

ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΩΝ ΑΠΟ ΠΑΓΧΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ

Καράντζαλος Κ., Αργιαλάς Δ.

*Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.*

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία, αναπτύχθηκε μεθοδολογία για την εξαγωγή και χαρτογράφηση ακτογραμμών από παγχρωματικές δορυφορικές απεικονίσεις. Η μεθοδολογία περιγράφεται σε τρία στάδια: i) πρώτα λαμβάνουν χώρα οι προεπεξεργασίες για την ενίσχυση και ομαλοποίηση των εικόνων, ii) έπειτα ακολουθεί η ανίχνευση ακμών είτε με τον τελεστή Canny είτε με το μορφολογικό φορμαλισμό της δεύτερης παραγώγου και τέλος, iii) πραγματοποιείται ο διαχωρισμός των εξαγόμενων ακτογραμμών από τις υπόλοιπες ανιχνευμένες ακμές. Το τελευταίο βήμα πραγματοποιείται μιας και μαζί με τις ανιχνευμένες ακτογραμμές, το αποτέλεσμα των δύο πρώτων σταδίων, επηρεάστηκε αρνητικά από ακμές που περιέγραφαν τα όρια και άλλων μη επιθυμητών περιοχών στο έδαφος (ποτάμια, όρια καλλιέργειών, κ.α.). Έτσι, για την εξαγωγή των ακτογραμμών χρησιμοποιήθηκε η εναλλαγή που παρατηρείται στην υφή μεταξύ των θαλάσσιων περιοχών (μαλακή υφή, από σκουρόχρωμους σχηματισμούς) και του εδάφους (τραχύς με πιο σύνθετους μέσου τόνου σχηματισμούς). Για την ανάλυση της υφής εφαρμόστηκαν φίλτρα Gabor. Τα αποτελέσματα κρίνονται ικανοποιητικά και ελπιδοφόρα.

AUTOMATIC COASTLINE MAPPING FROM PANCHROMATIC SATELLITE IMAGERY

Karantzalos K. and Argialas D.

*Research Laboratory of Remote Sensing, School of Rural and Surveying Engineering,
National Technical University of Athens.*

Abstract

In this paper, an algorithm for the automatic extraction and mapping of coastlines from panchromatic satellite imagery, was developed. The methodology is divided in three steps: i) pre-processing with image smoothing and simplification filters, ii) edge detection based on Canny and morphological operators and finally, iii) coastline extraction. The last step is performed since along with the coastline edges other irrelevant edges were detected too, which is attributed to noise and other non-desirable features (rivers, parcel boundaries, etc.). Thus, for coastline extraction the difference in the texture between the sea regions (soft with darker intensity values) and the mainland (rough with medium intensity values with a higher variance) was calculated with two dimensional Gabor filters and used for the final coastline extraction. Results were satisfactory and look promising.

Λέξεις κλειδιά: τηλεπισκόπηση, ανάλυση εικόνων, ανίχνευση αντικειμένων, ανάλυση υφής.

Key words: remote sensing, image processing, object detection, texture.

1. Εισαγωγή

Η αυτόματη ανίχνευση και εξαγωγή των ακτογραμμών είναι μια βασική και ουσιαστικής σημασίας διαδικασία για ποικίλες γεωγραφικές, χαρτογραφικές και περιβαλλοντικές

εφαρμογές στο παράκτιο περιβάλλον. Η ακτογραμμή, η οριογραμμή που διαχωρίζει υδάτινες επιφάνειες (θάλασσα, λίμνες, κ.α.) με το έδαφος, δεν είναι σταθερή στο χρόνο και για τον προσδιορισμό της απαιτείται η καταγραφή του μετώπου της σε όλες τις εποχές του χρόνου και σε σχέση με διάφορα φυσικά φαινόμενα (διαβρώσεις, παλίρροιες, κ.α.) αλλά και σε σχέση με την ανθρώπινη δραστηριότητα (Dolan et al, 1980; List and Farris, 1999; Boak and Turner, 2005; Turner et al., 2007).

Έτσι, μέχρι σήμερα έχουν, κυρίως, αναπτυχθεί χειρονακτικές τεχνικές εξαγωγής της ακτογραμμής, οι οποίες κατά κύριο λόγο βασίζονται σε μετρήσεις πεδίου με η και χωρίς τον συνδυασμό τεχνικών φωτοερμηνείας (List and Farris, 1999). Τα τελευταία κυρίως χρόνια έχουν αναπτυχθεί τεχνικές για την ημι-αυτόματη και αυτόματη ανίχνευση ακτογραμμών από εναέρια και δορυφορικά δεδομένα με σκοπό την εξαγωγή του μετώπου της ακτογραμμής τη δεδομένη στιγμή της λήψης των δεδομένων και την μέτρηση δεικτών απαραίτητων για τον προσδιορισμό της ακτογραμμής (List and Farris, 1999; Boak and Turner, 2005).

Ανάμεσα σε αυτές τις τεχνικές εκτός από τη χρήση εικόνων (εναέριων και δορυφορικών) έχει προταθεί και η χρήση ψηφιακών μοντέλων εδάφους για την ανίχνευση των μεταβολών της ακτογραμμής (Stephen and Wang, 2003) αλλά και η χρήση ραντάρ απεικονίσεων για τον εντοπισμό του μετώπου της ακτογραμμής κατά την στιγμή της λήψης (Lee, 1990; Mason and Davenport, 1996; Delleriane et al., 2004). Παράλληλα, οι Kroon et al. (2007), αξιολόγησαν την χρήση τηλεπισκοπικών συστημάτων βίντεο για τον έλεγχο και τη διαχείριση προβλημάτων σταθερότητας σε παράκτιες αμμώδεις ακτές. Πιο συγκεκριμένα, αναπτύχθηκαν τηλεπισκοπικά παραγόμενοι παράμετροι (δείκτες) που διευκολύνουν τη μέτρηση της εξέλιξης των ακτογραμμών (λόγω διάβρωσης ή προσαύξησης) και προσμετράνε τυχόν αλλαγές από θύελλες, εποχιακούς κύκλους αλλά και ανθρωπογενείς επεμβάσεις. Η μεταβλητή που αποτελεί τη βάση για όλους τους δείκτες είναι η θέση των ακτογραμμών, όπως αυτή ανιχνεύεται στις τηλεπισκοπικές εικόνες κάποια συγκεκριμένης χρονικής στιγμής, ή κάποιο καρέ ενός βίντεο.

Στην παρούσα εργασία, αναπτύχθηκε μεθοδολογία για την αυτόματη ανίχνευση ακτογραμμών από δορυφορικές εικόνες, με βάση τεχνικές ανίχνευσης ακμών και με στόχο τον αποτελεσματικό εντοπισμό του μετώπου της ακτογραμμής σε κάποια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Πιο συγκεκριμένα, και με βάση τις παρατηρήσεις των Elder και Zucker (1998) για τη σχέση των ανιχνευμένων ακμών με τις κλίμακες παρατήρησης και τις ιδιότητες των αισθητήρων, αναπτύχθηκε μεθοδολογία με βάση τεχνικές ανίχνευσης ακμών, όπου οι παράμετροι των αλγορίθμων (όπως για παράδειγμα το εύρος ομαλοποίησης σ γκαουσιανής συνέλιξης) ορίστηκαν ανά τύπο δορυφορικών εικόνων. Οι Elder και Zucker έδειξαν πως αν υπάρχει γνώση των ιδιοτήτων (εστιακή απόσταση, κ.α.) του αισθητήρα λήψης των απεικονίσεων, οι πραγματικές ακμές (ακμές ενδιαφέροντος) μπορούν να εξαχθούν και να περιοριστούν οι ψευδο-ακμές στο αποτέλεσμα.

Προς την κατεύθυνση αυτή, αναπτύχθηκε μεθοδολογία και προσδιορίστηκαν οι βέλτιστες παράμετροι της, για την εξαγωγή ακτογραμμών από δορυφορικές απεικονίσεις. Η μεθοδολογία περιγράφεται σε τρία στάδια: i) πρώτα λαμβάνουν χώρα οι προεπεξεργασίες για την ενίσχυση και ομαλοποίηση των εικόνων (Karantzalos et al., 2002), ii) έπειτα ακολουθεί η ανίχνευση ακμών είτε με τον τελεστή Canny είτε με το μορφολογικό φορμαλισμό της δεύτερης παραγράφου και τέλος, iii) πραγματοποιείται ο διαχωρισμός της ακτογραμμής από τις υπόλοιπες ανιχνευμένες ακμές. Το τελευταίο βήμα πραγματοποιείται μιας και μαζί με τις ανιχνευμένες ακτογραμμές, το αποτέλεσμα των δύο πρώτων σταδίων, επηρεάστηκε αρνητικά από ακμές που περιέγραφαν τα όρια και άλλων μη επιθυμητών περιοχών στο έδαφος (ποτάμια, όρια καλλιεργειών, κ.α.). Έτσι, για την εξαγωγή των ακτογραμμών χρησιμοποιήθηκε η μετρούμενη στις εικόνες εναλλαγή στην υφή μεταξύ των θαλάσσιων περιοχών και του εδάφους. Ο υλοποιημένος αλγόριθμος για την αυτόματη εξαγωγή των ακτογραμμών εφαρμόστηκε σε παγχρωματικές δορυφορικές εικόνες μεσαίας και μεγάλης χωρικής διακριτικής ικανότητας.

2. Ανίχνευση Ακμών

Ένα από τα βασικότερα προβλήματα στην ανάλυση εικόνων και στην Όραση Υπολογιστών, στην Τηλεπισκόπηση και Φωτογραμμετρία αποτελεί η ανίχνευση ακμών (edge detection). Είναι μια διαδικασία προσδιορισμού των ορίων μεταξύ γειτονικών περιοχών μιας εικόνας με βάση τη μεταβολή κάποιου χαρακτηριστικού (μεταβολή του γκριζου τόνου) των περιοχών αυτών (Marr and Hildreth, 1980). Στόχος των τεχνικών ανίχνευσης ακμών, σε μια ψηφιακή εικόνα, είναι ο εντοπισμός των σημείων στο πεδίο της εικόνας, στα οποία οι τιμές φωτεινότητας αλλάζουν αισθητά. Κάθε ασυνέχεια η οποία υπάρχει στο γκριζό τόνο κάποιας εικόνας και χαρακτηρίζεται από μια απότομη ή βαθμιαία μεταβολή στην ένταση του γκριζού τόνου, μπορεί να θεωρηθεί ως ακμή. Συνήθως, όμως, οι εικόνες περιέχουν και θόρυβο (λόγω του συστήματος λήψης ή της ύπαρξης αντικειμένων σε μικρότερες κλίμακες) που παραμορφώνει το σχήμα των μεταβολών έντασης και εισαγάγει λάθη και ψευδο-ακμές στο αποτέλεσμα.

Ο Canny (Canny, 1986) πρότεινε μια πιο σύνθετη μεθοδολογία, από την απευθείας εξαγωγή της πρώτης και δεύτερης παραγώγου, για την ανίχνευση των ακμών, η οποία έχει καθιερωθεί στη βιβλιογραφία και αποτελεί μια συνηθέστατα χρησιμοποιημένη μέθοδο. Ο Canny έθεσε κριτήρια που έπρεπε να ικανοποιεί ένας βέλτιστος ανιχνευτής. Αυτά ήταν i) να οδηγεί στην ανίχνευση όσο το δυνατόν περισσότερων πραγματικών ακμών στην εικόνα (ακμές που περιγράφουν όρια αντικειμένων και όχι ακμές που προέρχονται από τις εναλλαγές φωτεινότητας λόγω του θορύβου των εικόνων), ii) οι ανιχνευμένες ακμές θα πρέπει να είναι χωρικά ακριβείς και τέλος iii) να είναι αποτελεσματικός στον θόρυβο. Παράλληλα και από την μεριά της μαθηματικής μορφολογίας έγινε η προσπάθεια να υπολογιστούν οι πρώτες και δεύτερες παράγωγοι με τη βοήθεια μορφολογικών μετασχηματισμών. Οι Beucher και Lantuejoul (1979) έδειξαν ότι το μέτρο της πρώτης παραγώγου μιας αρχικής εικόνας $I(x,y)$, ισούται με το όριο της διαφοράς μιας μορφολογικής διαστολής (dilation) από μια συστολή (erosion) προς δύο φορές την ακτίνα r του δομικού στοιχείου B των μορφολογικών τελεστών:

$$|\text{gradient } I(x,y)| = \lim\{dilation(I,B) - erosion(I,B)/2r\} \quad (1)$$

Αρκετά αργότερα από τον παραπάνω μορφολογικό φορμαλισμό της πρώτης παραγώγου και το 1989 οι Vliet, Young και Beckers (1989), προσέγγισαν τη δεύτερη παράγωγο με έναν επίσης μη γραμμικό μορφολογικό τελεστή. Έδειξαν ότι αν αλγεβρικά προστεθούν τα dilation και erosion και αφαιρεθεί δυο φορές η αρχική εικόνα, προσεγγίζεται η δεύτερη παράγωγος της εικόνας:

$$\text{gradient}^2 I(x,y) = dilation(I,B) + erosion(I,B) - 2I(x,y) \quad (2)$$

Στην παρούσα εργασία εκτός από τον τελεστή Canny ανίχνευσης ακμών εφαρμόστηκαν και οι παραπάνω μορφολογικοί φορμαλισμοί, μιας και στην βιβλιογραφία σε πολλές περιπτώσεις έχουν οδηγήσει σε καλύτερα αποτελέσματα (Lindeberg, 1998; Maragos, 2002; Petrosino and Salvi, 2006).

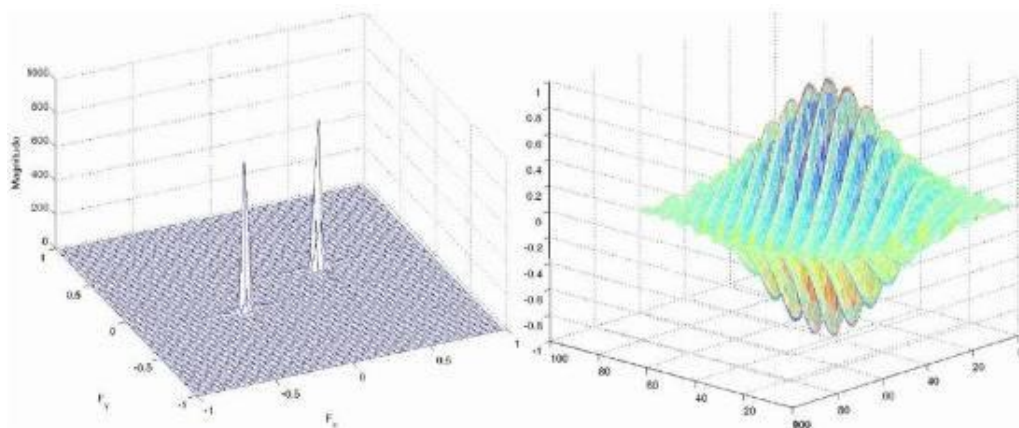
3. Ανάλυση Υφής

Όλοι οι τελεστές ανίχνευσης ακμών, όντας ευαίσθητοι σε όλες τις εναλλαγές των τιμών φωτεινότητας στο πεδίο της εικόνας, παράλληλα με την ανίχνευση των ορίων επιθυμητών αντικειμένων, οδηγούν και στην ανίχνευση μη-πραγματικών και μη-επιθυμητών ακμών (Marr and Hildreth, 1980; Maragos, 2002). Για το λόγο αυτό και για τον διαχωρισμό και την ταξινόμηση των ανιχνευόμενων ακμών σε ακμές που περιγράφουν την ακτογραμμή και ακμές που περιγράφουν άλλα χαρακτηριστικά, χρησιμοποιήθηκε η μετρούμενη στις εικόνες εναλλαγή στην υφή μεταξύ των θαλάσσιων περιοχών και του εδάφους. Η ανάλυση της υφής έγινε με την εφαρμογή διδιάστατων φίλτρων Gabor (Daugman, 1985), τα οποία χαρακτηρίζονται ως βέλτιστα στο χώρο και τη συχνότητα και έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως

στη βιβλιογραφία για ποικίλες εφαρμογές στην Όραση Υπολογιστών, όπως η κατάτμηση τεχνητών εικόνων, ιατρικών εικόνων, εικόνων για ρομποτική όραση, κ.α. (Maragos, 2002; Idrissa and Acheroy, 2002; Manthalkar et al., 2003; Arivazhagan et al., 2006).

Ο Gabor (Daugman, 1985) απέδειξε ότι στο μονοδιάστατο (1D) χώρο τα γκαουσιανά φίλτρα πολλαπλασιαζόμενα με συνημίτονα ικανοποιούν την αρχή της αβεβαιότητας $((\Delta x)(\Delta \omega) > 1/4\pi)$ (x : ανάλυση στο πεδίο του χώρου και ω : στο πεδίο της συχνότητας) και για το λόγο αυτό οδηγούν σε αποτελεσματικότερη δειγματοληψία του χώρου και του χρόνου (συχνότητας) και συμπεριφέρονται βέλτιστα κατά τη συνέλιξή τους με μονοδιάστατα σήματα. Σε δύο διαστάσεις ο Daugman (1985) και συνεχίζοντας τη λογική του Gabor απέδειξε ότι ισχύει το ίδιο, διατυπώνοντας την αρχή της αβεβαιότητας για 2D: $((\Delta x)(\Delta y)(\Delta u)(\Delta \omega) > 1/16\pi^2)$.

Ένα 2D φίλτρο Gabor $g(x,y)$ (Εξίσωση 3, Σχήμα 1) μπορεί να περιγραφεί ως ένα ημιτονοειδές κυματίδιο (κάποιας συχνότητας και προσανατολισμού) ενσωματωμένο μέσα σε μια 2D γκαουσιανή περιβάλλουσα και μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα ζωνοπερατό φίλτρο που συμπεριφέρεται βέλτιστα στην αρχή της αβεβαιότητας (παρουσιάζει το μικρότερο γινόμενο).



Σχήμα 1. Απεικόνιση φίλτρου Gabor στο πεδίο της συχνότητας (αριστερά) και στο χώρο (δεξιά).

$$g_c(x,y) = \exp\left(-\frac{\alpha(x-x_0)^2 + \beta(y-y_0)^2}{F_s^2}\right) \cos\left(2\pi \frac{U_0(x-x_0) + V_0(y-y_0)}{F_s}\right) \quad (3)$$

όπου τα (x_0, y_0) προσδιορίζουν τη χωρική θέση του φίλτρου, τα (α, β) το ενεργό εύρος του φίλτρου προς τις δύο κατευθύνσεις, τα (U_0, V_0) τη διαμόρφωση του, ενώ F_s είναι η συχνότητα δειγματοληψίας του.

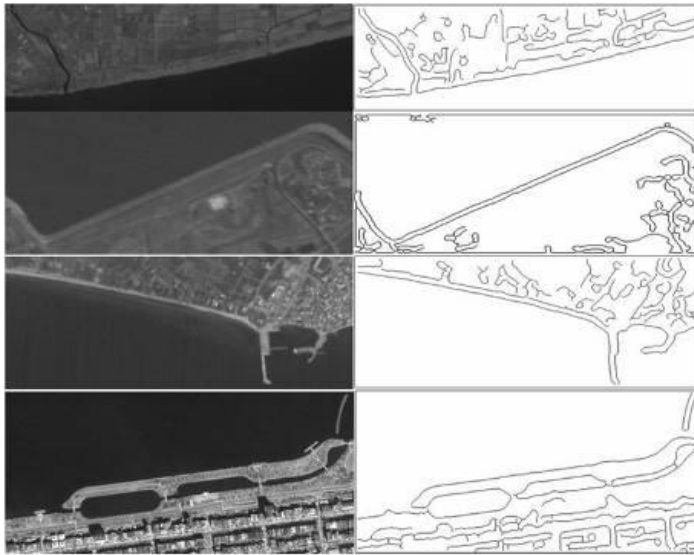
4. Μεθοδολογία και αποτελέσματα

Στην παρούσα εργασία, αναπτύχθηκε αλγόριθμος και ορίστηκαν οι βέλτιστοι παράμετροι του, για την εξαγωγή και χαρτογράφηση ακτογραμμών από παγχρωματικές δορυφορικές απεικονίσεις. Αρχικά πραγματοποιείται η ανίχνευση και εξαγωγή των ακμών σε τρία στάδια:

1. πρώτα λαμβάνουν χώρα οι προεπεξεργασίες για την ενίσχυση και ομαλοποίηση των εικόνων,

2. έπειτα ακολουθεί η ανίχνευση ακμών είτε με τον τελεστή Canny είτε με τον μορφολογικό φορμαλισμό της δεύτερης παραγώγου και τέλος,
3. πραγματοποιείται η αποκατάσταση της συνεκτικότητας των ανιχνευμένων ακμών με τη χρήση μορφολογικών μετασχηματισμών.

Στο υλοποιημένο, αυτό, σύστημα επεξεργασίας, έγινε προσπάθεια με διαδικασία επαναλαμβανόμενων δοκιμών, για ορισμό των βέλτιστων παραμέτρων ανάλογα με τον τύπο της δορυφορικής εικόνας και τον τελεστή ανίχνευσης ακμών. Λόγω, όμως, της φύσης και των περιορισμών των παραπάνω τελεστών, δεν ήταν δυνατή η ανίχνευση μόνο της ακτογραμμής. Μαζί με τις ανιχνευμένες ακτογραμμές, το αποτέλεσμα επηρεάστηκε αρνητικά από ακμές που περιέγραφαν τα όρια και άλλων μη επιθυμητών περιοχών στο έδαφος (ποτάμια, όρια καλλιεργείων, κ.α.), όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.



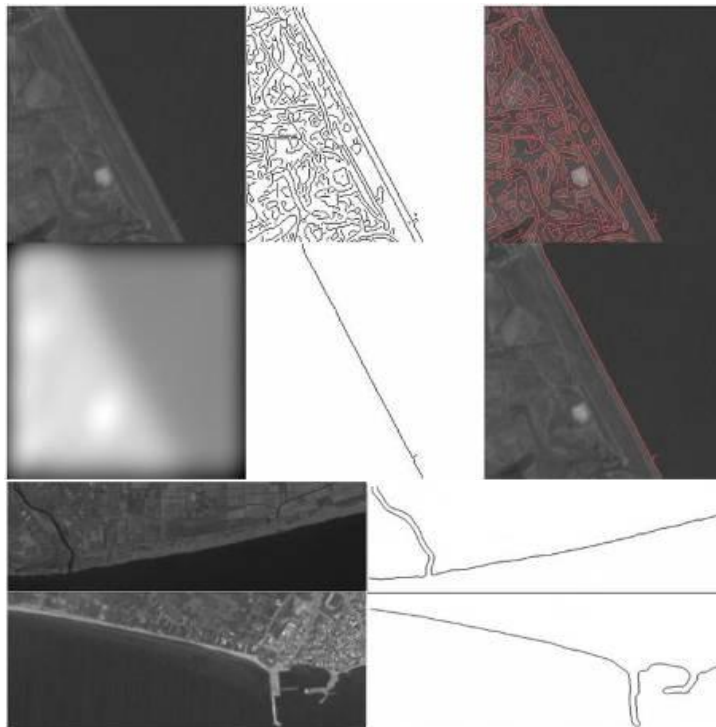
Σχήμα 2. Ανίχνευση ακτογραμμών από δορυφορικές εικόνες τύπου: LANDSAT TM4 με 30μέτρα διακριτική ικανότητα (πρώτη σειρά), SPOT HRV με 10μ. δ.ι. (δεύτερη σειρά), IRS-1C PAN με 6μ. δ.ι. (τρίτη σειρά) και IKONOS PAN με 1μ. δ.ι. (τέταρτη σειρά). Σε όλες τις περιπτώσεις ανιχνεύονται οι ακτογραμμές αλλά ταυτόχρονα τα όρια και άλλων μη επιθυμητών αντικειμένων στο έδαφος (ποτάμια, όρια καλλιεργείων, κ.α.).

Για την διάκριση των ανιχνευμένων ακτογραμμών από τις υπόλοιπες μη επιθυμητές ακμές, ήταν απαραίτητη, η μετα-επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Προς την κατεύθυνση αυτή χρησιμοποιήθηκε η εναλλαγή που παρατηρείται στην υφή μεταξύ των θαλάσσιων περιοχών (μαλακή υφή, από σκουρόχρωμους τόνους) και του εδάφους (τραχύς υφή, με μέσους τόνους μεγαλύτερου εύρους). Για την παραπάνω ανάλυση της υφής, χρησιμοποιήθηκαν φίλτρα Gabor. Με την εφαρμογή φίλτρων Gabor, έγινε ο διαχωρισμός του εδάφους από τη θάλασσα. Έτσι με συγχώνευση (fusion) της πληροφορίας από την ανίχνευση των ακτογραμμών και της ανάλυσης υφής, έγινε η εξαγωγή της ακτογραμμής (Σχήμα 3).

Στο ίδιο αποτέλεσμα, επίσης, μπορεί κανείς να καταλήξει εάν αντί για ανάλυση υφής πραγματοποιηθεί μια καταφλίωση σε υπέρυθρο κανάλι ή κάποιος δείκτης (όπου και οι δύο μέθοδοι βασίζονται στον άμεσο υπολογισμό διαφορών σε τιμές φωτεινότητας, οι οποίες και οδήγησαν και στην αστοχία της ανίχνευσης των ακμών) ή μια ταξινόμηση, η πολυπλοκότητα της οποίας, όμως, είναι αρκετά μεγαλύτερη.

5. Συμπεράσματα/Μελλοντικές κατευθύνσεις

Συνοψίζοντας, στην παρούσα εργασία, υλοποιήθηκε μεθοδολογία για την ανίχνευση και



Σχήμα 3. Εξαγωγή ακτογραμμής έπειτα από την ανάλυση υφής με φίλτρα Gabor. Πρώτη σειρά: αρχική εικόνα IKONOS PAN ενός μέτρου διακριτικής ικανότητας (αριστερά), ανίχνευση ακμών (τελεστής Canny, μέση), επίθεση ακμών πάνω στην αρχική εικόνα (δεξιά). Δεύτερη σειρά: αποτέλεσμα φιλτραρίσματος Gabor στην αρχική εικόνα (αριστερά), εξαγωγή ακτογραμμής με βάση τη συγχώνευση (fusion) της πληροφορίας από την ανίχνευση των ακμών και το φιλτράρισμα Gabor (μέση), επίθεση εξαγόμενης ακτογραμμής πάνω στην αρχική εικόνα (δεξιά). Τρίτη σειρά: αρχική εικόνα LANDSAT TM4, 30μέτρα διακριτική ικανότητα (αριστερά), εξαγόμενη ακτογραμμή (δεξιά). Τέταρτη σειρά: αρχική εικόνα IRS-1C PAN με 6μέτρα διακριτική ικανότητα (αριστερά), εξαγόμενη ακτογραμμή (δεξιά).

χαρτογράφηση των ακτογραμμών σε δορυφορικές εικόνες με βάση τεχνικές ομαλοποίησης και ανίχνευσης ακμών. Καθώς όμως, το αποτέλεσμα δεν είναι το επιθυμητό (ανιχνεύονται μη επιθυμητές ακμές στις περιοχές του εδάφους), με τη χρήση φιλτραρισμάτων Gabor ανάλυσης υφής, διαχωρίζονται οι ακμές που περιγράφουν τις ακτογραμμές από τις υπόλοιπες μη επιθυμητές. Για την συστηματοποίηση των αποτελεσμάτων απαιτείται η εφαρμογή του αλγορίθμου σε πολυάριθμες εικόνες και ο ορισμός των βέλτιστων παραμέτρων του (εύρος φιλτραρισμάτων ομαλοποίησης π.χ. σ γκαουσιανής και το ενεργό εύρος Gabor φίλτρων α και β) ανά τύπο δορυφορικής εικόνας (διακριτική ικανότητα).

Βιβλιογραφία

Dolan, R., Hayden, B.P., May, P., and May, S.K., 1980. The reliability of shoreline change measurements from aerial photographs. *Shore and Beach*, 48(4), pp.22–29.

Boak, E.H., Turner, I.L., 2005. Shoreline definition and detection: a review. *Journal of Coastal Research* 21 (4), 688–703.

List, J.H. and Farris, A.S., 1999. Large-scale shoreline response to storms and fair weather. **Proceedings of the Coastal Sediments '99**, (Long Island, New York), pp. 1324–1337.

Turner Ian L., Whyte David, Ruessink B.G. and Ranasinghe Roshanka, 2007. Observations of rip spacing, persistence and mobility at a long, straight coastline, *Marine Geology*, Volume 236, Issues 3-4, pp.209-221.

Stephen A. and Yong Wang, 2003. Utilizing DEMs derived from LIDAR data to analyze morphologic change in the North Carolina coastline, *Remote Sensing of Environment*, Volume 85, pp.39-47.

Dellepiane S., Laurentiis R. De and Giordano F., 2004. Coastline extraction from SAR images and a method for the evaluation of the coastline precision, *Pattern Recognition Letters*, Volume 25, Issue 13, pp.461-1470.

Mason, D.C., Davenport, I.J., 1996. Accurate and efficient determination of the shoreline in ERS-1 SAR images. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 34 (5), pp.1243–1253.

Lee, J., Jurkevich, I., 1990. Coastline detection and tracing in SAR images. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 28 (4), pp.662–668.

Kroon A., Davidson M.A., S.G.J. Aarninkhof, R. Archetti, C. Armaroli, M. Gonzalez, S. Medri, A. Osorio, T. Aagaard, R.A. Holman, et al., 2007. Application of remote sensing video systems to coastline management problems, *Coastal Engineering*, In Press.

Elder J.H. and Zucker S.W., 1998. Local Scale Control for Edge Detection and Blur Estimation, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. col.20, No. 7.

Karantzalos K., Argialas D., Georgopoulos A., 2002. Towards coastline detection from aerial imagery, *IEEE Proceedings International Conference of Digital Signal Processing*, vol. II, pp 875-880.

Daugman, J.G., 1985. Uncertainty relation for resolution in space, spatial frequency, and orientation optimization by two-dimensional visual cortical filters. *Journal of the Optical Society of America* 2, pp.1160-1169.

Marr, D. and Hildreth, E., 1980. Theory of edge detection, *Proc. R. Soc. Lond. B*, Vol.207, pp.187-217.

Canny, J., 1986. A Computational Approach To Edge Detection, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.8, pp.679-714.

Beucher S. and Lantuejoul C., 1979. Use of watersheds in contour detection, *Int. workshop on image processing, real-time edge and motion detection*.

Vliet Van, Young IT, and Beckers ALD, 1989. A Non-linear Laplace Operator as Edge Detector in Noisy Images. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, Vol.45, pp.167-195.

Maragos Petros, 2002. *Computer Vision, Lecture Notes* (partly in greek), NTUA, Athens.

Lindeberg T., 1998. Edge Detection and Ridge Detection with Automatic Scale Selection, *International Journal of Computer Vision*, vol 30, number 2, pp.117-154.

Petrosino A. and Salvi G., 2006. Rough fuzzy set based scale space transforms and their use in image analysis, *International Journal of Approximate Reasoning*, Volume 41, Issue 2, pp.212-228.