

ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ ΥΦΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΕΛΕΣΤΗ ΤΟΠΙΚΟΥ ΔΥΑΔΙΚΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΝΕΡΓΟΥ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΧΩΡΙΣ ΑΚΜΕΣ*

Μιχάλης Α. Σαβελώνας¹, Δημήτρης Ε. Μαρούλης¹, Δημήτρης Κ. Ιακωβίδης¹,
Σταύρος Α. Καρκάνης²

1. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, Πανεπιστημιούπολη, 15784 Ιλίσια, τηλ: 2107275307, rtsimage@di.uoa.gr.
2. Τ.Ε.Ι. Λαμίας, Τμήμα Πληροφορικής και Τεχνολογίας Υπολογιστών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτήν την εργασία προτείνεται μια πρωτότυπη μεθοδολογία κατάτμησης εικόνων που περιλαμβάνουν τμήματα διαφορετικής υφής. Η προτεινόμενη μεθοδολογία ενσωματώνει τη χρήση τελεστή Τοπικού Δυαδικού Προτύπου (Local Binary Pattern) και την εφαρμογή μοντέλου Ενεργού Περιγράμματος Χωρίς Ακμές (Active Contour Without Edges). Ο τελεστής Τοπικού Δυαδικού Προτύπου κωδικοποιεί την χωρική κατανομή προτύπων στην αρχική εικόνα. Από τις δυαδικές εικόνες που παράγονται με την χρήση του τελεστή, επιλέγονται αυτές που εμφανίζουν την μεγαλύτερη αντίθεση. Ακολουθεί υπέρθεση των επιλεγμένων εικόνων και εφαρμογή γκαουσιανού τελεστή εξομάλυνσης για την εξαγωγή μιας τελικής παράγωγης εικόνας. Οι περιοχές διαφορετικής μέσης έντασης της τελικής εικόνας αντιστοιχούν σε περιοχές διαφορετικής υφής της αρχικής εικόνας και εντοπίζονται με εφαρμογή του μοντέλου Ενεργού Περιγράμματος Χωρίς Ακμές. Ακολουθούν παραδείγματα των αποτελεσμάτων της εφαρμογής της προτεινόμενης μεθοδολογίας σε εικόνες που περιλαμβάνουν τμήματα διαφορετικής υφής.

1. Εισαγωγή

Η κατάτμηση εικόνων συνιστά ένα μείζον πεδίο έρευνας της ανάλυσης εικόνας. Ένας αποτελεσματικός αλγόριθμος κατάτμησης υφής έχει ιδιαίτερη σημασία για ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών που περιλαμβάνει την ανάλυση ιατρικής εικόνας καθώς και την ανάκτηση εικόνας. Ποικίλες δομικές, στατιστικές και φασματικές προσεγγίσεις κατάτμησης υφής έχουν προταθεί (Theodoridis S. et al, 1998, Mirmehti M. et al, 2000). Ειδικότερα, η κατάτμηση εικόνας χωρίς επίβλεψη υπήρξε το αντικείμενο εντατικής έρευνας σε πολλές πρόσφατες μελέτες (Quing X. et al, 2005, Rousson M. et al, 2003, Sagiv C. et al, 2004, Sandberg B. et al, 2002).

Οι πρώιμες προσεγγίσεις κατάτμησης αξιοποίησαν τεχνικές τοπικού φιλτραρίσματος βασισμένες στα σύνορα (boundary-based), όπως είναι οι τελεστές ανίχνευσης ακμών. Η εφαρμογή τέτοιων τεχνικών απαιτεί πρόσθετη επεξεργασία για να συνδεθούν τα παραγόμενα τμήματα ακμών. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε με την εισαγωγή των μοντέλων ενεργού περιγράμματος (active contour models), τα οποία οδηγούν απευθείας σε συνεχείς καμπύλες. Τα μοντέλα αυτά βασίζονται στην παραμόρφωση αρχικών περιγραμμάτων προς τα σύνορα των υπό κατάτμηση περιοχών της εικόνας. Ένα πρόσφατο μοντέλο ενεργού περιγράμματος, το μοντέλο Ενεργού Περιγράμματος χωρίς Ακμές (Active Contour Without Edges-ACWE) (Chan T. et al, 2001) έχει γίνει το αντικείμενο αυξανόμενου ενδιαφέροντος χάρη στα πλεονεκτήματά του: 1) είναι βασισμένο σε χαρακτηριστικά περιοχών (region-based), επιτρέποντας τη διαγράμμιση περιοχών που δεν διαχωρίζονται με απότομες μεταβολές στην ένταση της εικόνας, 2) η διατύπωσή του επιτρέπει τη προσαρμογή σε τοπολογικές αλλαγές, 3) δεν επιβάλλει κανέναν σημαντικό περιορισμό κατά την αρχικοποίηση της καμπύλης (Chan

* Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Ενίσχυσης Ερευνητικού Δυναμικού (ΠΕΝΕΔ) 2003 (κωδικός έργου 03ΕΔ662), το οποίο συγχρηματοδοτείται από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας Τεχνολογίας (ΓΓΕΤ) και το Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο.

T. et al, 2001). Ωστόσο, σύμφωνα με το μοντέλο ACWE η παραμόρφωση της καμπύλης καθορίζεται από την ένταση και όχι από το περιεχόμενο υφής της υπό κατάτμηση εικόνας.

Η πρόσφατη έρευνα στα μοντέλα ενεργού περιγράμματος έχει επικεντρωθεί στη χρήση τη υφής της εικόνας ως κατευθυντήριας δύναμης για τη μορφοποίηση της καμπύλης. Οι περισσότερες υπάρχουσες προσεγγίσεις ενεργού περιγράμματος εμπλέκουν φίλτρα Gabor και wavelet (Sagiv C. et al, 2004, Sandberg B. et al, 2002, Paragios N. et al, 1999, Aujol J.F. et al, 2003).

Ο τελεστής Τοπικού Δυαδικού Προτύπου (Local Binary Pattern-LBP) που προτάθηκε από τους (Ojala T. et al, 1996), προσφέρει μια εναλλακτική προσέγγιση στην αναπαράσταση της υφής. Σε αντίθεση με τα χαρακτηριστικά Gabor, τα οποία υπολογίζονται από τον σταθμισμένο μέσο των τιμών των εικονοστοιχείων σε μια μικρή περιοχή, ο τελεστής LBP συνυπολογίζει ξεχωριστά κάθε στοιχείο στην περιοχή, προσφέροντας πιο λεπτή πληροφορία υφής. Επιπλέον, τα χαρακτηριστικά υφής LBP είναι αμετάβλητα στις αλλαγές της έντασης, οδηγώντας σε μια πιο σταθερή αναπαράσταση υφής κάτω από μεταβαλλόμενες συνθήκες φωτισμού. Συγκριτικές μελέτες έχουν αποδείξει ότι η χρήση χαρακτηριστικών LBP μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερη ακρίβεια ταξινόμησης από τα χαρακτηριστικά Gabor και wavelet, με μικρότερη υπολογιστική επιβάρυνση (Ojala T. et al, 1996, Paclik P. et al, 2002).

Στην εργασία αυτή, προτείνουμε ένα πρωτότυπο αλγόριθμο κατάτμησης υφής χωρίς επίβλεψη, ο οποίος ενσωματώνει τον τελεστή LBP για την αναπαράσταση της υφής στο πλαίσιο κατάτμησης του μοντέλου ACWE.

Η εργασία είναι οργανωμένη σε πέντε ενότητες. Οι ενότητες 2 και 3 παρέχουν μια σύντομη περιγραφή του μοντέλου ACWE και των LBP χαρακτηριστικών, αντίστοιχα. Η ενότητα 4 περιγράφει τον προτεινόμενο αλγόριθμο. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του σε εικόνες διπλής υφής παρατείνονται στην ενότητα 5. Τέλος, στην ενότητα 6 συνοψίζονται τα συμπεράσματα αυτής της μελέτης.

2. Μοντέλο Ενεργού Περιγράμματος χωρίς Ακμές

Το μοντέλο Ενεργού Περιγράμματος χωρίς Ακμές (Chan T. et al, 2001) περιγράφεται από ένα κριτήριο ελαχιστοποίησης:

$$F(c^+, c^-, C) = \mu \cdot \text{Length}(C) + \lambda^+ \int_{\text{inside}(C)} |u_0(x, y) - c^+|^2 + \lambda^- \int_{\text{outside}(C)} |u_0(x, y) - c^-|^2$$

όπου Ω ένα υποσύνολο του R^2 που αντιστοιχεί στις διαστάσεις της εικόνας, $u_0 : \Omega \rightarrow R$ η δοθείσα εικόνα, $C(s) : [0,1] \rightarrow R^2$ μια παραμετροποιημένη καμπύλη, c^+ και c^- οι άγνωστες σταθερές που αναπαριστούν τη μέση τιμή του u_0 εντός και εκτός της καμπύλης και οι παράμετροι $\mu > 0$ και $\lambda^+, \lambda^- > 0$ είναι συντελεστές βαρύτητας. Περισσότερες λεπτομέρειες για το μοντέλο περιέχονται στην (Chan T. et al, 2001).

3. Τοπικό Δυαδικό Πρότυπο

Ο τελεστής LBP (Ojala T. et al, 1996) χρησιμοποιεί μια δυαδική αναπαράσταση μονάδων υφής εντοπισμένων σε «γειτονίες» της εικόνας. Θεωρώντας «γειτονίες» 3×3 εικονοστοιχείων, η τιμή LBP για κάθε τέτοια «γειτονιά» υπολογίζεται ως εξής: 1) εφαρμόζεται ένας τελεστής κατωφλιού ο οποίος αντιστοιχεί τιμές 0 και 1 στα εικονοστοιχεία της αρχικής «γειτονιάς» 3×3 (εικόνα 1α), ελέγχοντας αν η τιμή του κάθε εικονοστοιχείου είναι μικρότερη από την τιμή του κεντρικού εικονοστοιχείου της «γειτονιάς» (εικόνα 1β), 2) οι τιμές των εικονοστοιχείων μετά την εφαρμογή του κατωφλιού πολλαπλασιάζονται με τα αντίστοιχα δυνωμικά βάρη (εικόνα 1γ), 3) οι τιμές των οκτώ εικονοστοιχείων (εικόνα 1δ) προστείνονται ώστε να εξαχθεί μια τιμή για το αντίστοιχο πρότυπο.

Επομένως, ένα σύνολο από $2^8=256$ μονάδες υφής είναι δυνατές. Τα ιστογράμματα των τιμών LBP μιας εικόνας περιλαμβάνουν χαρακτηριστικές «υπογραφές» υφής.

6	5	2
7	6	1
9	3	7

(α)

1	0	0
1		0
1	0	1

(β)

1	2	4
8		16
32	64	128

(γ)

1	0	0
8		0
32	0	128

(δ)

Εικόνα 1. Παράδειγμα υπολογισμού της τιμής LBP: $LBP=1+8+32+128=169$.

4. Προτεινόμενος αλγόριθμος κατάτμησης υφής

Το περιεχόμενο υφής μια εικόνας μπορεί να κωδικοποιηθεί από τις τιμές LBP που αντιστοιχίζονται σε κάθε ένα από τα εικονοστοιχεία. Οι στήλες του εξαγόμενου LBP ιστογράμματος ταξινομούνται με βάση τη συχνότητα εμφάνισής τους στην εικόνα και επιλέγονται οι b πιο συχνές στήλες. Αυτό είναι σε συμφωνία με την (Maenpra T. et al, 2003), σύμφωνα με την οποία ένα υποσύνολο των στηλών του LBP ιστογράμματος μπορεί να αποδώσει καλύτερα από το πλήρες ιστόγραμμα, ως προς την διάκριση υφής.

Οι b επιλεγμένες στήλες του ιστογράμματος χρησιμοποιούνται για την παραγωγή b δυαδικών εικόνων σύμφωνα με τον ακόλουθο απλό κανόνα: Αν η τιμή LBP ενός εικονοστοιχείου της αρχικής εικόνας με συντεταγμένες (x,y) , ανήκει στην k -στήλη του ιστογράμματος, τότε το εικονοστοιχείο με συντεταγμένες (x,y) της k -στήλης παραγόμενης δυαδικής εικόνας ορίζεται ως λευκό, διαφορετικά ορίζεται ως μαύρο. Οι b παραγόμενες δυαδικές εικόνες συνδυάζονται σε όλους τους δυνατούς τρόπους με χρήση του λογικού τελεστή OR (η ύπαρξη ενός λευκού εικονοστοιχείου σε μια τουλάχιστον από τις εικόνες που συνδυάζονται, καταλήγει σε λευκό εικονοστοιχείο). Κάθε μια από τις παραγόμενες «αθροιστικές» δυαδικές εικόνες περιέχει μερική πληροφορία από το LBP ιστόγραμμα.

Ακολουθώντας, οι «αθροιστικές» δυαδικές εικόνες σαράνονται με παράθυρα κατάλληλου μεγέθους και μετρείται ο αριθμός $P_w(i,j)$ των λευκών εικονοστοιχείων που περιέχονται σε κάθε παράθυρο j της αθροιστικής εικόνας i . Ορίζουμε ως δείκτη αντίθεσης $\xi(i)$ μιας εικόνας i , την διαφορά ανάμεσα στο μέγιστο και στο ελάχιστο $P_w(i,j)$:

$$\xi(i) = \max_j(P_w(i, j)) - \min_j(P_w(i, j))$$

Η «αθροιστική» δυαδική εικόνα i_m με το μέγιστο ξ , επιλέγεται για περαιτέρω επεξεργασία:

$$i_m = \arg(\max_i(\xi(i)))$$

Αυτή η εικόνα διαθέτει την μέγιστη διαφορά σε πυκνότητα λευκών εικονοστοιχείων ανάμεσα σε διαφορετικά παράθυρα. Γνωρίζοντας ότι τα λευκά εικονοστοιχεία αναπαριστούν τοπικά πρότυπα υφής, οι περιοχές διαφορετικής υφής της εικόνας i_m αναμένεται να είναι πιο ευδιάκριτες. Σε αυτό το σημείο, υποθέτουμε ότι η διακύμανση της πυκνότητας των λευκών εικονοστοιχείων εντός μιας περιοχής της ίδιας υφής, είναι ένα μικρό κλάσμα της διακύμανσης της πυκνότητας των λευκών εικονοστοιχείων ανάμεσα σε περιοχές διαφορετικής υφής.

Σαν επόμενο βήμα, εφαρμόζεται στην εικόνα i_m ένας Γκαουσιανός τελεστής εξομάλυνσης και παράγεται μια ομαλοποιημένη εικόνα i_G . Με την εφαρμογή του τελεστή μειώνονται οι τοπικές διακυμάνσεις στη χωρική συχνότητα των προτύπων υφής και παράγονται σχεδόν ομοιογενείς περιοχές εικόνας που μπορούν πιο εύκολα να κατατμηθούν από το μοντέλο ACWE. Τέτοιοι τελεστές ομαλοποίησης έχει αποδειχθεί ότι υποβοηθούν τη διάκριση διαφορετικών υφών, με δεδομένο ότι η έννοια της υφής δεν ορίζεται για ένα μοναδικό εικονοστοιχείο αλλά συνδέεται πάντα με ένα σύνολο εικονοστοιχείων (Unser M. et al, 1990).

Κατά το τελικό βήμα του αλγορίθμου, το μοντέλο ACWE εφαρμόζεται στην ομαλοποιημένη εικόνα i_G . Η βασισμένη σε χαρακτηριστικά περιοχών (region-based) διατύπωση αυτού του μοντέλου ενεργού περιγράμματος επιτρέπει την κατάτμηση μιας εικόνας σε διακριτές περιοχές, ακόμη και αν οι περιοχές αυτές δεν διαχωρίζονται με απότομες μεταβολές στην ένταση της εικόνας. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο αλγόριθμος ACWE συγκλίνει σε ένα ολικό ελάχιστο και επομένως η κατάτμηση που επιτυγχάνεται είναι ανεξάρτητη του αρχικού περιγράμματος.

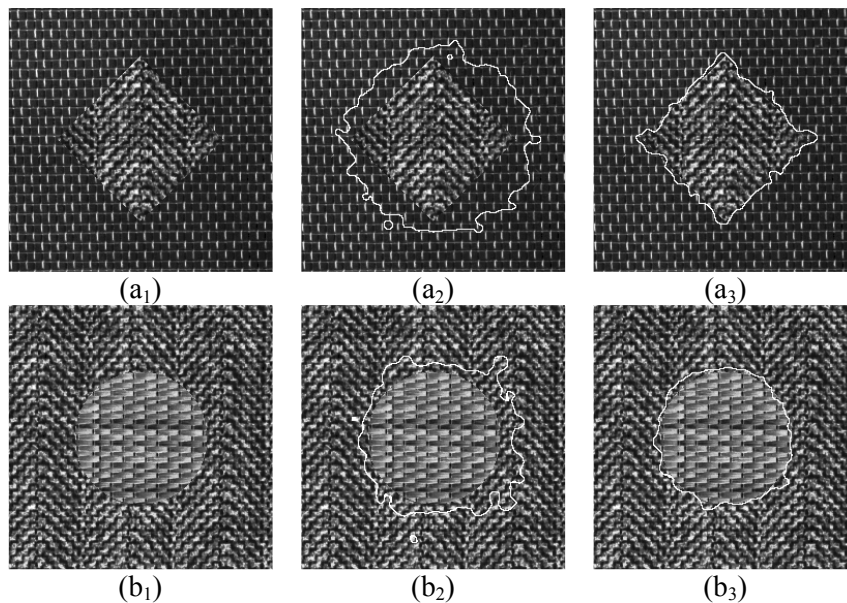
5. Αποτελέσματα

Στα πειράματά μας, εφαρμόσαμε το προτεινόμενο αλγόριθμο στην κατάτμηση 12 εικόνων διπλής υφής, που αποτελούν συνθέσεις φυσικών υφών. Οι ίδιες σύνθετες εικόνες έχουν χρησιμοποιηθεί στις (Randen T. et al, 1999, Acharyya M. et al, 2001).

Ο προτεινόμενος αλγόριθμος υλοποιήθηκε σε Microsoft Visual C++ και εκτελέστηκε σε έναν σταθμό εργασίας Intel Pentium IV στα 3.2 GHz. Οι σταθερές του μοντέλου ACWE πήραν τις τιμές: $\lambda^+ = 5$, $\lambda^- = 5$, $\mu = 650$, ενώ θεωρήθηκε μια γειτονιά 5×5 εικονοστοιχείων για τον υπολογισμό των LBP τιμών. Η παράμετρος σ της Γκαουσιανής ομαλοποίησης πήρε την τιμή 4 και το μέγεθος του παραθύρου ήταν 16×16 . Ένας αριθμός $b=5$ παραγόμενων δυαδικών εικόνων βρέθηκε να είναι επαρκής για τον προτεινόμενο αλγόριθμο κατάτμησης.

Σε συμφωνία με την (Acharyya M. et al, 2001), ως μέτρο της ποιότητας κατάτμησης χρησιμοποιήθηκε το ποσοστό q των σωστά ταξινομημένων εικονοστοιχείων. Η μέση ποιότητα κατάτμησης που επιτεύχθηκε ήταν $q=98.7 \pm 0.4\%$. Κάθε εκτέλεση του προτεινόμενου αλγόριθμου διαρκεί περίπου 4 δευτερόλεπτα, χρόνος μικρότερος από τους χρόνους εκτέλεσης άλλων αλγορίθμων που προτάθηκαν σε πρόσφατες μελέτες (Mirmehdi M. et al, 2000, Aujol J.F. et al, 2003).

Στην εικόνα 2 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του προτεινόμενου αλγορίθμου σε δύο παραδείγματα εικόνων διπλής υφής. Ο αλγόριθμος επιτυγχάνει ένα q ίσο με 99.0% και 98.6% για τα παραδείγματα που απεικονίζονται στις εικόνες 2α και 2β αντίστοιχα. Το τελευταίο ποσοστό είναι υψηλότερο από το 98.3% που αναφέρεται ως το καλύτερο αποτέλεσμα στην συγκριτική μελέτη που περιλαμβάνεται στην (Acharyya M. et al, 2001), ως προς την ίδια εικόνα.



Εικόνα 2. Δύο παραδείγματα εικόνων που περιέχουν περιοχές διακριτής υφής: (a₁-b₁) αρχικές εικόνες διπλής υφής, (a₂-b₂) τα ενδιάμεσα περιγράμματα που παράγονται από τον προτεινόμενο αλγόριθμο (a₃-b₃) τα τελικά περιγράμματα κατά την σύγκλιση.

6. Συμπέρασμα

Προτείναμε έναν πρωτότυπο αλγόριθμο ενεργού περιγράμματος, βασισμένο στα χαρακτηριστικά LBP, για την κατάτμηση εικόνας. Ο αλγόριθμος ενσωματώνει τα πλεονεκτήματα των μεθοδολογιών LBP και ACWE. Στην πειραματική μας μελέτη, ο προτεινόμενος αλγόριθμος πέτυχε ιδιαίτερα ενθαρρυντικά αποτελέσματα τα οποία υπερβαίνουν τα καλύτερα αποτελέσματα που αναφέρονται στην συγκριτική μελέτη της (Acharyya M. et al, 2001), ως προς τις ίδιες εικόνες.

Μελλοντικές πτυχές αυτής της μελέτης περιλαμβάνουν: περαιτέρω βελτιστοποίηση της υλοποίησης του αλγορίθμου για να μειωθεί ο χρόνος εκτέλεσης, επέκταση του προτεινόμενου αλγορίθμου για την κατάτμηση εικόνων πολλαπλής υφής με τη χρήση του ACWE πολλαπλών φάσεων (Vese L. et al, 2002), την ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας που θα επιτρέπει την αυτόματη ρύθμιση των παραμέτρων του αλγορίθμου και την εφαρμογή του σε ιατρικές εικόνες στις οποίες η υφή είναι κυρίαρχη και χρήσιμη για την διάγνωση.

7. Αναφορές

1. S. Theodoridis, K. Koutroumbas, 1998, "Pattern Recognition", Academic Press.
2. M. Mirmehdi, M. Petrou, 2000, "Segmentation of Color Textures", *IEEE Trans. PAMI*, vol. 22, no. 2, pp. 142-159.
3. X. Quing, Y. Jie, D. Siyi, 2005, "Texture Segmentation using LBP embedded Region Competition", *EL Letters on Comp. Vision and Image Anal.*, vol. 5, no.1, pp. 41-47.
4. M. Rousson, T. Brox, R. Deriche, 2003, "Active Unsupervised Texture Segmentation on a Diffusion Based Feature Space", *Proc. IEEE CCVPR*, Madison, Wisconsin, USA.
5. C. Sagiv, N.A. Sochen, Y. Zeevi, 2004, "Integrated Active Contours for Texture Segmentation", *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 1, no. 1, pp. 1-19.
6. B. Sandberg, T. Chan, L. Vese, 2002, "A Level-Set and Gabor-based Active Contour Algorithm for Segmenting Textured Images", *Technical Report 39*, Math. Dept. UCLA, Los Angeles, USA.
7. T.F. Chan, L.A. Vese, 2001, "Active Contours Without Edges", *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 7, pp. 266-277.
8. N. Paragios, R. Deriche, 1999, "Geodesic Active Contours for Supervised Texture Segmentation", *Proc. IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 2422-2427.
9. J.F. Aujol, G. Aubert, L. Blanc-Feraud, 2003, "Wavelet-Based Level Set Evolution for Classification of Textured Images", *IEEE Trans. On Image Processing*, vol. 12, no. 12, pp. 1634-1641.
10. T. Ojala, M. Pietikainen, D. Harwood, 1996, "A Comparative Study of Texture Measures with Classification based on Feature Distributions", *Pattern Recognition*, vol. 29, pp. 51-59.
11. P. Paclik, R. Duin, G.V. Kempen, R. Kohlus, 2002, "Supervised Segmentation of Textures in Backscatter Images", *Proc. IEEE International Conference on Pattern Recognition*, vol. 2, pp. 490-493.
12. T. Maenpaa, 2003, *The Local Binary Pattern Approach to Texture Analysis- Extensions and Applications*, Oulu University Press, Finland.
13. M. Unser, M. Eden, 1990, "Nonlinear Operators for Improving Texture Segmentation Based on Features Extracted by Spatial Filtering", *IEEE Trans. On Systems, Man and Cybernetics*, vol. 20, no. 4, pp. 804-815.
14. T. Randen, and J. H. Husøy, 1999, "Filtering for Texture Classification: A Comparative Study," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 21, no. 4, pp. 291-310.
15. M. Acharyya, M.K. Kundu, 2001, "An Adaptive Approach to Unsupervised Texture Segmentation Using M-Band Wavelet Transform", *Signal Processing*, vol. 81, pp. 1337-1356.
16. L.A. Vese, T.F. Chan, 2002, "A Multiphase Level Set Framework for Image Segmentation Using the Mumford and Shah Model", *It. J. Comp. Vision*, vol. 50, no. 3, pp. 271-293.