

ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΑΚΜΩΝ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΜΑΤΙΔΙΩΝ ΣΕ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ ΥΨΗΛΗΣ ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ

Νούτσου Β.¹, Αργιαλάς Δ.¹, Μιχάλης Π.², Αλβέρτος Ν.³

¹Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, Σχολή Αγρονόμων - Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο vnoutsou@gmail.com, argialas@central.ntua.gr

²University College London, pmike@ge.ucl.ac.uk

³Εργαστήριο Φυσικής, Γενικό Τμήμα, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, alvertos@aua.gr

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν νέες μέθοδοι για την ανίχνευση ακμών, και ιδιαίτερα αυτές που στηρίζονται στον μετασχηματισμός κυματιδίων. Στην παρούσα εργασία, δύο μέθοδοι που βασίζονται στο μετασχηματισμό κυματιδίων διερευνήθηκαν και υλοποιήθηκαν για την εξαγωγή ακμών σε δορυφορικές εικόνες υψηλής χωρικής ανάλυσης. Στη πρώτη μέθοδο χρησιμοποιείται το δισηρθογώνιο μητρικό κυματίδιο και ο πολλαπλασιασμός κλιμάκων ενώ η δεύτερη ένας νέος τύπος κυματιδίου το "contourlet". Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο μετασχηματισμός κυματιδίων οριζόμενος όπως παραπάνω παράγει ακριβή αποτελέσματα στην ανίχνευση ακμών σε εικόνες υψηλής ανάλυσης σε αστικές περιοχές.

EDGE DETECTION OF MANMADE OBJECTS USING WAVELETS IN HIGH RESOLUTION SATELLITE IMAGES

Noutsou V.¹, Argialas D.¹, Michalis P.², Alvertos N.³

¹Remote Sensing Laboratory, School of Rural and Surveying Engineering, National Technical University of Athens, vnoutsou@gmail.com, argialas@central.ntua.gr

²University College London, pmike@ge.ucl.ac.uk

³Laboratory of Physics, Department of Science, Agricultural University of Athens, alvertos@aua.gr

Abstract

In recent years considerable interest was developed in new algorithms addressing the problem of edge detection, especially for high resolution satellite images. They are based on the wavelet transform. In this paper, two methods based on wavelets have been introduced and implemented for extracting edges. The first method was based on the biorthogonal mother wavelet and the scale multiplication scheme while the second method was based on a new wavelet named "contourlet". The results have shown that the wavelet transform using the biorthogonal wavelet produced accurate edge detection results on high resolution satellite images of urban areas. Moreover, the contourlet gave very good results, in detecting roads, some of their types, and other linear features.

Λέξεις κλειδιά: τηλεπισκόπηση, contourlet, ανάλυση πολλαπλών κλιμάκων, πολλαπλασιασμός κλιμάκων, δρόμοι, κτίρια.

Key words: remote sensing, contourlet, multiresolution analysis, scale multiplication, roads, buildings.

1. Εισαγωγή

Οι δορυφορικές εικόνες μεγάλης χωρικής ανάλυσης με διακριτική ικανότητα καλύτερη του

μέτρου επέτρεψαν την χρήση της τηλεπισκόπησης στην αποτύπωση μεγάλων κλιμάκων ακόμα και σε αστικές περιοχές. Στις εφαρμογές αυτές ο προσδιορισμός των ακμών με ακρίβεια είναι σημαντικός καθώς αποτελούν τα όρια γεωχωρικών αντικειμένων όπως οδικό δίκτυο, κτίρια, αστική βλάστηση κτλ.

Στο παρελθόν, το πρόβλημα της ανίχνευσης ακμών στις αστικές περιοχές αντιμετωπιζόταν συνήθως με τη χρήση του αλγορίθμου Canny (Karantzalos and Argialas 2003, Mavrantza and Argialas, 2003) και του μετασχηματισμού Hough (Argialas and Krishnamoorthy, 1992). Τα τελευταία χρόνια υπάρχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για χρήση νέων μετασχηματισμών που χειρίζονται καλύτερα το πρόβλημα της ανίχνευσης ακμών. Οι μέθοδοι αυτοί στηρίζονται στην ανάλυση πολλαπλών κλιμάκων, στην ανάλυση χρόνου-συχνοτήτων, στον αλγόριθμο πυραμίδων και στον μετασχηματισμό κυματιδίων (Gonzales et al., 2004).

Η ανάλυση κυματιδίων καθώς αποτελεί ανάλυση στο πεδίο του χρόνου (χώρου) και ταυτόχρονα στο πεδίο των συχνοτήτων παρουσιάζει πλεονέκτημα έναντι του μετασχηματισμού Fourier. Υπάρχουν πολλές μορφές κυματιδίων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με την εφαρμογή, κάτι που δεν είναι αναγκαίο να προσδιοριστεί εξ αρχής. Επιπλέον, υπάρχουν διαφορετικές μέθοδοι χρήσης της ανάλυσης κυματιδίων για εξαγωγή ακμών.

Δύο μέθοδοι εξετάστηκαν στα πλαίσια της παρούσης εργασίας βασιζόμενες στην ανάλυση κυματιδίων, για ανίχνευση ακμών σε αστικές και ημιαστικές περιοχές, από εικόνες υψηλής χωρικής ανάλυσης. Η πρώτη μέθοδος βασίστηκε στον πολλαπλασιασμό κλιμάκων που προτάθηκε από τους Zang και Bao (2002) και η δεύτερη στα "contourlets", κυματίδια "νέας γενιάς" τα οποία έχουν τη δυνατότητα προσδιορισμού της καμπυλότητας σε όλες τις κατευθύνσεις σε δισδιάστατο χώρο-εικόνες (Do, 2001).

Ακολουθεί το θεωρητικό υπόβαθρο του μετασχηματισμού κυματιδίων και contourlet, περιγραφή μεθόδων που στηρίζονται στους παραπάνω μετασχηματισμούς για ανίχνευση ακμών, παρουσίαση της εφαρμογής συγκεκριμένων μεθόδων σε δορυφορική εικόνα IKONOS και τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διαδικασίας καθώς και τα συμπεράσματα και τα πλεονεκτήματα της εφαρμογής των μεθόδων αυτών.

2. Ανάλυση Κυματιδίων

Ο μετασχηματισμός Fourier αποτελούσε τον βασικό μετασχηματισμό στην ανάλυση εικόνας από τα τέλη της δεκαετίας του '50. Η ανάλυση Fourier είχε ένα σημαντικό μειονέκτημα, καθώς εφαρμόζεται μόνο στο πεδίο των συχνοτήτων, ενώ η θέση στο χώρο-χρόνο όπου συγκεκριμένες συχνότητες εμφανίζονται δεν είναι δυνατόν να αποτυπωθεί. Για την ενσωμάτωση και κάποιας πληροφορίας σχετικά με τη θέση χρησιμοποιήθηκε ο Short Time Fourier transform (Castelman, 1995) όπου η εικόνα χωρίζεται σε τμήματα (windows) προκαθορισμένου μεγέθους, δίνοντας χωρική ακρίβεια ανάλογη με το μέγεθος του παραθύρου που χρησιμοποιείται. Το μειονέκτημα είναι ότι το μέγεθος του παραθύρου είναι σταθερό για όλες τις συχνότητες. Η ανάλυση κυματιδίων επιτρέπει τη χρήση διαφορετικού μεγέθους παραθύρου προσδιορίζοντας με μεγαλύτερη λεπτομέρεια και ακρίβεια, άλλοτε της θέσης και άλλοτε της συχνότητας, χρησιμοποιώντας μεγάλα διαστήματα στις χαμηλές συχνότητες και μικρά στις υψηλές συχνότητες.

Η ανάλυση κυματιδίων αρχικά σχεδιάστηκε ως συνεχής ανάλυση και κατόπιν επεκτάθηκε σε διακριτό μετασχηματισμό σε περισσότερες διαστάσεις. Ο **Συνεχής Μετασχηματισμός Κυματιδίων** (Continuous Wavelet Transform / CWT) εκφράζεται ως:

$$\gamma(s,t) = \int f(t)\psi_{s,t}^*(t)dt \quad (1)$$

Η εξίσωση (1) δείχνει πως μία συνάρτηση $f(t)$ αποσυντίθεται σε ένα σύνολο από συναρτήσεις βάσης (basis functions) $\psi_{s,t}(t)$ που ονομάζονται κυματίδια. Οι μεταβλητές s και

τ , κλίμακα και μετάθεση, είναι οι νέες διαστάσεις μετά τον μετασχηματισμό. Ο αντίστροφος μετασχηματισμός κυματιδίων (εξίσωση 2) ανασυνθέτει την συνάρτηση χρησιμοποιώντας τις συναρτήσεις βάσης και τους συντελεστές που προέκυψαν από τον μετασχηματισμό (1).

$$\psi_{s,t}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) \quad (2)$$

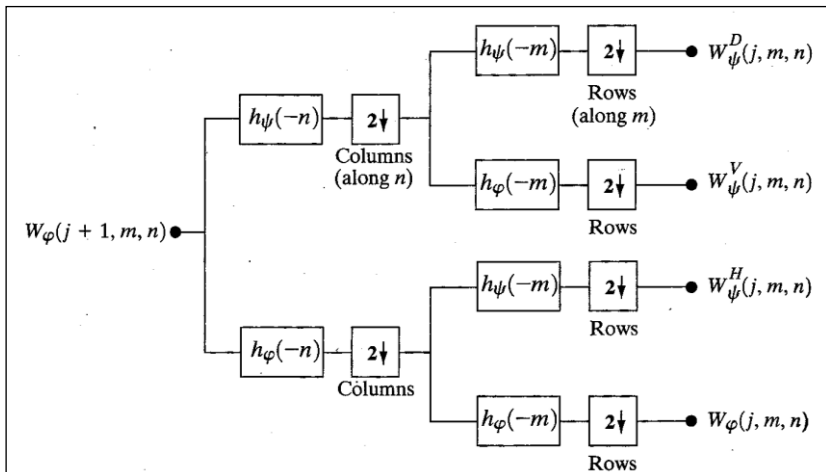
Η θεωρία του μετασχηματισμού κυματιδίων καθορίζει ένα πλαίσιο μέσα στο οποίο ένα κυματίδιο σχεδιάζεται προκειμένου να εκπληρωθούν κάποια ειδικά κριτήρια. Δεν απαιτείται να καθοριστούν οι βασικές συναρτήσεις εκ των προτέρων. Τα κυματίδια έχουν περιορισμένη διάρκεια και μέση τιμή μηδέν και επομένως είναι ακανόνιστα και ασύμμετρα (Mallat, 1998).

Όπως φαίνεται από την εξίσωση (1) για πρώτου βαθμού μετασχηματισμό κυματιδίων η συνάρτηση $f(t)$ είναι δύο διαστάσεων. Αντίστοιχα για μετασχηματισμούς μεγαλύτερου βαθμού η συνάρτηση $f(t)$ αυξάνεται κατά μια διάσταση.

Για την επεξεργασία των ψηφιακών εικόνων χρησιμοποιείται ο **Διακριτός Μετασχηματισμός Κυματιδίων** (Discrete Wavelet transform / DWT). Ένας αποδοτικός τρόπος να εφαρμοστεί ο DWT με την χρήση φίλτρων αναπτύχθηκε από τον Mallat (1998) (Gonzales et al, 2004). Ο αλγόριθμος του Mallat είναι στην πραγματικότητα ένα κλασικό πλαίσιο γνωστό ως δισδιάστατος κωδικοποιητής υποζωνών.

Μία επαναληπτική υπολογιστική προσέγγιση του DWT παρουσιάζεται στην εικόνα 1. Τα $W\varphi(j, m, n)$ και $\{W\psi(j,m,n) \text{ for } H,V,D\}$ δεδομένα εξόδου στην Εικόνα 1 αποτελούν τους συντελεστές του DWT στην κλίμακα j . Τα πλαίσια που περιέχουν τα διανύσματα κλίμακας και κυματιδίων αποτελούν την χαμηλόσυχη και υψηλόσυχη αποδόμηση. Τα πλαίσια που περιλαμβάνουν τον αριθμό 2 και ένα βέλος προς τα κάτω αντιπροσωπεύουν υποδειγματοληψία.

Μία εικόνα φιλτράρεται στις στήλες και στις γραμμές με διαφορετικούς συνδυασμούς των διανυσμάτων κλίμακας και κυματιδίων και παράγονται τέσσερις συνιστώσες χαμηλότερης ανάλυσης. Οι συντελεστές $W\varphi$ δημιουργούνται μέσω δύο χαμηλοδιαπερατών φίλτρων και γι'αυτό αποκαλούνται συντελεστές προσέγγισης. Οι $\{W\psi(j,m,n)$ για τα $H,V,D\}$ αποτελούν τους οριζόντιους, κάθετους και διαγώνιους συντελεστές, αντίστοιχα. Αυτή είναι η παρουσίαση της πρώτης επανάληψης (Εικόνα 1). Η δεύτερη επανάληψη θα θεωρηθεί ως δεδομένα εισόδου τους συντελεστές προσέγγισης $W\varphi$.



Εικόνα 2. Γρήγορος Μετασχηματισμός Κυματιδίων (πηγή: Gonzales et al., 2004)

3. Κυματίδια και ανίχνευση ακμών

Στις εικόνες, οι ακμές εμφανίζονται ως σημεία όπου παρατηρούνται μεγάλες αλλαγές στη φωτεινότητα χωρίζοντας τα διαφορετικά αντικείμενα μεταξύ τους. Οι άνθρωποι μπορούν εύκολα να διακρίνουν τα όρια των διαφορετικών αντικειμένων σε μια εικόνα χρησιμοποιώντας διαφορετικούς τύπους πληροφοριών όπως τη φωτεινότητα, την υφή, το χρώμα καθώς και την αποκτηθείσα εμπειρία. Εντούτοις αυτή η ανθρώπινη διαδικασία κατανόησης είναι δύσκολο να αυτοματοποιηθεί. Σύμφωνα με τους Marr and Hildreth (1980), πολλαπλές κλίμακες θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την ποικιλία των ακμών και κατόπιν να συνθέσουν ένα ενιαίο χάρτη ακμών. Η ανάλυση κυματιδίων ως ανάλυση πολλαπλών κλιμάκων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ανίχνευση ακμών.

Τεχνικές ανίχνευση ακμών που βασίζονται στην ανάλυση κυματιδίων έχουν παρουσιαστεί από το 1992. Οι Mallat και Zhong (1992) πρότειναν την χρήση μίας ελαστικής συνάρτησης (spline) δευτέρου βαθμού ως μητρικό κυματίδιο το οποίο προσεγγίζει την πρώτη παράγωγο της Γκαουσιανής, και τον προσδιορισμό των ακμών υπολογίζοντας τα τοπικά μέγιστα του μετασχηματισμού κυματιδίων. Απέδειξαν ότι η μέθοδος είναι αντίστοιχη του Canny ανιχνευτή ακμών. Βασισμένοι σε αυτό το μοντέλο οι Zang και Bao (2002) πρότειναν ένα σχήμα ανίχνευσης ακμών με πολλαπλασιασμό κλιμάκων (η μέθοδος παρουσιάζεται αναλυτικότερα στην συνέχεια).

Ο Ducotet και οι συνεργάτες του (2004) πρότειναν μοντελοποίηση των ακμών βάσει των χαρακτηριστικών της ανάλυσης κυματιδίων όπου τα σημεία ακμών χαρακτηρίζονται σύμφωνα με τις ομοιότητές τους με πρότυπες ακμές. Ο Sun και οι συνεργάτες του (2004) πρότειναν έναν αλγόριθμο βασισμένο σε στατιστικές μεθόδους για να επεξεργαστούν τα αποτελέσματα της ανάλυσης κυματιδίων και να χαρακτηρίσουν τις ακμές. Οι Shih και Tseng (2005) πρότειναν μία μέθοδο ανίχνευσης ακμών η οποία πραγματοποιείται σε δύο στάδια προσδιορισμό των πιθανών σημείων ακμών και κατόπιν χάραξη των ακμών. Μια διαδικασία βελτιστοποίησης, που χρησιμοποιεί τα τρία κριτήρια του Canny, προτάθηκε από τον Hsieh και τους συνεργάτες του (1997) για τη δημιουργία νέων φίλτρων- κυματιδίων.

Επιπλέον, η ανάλυση κυματιδίων έχει χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές ανάλυσης εικόνας κυρίως για συμπίεση, απομάκρυνση θορύβου και συγχώνευση εικόνων. Επίσης η χρησιμότητα της εξετάστηκε στην κατάτμηση και στην ταξινόμηση (Liaris et al., 1997).

4. Πολλαπλασιασμός Κλιμάκων

Στο σχήμα ανίχνευσης ακμών με πολλαπλασιασμό κλιμάκων που προτάθηκε από τους Zang και Bao (2002), χρησιμοποιούνται δύο διαδοχικά υποκανάλια του διακριτού μετασχηματισμού κυματιδίων (DWT) τα οποία πολλαπλασιάζονται ως συνάρτηση γινομένου (product function) και οι ακμές προσδιορίζονται ως τα τοπικά μέγιστα στο γινόμενο μετά από κατωφλίωση. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι ο πολλαπλασιασμός κλιμάκων εντείνει τις δομές της εικόνας και μειώνει τον θόρυβο. Επιπλέον, δημιουργείται ένας ολοκληρωμένος χάρτης ακμών αποφεύγοντας την διαδικασία της εκ των υστέρων σύνθεσης, όπως συμβαίνει με άλλους ανιχνευτές ακμών πολλαπλών κλιμάκων όπου ο χάρτης ακμών δημιουργείται σε διαφορετικές κλίμακες και κατόπιν αυτές συνενώνονται. Έχει αποδειχθεί (Zhang και Bao, 2002) ότι επιτυγχάνεται βελτίωση στην ακρίβεια της θέσης εντοπισμού σε σχέση με την χρήση της κάθε κλίμακας ξεχωριστά.

Το κυματίδιο που χρησιμοποιείται στο σχήμα πολλαπλασιασμού κλιμάκων (εξίσωση 1) είναι αυτό που προτάθηκε από τους Mallat και Zhong (1992). Η συνάρτηση κλίμακας προσεγγίζει την Γκαουσιανή και ο Διακριτός Μετασχηματισμός Κυματιδίων (DWT) είναι ισοδύναμος του Canny ανιχνευτή ακμών (Mallat and Zhong, 1992).

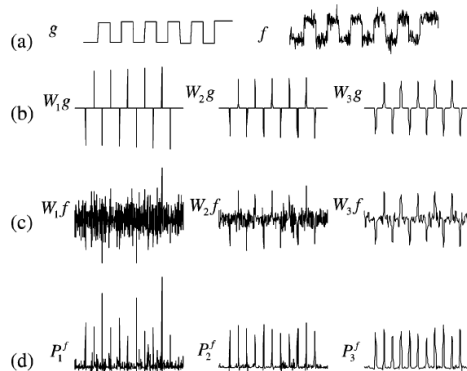
$$\varphi(x) = \begin{cases} 0 & |x| \geq 1 \\ \varphi(-x) & 0 \leq x \leq 1 \\ -8x^3 - 8x^2 + 4/3 & -0.5 \leq x \leq 0 \\ 8(x+1)^3/3 & -1 \leq x \leq -0.5 \end{cases}$$

$$\psi(x) = \begin{cases} 0 & |x| \geq 1 \\ -\psi(-x) & 0 \leq x \leq 1 \\ -24x^2 + 16x & -0.5 \leq x \leq 0 \\ 8(x+1)^2 & -1 \leq x \leq -0.5 \end{cases}$$

Εξ. 1

Οι ακμές σε ένα σήμα τείνουν να διατηρούνται καθώς αλλάζει η κλίμακα, επομένως πολλαπλασιάζοντας τα αποτελέσματα του Διακριτού Μετασχηματισμού Κυμματιδίων (DWT) από γειτονικές κλίμακες οι ακμές θα γίνουν πιο έντονες, ενώ θα μειωθεί ο θόρυβος ο οποίος ελαττώνεται σημαντικά με την αλλαγή κλίμακας.

Στην Εικόνα 2(a), παρουσιάζεται ένα σήμα g και μία εκδοχή του με προσθήκη θορύβου $f=g+\varepsilon$ και στις Εικόνες 2(b) και 2(c) ο DWT στις πρώτες τρεις κλίμακες για τα δύο σήματα. Είναι φανερό ότι στη μικρότερη κλίμακα οι συντελεστές κυμματιδίων W_1f σχεδόν κυριαρχούνται από τον θόρυβο, ενώ στις επόμενες ο θόρυβος μειώνεται γρήγορα. Φαίνεται επίσης ότι στις μικρές κλίμακες η θέση των ακμών εντοπίζεται καλύτερα. Στις μεγάλες κλίμακες η αναλογία σήματος θορύβου βελτιώνεται και οι ακμές μπορούν να εντοπιστούν πιο σωστά αλλά με μείωση της ακρίβειας προσδιορισμού της θέσης. Στην Εικόνα 2(d), παρουσιάζεται το γινόμενο κλιμάκων P_{fj} , $j=1-3$. Είναι εμφανές ότι οι ακμές είναι περισσότερο ευδιάκριτες στο γινόμενο P_{fj} παρά στους συντελεστές W_{fj} . (Zhang and Bao, 2002)



Εικόνα 3. (a) Σήμα g και μία εκδοχή του με θόρυβο f , (b), (c) Διακριτός Μετασχηματισμός Κυμματιδίων των σημάτων g και f , αντίστοιχα, στις τρεις πρώτες κλίμακες, (d) τα αποτελέσματα του πολλαπλασιασμού κλιμάκων στο σήμα f . (πηγή: Zhang and Bao, 2002)

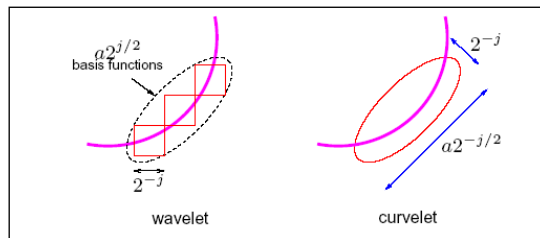
Οι ακμές εντοπίζονται ως τα τοπικά μέγιστα στο γινόμενο P_{fj} . Ο πολλαπλασιασμός κλιμάκων θα βελτιώσει την απόδοση της ανίχνευσης (κυρίως όσον αφορά την ακρίβεια θέσης) και θα μειώσει την επιρροή γειτονικών ακμών (Zhang and Bao, 2002).

5. Contourlets

Τα κυματίδια υιοθετήθηκαν αρχικά στην επεξεργασία σημάτων λόγω της καλής απόδοσης και αναπαράστασης των σημάτων ως τμηματικά ομαλές καμπύλες σε μια διάσταση. Όμως, οι

εικόνες αποτελούν ουσιαστικά δισδιάστατα σήματα, τα οποία είναι ομαλά μακριά από τις καμπύλες ασυνέχειες. Επιπλέον, ο μετασχηματισμός κυματιδίων εφαρμόζεται μόνο σε τρεις κατευθύνσεις (οριζόντιος, κάθετος και διαγώνιος). Κατά συνέπεια, τα κυματίδια δίνουν καλά αποτελέσματα στην απομόνωση των ασυνεχειών στα σημεία ακμών, αλλά δεν θα ανιχνεύσουν την καμπυλότητα κατά μήκος των γραμμών.

Πρόσφατα, ένας νέος μετασχηματισμός, που ονομάστηκε curvelet (καμπυλιδίο), παρουσιάστηκε με κύρια χαρακτηριστικά την υψηλή κατευθυντικότητα και την ανισοτροπία. Οι βάσεις συναρτήσεων curvelet μπορούν να θεωρηθούν ως μία τοπική ομαδοποίηση βασικών κυματιδιακών συναρτήσεων σε γραμμικές δομές έτσι ώστε να μπορούν να εντοπίσουν την ομαλή καμπύλωτη ασυνέχεια πιο αποτελεσματικά.



Εικόνα 4. Μη γραμμική προσέγγιση ομαλών καμπυλών (source: Do, 2001)

Η αρχική κατασκευή του μετασχηματισμού curvelet αφορούσε συναρτήσεις προσδιοριζόμενες στο συνεχή χώρο \mathbf{R}^2 , αποτελώντας ένα συνεχή μετασχηματισμό. Η ανάπτυξη των διακριτών μετασχηματισμών για ψηφιακές εικόνες που υπόσχονται όλα τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των curvelets στον συνεχή χώρο ήταν μια πρόκληση. Όμως ο μετασχηματισμός curvelet καθορίστηκε στην περιοχική συχνότητας, και δεν είναι δυνατόν τα curvelets να αποδώσουν τη χωρική πληροφορία. (Do and Vetterli, 2003).

Η πρόκληση στη ανίχνευση της γεωμετρίας και της κατευθυντικότητας των ακμών στις εικόνες προέρχεται από την ίδια την διακριτή φύση των εικόνων οι οποίες καθορίζονται ως ορθογώνια πλέγματα. Για παράδειγμα, οι κατευθύνσεις σε ένα ορθογώνιο πλέγμα, πέρα από οριζόντιο και την κατακόρυφο κατεύθυνση, εμφανίζονται πολύ διαφορετικές. Λόγω της διακριτής φύσης των εικόνων, η έννοια των ομαλών καμπυλών σε ένα ορθογώνιο πλέγμα δεν είναι προφανής.

Για την κατασκευή των contourlets, χρησιμοποιείται αρχικά ένας μετασχηματισμός κυματιδιακής μορφής για την ανίχνευση ακμών (σημεία) και έπειτα ένας τοπικός μετασχηματισμός κατεύθυνσης για την ανίχνευση τμημάτων καμπυλών. Αυτή η προσέγγιση είναι παρόμοια με τον δημοφιλή μετασχηματισμό Hough για την ανίχνευση γραμμών. Έτσι, μια δομή τραπεζών διπλών φίλτρων κατασκευάστηκε στην οποία, πρώτα, χρησιμοποιείται η Λαπλασιανή πυραμίδα (LP) για να εντοπίσει τα σημεία ασυνέχειας, και έπειτα μια τράπεζα φίλτρων κατεύθυνσης (Directional Filter Bank- DFB) χρησιμοποιείται για να συνδέσει τα σημεία ασυνέχειες σε γραμμικές δομές. (Do, 2001).

6. Διαδικασία Εφαρμογής

Για την εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε μία εικόνα IKONOS pan-sharpened της ημιαστικής περιοχής του Αγίου Στεφάνου Αττικής, για να εξεταστεί η απόδοση δύο μεθόδων που επιλέχθηκαν για την ανίχνευση ακμών. Επιλέχθηκε η ανάλυση πολλαπλών κλιμάκων διότι βασίζεται στην ανάλυση κυματιδίων και δίνει καλά αποτελέσματα στις περιπτώσεις που υπάρχει θόρυβος και εξετάστηκε η απόδοσή της σε εικόνες υψηλής ανάλυσης όπου η λεπτομέρεια θεωρήθηκε ως θόρυβος, ο οποίος μειώνεται στα μεγάλα επίπεδα του μετασχηματισμού κυματιδίων. Ο contourlet μετασχηματισμός επιλέχθηκε διότι είναι κατάλληλος για επεξεργασία δισδιάστατων διακριτών σημάτων (ψηφιακές εικόνες), όπως

είναι και οι δορυφορικές εικόνες και επιπλέον χρησιμοποιεί περισσότερες κατευθύνσεις στο μετασχηματισμό και μπορεί να εντοπίσει καλύτερα τις καμπύλες ακμές.

6.1 Πολλαπλασιασμός Κλιμάκων

Αρχικά, θα πρέπει να αναφερθεί ότι χρησιμοποιήθηκε μια παραλαγή της μεθοδολογίας που προτάθηκε από τους Jang και Bao (2002). Το δισορθογώνιο κυματίδιο `rbio3.1` χρησιμοποιήθηκε από τη βάση δεδομένων του λογισμικού MATLAB, καθώς είναι αντισυμμετρικό και μοιάζει με το κυματίδιο που προτάθηκε από τον Mallat και επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε διπλή κατωφλίωση και όχι απλή.

Ο πολλαπλασιασμός κλίμακας εξετάστηκε πρώτιστα σε τεχνητές εικόνες με θόρυβο (που περιέχουν ευθείες γραμμές διαφορετικών κατευθύνσεων και καμπύλες γραμμές) όπου ήταν ευκολότερο να αξιολογηθεί η απόδοση της μεθόδου και να συγκριθεί με άλλες. Έπειτα εφαρμόστηκε σε πραγματικές δορυφορικές εικόνες όπου χρησιμοποιήθηκαν εικόνες IKONOS από διαφορετικές περιοχές.

Στην εικόνα 5 παρουσιάζεται η αρχική εικόνα που χρησιμοποιήθηκε. Τα επίπεδα 1-2 του μετασχηματισμού κυματιδίων χρησιμοποιήθηκαν στον πολλαπλασιασμό κλιμάκων, επειδή τα κτήρια και οι δρόμοι σε αυτήν την εικόνα δεν είναι αρκετά μεγάλα ώστε να επιτρέπουν τη χρήση υψηλότερων επιπέδων κλίμακας. Διαπιστώθηκε ότι οι ακμές των ανθρωπογενών αντικειμένων ανιχνεύθηκαν και επιπλέον, στους ελεύθερους χώρους όπου υπάρχουν μικρά δέντρα, οι ακμές των δέντρων δεν ανιχνεύθηκαν. Με άλλα λόγια ανιχνεύθηκαν ανθρωπογενή αντικείμενα χωρίς να προκληθεί σύγχυση από την λεπτομερή πληροφορία των δορυφορικών εικόνων μεγάλης διακριτικής ικανότητας. Τα αποτελέσματα ήταν ελαφρώς καλύτερα από αυτά του ανιχνευτή Canny, αλλά θα μπορούσαν να βελτιωθούν περαιτέρω, με την επιλογή ενός καλύτερου μητρικού κυματιδίου.



Εικόνα 5. Αρχική εικόνα (IKONOS, SpaceImaging)



Εικόνα 6. Ακμές που έχουν ανιχνευτεί επί RGB εικόνας



Εικόνα 7. Canny ανίχνευση



Εικόνα 8. Ανίχνευση ακμών με πολλαπλασιασμό κλιμάκων

6.2 Contourlets

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας δημιουργήθηκε ένα σχήμα ανίχνευσης ακμών, βασισμένο στην εργαλειοθήκη contourlet. Οι συντελεστές contourlet αποτελούν πίνακες που δεν αντιστοιχούν στις διαστάσεις της εικόνας, έτσι δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν τοπικά κριτήρια στους πίνακες των συντελεστών. Κατά συνέπεια, οι ακμές ανιχνεύθηκαν στην αναδομημένη εικόνα όπου οι συντελεστές προσέγγισης μειώθηκαν σε μηδέν δεδομένου ότι δεν περιέχουν σημαντικές πληροφορίες για τις ακμές. Παρατηρήθηκε ότι χρησιμοποιώντας μόνο τους συντελεστές των χαμηλότερων κλιμάκων, τα αποτελέσματα δεν ήταν ικανοποιητικά και προκειμένου να ανιχνευθούν μεγάλα αντικείμενα απαιτούνται και οι συντελεστές υψηλότερων επιπέδων. Γι'αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα επίπεδα.

Κατόπιν εφαρμόστηκε κατωφλίωση στην αναδομημένη εικόνα για να διατηρηθούν μόνο οι σημαντικότερες τιμές. Τέλος, για την παραγωγή του τελικού χάρτη ακμών χρησιμοποιήθηκε ένας μορφολογικός καθαρισμός για την μείωση των ακμών.

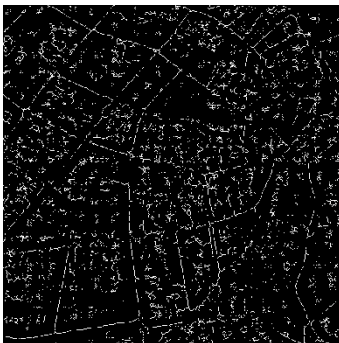
Στις ακόλουθες εικόνες (σχήματα 9-12) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής των contourlets σε μια προαστιακή περιοχή προκειμένου να ανιχνευθεί το δευτερεύον οδικό δίκτυο. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι σχεδόν όλοι οι δρόμοι ανιχνεύθηκαν και το οδικό δίκτυο διατηρήθηκε (σχήμα 12) μετά από τον 'καθαρισμό' της εικόνας.



Εικόνα 9. IKONOS Pansharpened, 321 composite (SpaceImaging)



Εικόνα 10. Αναδομημένη εικόνα μετά την αφαίρεση συντελεστών



Εικόνα 11. Χάρτης ακμών



Εικόνα 12. Χάρτης ακμών μετά από εφαρμογή μορφολογικών τελεστών στην εικόνα 11

Στην αναδομημένη εικόνα οι υψηλές θετικές και αρνητικές τιμές αποτελούν σημεία ακμών. Έτσι, μπορούν να δημιουργηθούν δύο εικόνες ακμών, μια για τις θετικές τιμές και μια για τις αρνητικές, με τη χρήση διαφορετικών ορίων. Ο τελικός χάρτης ακρών θα προκύψει από τη σύνθεση των άλλων δύο χαρτών.

Στην περίπτωση της ανίχνευσης του οδικού δικτύου, η δημιουργία δύο χαρτών ακμών, αποδείχθηκε πολύ χρήσιμη στην ανίχνευση διαφορετικού είδους δρόμων. Οι κύριοι δρόμοι (άσφαλτος) εμφανίζονται σκοτεινότεροι από τους δευτερεύοντες δρόμους, κυρίως στην υπέρυθρο κανάλι. Χρησιμοποιώντας κατά συνέπεια το κατάλληλο κανάλι ή τον κατάλληλο συνδυασμό καναλιών, το κύριο οδικό δίκτυο μπορεί να καθοριστεί από τις αρνητικές τιμές και το δευτερεύον αγροτικό δίκτυο από τις θετικές.

Στις ακόλουθες εικόνες (σχήματα 13-14) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αυτής της μεθόδου στην ανίχνευση του κύριου οδικού δικτύου. Δεδομένου ότι αυτοί οι δρόμοι είναι αρκετά μεγάλοι σε πλάτος, οι λεπτομέρειες του χαμηλότερου επιπέδου στο μετασχηματισμό contourlet δεν χρησιμοποιήθηκαν επειδή περιέχουν λεπτομέρειες που δυσχεραίνουν τη σωστή ανίχνευσή τους. Μπορεί εύκολα να φανεί ότι τα καμπύλα σημεία των δρόμων ανιχνεύονται καλά. Μερικά προβλήματα εμφανίζονται μόνο στους πολύ μεγάλους δρόμους.



Εικόνα 13. IKONOS, band 4
(SpaceImaging)



Εικόνα 14. Χάρτης ακμών μετά από εφαρμογή μορφολογικών τελεστών

7. Συμπεράσματα

Τα δύο κύρια πλεονεκτήματα της ανάλυσης κυματιδίων είναι ότι αποτελεί μετασχηματισμό που στηρίζεται στην ανάλυση πολλαπλών κλιμάκων διατηρώντας την χωρική πληροφορία. Μια εικόνα μπορεί να αναλυθεί σε συνιστώσες που περιέχουν τις πληροφορίες των διαφορετικών συχνότητων ή με άλλα λόγια πληροφορίες των διαφορετικών κλιμάκων χωρίς απώλεια των θέσεων των ακμών. Επιπλέον η μέθοδος είναι πολύ ευέλικτη καθώς επιτρέπει τη χρήση διαφορετικών μητρικών κυματιδίων και την δημιουργία νέων, περισσότερο κατάλληλων για συγκεκριμένες εφαρμογές.

Η ανάλυση κυματιδίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην ανίχνευση ακμών σε εικόνες υψηλής χωρικής ανάλυσης όπου η έννοια της κλίμακας είναι πολύ σημαντική. Ο πολλαπλασιασμός κλιμάκων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση των ορίων των κτιρίων και των δρόμων αποφεύγοντας την ανίχνευση μικρών αντικειμένων όπως μικρά δέντρα, αυτοκίνητα στο δρόμο κτλ. Η μέθοδος μπορεί να βελτιωθεί με τη χρήση άλλων κυματιδίων αλλά και με τη χρήση στατιστικών μεθόδων για τον χαρακτηρισμό των ακμών.

Όσον αφορά στα contourlets, η χρήση τους στη ανάλυση εικόνων είναι πολλά υποσχόμενη καθώς λαμβάνει υπόψη την κλίση των ακμών στην ανίχνευση. Τα contourlets δίνουν καλά αποτελέσματα στην ανίχνευση γραμμικών χαρακτηριστικών από δορυφορικές εικόνες υψηλής ανάλυσης. Ανιχνεύουν ικανοποιητικά τους δρόμους και δίνουν τη δυνατότητα

διαχωρισμού τους σε δύο κατηγορίες (κύριοι δρόμοι από δευτερεύοντες). Η δυνατότητα αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική, λαμβάνοντας υπόψη ότι μαζί με τον προσδιορισμό της ακμής γίνεται και ποιοτικός προσδιορισμός της. Τα αποτελέσματα μπορούν να βελτιωθούν με τη χρήση μορφολογικών τελεστών για να απομονώσουν το οδικό δίκτυο από άλλες ακμές.

Συμπερασματικά η ανάλυση κυματιδίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ποικιλοτρόπως με χρήση διαφορετικών κυματιδίων αλλά και με τον προσδιορισμό νέων. Επιπρόσθετα οι πληροφορίες των διαφορετικών κλιμάκων και η χρήση των στατιστικών ή άλλων μεθόδων μπορούν να οδηγήσουν στην βελτίωση των αποτελεσμάτων της ανίχνευσης. Κατά συνέπεια, οι δυνατότητες της ανάλυσης κυματιδίων στην ανίχνευση ακμών, είναι απεριόριστες και είναι πραγματικά σημαντική η απόδοσή τους στις δορυφορικές εικόνες υψηλής ανάλυσης, όπου οι κλασσικές μέθοδοι δεν αποδίδουν ανάλογα.

Ευχαριστίες

Το έργο αυτό συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο (75%) και από Εθνικούς πόρους (25%) – Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Εκπαίδευσης και Αρχικής Επαγγελματικής Κατάρτισης (ΕΠΕΑΕΚ) και ειδικότερα από το πρόγραμμα ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ.

Βιβλιογραφία

Argialas, D., and S. Krishnamoorthy, (1992). Detection of lines and circles in maps and engineering drawings. In International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXIX, part B, Commission III, 392-399, L. Fritz and J. Lucas Editors, XVII ISPRS Congress, Washington D.C. August 2-14, 1992.

Castelman R, 1995. Digital Image Processing, Prentice Hall, 2nd Edition, pp667.

Do, M. (2001). Directional Multiresolution Image Representations. PhD thesis submitted to Swiss Federal Institute of Technology Lausanne (EPFL), pp208.

Do, M. and Vetterli, M. (2003). Contourlets, Beyond Wavelets, G. V. Welland ed., Academic Press, 1-27.

Do, M. and Vetterli, M. (2005) The contourlet transform: an efficient directional multiresolution image representation, IEEE Transactions Image on Processing, 14(12): 2091-2106.

Ducottet, C. Fournel, T. Barat, C. (2004). Scale-adaptive detection and local characterization of edges based on wavelet transform, in Signal Processing, 84: 2115-2137.

Gonzales, R. Woods, R. Eddins, S. (2004). Digital Image Processing using Matlab, Pearson Education, pp.620.

Hsieh, J.W., Ko, M.T. Liao, H.Y.M. and Fan, K.C. (1997). A New Wavelet-Based Edge Detector via Constrained Optimization, Image and Vision Computing, 15: 511-527.

Karantzalos, K. and D. Argialas (2003), Evaluation of Selected Edge Detection Techniques in Remotely Sensing Images, in Image and Signal Processing for Remote Sensing VIII, S. Serpico (Editor) Proceedings of SPIE International Conference on Remote Sensing, Vol. 4885 (2003), 23-26 September 2002, Agia Pelagia, Crete, pp. 102-110.

Liapis, S., Alvertos, N. and Tziritas, G. (1997). Maximum Likelihood Texture Classification and Bayesian Texture Segmentation Using Discrete Wavelet Frames, International Conference on Digital Signal Processing, 2: 1107-1110.

Mallat, S. (1998). A Wavelet Tour of Signal Processing, Second edition, Academic Press, San Diego, pp637.

Mallat, S., and Zhong, S. (1992). Characterization of Signals from Multiscale Edges, IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 14(7): 710-732.

Mavrantza, O. D. and D. P. Argyias (2003), Quantitative evaluation of edge detection techniques in automated lineament mapping for a volcanic geotectonic environment, in Proceedings of the 2003 Tyrrhenian International Workshop on Remote Sensing, 15-18 September 2003, Elba Island, Italy, 629-638.

Zang, L., and Bao, P. (2002). Edge Detection by Scale Multiplication in Wavelet Domain, Pattern Recognition Letters, 23: 1774-1784.

Shih, M. Tsehng, D. (2005). A wavelet-based multiresolution edge detection and tracking, Image and Vision Computing, 23: 441-451.

Sun, J., Gu, D. Chen, Y. and Zhang, S. (2004). A Multiscale Edge Detection Algorithm Based on Wavelet Domain Vector Hidden Markov Tree Model, Pattern Recognition, Vol. 37, pp. 1315-1324.

Contourlet Toolbox (February, 2007): <http://www.ifp.uiuc.edu/~minhdo/software/> , www.mathworks.com/matlabcentral.