

# **ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ, ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΚΑΙ ΟΡΑΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΣΤΗΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ: ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ**

**Αργιαλάς Δ., Καράντζαλος Κ., Μανραντζά, Ο., Νούτσου Β., Τζώτσος Α., Κουτρούμπας Γ.**  
Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών,  
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ζωγράφου 15780

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** Αστικός χώρος, εξαγωγή φωτογραμμώσεων, AVIRIS, υπερφασματικά δεδομένα, εξαγωγή ακμών, ανισοτροπικό φιλτράρισμα, ανάλυση κυματιδίων, κατάτμηση, αντικειμενοστραφής ταξινόμηση, διακριτή ανάλυση, διαχωριστικές επιφάνειες

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ:**

Για την ενίσχυση ανθρωπογενών χαρακτηριστικών και εξαγωγή ελαιοδέντρων αναπτύχθηκαν ανισοτροπικά φιλτράρισμα. Για τη χαρτογράφηση φωτογραμμώσεων διερευνήθηκαν βέλτιστοι αλγόριθμοι εξαγωγής ακμών. Για δορυφορικές εικόνες με θόρυβο χρησιμοποιήθηκε επιτυχώς ένα σχήμα ανίχνευσης ακμών με χρήση ανάλυσης κυματιδίων. Για την αναγνώριση σημασιολογικών αντικειμένων όπως γεωμορφών αλλά και στοιχείων του αστικού χώρου υλοποιήθηκε ένα συνδυασμός κατάτμησης και αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης. Για την ταξινόμηση υπερφασματικών δεδομένων AVIRIS χρησιμοποιήθηκαν αλγόριθμοι εξαγωγής χαρακτηριστικών με διαχωριστικές επιφάνειες και με διακριτή ανάλυση. Όλοι οι αλγόριθμοι παρείχαν ικανοποιητικά αποτελέσματα.

## **IMAGE PROCESSING, PATTERN RECOGNITION AND COMPUTER VISION IN REMOTE SENSING: METHODS AND APPLICATIONS**

**Argialas D., Karantzalos K., Mavrantza O., Noutsou V., Tzotsos A., Koutroubas J.**  
Remote Sensing Laboratory, School of Rural and Surveying Engineering,  
National Technical University of Athens, Zografou 15780

**KEYWORDS:** Urban features, olive trees, lineaments, AVIRIS, hyperspectral data, edge extraction, anisotropic diffusion, wavelet analysis, segmentation, object-oriented classification, discriminant analysis, decision boundaries

## **ABSTRACT:**

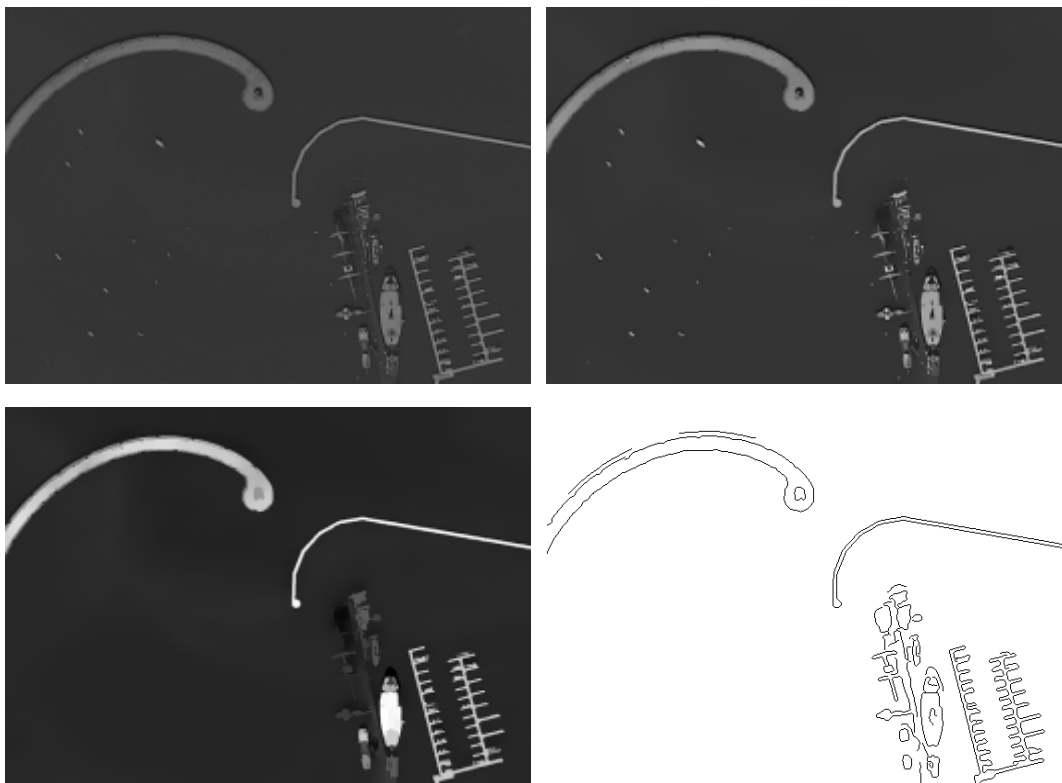
For the enhancement of urban features and extraction of olive trees from IKONOS imagery, anisotropic diffusion filtering algorithms were developed. For lineament mapping, optimal edge detectors were evaluated. For noisy satellite images, a wavelet-based edge detection scheme was used. For identification of semantic image objects such as landforms and urban features, a combination of segmentation and object-oriented classification was employed. For the classification of hyperspectral data, feature extraction algorithms based on decision boundaries and discriminant analysis were used. All algorithms have been evaluated and had satisfactory results.

## 1. ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΙΚΗΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ

Η εξαγωγή αντικειμένων με μεθόδους ανίχνευσης ακμών και κατάτμησης μπορεί να συνδυαστεί με τεχνικές ενίσχυσης και ομαλοποίησης των ψηφιακών εικόνων. Τα απεικονιζόμενα αντικείμενα των τηλεπισκοπικών απεικονίσεων, εμφανίζουν μεγάλη ετερογένεια, όσον αφορά το μέγεθος τους (δρόμοι, κτήρια, δασικές εκτάσεις, καλλιέργειες, υγρότοποι κλπ.). Επομένως, για να αυτοματοποιηθεί η διαδικασία αναγνώρισης – οριοθέτησης τους, απαιτούνται επεξεργασίες πολλαπλής ανάλυσης ώστε να ανταποκρίνονται στην πολυπλοκότητα των μεγεθών των αντικειμένων των απεικονίσεων.

Η σημασία της ανάλυσης σε πολλαπλές κλίμακες είχε αναγνωριστεί ήδη από τα πρώτα βήματα της όρασης υπολογιστών [1]. Η θεωρία των χώρων κλίμακας (*scale-spaces*), που προτάθηκε από τον Witkin το 1983 [2], έθεσε τα θεμέλια για μια μαθηματική αντιμετώπιση αυτών των θεμάτων. Από μια αρχική εικόνα  $I_0(x, y)$ , δημιουργείται μια συνεχής οικογένεια γκριζών εικόνων  $I(x, y, s)$  συνελίσσοντας την αρχική εικόνα με έναν *Gaussian* πυρήνα  $G_s(x, y)$  διακύμανσης  $s$ . Λόγω της γραμμικότητας της *Gaussian* συνάρτησης, ο παραγόμενος χώρος κλίμακας της εικόνας είναι και αυτός γραμμικός (*linear scale-space*) και όσο μεγαλώνει η τιμή της παραμέτρου  $s$ , τόσο πιο θολωμένη ιστροπικά παρουσιάζεται η εικόνα.

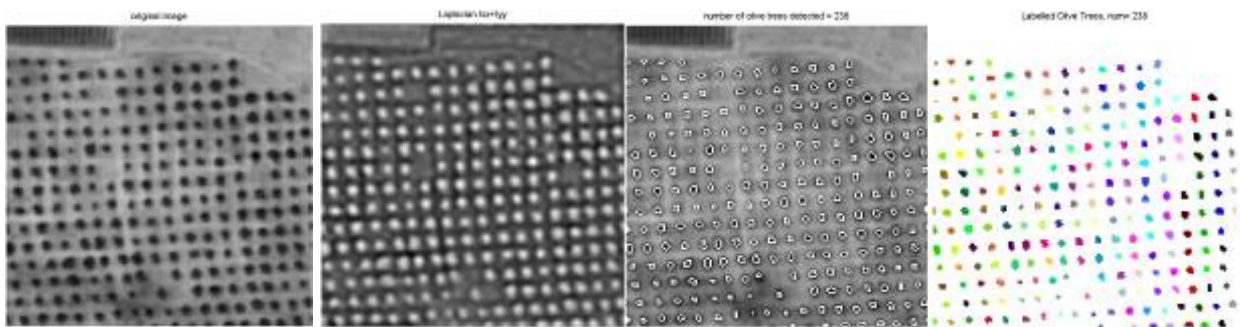
Η ιστροπικότητα των γραμμικών χώρων κλίμακας αποτελεί και το μεγαλύτερο μειονέκτημά τους, γιατί πέρα από το να εξαλείφουν τα χαρακτηριστικά μικρής κλίμακας, ταυτόχρονα θολώνουν και μετακινούν χωρικά κάποια σημαντικά χαρακτηριστικά (π.χ. ακμές) στην κλίμακα που μελετάται. Η ιστροπικότητα οφείλεται στην γραμμικότητα του μοντέλου, που δεν επιτρέπει στη διαδικασία να προσαρμόζεται στα τοπικά χαρακτηριστικά της εικόνας (όρια αντικειμένων) με τον επιθυμητό τρόπο. Για να αντιμετωπίσουν τα μειονεκτήματα του *Gaussian* χώρου κλίμακας οι Perona και Malik πρότειναν το 1990 [3] τη χρήση της εξίσωσης ανισοτροπικής διάχυσης θερμότητας και τη δημιουργία μη-γραμμικών χώρων κλίμακας.



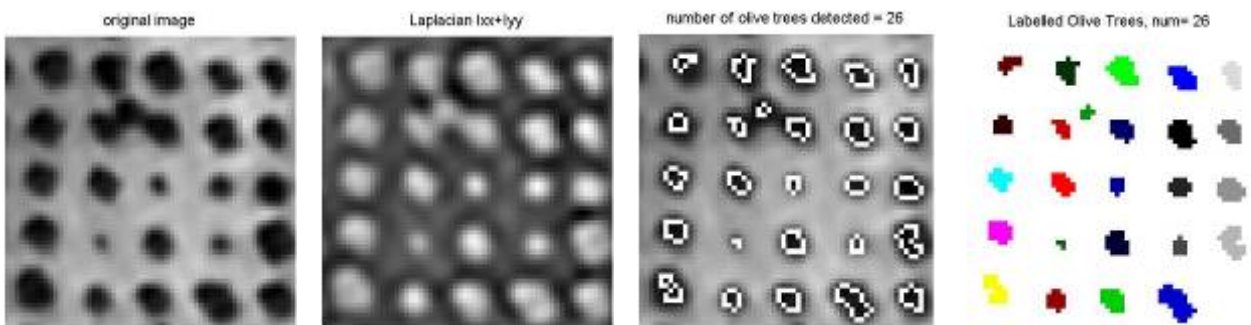
Εικόνα 1: Επάνω Αριστερά: Αρχική εικόνα, Επάνω Δεξιά: Ανθεκτική ανισοτροπική διάχυση, Κάτω Αριστερά: ASF μορφολογικό φιλτράρισμα, Κάτω Δεξιά: Δυαδική εικόνα έπειτα από ανίχνευση ακμών.

Μια ανθεκτική μέθοδος ανισοτροπικής διάχυσης προτάθηκε και από τους Black και Sapiro το 1998 [4] που χρησιμοποιεί την *Tukey's biweight* ανθεκτική νόρμα σφάλματος στην θέση της  $g$ . Η μέθοδος αυτή σε συνδυασμό με την εφαρμογή μορφολογικών φιλτραρισμάτων σε αρκετές περιπτώσεις οδηγεί στην καλύτερη εξαγωγή των ορίων των αντικειμένων [5] (Εικόνα 1).

Η ανισοτροπική διάχυση με τη μορφή που αυτή προτείνεται από τον Alvarez [6] χρησιμοποιήθηκε και κατά την εξαγωγή ελαιοδέντρων [7] βοηθώντας την σωστή εξαγωγή τους κατά την ανίχνευση κηλίδων (*blobs*). Τα *blobs* στην εικόνα είναι τα τοπικά *extrema* της δεύτερης παραγώγου *Laplacian*  $\nabla^2 I$ . Το πρόσημο της *Laplacian*  $\nabla^2 I$  οδηγεί στην εξαγωγή λευκών ( $\nabla^2 I < 0$ ) ή μαύρων κηλίδων ( $\nabla^2 I > 0$ ). Αποτελέσματα από την επιτυχημένη εφαρμογή του ανισοτροπικού φιλτραρίσματος για την εξαγωγή ελαιόδεντρων παρουσιάζονται στις Εικόνα 2 και 3.



Εικόνα 2: Εξαγωγή και καταμέτρηση αριθμού ελαιοδέντρων .



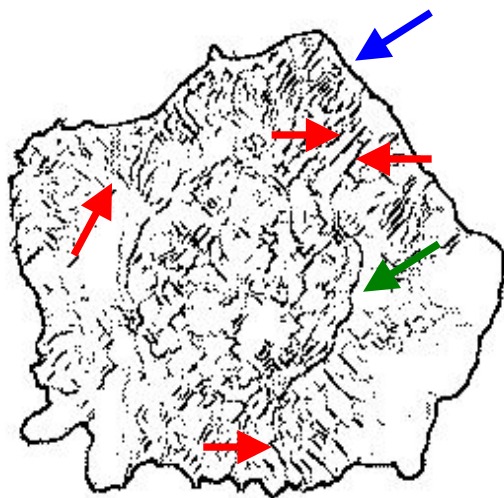
Εικόνα 3: Εξαγωγή και καταμέτρηση αριθμού ελαιοδέντρων.

## 2. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΣΗ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΩΣΕΩΝ ΜΕ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ ΕΞΑΓΩΓΗΣ ΑΚΜΩΝ

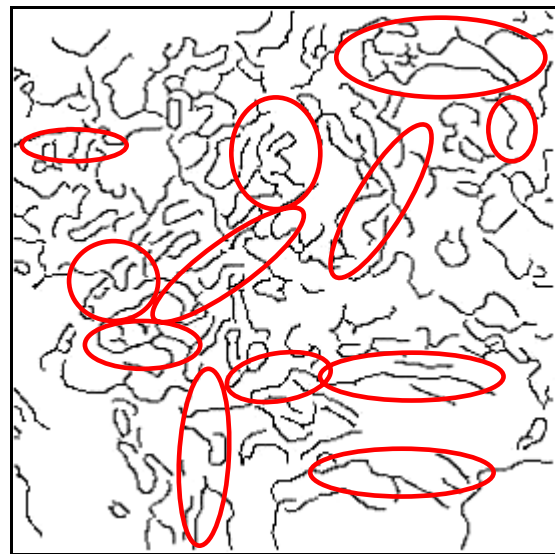
Στην Όραση Υπολογιστών και την Επεξεργασία Εικόνας, η εξαγωγή ακμών είναι μία διαδικασία η οποία πραγματεύεται τις ασυνέχειες στα φωτομετρικά, γεωμετρικά και φυσικά χαρακτηριστικά των αντικειμένων μιας εικόνας (ακμές).

Ένας αντιπροσωπευτικός βέλτιστος αλγόριθμος ακμών είναι ο αλγόριθμος του *Canny*, εκτός των αλγορίθμων του Rothwell [8], των Meer and Georgescu [12], κ.α. Στον αλγόριθμο *Canny*, χρησιμοποιείται η πρώτη παράγωγος της συνάρτησης GAUSS, η οποία θεωρείται βέλτιστο φίλτρο ομαλοποίησης πριν την παραγωγή. Για την εξασφάλιση συνεκτικών ακμών, χρησιμοποιείται η μέθοδος της αποκοπής των μη-μεγίστων εικονοστοιχείων, κατά την οποία το κεντρικό εικονοστοιχείο θα πρέπει να παρουσιάσει μεγαλύτερη τιμή του μέτρου της κλίσης από τα γειτονικά του εικονοστοιχεία κατά τη διεύθυνση της κλίσης. Τέλος εφαρμόζεται η μέθοδος κατωφλίωσης με χρήση υστέρησης αντί την επιλογή μίας τιμής κατωφλιού το οποίο θα εφαρμοσθεί σε όλη την εικόνα. Ο αλγόριθμος των Inverson-Zucker [9] αποτελεί μία μέθοδο για τη βελτίωση της λειτουργίας της γραμμικής ενίσχυσης ακμών με την ενσωμάτωση λογικών ελέγχων για την ύπαρξη μίας ακμής [8].

Από την ανασκόπηση της πρόσφατης συναφούς βιβλιογραφίας που αφορά στην εξαγωγή γεωλογικών φωτογραμμώσεων, έχει παρατηρηθεί ότι οι υπολογιστικές μέθοδοι για την εξαγωγή των τεκτονικών, κυρίως, φωτογραμμώσεων βασίστηκαν κατά κύριο λόγο, σε τεχνικές ενίσχυσης ακμών ή τεχνικές εφαρμογής χωρικών φίλτρων (φίλτρων παραγώγου και τελεστών κατεύθυνσης). Όμως, τα γραμμικά φίλτρα κατεύθυνσης δύνανται να ενισχύσουν μόνο τις γραμμικές και όχι τις καμπυλόγραμμες ακμές, ενώ τα φίλτρα παραγώγισης παράγουν χάρτες ακμών ακολουθώντας τη διαδικασία κατωφλίωσης, με αποτέλεσμα να αναπαριστούν ακμές με πάχος μεγαλύτερο του ενός εικονοστοιχείου. Συνεπώς, η κατωφλίωση πρέπει να συνοδεύεται από διαδικασία λέπτυνσης των ακμών. Η επιλογή των βέλτιστων αλγορίθμων εξαγωγής ακμών προέκυψε από τους παρακάτω λόγους: 1) την αύξηση του λόγου του σήματος-προς-θόρυβο με την απομάκρυνση των εσφαλμένων ακμών, 2) την επιτυχή ανίχνευση της ακμής, τη σωστή θέση της ακμής και την μοναδικότητα της απόκρισης κάθε ακμής, και 3) την εξαγωγή και των καμπυλόγραμμων ακμών, εκτός των γραμμικών, με καλή συνεκτικότητα και μήκος ακμής.



Εικόνα 4: Χάρτης ακμών από την εφαρμογή του αλγορίθμου των Iverson–Zucker στο κανάλι 5 της δορυφορικής εικόνας Landsat-TM για τη Ν. Νίσυρο [11]



Εικόνα 5: Χάρτης ακμών από την εφαρμογή του αλγορίθμου Canny στο κανάλι 5 της δορυφορικής εικόνας Landsat-TM για την περιοχή της Βατούσσας, με παραμέτρους εισόδου  $\sigma=3.00$ ,  $T_{low}=0.50$  και  $T_{high}=0.90$  [11].

Στην ενότητα αυτή παραθέτονται δύο ενδεικτικές εφαρμογές των αλγορίθμων εξαγωγής ακμών. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκαν οι αλγόριθμοι των Iverson–Zucker και του Canny [10, 11]. Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των αλγορίθμων αυτών παρουσιάζονται στις Εικόνες 4 και 5, αντίστοιχα, και προέκυψαν από διαδικασία πολλαπλών εμπειρικών δοκιμών. Ο αλγόριθμος του Canny σχεδιάστηκε για την εξαγωγή ιδανικών κλιμακωτών ακμών, τις οποίες εξάγει με μεγάλη συνέπεια, ενώ ο αλγόριθμος των Iverson–Zucker σχεδιάστηκε τόσο για την ανίχνευση γραμμών (ακμών τύπου σκεπής), αλλά και κλιμακωτών ακμών, ενώ παρουσιάζει πιο προβλέψιμη συμπεριφορά στη «γειτονιά» πολλών γραμμών (κυρίως για ακμές συνένωσης τύπου «T»), ενώ ο αλγόριθμος του Canny είτε αφήνει μεγάλα κενά (για την ίδια κλίμακα εξαγωγής) ή εξάγει μια ομαλή τοπική καμπύλη. Οι παράμετροι εισόδου των αλγορίθμων είναι η τυπική απόκλιση  $\sigma$ , και τα δύο όρια κατωφλίωσης κατά την υστέρηση ( $T_{low}$  και  $T_{high}$ ) για τον αλγόριθμο του Canny, και το κατώφλι  $T$ , ο αριθμός διευθύνσεων ανίχνευσης και οι βαθμοί ελευθερίας για τον αλγόριθμο των Iverson–Zucker, αντίστοιχα.

Από την αξιολόγηση της Εικόνας 4 προέκυψε ότι ο αλγόριθμος εξήγαγε πολύ καλά την ακτογραμμή της καλδέρας της Νισύρου (μπλε βέλος), ευθύγραμμα τμήματα ρηγμάτων κατά το

ακτινωτό πρότυπο (κόκκινο βέλος), και μορφοτεκτονικά ρήγματα του εσωτερικού της καλδέρας (πράσινο βέλος). Η συνεκτικότητα και το μήκος των ευθύγραμμων τμημάτων ήταν ικανοποιητικά. Εν τούτοις, παρουσιάστηκαν αρκετά μικρά συνδεδεμένα εικονοστοιχεία των 2-3 ακμών, τα οποία μπορούν να θεωρηθούν «θόρυβος». Από την παρατήρηση της Εικόνας 5, παρατηρήθηκε εξαγωγή καλών ευθύγραμμων και καμπυλόγραμμων τμημάτων με ικανοποιητική συνεκτικότητα και μήκος ακμών. Οι «παρασιτικές» ακμές ήταν μεγαλύτερου μήκους από αυτές της Εικόνας 4, και γενικότερα, οι εξαγόμενες ακμές υπέστησαν εξομάλυνση, γεγονός αναμενόμενο από τη μεγάλη τιμή του  $\sigma$ .

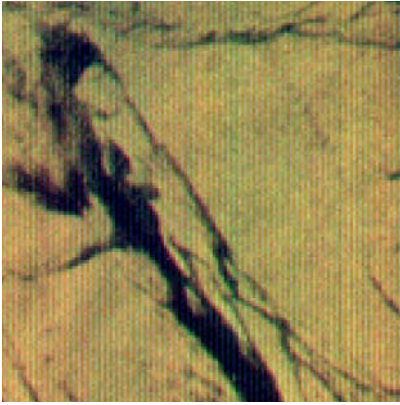
### **3. ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΔΙΩΝ ΓΙΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΑΚΜΩΝ ΣΕ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ**

Οι ακμές εμφανίζονται σε διαφορετικές κλίμακες και με διαφορετική ένταση στις τηλεπισκοπικές απεικονίσεις. Η ανάλυση κυματιδίων είναι κατάλληλη για την ανίχνευση ακμών καθώς αποτελεί ανάλυση πολλαπλών κλιμάκων (multiscale), και τοπική ανάλυση [13]. Στο παρόν άρθρο χρησιμοποιείται ένα απλό, αλλά αποτελεσματικό σχήμα ανίχνευσης ακμών [14] και εφαρμόζεται σε τηλεπισκοπικά δεδομένα με θόρυβο.

Η Ανάλυση Κυματιδίων (Wavelet Analysis), αποτελεί νέο ερευνητικό πεδίο και προέκυψε ως εξέλιξη της ανάλυσης Fourier. Αντί των ημιτονοειδών και συνημιτονοειδών συναρτήσεων χρησιμοποιεί άλλες συναρτήσεις (κυματίδια) που ικανοποιούν ορισμένες μαθηματικές συνθήκες, και με χρήση της επίθεσης συναρτήσεων αναπαριστά σήματα και εικόνες [13]. Υιοθετεί μια πρότυπη συνάρτηση, το μητρικό κυματίδιο (mother wavelet), και πραγματοποιεί την ανάλυση με μετατιθέμενες (αλλαγή θέσης) και διεσταλμένες (αλλαγή κλίμακας) μορφές του μητρικού κυματιδίου. Πρόκειται για τοπική ανάλυση και ανάλυση πολλαπλών κλιμάκων (multiresolution). Σε αντίθεση με την ανάλυση Fourier διατηρεί τη χωρική πληροφορία και είναι κατάλληλη για την προσέγγιση δεδομένων με απότομες αλλαγές-ασυνέχειες [13]. Επιπλέον, ως ανάλυση πολλαπλών κλιμάκων επεξεργάζεται δεδομένα σε διαφορετικές κλίμακες. Όσον αφορά στην ανίχνευση ακμών οι Mallat και Zhong [15], δημιούργησαν ένα νέο φίλτρο ακμών που βασίζεται στο μετασχηματισμό κυματιδίων και οι Zang και Bao [14], ένα σχήμα όπως περιγράφεται στη συνέχεια.

Η παρούσα εργασία εστιάζει στο σχήμα ανίχνευσης ακμών με πολλαπλασιασμό κλιμάκων [14], όπου συνδυάζονται, ως συνάρτηση γινομένου, οι συνιστώσες της ανάλυσης κυματιδίων (υψηλών συχνοτήτων) δύο γειτονικών κλιμάκων και κατόπιν οι ακμές εντοπίζονται ως τα τοπικά μέγιστα μετά από κατωφλίωση. Το σχήμα πολλαπλασιασμού κλιμάκων εφαρμόστηκε ικανοποιητικά για ανίχνευση ακμών σε εικόνες Radar και Aster (οι οποίες περιλαμβάνουν θόρυβο). Στην Εικόνα παρουσιάζεται ένα μικρό κομμάτι εικόνας Aster (έγχρωμο σύνθετο με τα τρία πρώτα κανάλια) της θαλάσσιας περιοχής της Χαλκίδας, όπου καταγράφονται τα θαλάσσια ρεύματα. Η Εικόνα 9 παρουσιάζει τμήμα εικόνας Radar η οποία απεικονίζει περιοχή της Αττικής (με θάλασσα και στεριά).

Η ανίχνευση ακμών σε μικρές κλίμακες κυματιδίων (μεγάλη γεωγραφική κλίμακα- ανάλυση) επηρεάζεται από τον θόρυβο (Εικόνα 7 και Εικόνα 10). Παρατηρήθηκε ότι αυξάνοντας το κατώφλι μειώνεται ο θόρυβος αλλά χάνονται και κάποιες σημαντικές ακμές. Ενώ σε μεγαλύτερες κλίμακες (μικρότερη ανάλυση) οι ακμές προσδιορίζονται αρκετά καλά χωρίς να επηρεάζονται από τον θόρυβο (Εικόνα 8 και Εικόνα 11). Επιπλέον ο προσδιορισμός της θέσης των ακμών είναι αρκετά καλός, και δεν επηρεάζεται από την αλλαγή κλίμακας διότι αντλείται πληροφορία από δύο κλίμακες.



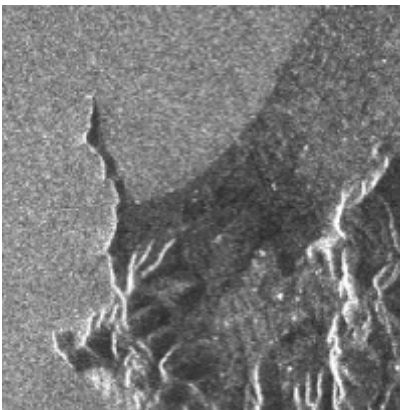
Εικόνα 6: Τμήμα εικόνας Aster (έγχρωμο σύνθετο-321)



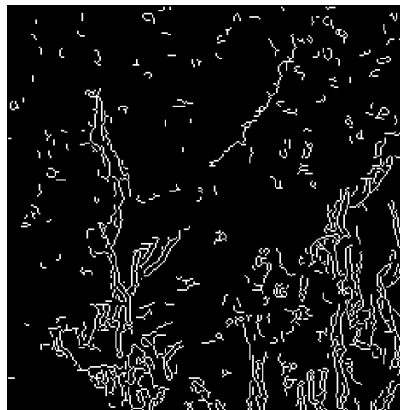
Εικόνα 7: Ανίχνευση ακμών στην Εικόνα (κλίμακες 1-2)



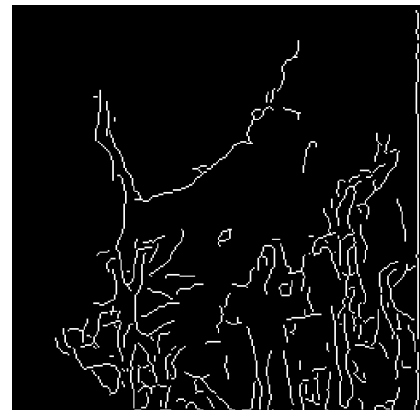
Εικόνα 8: Ανίχνευση ακμών στην Εικόνα (κλίμακες 2-3)



Εικόνα 9: Τμήμα εικόνας Radar (IRS-1)



Εικόνα 10: Ανίχνευση ακμών στην Εικόνα (κλίμακες 1-2)



Εικόνα 11: Ανίχνευση ακμών στην Εικόνα (κλίμακες 2-3)

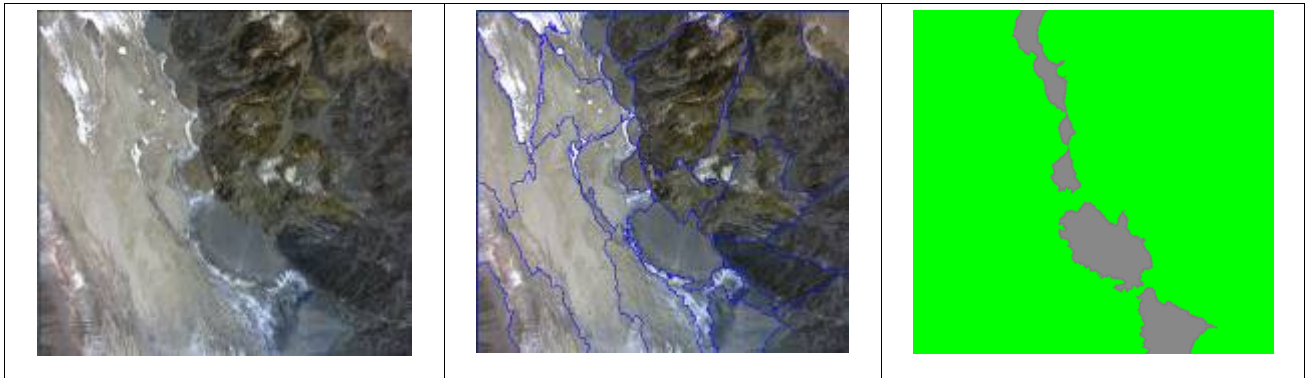
#### 4. ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΣΤΡΑΦΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΓΕΩΜΟΡΦΩΝ ΚΑΙ ΑΣΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

Για υψηλής χωρικής ανάλυσης πολυφασματικές εικόνες τηλεπισκόπησης, και όχι μόνο, έχει παρατηρηθεί πρόσφατα τάση για μετάβαση από την συνήθη ταξινόμηση εικονοστοιχείων στην ταξινόμηση πρωτογενών αντικειμένων τα οποία έχουν προκύψει από χαμηλού επιπέδου επεξεργασίες κατάτμησης. Λόγω της μεγάλης χρησιμότητας της κατάτμησης εικόνων σε εφαρμογές όρασης υπολογιστών, έχει παρουσιαστεί πληθώρα αλγορίθμων. Κατάτμηση εικόνων επιτυγχάνεται με αλγορίθμους συνένωσης περιοχών, αύξησης περιοχών, διαχωρισμού και συνένωσης, μορφολογικού υδροκρίτη και κυματιδίων που συχνά λαμβάνουν υπόψη την υφή και το σχήμα των πρωτογενών αντικειμένων [16].

Για την ταξινόμηση των πρωτογενών αντικειμένων που φέρουν κάποιες ιδιότητες (φασματικές, τοπολογικές, ιεραρχικές) συντάσσονται κανόνες και υλοποιούνται βάσεις γνώσης, οι οποίες αναλαμβάνουν την ταξινόμηση τους. Η διαδικασία στηρίζεται σε τεχνικές και μεθόδους τεχνητής ευφυΐας, όπως τα έμπειρα συστήματα ή τα νευρωνικά δίκτυα.

Έχουν γίνει πολλές προσπάθειες τα τελευταία χρόνια για την υλοποίηση συστημάτων με βάση τη γνώση για την αναγνώριση κατηγοριών χρήσης γης ή για την αναγνώριση προτύπων σε τηλεπισκοπικά δεδομένα. Μια μέθοδος αύξησης περιοχών, εφαρμόστηκε πρόσφατα [17] και είχε στόχο την αυτόματη εξαγωγή γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών από Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (ΨΜΕ).

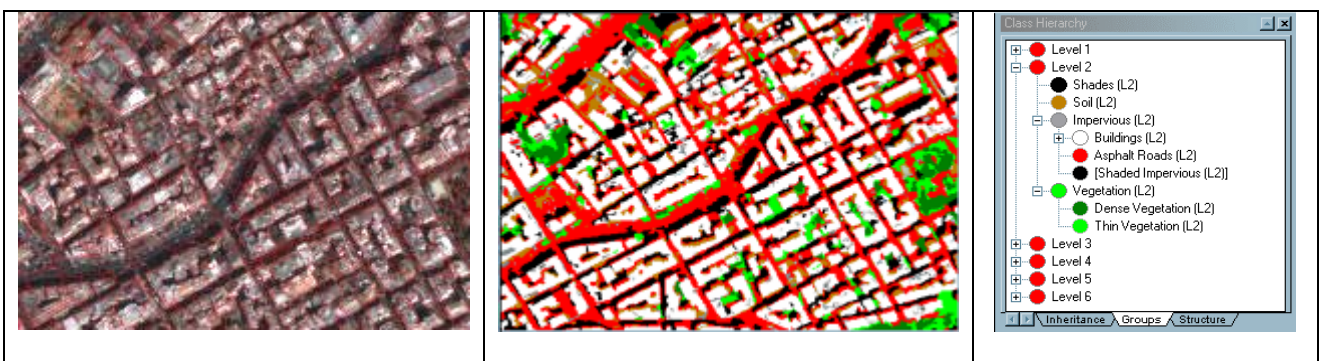
Στο πρόσφατο παρελθόν εφαρμόστηκε αλγόριθμος συνένωσης περιοχών σε τηλεπισκοπικά δεδομένα ASTER και Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους για την οριοθέτηση αλουβιακών ριπιδίων [18]. Εφαρμόστηκε μια τεχνική κατάτμησης πολλαπλής ανάλυσης του ΨΜΕ και της εικόνας ASTER που έδωσε πρωτογενή αντικείμενα σε τέσσερα επίπεδα. Πραγματοποιήθηκε ασαφής ταξινόμηση με βάση γνώσης η οποία εμπλουτίστηκε με ευρετικούς κανόνες που αφορούσαν κυρίως σημασιολογική πληροφορία γεινίασης και σχέσης αντικειμένων με το περιβάλλον. Τέλος, πραγματοποιήθηκε μια τελική προβολή ταξινόμησης, χωρίζοντας τα αντικείμενα του επιπέδου σε δυο τελικές κατηγορίες: Αλουβιακά Ριπίδια και Λοιπά Αντικείμενα.



Εικόνα 12: Αριστερά η αρχική εικόνα ASTER. Στο κέντρο η κατάτμηση της εικόνας ASTER με τεχνική συνένωσης περιοχών και δεξιά το αποτέλεσμα ασαφούς ταξινόμησης αλουβιακών ριπιδίων (με γκρι χρώμα)

Αλγόριθμος συνένωσης περιοχών χρησιμοποιήθηκε προσφάτως στα πλαίσια μελέτης αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνας για την ταξινόμηση χρήσεων γης από τηλεπισκοπικά δεδομένα IKONOS και υψομετρικά δεδομένα LIDAR από αερομεταφερόμενο σαρωτή για αμιγή αστικό χώρο.

Για την υλοποίηση της μελέτης, τα ψηφιακά δεδομένα κατατμήθηκαν με την βοήθεια ενός αλγορίθμου πολλαπλής ανάλυσης [19] σε 4 επίπεδα μετά από αλληπαλληλες δοκιμές για την επιλογή των συντελεστών τόνου και σχήματος. Μετά την λήψη των πρωτογενών αντικειμένων από την κατάτμηση σε πολλαπλά επίπεδα, πραγματοποιήθηκε ασαφής ταξινόμηση με τη χρήση κανόνων και βάσεων γνώσης. Στην ταξινόμηση των διαφόρων επιπέδων ελήφθησαν υπόψη σχέσεις γεινίασης και τοπολογίας μεταξύ επιπέδων ώστε να λυθούν προβλήματα λαθών ταξινόμησης που μπορούσαν να αντιμετωπιστούν με ευρετικούς κανόνες.



Εικόνα 13: Αριστερά: Η κατάτμηση της εικόνας με τη βοήθεια των υψομετρικών δεδομένων. Κέντρο: Η ασαφής ταξινόμηση χρήσεων γης. Δεξιά: Η ιεραρχία κατηγοριών που χρησιμοποιήθηκε στην ταξινόμηση.

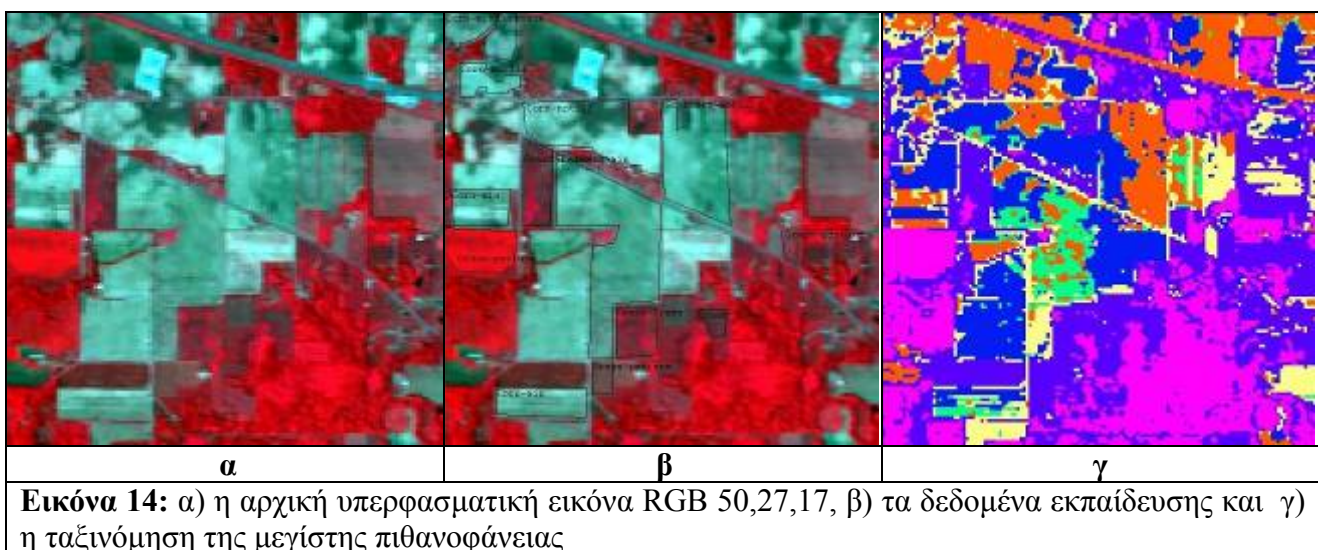
## 5. ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΕΞΑΓΩΓΗΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟ ΥΠΕΡΦΑΣΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Όταν το μέγεθος των δειγμάτων εκπαίδευσης είναι μικρό σε σχέση με τη διανυσματική διάσταση του χώρου όπου θα γίνει η ταξινόμηση, όπως συμβαίνει στη περίπτωση των υπερφασματικών δεδομένων, οι δειγματικές εκτιμήσεις του πίνακα συμμεταβλητότητας είναι ευμετάβλητες και συνεπώς ο αλγόριθμος ταξινόμησης γίνεται ασταθής [20]. Για το λόγο αυτό πρέπει να μειωθεί η διάσταση του διανυσματικού χώρου προτύπων όπου θα γίνει η ταξινόμηση.

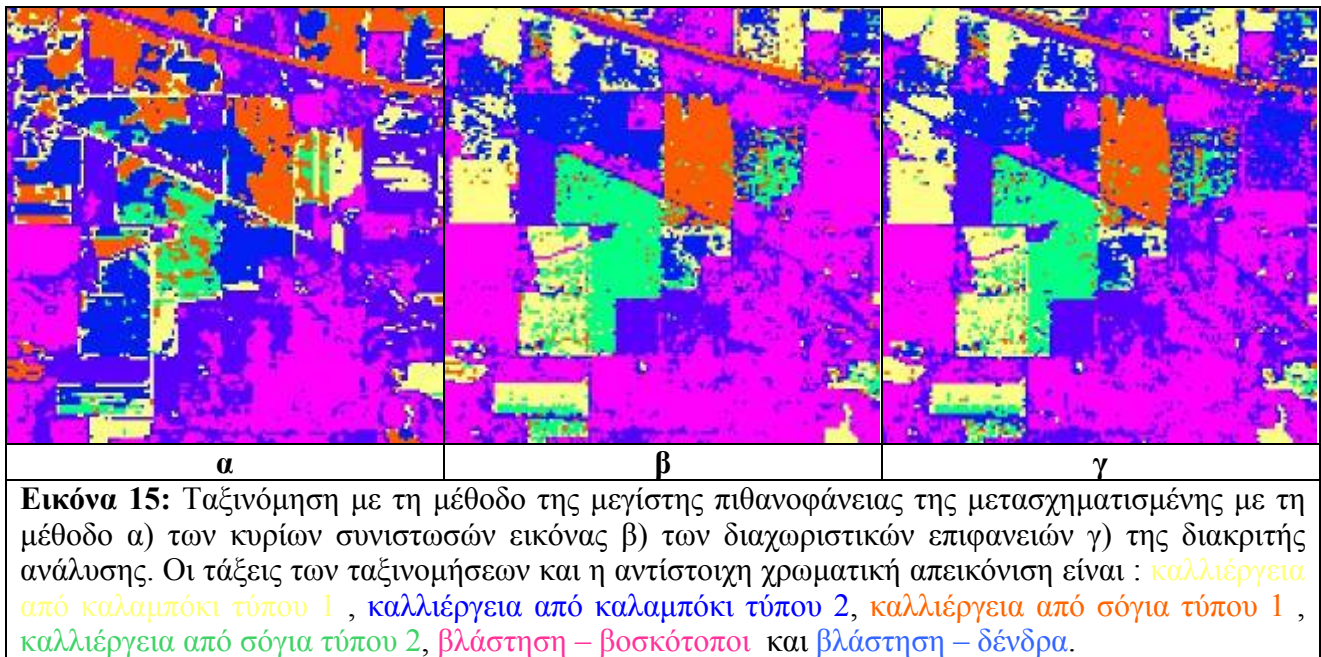
Στην εργασία αυτή εφαρμόστηκαν αλγόριθμοι εξαγωγής χαρακτηριστικών οι οποίοι μετασχηματίζουν τα αρχικά δεδομένα σε νέα με σκοπό να αυξήσουν την ακρίβεια ταξινόμησης λαμβάνοντας υπόψη τη πληροφορία που περιέχουν τα δείγματα εκπαίδευσης. Οι αλγόριθμοι αυτοί είναι η *Εξαγωγή Χαρακτηριστικών Με Διαχωριστικές Επιφάνειες* και η *Εξαγωγή Χαρακτηριστικών Με Διακριτή Ανάλυση* [21]. Οι παραπάνω αλγόριθμοι εξαγωγής χαρακτηριστικών εφαρμόστηκαν σε μία υπερφασματική τηλεπισκοπική εικόνα AVIRIS (Εικόνα 14). Σκοπός της ανάλυσης ήταν ο εντοπισμός των διαφόρων καλλιέργειών αλλά και των σταδίων ανάπτυξης στα οποία βρίσκονται οι καλλιέργειες αυτές. Η ανάλυση των δεδομένων έγινε στο πακέτο Multispec [22].

Το σύνολο των δειγμάτων εκπαίδευσης παρουσιάζονται στην Εικόνα 14. Αφού υπολογίστηκαν η μέση τιμή και ο πίνακας συμμεταβλητότητας για κάθε τάξη προέκυψαν η μετασχηματισμένη με τη μέθοδο των διαχωριστικών επιφανειών εικόνα, η μετασχηματισμένη με τη μέθοδο της διακριτής ανάλυσης εικόνα και η μετασχηματισμένη με τη μέθοδο των κυρίων συνιστωσών εικόνα, οι οποίες ταξινομήθηκαν με τον αλγόριθμο της μέγιστης πιθανοφάνειας και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στις εικόνες 14γ και 15α,β,γ αντίστοιχα.

Από ποιοτική ερμηνεία των παραπάνω ταξινομήσεων προκύπτει ότι στο διαχωρισμό τάξεων με παρόμοιες στατιστικές παραμέτρους (καλλιέργεια σόγιας τύπου 1 και 2) η ταξινόμηση τόσο της αρχικής εικόνας όσο και της μετασχηματισμένης με τη μέθοδο PCA έδωσε ασαφή αποτελέσματα ενώ στις μετασχηματισμένες με τη μέθοδο των διαχωριστικών επιφανειών και με τη μέθοδο της διακριτής ανάλυσης οι κατηγορίες αυτές είναι σαφώς διαχωρισμένες. Στη περίπτωση τάξεων με αρκετά διαφοροποιημένες στατιστικές παραμέτρους (βοσκότοποι – δέντρα) η ταξινόμηση όλων των εικόνων έδωσε σε μεγάλο ποσοστό ίδια αποτελέσματα. Από τις ακρίβειες ταξινόμησης των παραπάνω μεθόδων προκύπτει ότι στη περίπτωση των αρχικών δεδομένων η ακρίβεια ταξινόμησης είναι 56,7%, για τα μετασχηματισμένα με τη μέθοδο PCA 56,2% ενώ για τα μετασχηματισμένα με τη μέθοδο των διαχωριστικών επιφανειών 88,9% και για τα μετασχηματισμένα με τη μέθοδο της διακριτής ανάλυσης 86,5%.







## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ανιστροπική διάχυση χρησιμοποιήθηκε για την ενίσχυση ζητούμενων χαρακτηριστικών στις τηλεπισκοπικές εικόνες, βοηθώντας συγκεκριμένους ανιχνευτές ακμών να εντοπίσουν σωστά τις ακμές στην εικόνα, χωρίς να ‘μπερδεύουν από το θόρυβο’. Η ανιστροπική διάχυση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την υποστήριξη τεχνικών κατάτμησης κατά τον εντοπισμό των ομογενών περιοχών, μιας και είναι αυτές που κατά την διάρκεια της ανιστροπικής διάχυσης υφίστανται την ομαλοποίηση.

Οι βέλτιστοι αλγόριθμοι ανίχνευσης ακμών που εφαρμόστηκαν για χαρτογράφηση φωτογραμμώσεων παρείχαν ικανοποιητικά αποτελέσματα αναφορικά με την ακρίβεια εντοπισμού θέσης των ακμών, την ευαισθησία ανίχνευσης τους, τη συνεκτικότητα και την «ερμηνευτικότητα» τους. Το στηριζόμενο στην κυματιδιακή ανάλυση σχήμα πολλαπλασιασμού κλιμάκων έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα στην ανίχνευση ακμών από τηλεπισκοπικά δεδομένα με θόρυβο. Ανίχνευσε ικανοποιητικά τις σημαντικότερες ακμές, χωρίς να επηρεάζεται από το θόρυβο, και χωρίς να προκαλεί παραμόρφωση στο σχήμα και στη θέση των ακμών. Οι διάφοροι αλγόριθμοι κατάτμησης εικόνας που δοκιμάστηκαν στην παρούσα εργασία, παρουσίασαν επιτυχή αποτελέσματα για τις διάφορες εφαρμογές τους σε τηλεπισκοπικά δεδομένα και προβλήματα. Η αντικειμενοστραφής ανάλυση εικόνας παρείχε ικανοποιητικά αποτελέσματα στην χαρτογράφηση αλουβιακών ριπιδίων και χαρακτηριστικών του αστικού χώρου.

Οι μέθοδοι των διαχωριστικών επιφανειών, και της διακριτής ανάλυσης όπως εφαρμόστηκαν, απεδείχθησαν να υπερτερούν των κλασικών μεθόδων (PCA) και να είναι αναγκαίες πριν την ταξινόμηση των υπερφασματικών δεδομένων AVIRIS.

## 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. D. Marr, E. Hildreth (1980) ‘**Theory of edge detection**’, Proc. Roy. Soc. London.
2. A. P. Witkin (1983) **Scale-space filtering**. In Proceedings of the Eighth International Joint Conference on Artificial Intelligence, pages 1019–1022, 1983.
3. Perona P. and Malik J., (1990) “**Scale space and edge detection using anisotropic diffusion**”, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., Vol 12, pp16-27.

4. M. J. Black and G. Sapiro, (1998) “**Robust Anisotropic Diffusion Filtering**”, *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 7, no 3.
5. Karantzas K., (2003) “**Combining Anisotropic Diffusion and Alternating Sequential Filtering for Satellite Image Enhancement and Smoothing**”, *Proceedings International Conference of Image and Signal Processing for Remote Sensing IX*, SPIE, Barcelona, Spain.
6. Alvarez L., Lions P. L., and Morel J. M., (1992) “**Image selective smoothing and edge detection by nonlinear diffusion. II,**” *SIAM-JNA*, vol. 29, pp. 845–866.
7. Karantzas K., Argialas D. (2004) “**Towards Automatic Olive Tree Extraction from Satellite Imagery**” *Proceedings ISPRS XX Congress*, Istanbul, Turkey.
8. Ziou, D. and S. Tabbone (1997), “**Edge Detection Techniques – An Overview**”, *Technical Report No. 195*, Département de Math et Informatique, Université de Sherbrooke, Québec, Canada, pp. 1-41.
9. Iverson, L. A. and S. W. Zucker (1995), “**Logical / linear operators for image curves**”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 17, pp. 982-996.
10. D. P. Argialas and O. D. Mavrantza (2004), “**Comparison Of Edge Detection And Hough Transform Techniques In Extraction Of Geologic Features**”, *Proc. XX<sup>th</sup> ISPRS Congress*, Vol. IAPRS-XXXV, Istanbul, Turkey, 2004.
11. Mavrantza, O. D. and D. P. Argialas (2003), “**Quantitative evaluation of edge detection techniques in automated lineament mapping for a volcanic geotectonic environment**”, *Proc. 2003 Tyrrhenian International Workshop on Remote Sensing* (ed. Dalle Messe), Elba Island, Italy, 2003.
12. Meer, P. and B. Georgescu (2001), “**Edge detection with embedded confidence**” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 23, pp. 1351-1365.
13. Li J. (2003) “**A Wavelet Approach to Edge Detection**”, Thesis for the Master of Science in Mathematics, Sam Houston State University, Huntsville, Texas, 70p
14. Zang, L. and Bao P. (2002) “**Edge Detection by Scale Multiplication in Wavelet Domain**” *Pattern Recognition Letters*, Vol 23, pp. 1774-1784.
15. Mallat, S. and S. Zhong (1992) “**Characterization of Signals from Multiscale Edges**”, *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol 14(7), pp. 710-732.
16. Sonka M., Hlavac V., Boyle R. (1999). **Image Processing, Analysis, and Machine Vision**, 2<sup>nd</sup> edition, ISBN 0-534-95393-X.
17. Miliaris, G.Ch., and D.P. Argialas, (1999). **Segmentation of Physiographic Features from the Global Digital Elevation Model / GTOPO30**. *Computers & Geosciences*, Vol. 25, No. 7, pp. 715-728.
18. Argialas D. P., A. Tzotsos, (2004). “**Automatic Extraction of Aluvial Fans from Aster LI Satellite Data and a Digital Elevation Model Using Object-Oriented Image Analysis**”, in XXth ISPRS Congress, 12-23 July 2004 Istanbul, Turkey - Commission 7. Proceedings available at <http://www.isprs.org/istanbul2004/comm7/comm7.html>.
19. Baatz M. and Schäpe A., (2000). **Multiresolution Segmentation – an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation**. *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII. Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2000*, Karlsruhe, Herbert Wichmann Verlag: pp. 12–23.
20. Fukunaga K. (1990) “**Introduction to Statistical Pattern Recognition**” 2<sup>nd</sup> Edition, Academic Press Professional, Inc.
21. Lee C. & Lagrebe D (2004). “**Feature Extraction & Classification Algorithms For High Dimensional Data**”, School Of Electrical Engineering-Purdue University (<http://dynamo.ecn.purdue.edu/~biehl/MultiSpec/documentation.html>).
22. Biehl L. & Lagrebe D. (2004): “**An Introduction To Multispec**”, School Of Electrical Engineering Purdue University (<http://dynamo.ecn.purdue.edu/~biehl/MultiSpec/>).