεραρχιών χρήσεων γης (Carlotto et al., 1984, Erickson and Lickens, 1984, Wharton, 1987, Cívco, 1989). Στην παρούσα μελέτη επιχειρήθηκε η δημιουργία μιας ιεραρχικής αναπαράστασης των θεματικών (εννοιολογικών) κατηγοριών της γήινης επιφάνειας βασισμένης κατά κύριο λόγο στις φασματικές και κατά δεύτερο λόγο στις χωρικές ιδιότητες που μπορούν να αντιστοιχηθούν στις θεματικές κατηγορίες. Η ιεραρχική οργάνωση των τάξεων, που τελικά αναπτύχθηκε σε τέσσερα επίπεδα, βασίστηκε σε γνώσεις φωτοερμηνείας αλλά και στη μελέτη των σχετικών μέτρων της εικόνας και συγκεκριμένα των διαγραμμάτων φασματικής ανακλαστικότητας και των ιστογραμμάτων των τάξεων.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ

2.1. ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Για την εκπόνηση της παρούσας μελέτης χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από το δορυφόρο IKONOS και συγκεκριμένα εικόνα λήψης 18/9/2000 της περιοχής Αρκαδίου Κρήτης. Πρόκειται για έγχρωμη εικόνα χωρικής ανάλυσης 1 m που προήλθε από τη συγχώνευση εικόνας χωρικής ανάλυσης 1 m και πολυφασματικής εικόνας χωρικής ανάλυσης 4 m για την ίδια περιοχή. Το αποτέλεσμα είναι μια εικόνα με χωρική ανάλυση 1 m εμπλουτισμένη με την πλούσια χρωματική (φασματική) πληροφορία της πολυφασματικής εικόνας. Συγκεκριμένα ακτινοβολία έχει καταγραφεί σε τέσσερα κανάλια: Κανάλι 1 = 0.45 - 0.53 μm (μπλε), Κανάλι 2 = 0.52 - 0.61 μm (πράσινο), Κανάλι 3 = 0.64 - 0.72 μm (κόκκινο), Κανάλι 4 = 0.77 - 0.88 μm (εγγύς υπέρυθρο). Η εικόνα είναι γεωμετρικά διορθωμένη στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς του 1987 (ΕΓΣΑ '87) (Προβολή: Transverse Mercator, Ελλειψοειδές: GRS1980). Η γεωγραφική περιοχή που απεικονίζεται οριοθετείται από τα σημεία με συντεταγμένες (X,Y) αντίστοιχα: πάνω αριστερά (550393 m, 3916918 m) και κάτω δεξιά (555973 m, 3913556 m) στο ΕΓΣΑ '87.

Για την προσέγγιση της ταξινόμησης με έμπειρα συστήματα, εκτός από τα δεδομένα IKONOS χρησιμοποιήθηκαν συμπληρωματικά:

- Το αποτέλεσμα της επιβλεπόμενης ταξινόμησης.

- Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της περιοχής, το οποίο προέκυψε από ψηφιοποίηση των ανά 4 m ισοϋψών καμπυλών του τοπογραφικού διαγράμματος 1:5.000 της περιοχής.
- Το οδικό δίκτυο της περιοχής, που ψηφιοποιήθηκε επί της οθόνης από την αρχική εικόνα. Περιλαμβάνει 4 κατηγορίες: Εθνική Οδός, Ασφαλτόδρομοι, Χωματόδρομοι και Μονοπάτια.

2.2. ΦΩΤΟΕΡΜΗΝΕΙΑ

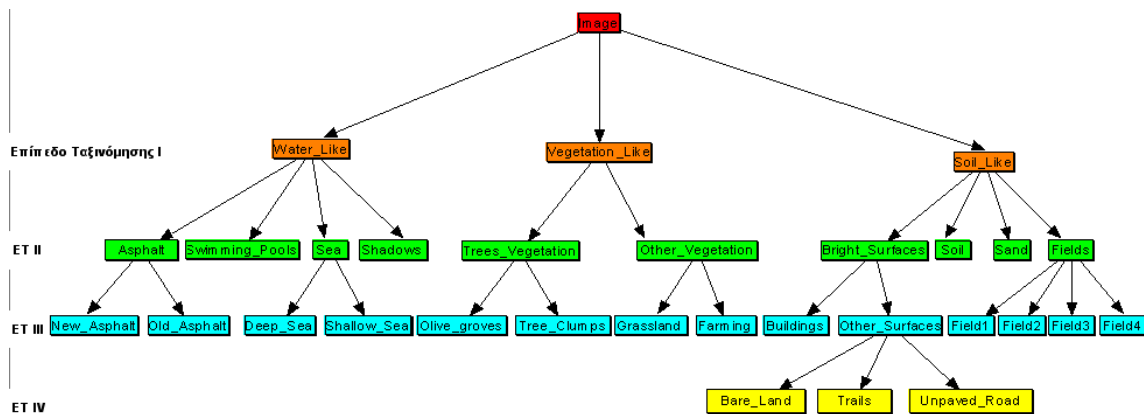
Για τις ανάγκες της ταξινόμησης έγινε η φωτοερμηνεία της περιοχής με τη βοήθεια των 1:50000 και 1:5000 φύλλων χάρτη της περιοχής, παρατηρώντας την εικόνα στο συνδυασμό καναλιών RGB:3,2,1 που αποδίδει τα φυσικά χρώματα και στο συνδυασμό RGB:4,3,2 που αποδίδει μια έγχρωμη υπέρυθρη σύνθεση. Επίσης, παρατηρήσεις έγιναν στο κάθε κανάλι χωριστά.

2.3. ΕΠΙΒΛΕΠΟΜΕΝΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

Ο καθορισμός των κατηγοριών χρήσεων γης / αντικειμένων / εμφανίσεων που υπάρχουν στην περιοχή και που θα πρέπει να εντοπιστούν και να ταξινομηθούν επιχειρήθηκε με τη βοήθεια έγχρωμων σύνθετων, λόγων και μεμονωμένων καναλιών (Γκουντούλα και Αργιαλάς, 2002). Τελικά, διαμορφώθηκε ένα σχήμα ταξινόμησης χρήσεων γης προκειμένου να δοκιμαστούν τα νέα δεδομένα με τις κλασικές μεθόδους ταξινόμησης και με πιο προχωρημένες μεθόδους (έμπειρα συστήματα – κανόνες παραγωγής) με τη βοήθεια του Expert Classifier του ERDAS IMAGINE 8.4 (Γκουντούλα και Αργιαλάς, 2002, Γκουντούλα, 2001). Στα σύνθετα και τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω επιλέχθηκαν αντιπροσωπευτικές περιοχές εκπαίδευσης και ψηφιοποιήθηκαν τα αντίστοιχα πολύγωνα για κάθε φασματική/θεματική τάξη. Για τον υπολογισμό των φασματικών υπογραφών για κάθε κατηγορία, υπολογίστηκαν τα στατιστικά στοιχεία των περιοχών εκπαίδευσης (μέση τιμή, ελάχιστη και μέγιστη τιμή, τυπική απόκλιση, πίνακας συμμεταβλητότητας, πίνακας συσχέτισης). Η συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης ήταν 72% ενώ ο συντελεστής Kappa ήταν 0,7.

2.4. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΒΑΣΗΣ ΓΝΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΕΜΠΕΙΡΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το πρώτο βήμα για τον καθορισμό θεματικών τάξεων και την ανάπτυξη της βάσης γνώσης ήταν να καθοριστούν οι τάξεις των υλικών της γήινης επιφάνειας που θα ταξινομηθούν. Οι θεματικές κατηγορίες της γήινης επιφάνειας και η πληροφορία που εξασφαλίζεται από τα φασματικά κανάλια μπορεί να οδηγήσουν, με κατάλληλους κανόνες, σε μια ιεραρχική δομή ταξινόμησης, στην οποία η αρχική εικόνα πρώτα εξετάζεται για να καθοριστούν οι κύριες κλάσεις: υλικά που μοιάζουν με νερό (water-like materials), υλικά που μοιάζουν με βλάστηση (vegetation-like materials) και υλικά που μοιάζουν με εδάφη (soil-like materials) και μετά η κάθε κύρια τάξη (υπόθεση) αναλύεται σε υποκλάσεις (Carlotto et al., 1984, Cincso, 1989). Έτσι, για την περιοχή μελέτης δημιουργήθηκε ένα πρωταρχικό γενικό σχήμα οργάνωσης των τάξεων σε τέσσερα επίπεδα (Γκουντούλα και Αργιαλάς, 2002). Το πρωταρχικό αυτό σχήμα αποτέλεσε μια γενική υπόθεση και έτυχε αναλυτικής διερεύνησης και τροποποίησης κατά τη διεξαγωγή της μελέτης ως προς τις λεπτομέρειές του (Γκουντούλα, 2001). Οι τελικές κατηγορίες διαφοροποιήθηκαν ελαφρώς από εκείνες της επιβλεπόμενης ταξινόμησης έτσι ώστε να ακολουθηθεί πιο εύκολα η προτεινόμενη ιεραρχική οργάνωση των υλικών της γήινης επιφάνειας (η οποία σε αντίθεση με την επιβλεπόμενη ταξινόμηση περιλαμβάνει εκτός από τάξεις κάλυψης γης και τάξεις χρήσης γης) και να αξιοποιηθούν τα υπάρχοντα βοηθητικά δεδομένα. Η τελική οργάνωση των τάξεων φαίνεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1. Η Ιεραρχική οργάνωση των υλικών της γήινης επιφάνειας όπως διαμορφώθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας (ET = Επίπεδο Ταξινόμησης).

Figure 1. Hierarchical organization of earth surface materials as developed in this study (ET = Classification Level).

Οι κανόνες που δημιουργήθηκαν για τη διάκριση των κατηγοριών στο επίπεδο I στηρίχθηκαν αποκλειστικά στα φασματικά χαρακτηριστικά (διαγράμματα ανακλαστικότητας και ιστογράμματα) των εξεταζόμενων κατηγοριών της ταξινόμησης. Στο δεύτερο επίπεδο, η βάση γνώσης επεκτάθηκε έτσι ώστε τα μέρη της εικόνας που αναγνωρίστηκαν στο πρώτο επίπεδο ότι ανήκουν σε κάθε κύρια τάξη επεξεργάστηκαν προκειμένου να πραγματοποιηθεί περαιτέρω διαφοροποίηση εντός των υποκατηγοριών ταξινόμησης. Για τη δημιουργία των κανόνων προσδιορισμού της κάθε τάξης χρησιμοποιήθηκαν, εκτός των φασματικών χαρακτηριστικών, βοηθητικά δεδομένα και χωρικά μοντέλα που δομήθηκαν στο Spatial Modeler της ERDAS Imagine (Γκουντούλα και Αργιαλάς, 2002, ERDAS, 2000). Αυτή η διαδικασία διαφοροποίησης συνεχίστηκε και στα επόμενα επίπεδα μέχρις ότου εκτελέστηκε η ταξινόμηση στο χαμηλότερο (λεπτομερέστερο) επίπεδο. Έτσι, αναπτύχθηκε μια βάση γνώσης με 51 κανόνες παραγωγής, 44 υποθέσεις και 12 μεταβλητές.

Κάθε κανόνας αποτελείται από μια υπόθεση και ένα συμπέρασμα. Η υπόθεση αποτελείται από μία ή περισσότερες συνθήκες. Η κάθε συνθήκη περιέχει μία ή περισσότερες μεταβλητές. Το σύνολο αυτών πρέπει να είναι αληθές για να εκπυρσοκροτήσει ο κανόνας (να εκτελεστούν οι δράσεις που έχουν οριστεί στο συμπέρασμα). Για παράδειγμα η συνθήκη ($\text{band-4} > \text{band-3}$) ορίζει το μέρος της εικόνας όπου η ψηφιακή τιμή φωτεινότητας στο κανάλι 4 είναι μεγαλύτερη από αυτή στο κανάλι 3.

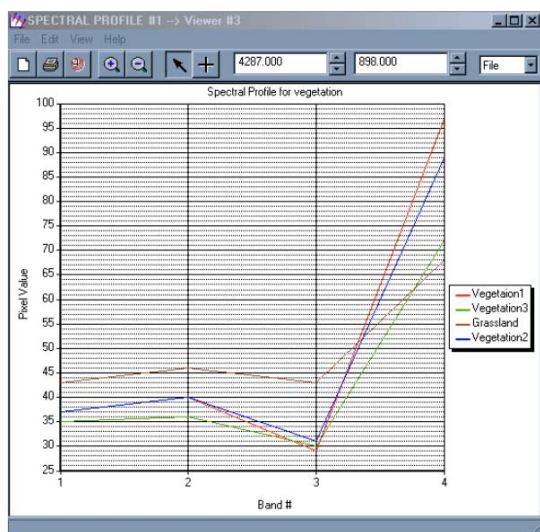
3. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΕΠΙΠΕΔΟΥ I ΤΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ εσωτερική δομή του φυλλώματος της βλάστησης (καλλιέργειες, δέντρα), έχει σαν αποτέλεσμα η περισσότερη από την προσπίπτουσα ακτινοβολία στο κανάλι 4 (εγγύς υπέρυθρο) είτε να ανακλάται είτε να μεταδίδεται. Αντίθετα στα κανάλια του ορατού φάσματος τα φύλλα παρουσιάζουν χαμηλή ανακλαστικότητα και μετάδοση της ακτινοβολίας εξαιτίας της απορρόφησης της από τη χλωροφύλλη και άλλες χρωστικές, κυρίως στο μπλε και στο κόκκινο κανάλι, με μια μικρή άνοδο της ανακλαστικότητας στο πράσινο. Στο Σχήμα 2 δίνονται φασματικά προφίλ εικονοστοιχείων της εξεταζόμενης εικόνας που εντάσσονται στην κατηγορία της βλάστησης. Τελικά, βάση των σχετικών τιμών ανακλαστικότητας των εικονοστοιχείων βλάστησης μεταξύ των καναλιών δημιουργήθηκε ο κανόνας:

Κανόνας "Vegetation-Like"

Εάν : ($\text{κανάλι-4} > \text{κανάλι-3}$)

και : ($\text{κανάλι-3} < \eta = \text{κανάλι-1}$)

Τότε: (δηλώνεται η ύπαρξη της κατηγορίας βλάστηση)



Σχήμα 2. Φασματικά προφίλ εικονοστοιχείων που εντάσσονται στην κύρια κατηγορία *Vegetation_Like*.
Figure 2. Spectral profiles of the basic category *Vegetation_Like*.

Όσον αφορά την ανακλαστικότητα του εδάφους και υλικών που μοιάζουν με έδαφος, επηρεάζεται από ένα σύνολο εξαρτημένων φυσικών και βιολογικών ιδιοτήτων όπως η εδαφική υφή (αναλογία σε άμμο, ιλή και άργιλο), η υγρασία, η οργανική ύλη, τα οξειδία του σιδήρου και η τραχύτητα της επιφάνειας. Έτσι, είναι δύσκολο να κατασκευαστεί ένα μοναδικό χαρακτηριστικό προφίλ ανακλαστικότητας για αυτή την τάξη. Εντούτοις, η γενική τάση για το έδαφος και τα όμοια υλικά είναι να ανακλούν αυξανόμενα ποσά ακτινοβολίας καθώς κανείς προχωρά προς το υπέρυθρο. Στο Σχήμα 3 δίνονται φασματικά προφίλ εικονοστοιχείων της εξεταζόμενης εικόνας που εντάσσονται στην κατηγορία του εδάφους και υλικών που μοιάζουν με έδαφος. Από τη μελέτη του Σχήματος 3 προκύπτει για τα δεδομένα της παρούσας μελέτης ότι, για τα εικονοστοιχεία της κατηγορίας *Soil_Like* υπάρχει η γενική τάση κανάλι 1 < κανάλι 2, ενώ οι σχέσεις μεταξύ των υπολοίπων καναλιών μεταβάλλονται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του εικονοστοιχείου. Τελικά, βάση των σχετικών τιμών ανακλαστικότητας των εικονοστοιχείων που αντιστοιχούν σε έδαφος ή υλικά που μοιάζουν με έδαφος μεταξύ των καναλιών δημιουργήθηκε ο κανόνας:

Κανόνας "Soil-Like"

Εάν : (κανάλι-2 > ή = κανάλι-1)

Τότε: (δηλώνεται η ύπαρξη της κατηγορίας έδαφος ή υλικά που μοιάζουν με έδαφος)

Τέλος, το νερό τυπικά παρουσιάζει χαμηλή ανακλαστικότητα στα μπλε και πράσινο τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, ακόμη χαμηλότερη στο κόκκινο και πρακτικά μηδενική στο υπέρυθρο (Carlotto et al., 1984, Ferrante et al., 1984, Wharton, 1987, Cincso, 1989). Η γενική αυτή τάση του διαγράμματος ανακλαστικότητας εικονοστοιχείων της κατηγορίας *Water_Like* για την υπό εξέταση εικόνα προκύπτει από τη μελέτη του Σχήματος 4. Τελικά, βάση των σχετικών τιμών ανακλαστικότητας των εικονοστοιχείων που αντιστοιχούν σε νερό (θάλασσα, πισίνες) ή υλικά που έχουν όμοια φασματική υπογραφή με αυτή του νερού (σκιές, άσφαλτος), μεταξύ των καναλιών δημιουργήθηκε ο κανόνας:

Κανόνας "Water-Like"

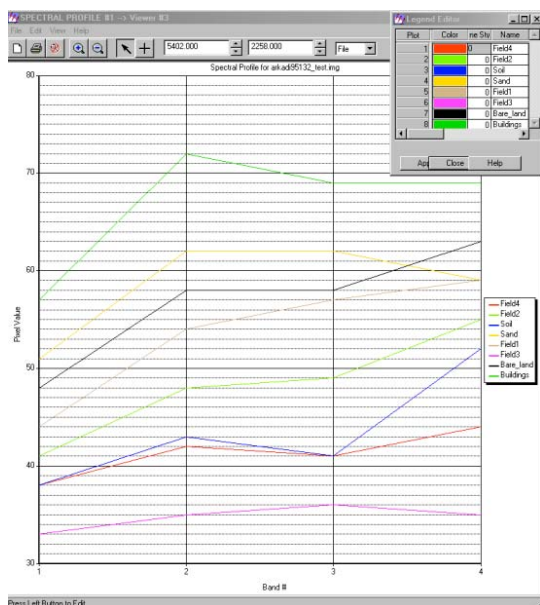
Εάν : (κανάλι-4 < κανάλι-3)

και : (κανάλι-3 < κανάλι-2)

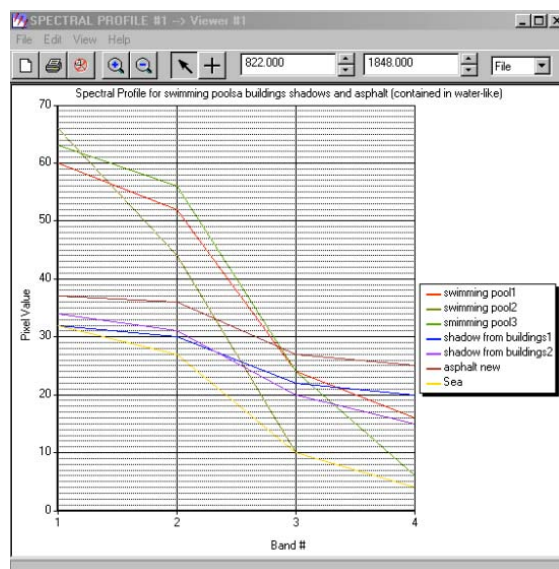
και : (κανάλι-2 < ή = κανάλι-1)

Τότε: (δηλώνεται η ύπαρξη της κατηγορίας νερό)

Τα δίκτυα κανόνων για τους κανόνες *Vegetation_Like*, *Soil_Like*, και *Water_Like*, φαίνονται στο Σχήμα 5. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής των κανόνων που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους δίνονται στην Εικόνα 1.



Σχήμα 3. Φασματικά προφίλ εικονοστοιχείων που εντάσσονται στην κύρια κατηγορία *Soil_Like*.
Figure 3. Spectral profiles of the basic category *Soil_Like*.



Σχήμα 4. Φασματικά προφίλ εικονοστοιχείων που εντάσσονται στην κύρια κατηγορία *Water_Like*.
Figure 4. Spectral profiles of the basic category *Water_Like*.

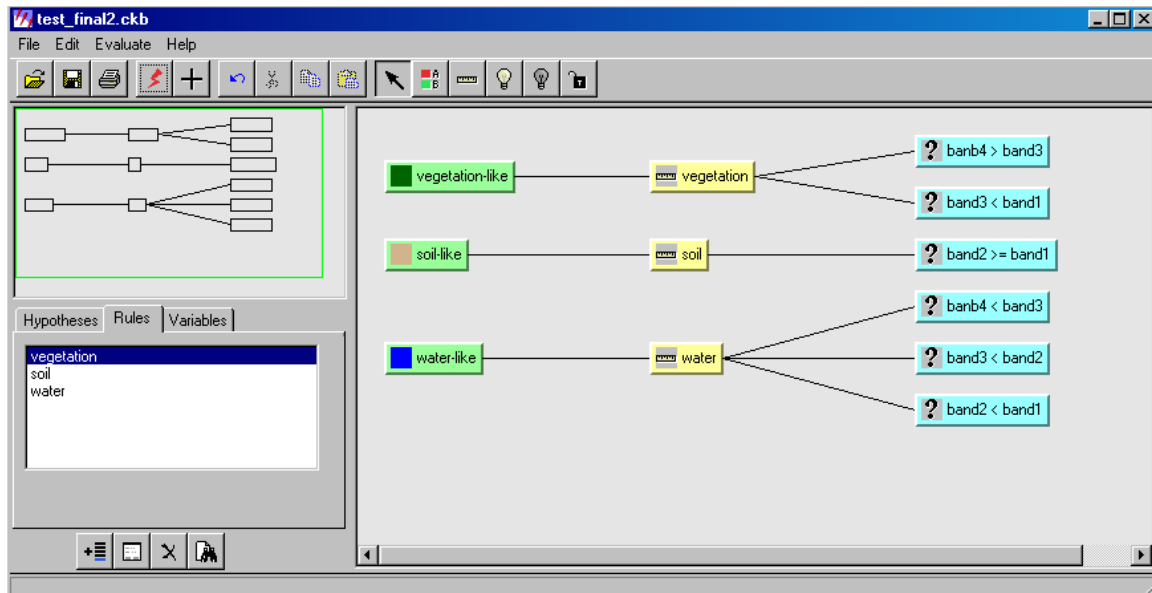
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Η συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης ήταν 82 % ενώ ο συντελεστής Kappa ήταν 0,8. Βελτίωση έναντι της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, όσον αφορά την ακρίβεια παραγωγού, παρουσίασαν οι 14 από τις 18 τάξεις μη συμπεριλαμβανοντας τις τάξεις χωματοδρομοί και μονοπάτια που δεν υπήρχαν στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση, μία τάξη δεν παρουσίασε ούτε βελτίωση ούτε χειροτέρευση ενώ 3 από τις 18 τάξεις παρουσίασαν μικρότερη ακρίβεια. Βελτίωση, όσον αφορά την ακρίβεια χρήστη, παρουσίασαν οι 11 από τις 18 τάξεις, μία τάξη δεν παρουσίασε αλλαγή στην ακρίβεια και 6 από τις 18 τάξεις παρουσίασαν μείωση της ακρίβειας. Εκτενή περιγραφή και ανάλυση των ακριβειών των επιμέρους τάξεων παρουσιάζεται στην Γκουντούλα (2001).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η επιλογή των συνθηκών για τους κανόνες του πρώτου επιπέδου ταξινόμησης έγινε με βάση τα φασματικά χαρακτηριστικά των τάξεων και μετά από επαναλαμβανόμενες δοκιμές των κανόνων στο περιβάλλον του Expert Classifier. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι κατά τη διάρκεια της ταξινόμησης των επιπέδων II, III και IV χρησιμοποιήθηκαν επιπρόσθετα χαρακτηριστικά των τάξεων όπως το σχήμα τους, το πρότυπο τους και οι σχέσεις γειτνίασης μεταξύ τους (Γκουντούλα και Αργιαλας, 2002), αυτή δε η χρήση των χαρακτηριστικών ήταν ένα από τα συγκριτικά πλεονεκτήματα της μεθόδου ταξινόμησης με έμπειρο σύστημα. Οι κανόνες, εκτός από τα φασματικά χαρακτηριστικά, εμπλουτίστηκαν με βοηθητικά δεδομένα όπως οι κλίσεις που υπολογίστηκαν από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της περιοχής, το ψηφιοποιημένο οδικό δίκτυο, ο δείκτης NDVI, τα αποτελέσματα ενός χωρικού μοντέλου που υπολογίζει υψή, οι δείκτες σχήματος και περιμέτρου πολυγώνων. Τα κανάλια που τελικά χρησιμοποιήθηκαν επιλέχθηκαν βάση της μελέτης της εικόνας. Γενικά και όσον αφορά τα επόμενα επίπεδα ταξινόμησης, στα οποία το πρόβλημα της ταξινόμησης γίνεται αρκετά πολύπλοκο, επισημαίνεται η υποκειμενικότητα της επιλογής των συνθηκών του εκάστοτε κανόνα. Για την επιλογή των βέλτιστων συνθηκών απαιτείται περαιτέρω εξαντλητική έρευνα των συνθηκών της περιοχής και πολύ περισσότερες δοκιμές που ξεφεύγουν από τις δυνατότητες της παρούσας μελέτης. Για την ολοκλήρωση ενός έμπειρου συστήματος ταξινόμησης υψηλής ανάλυσης εικόνων και για τη διασφάλιση της ποιότητας και

της ακρίβειας των αποτελεσμάτων απαιτείται η δημιουργία κάποιων εκατοντάδων κανόνων, προκειμένου να ληφθούν υπόψη πολλοί διαφορετικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ταξινόμηση, να χρησιμοποιηθούν τιμές εμπιστοσύνης σε κάθε επίπεδο και για όλους τους κανόνες, κλπ.



Σχήμα 5. Τα δίκτυα κανόνων (δέντρα αποφάσεων) για τη διάκριση των τριών βασικών κατηγοριών του πρώτου επιπέδου (γενική άποψη του Knowledge Engineer Editor). Στο πρώτο επίπεδο δημιουργήθηκαν συνολικά 3 υποθέσεις (ενδιάμεσες) - *Water_Like*, *Vegetation_Like*, *Soil_Like* - (πράσινο χρώμα στο παράθυρο του Knowledge Engineer Editor), 3 κανόνες - *Water_Like*, *Vegetation_Like*, *Soil_Like* - (κίτρινο χρώμα) και 4 μεταβλητές - *band1*, *band2*, *band3*, *band4* - (μπλε χρώμα).

Figure 5. The rule networks (decision trees) for the discrimination of the three general classes of the first level (an overview of the Knowledge Engineer Editor). In the first level were created 3 hypotheses (intermediate) - *Water_Like*, *Vegetation_Like*, *Soil_Like* - (green color), 3 rules - *Water_Like*, *Vegetation_Like*, *Soil_Like* - (yellow) and 4 variables - *band1*, *band2*, *band3*, *band4* - (blue).

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστούμε θερμά τους κ. Γ. Στούμπη και Ν. Τσίγκα για τη διάθεση του χώρου, του εξοπλισμού και των δεδομένων της εταιρείας GEOSCIENCE E.E. αλλά και για το χρόνο και τη συμβολή τους στην επίλυση των οποιονδήποτε τεχνικών προβλημάτων κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας. Ακόμη ευχαριστούμε τον κ. Π. Κολοκούση για την πολύτιμη βοήθεια του στο στάδιο του υπολογισμού των ακριβειών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Argialas, D. P., and Harlow, C. A., 1990, Computational Image Interpretation Models: An Overview and a Perspective. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 56, No. 6, pp. 871-886.
- [2] Γκουντούλα, Β. Ν. και Αργιαλάς, Δ. Π., 2002, Ανάπτυξη βάσης γνώσης στο περιβάλλον του Expert Classifier για την ταξινόμηση κάλυψης/χρήσης γης (ΕΠΙΠΕΔΑ II και III) από δεδομένα IKONOS, 2^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, Ελληνική Εταιρεία Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, 28 Φεβρουαρίου - 1 Μαρτίου 2002, Αθήνα.

[3] Γκουντιούλα, Β. Ν., 2001, Ανάπτυξη πρότυπου έμπειρου συστήματος ταξινόμησης κάλυψης/χρήσης γης από εικόνες IKONOS. Εφαρμογή στην περιοχή Αρκαδίου Κρήτης, Μεταπτυχιακή Εργασία, ΤΑΤΜ, ΕΜΠ., 275 σελ.

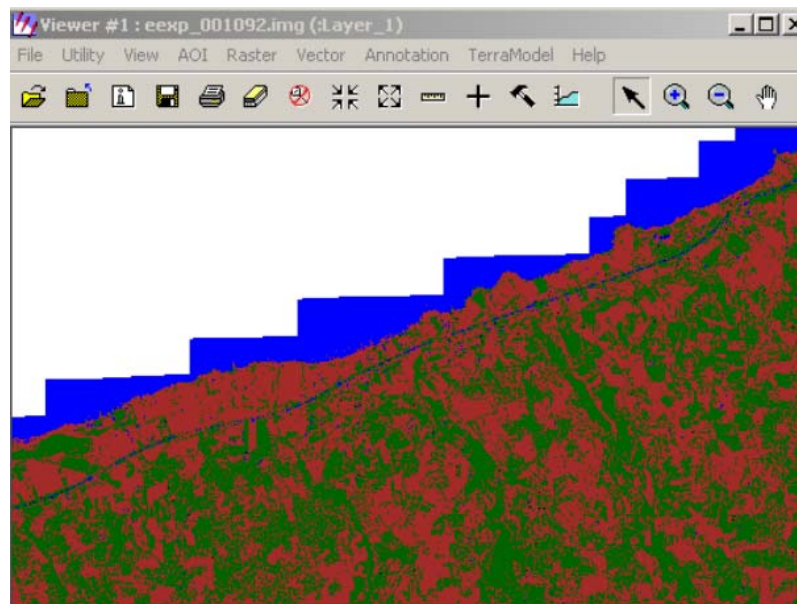
[4] Carlotto, M. J., Tom, T. M., Baim, P. W., Upton, R.A., 1984, Knowledge-based multispectral image classification. *Proceedings Applications of digital Image Processing IV, Society of Photo. Optical Instrumentation, SPIE*, Vol. 504, pp. 47-53.

[5] Civco, D., 1989, Knowledge-Based Land Use and Land Cover Mapping. *Proceedings, Annual Convention of American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 3, pp. 276-291.

[6] ERDAS, 2000, ERDAS FIELD GUIDE, (ERDAS Inc.)

[7] Erickson, W., and Likens, W., 1984, An Application of Expert Systems Technology to Remotely Sensed Image Analysis. *Proc. IX Pecora Symposium on Spatial Information Technologies for Remote Sensing Today and Tomorrow*, pp. 258-277.

[8] Wharton, S.W., 1987, A Spectral-Knowledge-Based Approach for Urban Land-Cover Discrimination. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. GE-25, No. 3, pp. 272-282.



Εικόνα 1. Ο θεματικός χάρτης που προέκυψε από την πρώτη φάση εφαρμογής του έμπειρου συστήματος. Το μπλε αντιστοιχεί στην κατηγορία *Water_Like*, το πράσινο στην κατηγορία *Vegetation_Like* και το καφέ στην κατηγορία *Soil_Like* (το άσπρο αντιστοιχεί στο υπόβαθρο - γι' αυτή την περιοχή δεν υπάρχουν δεδομένα).

Image 1. The thematic map produced in the first phase of the expert system. Blue for *Water_Like*, green for *Vegetation_Like* and brown for *Soil_Like* (white for background - for this area do not exist data).