

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Τμήμα Διδακτικής της Τεχνολογίας και Ψηφιακών Συστημάτων

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ ΣΕ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΕΥΡΕΣΗ ΟΜΟΙΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΩΝ:**

ΜΙΑ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΓΙΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΕΝΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ

Ιωάννης Ε. Γιώτης

A.M.: ME/0604

Η εργασία υποβάλλεται για την μερική κάλυψη των απαιτήσεων με στόχο την
απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Σπουδών στην Διδακτική της Τεχνολογίας
και τα Ψηφιακά Συστήματα.

Ιούνιος 2008

Περίληψη

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία εντάσσεται στην περιοχή της Ανάλυσης Εικόνας για Εύρεση Όμοιων Περιοχών. Πιο συγκεκριμένα μελετώνται τα σχετικά συστήματα που έχουν προταθεί μέχρι σήμερα, οι αρχές που τα διέπουν και οι τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάπτυξή τους με στόχο τον σχεδιασμό ενός συστήματος που θα παρέχει μία αναπαράσταση της εικόνας τέτοια ώστε να είναι δυνατή η εφαρμογή σε αυτήν γεωμετρικών μετασχηματισμών, χωρίς πρότερη γνώση της αρχικής εικόνας.

Η δυνατότητα περιγραφής των γεωμετρικών μετασχηματισμών σε μία αναπαράσταση που φέρει σημαντική πληροφορία για την χωρική θέση των αντικειμένων μιας εικόνας και τις χωρικές σχέσεις ανάμεσα σε αυτά, μπορεί να αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμη σε αναζήτηση εικόνων με όμοιες περιοχές που βρίσκονται σε μία βάση δεδομένων. Το φαινόμενο να αποθηκεύονται εικόνες περιστρεμμένες ή με διαφορετική κλίμακα σε σχέση με την διαθέσιμη αρχική εικόνα δεν είναι σπάνιο και έτσι μία σχετική μελέτη θεωρήθηκε ενδιαφέρουσα και χρήσιμη.

Το πρώτο μέρος της παρούσης Διπλωματικής Εργασίας αφορά την περιγραφή και επεξήγηση γνωστών μεθόδων που χρησιμοποιούνται σε παρόμοια συστήματα, ενώ στο δεύτερο μέρος της παρουσιάζεται το προτεινόμενο σύστημα, καθώς και ορισμένα περιορισμένου χαρακτήρα πειραματικά αποτελέσματα.

Λέξεις Κλειδιά: Ανάλυση Εικόνας, Επεξεργασία Εικόνας, Ανάκτηση Εικόνας με Βάση το Περιεχόμενο, Χωρικές Σχέσεις, Χωρικές Αναπαραστάσεις (Minimum Bounding Rectangles, 2D C-Tree), Κατάτμηση Εικόνας (Image Segmentation)

Ευχαριστίες

Θερμές ευχαριστίες εκφράζω στον Καθηγητή του Τμήματος Διδακτικής της Τεχνολογίας και Ψηφιακών Συστημάτων κ. Νικήτα – Μαρίνο Σγούρο για την υποστήριξη και την δημιουργική επίβλεψή του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας μου.

Επίσης ευχαριστίες οφείλονται στους Επίκουρους Καθηγητές του Τμήματος κκ. Ευθύμογλου Γεώργιο και Σάμψων Δημήτριο που συμμετείχαν στην Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή για τον χρόνο που διέθεσαν και τις παρατηρήσεις που εξέφρασαν.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την καθολική στήριξη που μου προσέφερε σε όλη την διάρκεια των μέχρι σήμερα σπουδών μου.

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή	1
Κεφάλαιο 2 - Αρχές, Τεχνικές και Μέθοδοι Συστημάτων CBIR	7
2.1 Κατάτμηση Εικόνας σε Περιοχές	7
2.2 Περιγραφή Χρώματος	9
2.3 Συστήματα που Βασίζονται στην Κατάτμηση σε Περιοχές	11
2.4 Ελάχιστα Ορθογώνια Παραλληλόγραμμα Οριοθέτησης	14
2.5 Μέθοδοι Χωρικών Αναπαραστάσεων	15
2.5.1 2D C-String	16
2.5.2 2D C-Tree	21
Κεφάλαιο 3 - Σύστημα Χωρικής Αναπαράστασης Γεωμετρικά Μετασχηματισμένων Εικόνων	26
3.1 Στάδιο Προ-επεξεργασίας της Εικόνας	28
3.1.1 Εντοπισμός άκρων (Edge Detection)	28
Αλγόριθμος Canny	28
Αλγόριθμος Sobel	32
3.1.2 Μορφολογικοί Τελεστές	34
3.2 Κατάτμηση Εικόνας σε Περιοχές	35
Αλγόριθμος Region Growing	36
Αναπαράσταση μιας Περιοχής	37
3.3 Γεωμετρικοί Μετασχηματισμοί	40
3.3.1 Μετατόπιση (Translation)	40

3.3.2 Αλλαγή Κλίμακας (Scaling)	41
3.3.3 Περιστροφή (Rotation)	42
3.3.4 Κύρτωση (Shearing)	43
3.4 Χωρική Αναπαράσταση Περιοχών Εικόνας	43
3.4.1 Σύνολο Χωρικών Τελεστών	44
3.4.2 Αλγόριθμος Δενδρικής Αναπαράστασης Εικόνας.....	47
3.4.3 Αλγόριθμοι Περιπτώσεων Γεωμετρικών Μετασχηματισμών	57
Αλγόριθμος Αντικατοπτρισμού (Reflection).....	57
Αλγόριθμος Περιστροφής (Rotation) κατά 90° 180° και 270°	59
Αλγόριθμος Μετατόπισης (Translation).....	61
Αλγόριθμος Αλλαγής Κλίμακας (Scaling).....	64
Αλγόριθμος Κύρτωσης (Shearing).....	66
3.5 Πειραματικά Αποτελέσματα	70
1. Αντικατοπτρισμός στον άξονα x	71
2. Περιστροφή κατά 180°	75
3. Μετατόπιση με παράγοντες $\lambda_x = 5$, $\lambda_y = 76$	79
4. Αλλαγή Κλίμακας με παράγοντες $\lambda_x=1.5$, $\lambda_y=1.5$	83
5. Κύρτωση με παράγοντα $\lambda_x = 0.6$	88
Κεφάλαιο 4 – Συμπεράσματα και Προοπτικές	92
Βιβλιογραφικές Αναφορές	94

Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή

Η αρχειακή αποθήκευση (αρχειοθέτηση) και η εύρεση (ανάκτηση) των πληροφοριών υπάρχουν εδώ και πολλά χρόνια ως γίνει αναπόσπαστο μέρος της ανθρώπινης φύσης. Με το πέρασ του χρόνου, η ποσότητα της πληροφορίας που χρειάζεται να αποθηκευθεί αυξάνεται συνεχώς. Κατά συνέπεια, η χειρωνακτική σύνταξη ευρετηρίων έγινε μια επίμοχθη και χρονοβόρα εργασία ακόμη και για μικρές συλλογές δεδομένων.

Στη σύγχρονη εποχή, οι υπολογιστές και τα ηλεκτρονικά μέσα αποθήκευσης βοήθησαν στην στοιχειοθέτηση πληροφοριών ιδίως με τα συστήματα βάσεων δεδομένων. Επιπλέον, αυτό επέτρεψε την αντικατάσταση της χειρωνακτικής προσέγγισης από αυτόματες διαδικασίες ανάκτησης, οι οποίες φυσικά απαιτούν την ύπαρξη των κατάλληλων διεπαφών. Αν και η χειρωνακτική αναζήτηση είναι αργή, έχει το πλεονέκτημα ότι ένας άνθρωπος την διευθύνει και αντίστροφα, ενώ η αυτόματη αναζήτηση είναι γρήγορη αλλά στερείται τη σημασιολογική γνώση, την οποία μόνο οι άνθρωποι μπορούν να αντιληφθούν πλήρως.

Άμεσα δύο προκλήσεις εμφανίζονται στην αλληλεπίδραση των χρηστών με κάθε ηλεκτρονικό σύστημα ανάκτησης. Η πρώτη μπορεί να περιγραφεί ως «ασάφεια» επειδή ο χρήστης δεν ξέρει πώς ακριβώς να εκφράσει τις πληροφορίες που ψάχνει. Ως εκ τούτου, οι ερωτήσεις περιλαμβάνουν ασαφείς όρους. Η δεύτερη μπορεί να περιγραφεί ως «αβεβαιότητα» όπου το σύστημα δεν έχει τη απαιτούμενη γνώση για την ακριβή ερμηνεία του περιεχομένου που αναζητείται. Κάτι τέτοιο οδηγεί σε ανακριβή και ελλιπή αποτελέσματα. Επομένως, το σύστημα ανάκτησης πρέπει να παρέχει μια φιλική προς το χρήστη διεπαφή με αυξημένες δυνατότητες για να υποστηρίξει τις ανάγκες του για μια αποδοτική ανάκτηση.

Με την αυξανόμενη μηχανοργάνωση, όλο και περισσότερα δεδομένα είναι διαθέσιμα και αποθηκευμένα σε ψηφιακή μορφή, γεγονός που κατέστησε απαραίτητο να γίνει η αναζήτηση σε πηγές όπως οι βάσεις δεδομένων και ο Παγκόσμιος Ιστός (World Wide Web - WWW) πιο αποδοτική και αποτελεσματική. Στην αρχή του WWW, δεν υπήρξε κανένας κανόνας για τον

καθορισμό του περιεχομένου και πώς να το χειριστεί κανείς. Με το πέρασ αρκετών χρόνων, το WWW μεταβλήθηκε σε ένα ολοκληρωμένο μέσο παροχής πληροφοριών και η αναζήτησή τους (ιδίως κειμένου) έγινε ευκολότερη και πιο αποδοτική κυρίως λόγω των μηχανών αναζήτησης όπως το Yahoo και το Google.

Εντούτοις, η ανάκτηση πληροφοριών από ένα κείμενο δεν είναι τόσο εύκολη υπόθεση, όσο κάποιος μπορεί να πιστεύει ιδίως όταν η αναζήτηση βασίζεται σε ολόκληρες φράσεις, ή προτάσεις. Το κυρίαρχο ζήτημα εδώ είναι ότι οι ίδιες λέξεις μπορούν να έχουν διαφορετικές έννοιες σε διαφορετικούς μεταξύ τους συσχετισμούς, όπως π.χ. τα ομόγραφα (λέξεις που γράφονται με τον ίδιο τρόπο αλλά έχουν τη διαφορετική έννοια) και τα συνώνυμα (οι λέξεις που έχουν ίδια σημασία αλλά γράφονται διαφορετικά). Πόσο συχνά συμβαίνει να ψάχνει κάποιος για κάτι συγκεκριμένο στο WWW με τη χρησιμοποίηση μιας από τις μηχανές αναζήτησης αλλά να μην λάβει σχετικά αποτελέσματα, παρά μόνο κείμενα όπου οι λέξεις φαίνονται να ταιριάζουν αλλά όχι με την πραγματική έννοια που ο χρήστης είχε κατά νου. Αυτό οφείλεται στην προαναφερθείσα «ασάφεια» και «αβεβαιότητα» επειδή, γενικά, η βασισμένη στο κείμενο ανάκτηση δεν είναι σημασιολογική που σημαίνει ότι μια μηχανή αναζήτησης, ένα σύστημα, ή μια μηχανή δεν γνωρίζουν το νόημα πίσω από τα σύμβολα, τους χαρακτήρες και τους αριθμούς. Επομένως, οι μηχανές αναζήτησης εκτελούν απλώς ένα ταίριασμα συμβόλων και όχι σύγκριση σημασιολογικού περιεχομένου και παρά το γεγονός ότι η ανάκτηση δεδομένων και τα αποτελέσματά της έχουν βελτιωθεί τα τελευταία χρόνια, επί της ουσίας βρισκόμαστε ακόμα μακριά από βέλτιστο.

Εκτός από το κείμενο, το ενδιαφέρον αυξάνεται και στην αναζήτηση περιεχομένου πολυμέσων όπως οι εικόνες και τα βίντεο και αυτό κυρίως λόγω της ραγδαίας αύξησης των ψηφιακών συσκευών (κινητό τηλέφωνο, φωτογραφική μηχανή, κ.λπ.), οι οποίες μπορούν να συλλάβουν και αποθηκεύσουν περιεχόμενο πολυμέσων. Ως εκ τούτου, υπάρχει πλέον η απαίτηση για αποτελεσματική οργάνωση και αποθήκευση τέτοιων ψηφιακών συλλογών δεδομένων για να υποστηριχθεί αποδοτικά η αναζήτηση και η ανάκτησή τους.

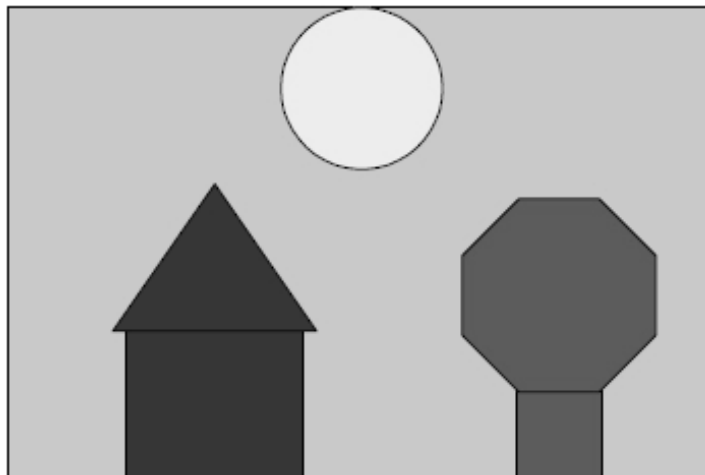
Αυτός ο τύπος αναζήτησης εμπεριέχει τις ίδιες προκλήσεις με την ανάκτηση κειμένων, δηλ. έλλειψη σημασιολογίας ή ακριβέστερα το πώς θα αντιληφθεί και θα περιγράψει ένα μηχανικό σύστημα το ψηφιακό πολυμεσικό περιεχόμενο. Για να συμβεί κάτι τέτοιο δύο προσεγγίσεις μπορούν να θεωρηθούν: η χειρωνακτική και η αυτόματη. Για τη χειρωνακτική προσέγγιση, η περιγραφή εκτελείται εξ ολοκλήρου από ανθρώπους. Το περιεχόμενο περιγράφεται από τις αποκαλούμενες «ετικέτες» (labels), που τίθενται από το χρήστη που παρέχει τα δεδομένα. Το πλεονέκτημά της είναι ότι η εικόνα ή το βίντεο διαθέτει μια σημασιολογική περιγραφή περιεχομένου βασισμένη στην ανθρώπινη ευφυΐα. Μια τέτοια προσέγγιση βέβαια φέρει τον σημαντικό κίνδυνο των ασαφών ή ελλιπών σημασιολογικών περιγραφών στις «ετικέτες», που θα οδηγήσουν την αναζήτηση σε αποτυχία. Στην άλλη πλευρά, η αυτόματη προσέγγιση επιχειρεί να περιγράψει το περιεχόμενο της εικόνας χωρίς καμία ανθρώπινη αλληλεπίδραση ή επέμβαση. Μέχρι σήμερα πάντως τα περισσότερα πραγματικά συστήματα χρησιμοποιούν συνδυασμούς και των δύο προσεγγίσεων, οι οποίες είναι φανερό πως δεν αποτελούν αλληλο-αποκλειόμενα ενδεχόμενα.

Ο χώρος της Βασισμένης στο Περιεχόμενο Ανάκτησης Πολυμέσων (Content-Based Multimedia Retrieval - CBMR) και ιδιαίτερα ο κλάδος που είναι γνωστός με την ονομασία Βασισμένη στο Περιεχόμενο Ανάκτηση Εικόνας (Content-Based Image Retrieval – CBIR) στοχεύει στην παροχή δυνατοτήτων για αναζήτηση και ανάκτηση ψηφιακών εικόνων με έναν τέτοιο αυτόματο τρόπο. Η κύρια ιδέα είναι η ακόλουθη: «Βασισμένοι σε μια δεδομένη ερώτηση (query) και το περιεχόμενο που αυτή περιγράφει αναζητούμε δεδομένα με το ίδιο ή παρόμοιο περιεχόμενο όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματικά».

Διάφορες λογικές ερωτήσεις μπορούν να τεθούν στο σημείο αυτό όπως π.χ. «Ποιο είναι το περιεχόμενο;», «Πώς ορίζονται τα σχετικά μέρη ή αντικείμενα;», ή «Πώς περιγράφονται τα αντικείμενα;». Όλες αυτές οι ερωτήσεις μπορούν να απαντηθούν εύκολα από τους ανθρώπους χάρη στην ανεπτυγμένη νοημοσύνη τους, τις ικανότητες εκμάθησης, και την ισόβια εμπειρία για τα αντικείμενα και τις λογικές σχέσεις μεταξύ τους. Η πρόκληση σε ένα σύστημα CBIR είναι να αναπτυχθεί ένας μηχανισμός σημασιολογικής (υψηλού επιπέδου) περιγραφής,

που θα είναι βασισμένη στην χαμηλού επιπέδου περιγραφή των δεδομένων που είναι βέβαιο ότι μπορούμε να την επιτύχουμε μέσω τεχνικών ψηφιακής επεξεργασίας. Εάν βέβαια βασιστεί κανείς αποκλειστικά σε αυτά τα χαμηλού επιπέδου στοιχεία είναι δύσκολο - εάν όχι αδύνατον μέχρι σήμερα - να εξαγάγει οποιοσδήποτε σημασιολογικές πληροφορίες σχετικά με το περιεχόμενο. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειώσουμε ότι οι άνθρωποι τείνουν να ψάχνουν για πολυμεσικό περιεχόμενο κατά ένα τρόπο πραγματιστικό όπου τα μέρη ή τα αντικείμενα είναι συνήθως σημαντικότερα από το συνολικό οπτικοακουστικό σήμα. Επομένως, τα σημερινά CBIR συστήματα που υιοθετούν μάλλον χαμηλού επιπέδου προσεγγίσεις για την περιγραφή του περιεχομένου, εστιάζοντας σε στοιχεία όπως το χρώμα και η μορφή, είναι αδύνατον να επιτύχουν το ίδιο καλά αποτελέσματα.

Εξετάζοντας την πολύ απλή εικόνα που παρατίθεται παρακάτω, μπορεί να αναρωτηθεί κανείς ποια θα ήταν η καλύτερη προσέγγιση για να περιγραφεί το περιεχόμενό της με βάση τις χαμηλού επιπέδου ιδιότητες.



1 Εικόνα με απλό περιεχόμενο

Θα ήταν προτιμότερη μια συνολική (σφαιρική) περιγραφή, με το περιεχόμενο να θεωρείται ένα μίγμα όλων των πληροφοριών, ή μία τοπική περιγραφή, που θα εστίαζε στο περιεχόμενο μεμονωμένων τμημάτων και τις συγκεκριμένες χαμηλού επιπέδου ιδιότητες αυτών; Η χρήση μιας τοπικής περιγραφής είναι κατά πάσα πιθανότητα προτιμότερη, δεδομένου ότι είναι πιο κατάλληλη για να

μοντελοποιήσει μικρότερα και απλούστερα τμήματα της ανθρώπινης αντίληψης, ειδικά εάν οι σημαντικές περιοχές της εικόνας (αντικείμενα) μπορούν να παραχθούν με τεχνικές όπως η κατάτμηση σε περιοχές (segmentation). Επιπλέον, ακολουθώντας την περιγραφή των περιοχών της εικόνας με βάση τις τοπικές ιδιότητές τους (χαρακτηριστικά γνωρίσματα), προσφέρεται η δυνατότητα για ένταξη των χωρικών σχέσεων των περιοχών στην συνολική περιγραφή της εικόνας. Μία τέτοιου τύπου συνολική περιγραφή παρέχει περισσότερα στοιχεία για την υπό εξέταση εικόνα, αλλά στερείται την πληρότητα όσον αφορά την σημασιολογική έννοια των περιοχών. Τα τελευταία χρόνια, έχουν αναπτυχθεί αρκετά συστήματα CBIR όπως π.χ. τα QBIC [1], Mars [2], PicToSeek [3], VisualSeek [4], Blobword [5], Netra [6], Windsurf [7], και SIMPlicity [8], τα οποία υιοθετούν τέτοιου τύπου σφαιρικές και τοπικές περιγραφές.

Στα πλαίσια της παρούσης Διπλωματικής Εργασίας υιοθετείται μια τοπική προσέγγιση περιγραφής που χρησιμοποιεί την κατάτμηση εικόνας σε περιοχές και μία γενική περιγραφή της εικόνας βασισμένη στις χωρικές σχέσεις (spatial relationships) των περιοχών αυτών. Οι περιγραφές αυτές βασίζονται στην χρήση και την παραλλαγή γνωστών τεχνικών, μεθόδων και αλγορίθμων του χώρου της Βασισμένης στο Περιεχόμενο Ανάκτησης Εικόνας, εντοπίζοντας στην περίπτωση της αναζήτησης όμοιων περιοχών ανάμεσα σε γεωμετρικά μετασχηματισμένες εκφάνσεις της αρχικής εικόνας. Δεδομένου ότι στην παρούσα μελέτη υπάρχει μονάχα μία αρχική και μία τελική εικόνα (που είναι μια γεωμετρικά μετασχηματισμένη εκδοχή της αρχικής), δεν υφίσταται η επιτακτική ανάγκη ανάπτυξης μιας ξεχωριστής μετρικής για την ομοιότητα των περιοχών μεταξύ των δύο εικόνων. Πάραυτα οφείλουμε να σημειώσουμε πως η ενσωμάτωση μιας τέτοιας τεχνικής θα οδηγούσε σε ακόμη ισχυρότερα αποτελέσματα.

Εν συντομία το πρόβλημα που επιχειρείται να μελετηθεί συνοψίζεται στο εξής: «Υπάρχει μια αναπαράσταση της αρχικής εικόνας τέτοια ώστε δεδομένου ενός γεωμετρικού μετασχηματισμού να μπορεί να προβλεφθεί η αντίστοιχη αναπαράσταση της μετασχηματισμένης εικόνας;» Η χρησιμότητα μιας τέτοιας αναπαράστασης είναι προφανής: Τοποθετώντας την αναπαράσταση αυτή ως είσοδο σε ένα query θα μπορούσαμε να ενισχύσουμε τα αποτελέσματα

αναζήτησης ενός CBIR συστήματος και με τις μετασχηματισμένες εκδοχές της αρχικής εικόνας.

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί περιγράφονται εκτενώς οι έως σήμερα υπαρκτές μέθοδοι και τεχνικές για επίλυση σχετικών προβλημάτων, στις οποίες βασίστηκε η παρούσα εργασία, ενώ στο Κεφάλαιο 3 περιγράφεται και εξηγείται πλήρως το μοντέλο που σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε.

Κεφάλαιο 2 - Αρχές, Τεχνικές και Μέθοδοι Συστημάτων CBIR

2.1 Κατάτμηση Εικόνας σε Περιοχές

Η κατάτμηση μιας εικόνας σε περιοχές [9] είναι ένα ουσιαστικό προκαταρκτικό βήμα στις περισσότερες αυτόματες διαδικασίες ανάλυσης και αναγνώρισης εικόνας. Ο κύριος στόχος της κατάτμησης είναι να χωριστεί μια εικόνα σε ομοιογενείς, θεμελιώδεις, μη-τεμνόμενες περιοχές έτσι ώστε η ένωση δύο παρακείμενων περιοχών να μην ικανοποιεί τα κριτήρια ομοιογένειας που έχουν τεθεί. Γενικά, η έννοια της ομοιογένειας έχει ως βάση κάποιες προκαθορισμένες ιδιότητες της εικόνας όπως το χρώμα ή/και η υφή. Η κατάτμηση σε περιοχές χωρίζεται σε δύο γενικές περιοχές την ισχυρή και αδύναμη κατάτμηση.

Η ισχυρή κατάτμηση ορίζεται ως η ιδανική κατάτμηση αντικειμένων όπου κάθε περιοχή θα αντιστοιχούσε ακριβώς σε ένα ενιαίο σημασιολογικό αντικείμενο. Η αδύναμη κατάτμηση είναι παρούσα όποτε η ισχυρή κατάτμηση δεν μπορεί να επιτευχθεί. Σε αυτήν, λαμβάνονται ομοιογενείς περιοχές, οι οποίες δεν περιγράφουν απολύτως σημασιολογικά αντικείμενα. Η αδύναμη κατάτμηση μπορεί επίσης να οδηγήσει σε δύο λανθασμένες εκβάσεις: την υπό-κατάτμηση και την υπέρ-κατάτμηση. Στην υπό-κατάτμηση δύο περιοχές με διαφορετικές ιδιότητες θα έχουν συγχωνευθεί, ενώ στην υπέρ-κατάτμηση λαμβάνουμε συνήθως μια μεγάλη μη ομοιογενή περιοχή που είναι δυνατόν να χωριστεί σε περισσότερα του ενός ομοιογενή τμήματα. Μέχρι τώρα δεν υπάρχει καμία μέθοδος κατάτμησης κατάλληλη για όλους τους τύπους εικόνας και επιπλέον κάθε μέθοδος μπορεί να μην ισχύει καθολικά σε έναν τύπο εικόνας. Ως εκ τούτου, η εφαρμογή που θέλουμε να σχεδιάσουμε οδηγεί στην επιλογή της κατάλληλης μεθόδου κατάτμησης.

Η αδύναμη κατάτμηση χρησιμοποιείται στις περισσότερες εφαρμοσμένες ιδέες κατάτμησης εικόνας και μπορεί κανείς να βρει πολλές διαφορετικές μεθόδους στην βιβλιογραφία, οι οποίες βασίζονται σε αυτήν. Μια από τις κλασικότερες

προσεγγίσεις είναι η αποκαλούμενη «βασισμένη στα pixels κατάτμηση», η οποία είναι γνωστή και ως κατάτμηση με τη μέθοδο κατώτατων ορίων. Διάφορες μέθοδοι ανίχνευσης κατώτατων ορίων περιγράφονται στα [10] και [11]. Αυτή η προσέγγιση κατάτμησης εικόνας εφαρμόζεται κυρίως σε εικόνες με χρώματα αποκλειστικά στις αποχρώσεις του γκρι (grayscale images) και χρησιμοποιεί το ιστόγραμμα της εικόνας. Αποτέλεσμα αυτού είναι οι περιοχές που εξάγονται να αντιπροσωπεύονται από τις κορυφές στο ιστόγραμμα της εικόνας.

Μια άλλη παρεμφερής αλλά πιο ουσιαστική προσέγγιση βασίζεται στην πρότερη ανίχνευση των άκρων διαφόρων αντικειμένων (edge detection) [12]. Αποτελείται συνήθως από δύο κύρια βήματα: Το πρώτο βήμα είναι να ανιχνευθούν τα άκρα μέσα στην εικόνα και ο δεύτερος είναι να συνδεθούν αυτά με συνεχή περιγράμματα. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να οδηγήσει σε χρήσιμη εξαγωγή αντικειμένων εάν τα σημαντικότερα περιγράμματα αντικειμένων μπορούν να εντοπιστούν από τον αρχικό αλγόριθμο edge detection. Μία τέτοια προσέγγιση ακολουθείται και από το σύστημα που αναπτύχθηκε στα πλαίσια τις παρούσας εργασίας, η οποία αναλύεται διεξοδικά παρακάτω.

Μια εναλλακτική μέθοδος κατάτμησης εικόνας είναι γνωστή με την ονομασία μορφολογική γραμμή διαχωρισμού (morphological watershed) [13]. Θεωρούμε, μια εικόνα στις αποχρώσεις του γκρι ως τοπογραφική επιφάνεια με κορυφές και κοιλάδες. Εάν φανταστούμε βροχή να πέφτει στην επιφάνεια αυτή, το νερό θα γεμίσει τελικά τις κοιλάδες στην επιφάνεια. Σε μια ορισμένη στάθμη ύδατος, δημιουργείται ένα «φράγμα» για να αποτρέψει τις πλημμυρισμένες κοιλάδες να συγχωνευθούν. Τελικά όταν ολόκληρη η επιφάνεια πλημμυρίσει, μόνο τα «φράγματα» παραμένουν ορατά και παρέχουν το αποτέλεσμα της κατάτμησης. Για την μέθοδο αυτή υπάρχουν αρκετές παραλλαγές που χρησιμοποιούν δενδρικές αναπαραστάσεις της εικόνας και η κατάτμηση επιτυγχάνεται με το διαχωρισμό του δέντρου έτσι ώστε κάθε υπό-δέντρο να αντιπροσωπεύει μια περιοχή της εικόνας.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω μπορούμε να πούμε πως μιας και η μοντελοποίηση της ανθρώπινης αντίληψης είναι ο τελικός σκοπός στην Επεξεργασία Εικόνας, η ισχυρή κατάτμηση θα ήταν επιθυμητή από οποιαδήποτε εφαρμογή. Μέχρι τώρα

όμως μία καθολική μέθοδος κατάτμησης δεν έχει υπάρξει. Πρόσφατα όμως ερευνητικές ομάδες ανά τον κόσμο κατόρθωσαν να ενσωματώσουν στοιχεία σημασιολογικής κατανόησης μιας εικόνας στο στάδιο της κατάτμησης με βάση στην θεωρία του Zhou [14]. Η θεωρία αυτή εισάγει την έννοια της εντροπίας καμπύλης της κατάτμησης, ως μέθοδο αναπαράστασης των περιοχών μιας εικόνας και ισχυρίζεται πως η ισχυρή κατάτμηση όπως θεμελιώνεται θεωρητικά είναι εφικτή.

2.2 Περιγραφή Χρώματος

Το χρώμα διαδραματίζει έναν σημαντικό ρόλο σε ανθρώπινη οπτική αντίληψη, και είναι πιθανώς το πλέον κυρίαρχο στοιχείο που αναγνωρίζεται σε μια εικόνα. Επομένως, το χρώμα είναι αναμενόμενο να διαδραματίζει έναν σημαντικό ρόλο και ως παράμετρος των CBIR συστημάτων. Το χρώμα μπορεί να αναπαρασταθεί με διάφορα μοντέλα όπως π.χ. HSV, RGB, YUV, CIE-Lab, CIE-Luv, κ.λπ., κάθε ένα από τα οποία έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά του για ορισμένες εφαρμογές. Δεδομένου ότι στα συστήματα που μας ενδιαφέρουν η ανθρώπινη οπτική αντίληψη διαδραματίζει έναν σημαντικό ρόλο, ένα ομοιόμορφα κατανεμημένο διάστημα χρώματος μπορεί να αποδειχθεί χρήσιμο. Συνεπώς, στα περισσότερα συστήματα εφαρμόζονται τα μοντέλα CIE-Lab και CIE-Luv, ενώ το RGB αποφεύγεται καθώς δεν είναι αντιληπτικά ομοιόμορφο.

Ο απλούστερος περιγραφέας χρώματος είναι ο χρωματικός μέσος όρος. Περιγράφει μια περιοχή ενδιαφέροντος (Region of Interest – ROI) με ένα ενιαίο χρώμα, γεγονός που περιορίζει τις δυνατότητες χρήσης του σε αναπαραστάσεις εικόνων βασισμένες στις περιοχές, μιας και το μέσο χρώμα μιας ολόκληρης εικόνας δεν θα μπορούσε εύκολα να παρέχει μια ικανοποιητική περιγραφή. Παρά την απλότητά του όμως διαθέτει ένα σημαντικό πλεονέκτημα μιας και παρέχει ένα περιγραφέα με μικρό μέγεθος.

Ο δημοφιλέστερος πάντως περιγραφέας χρώματος σε συστήματα CBIR είναι το ιστόγραμμα του χρώματος. Η πιο συνήθης τεχνική μελέτης του ιστογράμματος βασίζεται στην κβάντισή του σε στάθμες ώστε να μειώσει τα πιθανά επίπεδα από

εκατομμύρια σε κάποιες δεκάδες. Αυτή η στατική κβάντιση σε στάθμες συχνά οδηγεί σε ιδιαίτερα συμπαγή αναπαράσταση του χρώματος σε μια περιοχή ενδιαφέροντος, η οποία διατηρείται και έπειτα από γεωμετρικούς μετασχηματισμούς. Ένα μειονέκτημα του ιστογράμματος και ιδιαίτερα της κβάντισής του σε στάθμες εμφανίζεται κυρίως όταν οι στάθμες αυτές καθορίζονται εμπειρικά. Αυτό σημαίνει ότι διαφορετικά χρώματα πιθανόν να κβαντιστούν στην ίδια στάθμη, γεγονός που οδηγεί σε μια ελλιπή περιγραφή της εικόνας. Βέβαια, στην αντίθετη πλευρά ένας μεγάλος αριθμός σταθμών μπορεί να παρέχει καλύτερες περιγραφές αντικειμένων, αλλά αυξάνει επίσης το υπολογιστικό κόστος για την αναζήτηση και την ανάκτηση.

Τα τελευταία χρόνια εισήχθη και ένας ακόμη περιγραφέας με το όνομα στιγμές χρώματος (color moments) [1]. Η βασική υπόθεση στην οποία στηρίζεται είναι ότι η κατανομή του χρώματος σε μια περιοχή ενδιαφέροντος μπορεί να ερμηνευθεί από κάποια κατανομή πιθανότητας, και άρα μπορεί να περιγραφεί από τη μέση τιμή, την τυπική απόκλιση, και την εκτροπή. Μέχρι σήμερα έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε περιπτώσεις που μόνο ένα αντικείμενο αντιπροσωπεύεται στην εικόνα. Σίγουρα πάντως οι στιγμές χρώματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά όταν στόχος είναι η αναπαράσταση της κατανομής του χρώματος σε ένα ήδη εντοπισμένο αντικείμενο.

Ένας ιδιαίτερα συμπαγής περιγραφέας είναι το αποκαλούμενο «σύνολο χρώματος», επίσης γνωστό και ως «κυρίαρχος περιγραφέας χρώματος» [15]. Η κύρια ιδέα του «συνόλου χρώματος» είναι να περιγραφούν τα κυρίαρχα χρώματα στην περιοχή ενδιαφέροντος, αφού πρώτα το σύνολο των χρωμάτων υποστεί την κατάλληλη συσταδοποίηση (clustering). Ο τρόπος αυτός περιγραφής του χρώματος μπορεί να αποδειχθεί ιδιαίτερα ισχυρός καθώς προσεγγίζει αρκετά την ανθρώπινη οπτική αντίληψη, η οποία ερεθίζεται από τα κυρίαρχα χρώματα σε ένα αντικείμενο και τείνει να αγνοεί τα υπόλοιπα. Για να εξαλειφθεί μάλιστα το σημασιολογικό κενό ανάμεσα στο πραγματικό χρώμα και την περιγραφή του, έχουν προταθεί αρκετοί τρόποι σύνδεσης μιας λεκτικής περιγραφής με την πραγματική τιμή ενός χρώματος στο χρωματικό διάστημα [16].

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί μία μέθοδος περιγραφής του χρώματος που εισάγει χωρικές πληροφορίες στο ιστόγραμμα μιας εικόνας [17]. Η μετρική που προτάθηκε ονομάζεται διάνυσμα συνοχής χρώματος (Color Coherence Vector - CCV) όπου κάθε στάθμη ιστογράμματος μπορεί να ανήκει σε έναν από τους δύο τύπους: συνεκτική (coherent) εάν ανήκει σε μια ομοιόμορφα χρωματισμένη περιοχή ή μη-συνεκτική σε κάθε άλλη περίπτωση. Ένα διάνυσμα συνοχής χρώματος για μια εικόνα θα μπορούσε να οριστεί ως:

$$CCV(I) = [(a_1, b_1), (a_2, b_2), \dots, (a_n, b_n)]$$

όπου τα a και b δείχνουν τον αριθμό συνεκτικών και μη-συνεκτικών pixels για την i -οστή στάθμη χρώματος και το N είναι ο αριθμός των σταθμών.

2.3 Συστήματα που Βασίζονται στην Κατάτμηση σε Περιοχές

Η γενική ιδέα που διέπει τα συστήματα CBIR, τα οποία βασίζονται στην κατάτμηση σε περιοχές, είναι να τέμνεται μια εικόνα σε ομοιογενείς περιοχές. Η κατάτμηση αυτή οφείλει να είναι συνεπής στο ότι παρόμοιες εικόνες πρέπει χωρίζονται με παρόμοιο τρόπο. Κατόπιν, η εξαγωγή χαρακτηριστικών γνωρισμάτων και η ανάκτηση εκτελούνται βασισμένες σε εκείνες τις περιοχές. Στον χώρο αυτών των συστημάτων δύο προσεγγίσεις εξελίχθηκαν: η άμεση ανάκτηση εικόνας (Region Based Image Retrieval - RBIR) και περιφερειοποιημένη ανάκτηση (Regionalised Content Based Image Retrieval - rCBIR), που και οι δύο περιγράφουν την εικόνα με βάση τις περιοχές της.

Η RBIR προσέγγιση εξετάζει συνήθως την ανάκτηση μίας ή περισσότερων περιοχών που λαμβάνονται από την κατάτμηση και επιλέγονται από τον χρήστη. Ο σημαντικότερος στόχος τέτοιων συστημάτων είναι η αναζήτηση συγκεκριμένων αντικειμένων ή περιοχών και όχι η αναζήτηση για μια «ολόκληρη εικόνα». Επομένως, η χειρωνακτική επιλογή μιας περιοχής για να αναζητηθούν τις εικόνες με παρόμοιες περιοχές είναι η μέθοδος μοντελοποίησης της ανθρώπινης συμπεριφοράς αναζήτησης.

Ένα από τα πρώτα συστήματα που εισήγαγαν αυτήν την προσέγγιση ήταν το Blobworld [5]. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί έναν Expectation-Maximization αλγόριθμο και μελετά το ιστόγραμμα με βάση το μοντέλο CIE-Lab για να προσδώσει στις εικόνες έναν περιγραφέα χρώματος. Η υφή (texture) της εικόνας μελετάται μέσω της χρωματικής αντίθεσης, της ανισοτροπίας (anisotropy) και της πολικότητας (polarity). Επιπλέον, η θέση των περιοχών προσδιορίζεται από μετρικές όπως η εκκεντρικότητα και ο προσανατολισμός των περιοχών. Στο χρήστη παρέχονται διάφορες επιλογές ανάκτησης περιεχομένου όπως π.χ. η επιλογή μιας κατηγορίας εικόνων η οποία περιορίζει το διάστημα αναζήτησης. Επιπλέον, η σχετικότητα των περιοχών που ανακτώνται χωρίζεται σε διάφορα επίπεδα (μικρή, μέτρια, μεγάλη). Κατά τη διάρκεια της ανάκτησης υπολογίζεται η απόσταση Mahalanobis [18] μεταξύ των περιοχών για να μετρήσει την ομοιότητα των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων τους. Τέλος, το σύστημα αυτό επιτρέπει το ταίριασμα περιοχών με πληθικότητα ένα-προς-πολλά και κατά συνέπεια, μια επιλεγμένη περιοχή από την εικόνα-ερώτησης μπορεί να ταιριάζει με μια ή περισσότερες περιοχές στις εικόνες-στόχους.

Ένα άλλο αντίστοιχο σύστημα με το όνομα IKONA [19] εισάγει μια γρήγορη χονδροειδή κατάτμηση σε περιοχές με μια λεπτομερή περιγραφή του χρώματος. Η κατάτμηση επιτυγχάνεται για τις περιοχές της εικόνας με κβάντιση του χρώματος μέσω Local Distributions of Quantized Colors (LDQC). Η κάθε περιοχή αναπαρίσταται από προσαρμοστικές κατανομές σκίασης, μετρική που εισήγαγε πρώτο το IKONA και η οποία περιγράφει το χρώμα και την υφή ταυτόχρονα. Στις ιδιότητες κάθε περιοχής συμπεριλαμβάνονται επίσης η θέση της (centroid), και η «πυκνότητα» (αναλογία του μήκους περιγράμματος της περιοχής προς το εμβαδόν της περιοχής). Σαν μέτρο ανάκτησης, ορίζεται ένας συνδυασμός των ιδιοτήτων αυτών που εκφράζεται ως εξής:

$$d_{final} (R_Q, R_C) = a_{ADCS} * d_{quad}^{ADCS}(R_Q, R_C) + a_A * d_{L1}^A(R_Q, R_C) + a_P * d_{L2}^P(R_Q, R_C) + a_C * d_{L1}^C(R_Q, R_C)$$

όπου d_{quad}^{ADCS} είναι η τετραγωνική απόσταση ανάμεσα στις μετρικές σκίασης, d_{L1}^A είναι η L1-νόρμα ανάμεσα στα εμβαδά δύο περιοχών, d_{L1}^P η Ευκλείδεια απόσταση ανάμεσα στο σημείο που ορίζει τη θέση μιας περιοχής και d_{L1}^E είναι η L1-νόρμα μεταξύ των μετρικών «πυκνότητας» δύο περιοχών. Οι δείκτες α είναι σχετικά βάρη για κάθε μετρική που ορίζονται από τον χρήστη.

Ένα ακόμη σύστημα RBIR που εισήγαγε κάποιους νεωτερισμούς είναι το NeTra [6]. Το NeTra εφαρμόζει κατάτμηση σε περιοχές βασισμένη στον εντοπισμό κλειστών περιγραμμάτων. Οι πληροφορίες χρώματος περιγράφονται το μοντέλο RGB 256, ενώ για την υφή χρησιμοποιούνται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση του Wavelet Transformation του Gabor. Η πληροφορία σχετικά με το σχήμα μιας περιοχής βασίζεται σε ιδιαίτερα σύνθετες μετρικές όπως π.χ. η συνάρτηση καμπύλης του περιγράμματος.

Το βασικότερο όμως στοιχείο καινοτομίας που εισήγαγε το NeTra ήταν ότι για πρώτη φορά ενσωμάτωσε πληροφορία σχετική με τις χωρικές θέσεις των διάφορων περιοχών μιας εικόνας. Κάθε περιοχή για το NeTra περιγράφεται εκτός από όλα τα παραπάνω και από το κέντρο μάζας της και το Ελάχιστο Ορθογώνιο Παραλληλόγραμμο Οριοθέτησης (Minimum Bounding Rectangle – MBR).

Για να εκτελεστεί μία ερώτηση (query) με βάση τη χωρική θέση μιας περιοχής αναμένεται να οριστούν από το χρήστη δύο ορθογώνια παραλληλόγραμμο (bounding boxes) που καθορίζουν τον τομέα ενδιαφέροντος. Το εσωτερικό παραλληλόγραμμο (inner box) χρησιμοποιείται για να καθορίσει τις περιοχές που ενσωματώνονται στη διαδικασία ερώτησης και πρέπει να τις επικαλύπτει πλήρως, ενώ το εξωτερικό παραλληλόγραμμο (outer box) εξαιρεί τις περιοχές που δεν επικαλύπτει από την διαδικασία αυτή. Προκειμένου να μετρηθεί η ομοιότητα περιοχών, χρησιμοποιείται μια τεχνική ταιριάσματος χρωμάτων μεταξύ των περιοχών, η οποία περιγράφεται ως εξής: «ταίριαξε κάθε χρώμα στην περιοχή A με την πιο κοντινή αντιστοιχία χρώματός που βρίσκεις στην περιοχή B». Η διαφορά του χρώματος υπολογίζεται από μια σταθμισμένη Ευκλείδεια απόσταση στο RGB διάστημα. Αντιστοίχιση υφής και σχήματος εκτελείται χρησιμοποιώντας την L1-νόρμα και την Ευκλείδεια απόσταση, αντίστοιχα.

Η κύρια διαφορά των συστημάτων RBIR από τα συστήματα rCBIR είναι ότι στα rCBIR όλες οι περιοχές της εικόνας συμπεριλαμβάνονται στη διαδικασία ανάκτησης. Ως εκ τούτου, μπορεί κανείς να τα θεωρήσει ως εκτεταμένη περίπτωση RBIR συστήματος που χρησιμοποιεί τις πολλαπλές περιοχές για αναζήτηση. Αυτή η προσέγγιση έχει το πλεονέκτημα ότι ο χρήστης δεν καλείται να επιλέξει μια συγκεκριμένη περιοχή για αναζήτηση και ανάκτηση, εργασία η οποία μπορεί να είναι μερικές φορές ιδιαίτερα δύσκολη εάν τα αντικείμενα αντιπροσωπεύονται από τις πολλές περιοχές ή εάν εμφανίζονται σύνθετες επικαλύψεις μεταξύ των αντικειμένων.

Υπάρχουν διάφορα συστήματα που εφαρμόζουν αυτήν την προσέγγιση όπως τα Walrus [20] και Windsurf [7] αλλά το πιο γνωστό από αυτά τα συστήματα είναι το SIMPlicity [8] που ενσωματώνει μια πρωτότυπη τεχνική αντιστοίχισης περιοχών. Εφαρμόζει ένα σύνθετο K-Means Clustering για την κατάτμηση, όπου τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα εξάγονται μέσω μετασχηματισμού wavelet σε τμήματα της εικόνας μεγέθους 4x4. Οι εξαχθείσες περιοχές περιγράφονται έπειτα από το χρώμα, την υφή και το σχήμα. Κατά την εκτέλεση ενός query, η ομοιότητα εικόνας μετριέται με την ενσωμάτωση όλων των περιοχών εικόνας. Επομένως, για να αντιμετωπιστεί το πιθανό πρόβλημα της ανακριβούς κατάτμησης, επιτρέπεται η πολλά-προς-πολλά πληθικότητα στις αντιστοιχίσεις περιοχών, ενώ ένα-προς-ένα αντιστοιχία επιτρέπεται όταν τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των περιοχών είναι σημαντικά παρόμοια.

2.4 Ελάχιστα Ορθογώνια Παραλληλόγραμμα Οριοθέτησης

Το φαινόμενο της αναπαράστασης ενός αντικειμένου στο χώρο χρησιμοποιώντας ορισμένα μόνο σημεία του είναι ιδιαίτερα συχνό. Τέτοιες προσεγγίσεις είναι ιδιαίτερα χρήσιμες και στην ανάκτηση εικόνας με βάση το περιεχόμενο καθώς μειώνουν σημαντικά τον όγκο των προς αποθήκευση δεδομένων και επιπλέον επιταχύνουν την διαδικασία εύρεσης των απαντήσεων που ικανοποιούν μια ερώτηση (query). Μία τέτοια μέθοδος αναπαράστασης είναι και τα Ελάχιστα Ορθογώνια Παραλληλόγραμμα Οριοθέτησης (Minimum Bounding Rectangles – MBR) [21].

Τα MBR χρησιμοποιούνται πλέον ευρύτατα στον σχεδιασμό χωρικών αναπαραστάσεων καθώς χρειάζονται μονάχα δύο σημεία για να περιγράψουν ένα ολόκληρο αντικείμενο. Πιο συγκεκριμένα κάθε αντικείμενο αποτελείται από ένα ζεύγος σημείων (p_1, p_2) τα οποία αναπαριστούν το επάνω αριστερά και το κάτω δεξιά σημείο του ελάχιστου δυνατού παραλληλογράμμου που δύναται να επικαλύψει πλήρως το αντικείμενο. Μοναδικό μειονέκτημα της αναπαράστασης αυτής είναι η δυσκολία αναπαράστασης μη κυρτών αντικειμένων.

Η πλέον υποσχόμενη μορφή χωρικής αναπαράστασης που βασίζεται στα MBR είναι τα R-trees, μια δενδρική δομή που αποτελεί άμεση επέκταση των γνωστών B-δέντρων σε n διαστάσεις. Αν και η ανάλυση της δομής των R-trees δεν εμπίπτει σε καμία περίπτωση στα πλαίσια της παρούσης εργασίας, είναι σημαντικό το να σημειώσουμε ότι τα MBR απετέλεσαν κινητήριο μοχλό στην ανάπτυξη δενδρικών χωρικών αναπαραστάσεων.

2.5 Μέθοδοι Χωρικών Αναπαραστάσεων

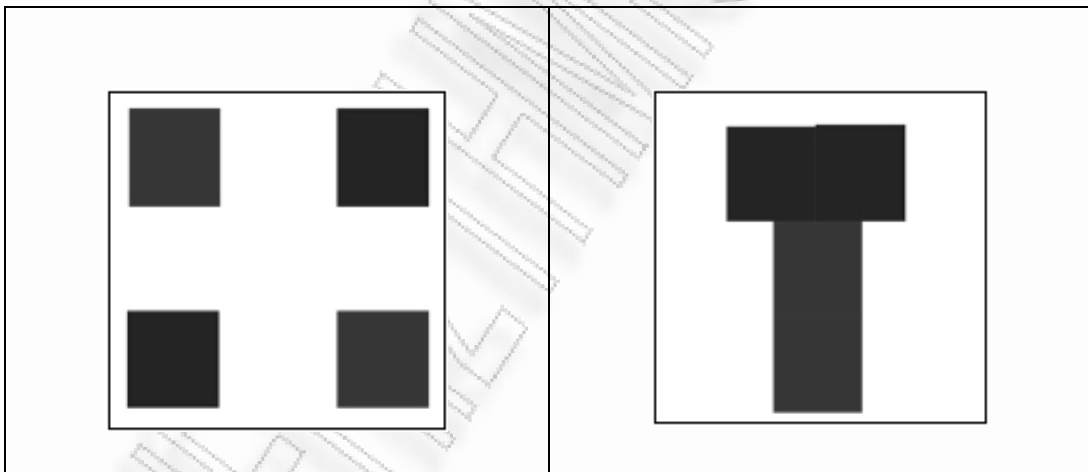
Η χωρική κατανομή των αντικειμένων ή των περιοχών σε ένα οπτικό τοπίο διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ανθρώπινη οπτική αντίληψη. Επομένως, η έννοια της χωρικής κατανομής και των χωρικών αναπαραστάσεων είναι αναμενόμενο να έχει εισαχθεί στα συστήματα CBIR, όπου οι περιοχές με παρόμοιες ιδιότητες χρώματος μπορούν να διακριθούν μονάχα μέσω της χωρικής τους περιγραφής. Επομένως, οι θέσεις περιοχών ή οι χωρικές σχέσεις περιοχών σε μια εικόνα αποτελούν πολύτιμη πληροφορία για την οπτική περιγραφή.

Εντούτοις, η βασισμένη στις χωρικές σχέσεις των περιοχών τους ανάκτηση εικόνων παραμένει μια πρόκληση για τα συστήματα αυτά δεδομένου ότι η αξιόπιστη κατάτμηση της εικόνας είναι συχνά ανέφικτη πλην ορισμένων περιορισμένων εφαρμογών. Μερικά συστήματα ακολουθούν ακόμη και την προσέγγιση της διαίρεσης της αρχικής εικόνας σε υπό-τμήματα με σταθερό μέγεθος χωρίς βέβαια ιδιαίτερη επιτυχία καθώς οι περισσότερες φυσικές εικόνες δεν περιορίζονται σε τμήματα ίσου μεγέθους. Άλλα συστήματα ενσωματώνουν τις χωρικές ιδιότητες ένα επίπεδο αφαίρεσης υψηλότερα από τις περιοχές που

προκύπτουν από την κατάτμηση της εικόνας. Χρησιμοποιούν παραδοσιακές ιδιότητες των πολυμέσων όπως π.χ. το Κέντρο Μάζας (Center of Mass - COM) και περισσότερο τα MBR για να περιγράψουν τις χωρικές σχέσεις μεταξύ των περιοχών.

Ένα γενικό πλεονέκτημα της ενσωμάτωσης των χωρικών ιδιοτήτων των περιοχών σε ένα CBIR σύστημα ή χαρακτηριστικών γνωρισμάτων εμφανίζεται σε ένα παράδειγμα με εικόνες που έχουν την ίδια κατανομή χρώματος. Για παράδειγμα, οι δύο εικόνες του παρακάτω πίνακα έχουν τις ίδιες αναλογίες χρώματος για το μπλε, το κόκκινο, και το λευκό. Μία αναζήτηση περιορισμένη στην περιγραφή του χρώματος θα τις θεωρούσε παρόμοιες. Με την εφαρμογή όμως μιας χωρικής αναπαράστασης συνολικά για την εικόνα ή τοπικά για κάθε περιοχή, είναι δυνατόν να επιτευχθεί μια ενισχυμένη διάκριση μεταξύ των εικόνων αυτών.

Πίνακας 1 Εικόνες με όμοια χρωματική αλλά διαφορετική χωρική κατανομή



Στη συνέχεια αυτής της ενότητας παρουσιάζονται αναλυτικά οι μέθοδοι χωρικής αναπαράστασης 2D C-String [22] και 2D C-Tree [23], [24] στις οποίες βασίστηκε το μοντέλο αναπαράστασης που σχεδιάστηκε στα πλαίσια της παρούσης Διπλωματικής Εργασίας.

2.5.1 2D C-String [22]

Βασική αρχή της αναπαράστασης μέσω 2D C-String είναι ο ορισμός αντικειμένων με βάση τα αντίστοιχα MBR. Αφού οριστούν όλα τα αντικείμενα ή περιοχές που περιλαμβάνει μια εικόνα οι χωρικές σχέσεις περιγράφονται

ξεχωριστά για κάθε άξονα αναφοράς με την βοήθεια τριών τελεστών. Οι τελεστές αυτοί είναι οι «<», «=>» και «:». Ο τελεστής «<» υποδεικνύει σχέσεις τύπου αριστερά-δεξιά ή επάνω-κάτω, ο τελεστής «=>» υπονοεί την ακριβώς ίδια χωρική θέση για δύο περιοχές και ο τελεστής «:» σημαίνει «στο ίδιο σύνολο» με κάποια/-ες περιοχές. Ο πίνακας που ακολουθεί παρουσιάζει μια εικόνα με τις συμβολικές περιοχές της και την αντίστοιχη αναπαράσταση με την απλούστερη μορφή 2D C-String:

Πίνακας 2 Συμβολική Εικόνα και Αντίστοιχη Χωρική Αναπαράσταση

<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100px; height: 100px;"> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">DE</td> <td style="width: 20px;"></td> <td style="width: 20px;"></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">B</td> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">C</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">A</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	DE				B	C	A			<p>Στον άξονα x: $A = D:E < B < C$</p> <p>Στον άξονα y: $A < B = C < D:E$</p>
DE										
	B	C								
A										

Οι τρεις αυτοί τελεστές δεν απεδείχθησαν επαρκείς στο να καλύψουν τις ανάγκες χωρικής αναπαράστασης, ιδίως στις περιπτώσεις επικαλυπτόμενων περιοχών και επεκτάθηκαν μερικά χρόνια αργότερα από τον E. Jungert [25]. Αναλυτικά, οι χωρικοί τελεστές του Jungert περιγράφονται στον παρακάτω πίνακα:, όπου υποθέτουμε την ύπαρξη δύο διακριτών περιοχών A και B των οποίων τη σχέση επιχειρούμε να περιγράψουμε:

Πίνακας 3 Χωρικοί Τελεστές Jungert

Σημειολογία	Περιγραφή
$A < B$	Κέντρο(A) < Κέντρο (B)
$A = B$	Κέντρο(A) = Κέντρο(B)
$A B$	Ελάχιστο(B) = Μέγιστο(A) + 1

$A \% B$	$\text{Ελάχιστο}(A) > \text{Ελάχιστο}(B)$ $\text{Μέγιστο}(A) < \text{Μέγιστο}(B)$ $\text{Μήκος}(A) < \text{Μήκος}(B)$
$A [B$	$\text{Ελάχιστο}(A) = \text{Ελάχιστο}(B)$ $\text{Μήκος}(A) < \text{Μήκος}(B)$
$A] B$	$\text{Μέγιστο}(A) = \text{Μέγιστο}(B)$ $\text{Μήκος}(A) < \text{Μήκος}(B)$
$A \setminus B$	$\text{Ελάχιστο}(A) < \text{Ελάχιστο}(B)$ $\text{Μήκος}(A) \leq \text{Μήκος}(B)$
A / B	$\text{Μέγιστο}(A) > \text{Μέγιστο}(B)$ $\text{Μήκος}(A) \leq \text{Μήκος}(B)$

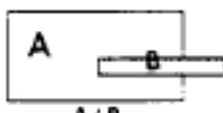
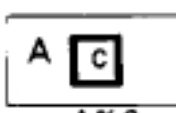
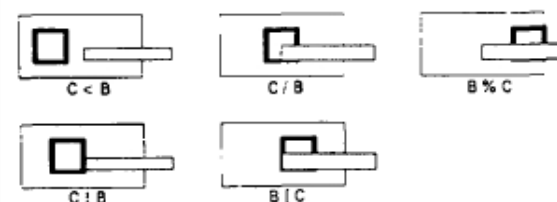
Σύμφωνα με τον ίδιο τον Jungert, ούτε η δική του αναπαράσταση δύναται να καλύψει πλήρως τις πιθανές χωρικές σχέσεις μεταξύ περιοχών, διατηρώντας ολόκληρο το σημασιολογικό περιεχόμενο όπως γίνεται αντιληπτό από την ανθρώπινη όραση και νοημοσύνη. Κατά συνέπεια οι Lee και Hsu [22] επεξέτειναν το μοντέλο, προτείνοντας μια προσέγγιση η οποία περιλαμβάνει επιπλέον κατάτμηση των αρχικών περιοχών σε υπό-περιοχές με βάση τα αρχικά και τελικά σημεία επικάλυψης και κατέληξαν σε ένα περιορισμένο σύνολο χωρικών τελεστών που φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 4 Χωρικοί Τελεστές 2D C-String

Σημειολογία	Περιγραφή
$A < B$	$\text{Τέλος}(A) < \text{Αρχή}(B)$
$A = B$	$\text{Αρχή}(A) = \text{Αρχή}(B)$

	$\text{Τέλος}(A) = \text{Τέλος}(B)$
$A B$	$\text{Τέλος}(A) = \text{Αρχή}(B)$
$A \% B$	$\text{Αρχή}(A) < \text{Αρχή}(B)$ $\text{Τέλος}(A) > \text{Τέλος}(B)$
$A [B$	$\text{Αρχή}(A) = \text{Αρχή}(B)$ $\text{Τέλος}(A) > \text{Τέλος}(B)$
$A] B$	$\text{Αρχή}(A) < \text{Αρχή}(B)$ $\text{Τέλος}(A) = \text{Τέλος}(B)$
A / B	$\text{Αρχή}(A) < \text{Αρχή}(B) < \text{Τέλος}(A) < \text{Τέλος}(B)$

Από τους τελεστές αυτούς ο τελευταίος (A / B) διαπιστώθηκε ότι μπορεί να φέρει μεγάλο ποσοστό αμφισημίας και έτσι αποκλείστηκε από το τελικό σύνολο. Στις εικόνες του πίνακα που ακολουθεί φαίνεται μία τέτοια περίπτωση:

Αρχική Εικόνα	Εικόνα με νέο Αντικείμενο	Πιθανές Ερμηνείες Χωρικής Αναπαράστασης
 <p>A / B</p>	 <p>A % C</p>	 <p>$C < B$ C / B $B \% C$ $C B$ $B C$</p>

Θεωρούμε αρχικά την σχέση A / B και υποθέτουμε ότι ένα νέο αντικείμενο C προστίθεται το οποίο περιέχεται στο A . Επομένως, τώρα η περιγραφή της εικόνας θα ήταν $A \% C / B$. Επιχειρώντας να ανακατασκευάσουμε την εικόνα με βάση

την περιγραφή αυτή διαπιστώνεται ότι η σχέση μεταξύ C και B είναι ασαφής. Πιθανές εκδοχές θα ήταν: $C < B$, $C \mid B$, C / B , $B \lfloor C$ και $B \% C$, όπως φαίνεται στην δεξιά στήλη του πίνακα.

Τελικά ο πλήρης ορισμός του 2D C-String διατυπώθηκε ως εξής:

Η δομή χωρικής αναπαράστασης και γνώσης 2D C-String είναι μία πλειάδα πέντε στοιχείων

$$\{S, C, R_g, R_l, "O"\}$$

όπου:

- (1) S είναι το σύνολο των συμβολικών αντικειμένων που περιέχει η εικόνα
- (2) C είναι ο μηχανισμός περαιτέρω κατάτμησης των συμβολικών αντικειμένων
- (3) $R_g = \{<, | \}$ είναι το σύνολο των καθολικών για την εικόνα τελεστών
- (4) $R_l = \{=, \lfloor, \% \}$ είναι το σύνολο των τοπικών τελεστών
- (5) "O" είναι ένα ζεύγος διαχωριστών που χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα σύνολο συμβόλων και τελεστών ως ενιαία οντότητα.

Ο μηχανισμός περαιτέρω κατάτμησης των περιοχών αποτελεί το σημαντικότερο βήμα στην κατασκευή του 2D C-String μιας εικόνας και στην γενική του περίπτωση περιγράφεται από τα παρακάτω αλγοριθμικά βήματα [22]:

Βήμα 1: Ταξινόμησε όλα τα ελάχιστα και μέγιστα σημεία των περιοχών για τον άξονα αναφοράς.

Βήμα 2: Στην ταξινομημένη λίστα ομαδοποίησε τα σημεία με ίδιες τιμές.

Βήμα 3: Επανάλαβε από Βήμα 4 ως το Βήμα 8 για κάθε ομάδα ίδιων τιμών. Εάν δεν υπάρχουν ίδιες τιμές επέστρεψε το 2D C-String.

Βήμα 4: Έλεγξε εάν υπάρχουν ομάδες ίδιων μέγιστων τιμών. Εάν όλες οι ομάδες αφορούν ελάχιστες τιμές πήγαινε στο Βήμα 8.

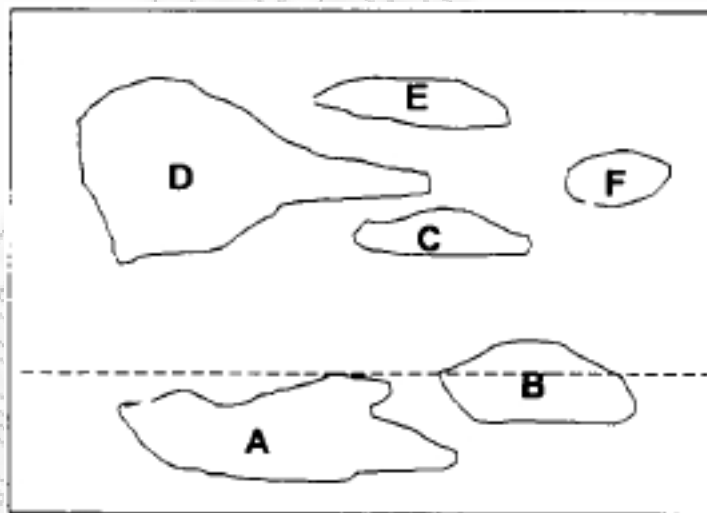
Βήμα 5: Εντόπισε το «κυρίαρχο» αντικείμενο ανάμεσα στις ομάδες ίδιων μέγιστων τιμών. Είναι το αντικείμενο με την μικρότερη ελάχιστη τιμή μέσα στην ομάδα. Η μέγιστη τιμή του ορίζεται ως σημείο επιπλέον κατάτμησης.

Βήμα 6: Διαίρεσε με βάση το σημείο αυτό όλα υπόλοιπα αντικείμενα που έχουν ελάχιστο μικρότερο από το μέγιστο του «κυρίαρχου» σημείου σε δύο μέρη και υπολόγισε τους αντίστοιχους τελεστές.

Βήμα 7: Εάν δεν υπάρχουν αντικείμενα με ελάχιστο μικρότερο ή ίσο του κυρίαρχου αντικειμένου παρουσίασε το 2D C-String για αυτό το τμήμα της εικόνας

Βήμα 8: Ανανέωσε την ταξινομημένη λίστα με τα αντικείμενα που προέκυψαν από τη νέα κατάτμηση και επέστρεψε στο Βήμα 4.

Ένα παράδειγμα ορισμού σημείων για περαιτέρω διαχωρισμό αναφορικά με τον άξονα y παρουσιάζεται στην εικόνα που ακολουθεί:



2 Περαιτέρω κατάτμηση για αναπαράσταση στον άξονα y

2.5.2 2D C-Tree [23]

Η αναπαράσταση του 2D C-Tree είναι εξ' ολοκλήρου βασισμένη στο μοντέλο του 2D C-String με την διαφορά ότι παρέχει τη δυνατότητα ανάπτυξης και ενός

αλγόριθμοι για μέτρηση της ομοιότητας ανάμεσα σε δύο εικόνες. Ο αλγόριθμος αυτός είναι η βασικότερη καινοτομία που έφερε το 2D C-Tree στις χωρικές αναπαραστάσεις και γενικά είναι βασισμένος στην αναζήτηση του μέγιστου όμοιου υπό-δέντρου ανάμεσα σε δύο ή περισσότερα δέντρα.

Οι κόμβοι του 2D C-Tree αντιπροσωπεύουν αντικείμενα ή περιοχές μιας εικόνας, ενώ τα «κλαδιά» του που ενώνουν τους κόμβους σημειώνονται με τον αντίστοιχο χωρικό τελεστή που επεξηγεί την σχέση ανάμεσα σε δύο κόμβους. Το σύνολο των τελεστών που χρησιμοποιείται είναι το ίδιο με το 2D C-String, ενώ και στην δενδρική αναπαράσταση χρησιμοποιείται αλγόριθμος επιπλέον κατάτμησης περιοχών που επικαλύπτονται, ο οποίος τροποποιείται σε σχέση με την αρχική του εκδοχή ως εξής:

Βήμα 1: Ταξινόμησε όλα τα ελάχιστα και μέγιστα σημεία των περιοχών για τον άξονα αναφοράς.

Βήμα 2: Στην ταξινομημένη λίστα ομαδοποίησε τα σημεία με ίδιες τιμές σε διακριτά σύνολα.

Βήμα 3: Επανέλαβε από το Βήμα 4 έως το Βήμα 8 για κάθε σύνολο ίδιων τιμών

Βήμα 4: Έλεγε εάν στο τωρινό σύνολο υπάρχουν μέγιστες τιμές. Εάν όλες οι τιμές είναι ελάχιστες επέστρεψε στο Βήμα 3

Βήμα 5: Εντόπισε το «κυρίαρχο» αντικείμενο ανάμεσα σε αυτά που έχουν την ίδια μέγιστη τιμή. Το «κυρίαρχο» αντικείμενο είναι εκείνο με την μικρότερη ελάχιστη τιμή.

Βήμα 6: Διαίρεσε όλα τα αντικείμενα που βρίσκονται εντός του διαστήματος που εκτείνεται το «κυρίαρχο» αντικείμενο σε δύο μέρη με βάση την μέγιστη τιμή του. Εάν δεν υπάρχουν τέτοια αντικείμενα προχώρησε στο Βήμα 7.

Βήμα 7: Εάν υπάρχουν περισσότερα από ένα «κυρίαρχα» αντικείμενα στο τωρινό σύνολο σύνδεσέ τα με τον τελεστή « \Rightarrow ». Εάν υπάρχει αντικείμενο με ίδια ελάχιστη τιμή με το «κυρίαρχο» σύνδεσέ τα με τον τελεστή « \llcorner »,

αλλιώς σύνδεσε το «κυρίαρχο» αντικείμενο με το αμέσως προηγούμενο με τον τελεστή «%». Εάν το προηγούμενο αντικείμενο έχει προγόνους που δεν είναι η ρίζα του δέντρου και το τωρινό «κυρίαρχο» αντικείμενο έχει σημειωθεί ως «ακραίο» στο προηγούμενο Βήμα 8 ο τελεστής σύνδεσης είναι «|», διαφορετικά είναι «<».

Βήμα 8: Αφαίρεσε όλες τις μέγιστες τιμές από το τωρινό σύνολο και τις ελάχιστες τιμές από όλα τα αντικείμενα που βρίσκονται εντός του διαστήματος που εκτείνεται το «κυρίαρχο» αντικείμενο. Τα διαιρεμένα αντικείμενα του Βήματος 6 θεωρούνται ξεχωριστά αντικείμενα και προστίθενται στο τωρινό σύνολο το οποίο σημειώνεται ως «ακραίο».

Η αρχικοποίηση του δέντρου γίνεται θεωρώντας ως ρίζα του μια περιοχή με διαστάσεις ίδιες με ολόκληρη την εικόνα. Στην συνέχεια όλες οι περιοχές ή υπο-περιοχές που δημιουργούνται από τον παραπάνω αλγόριθμο συνδέονται σειριακά στο δέντρο. Το πρώτο παιδί της ρίζας συνδέεται σε αυτήν πάντα με τον τελεστή «=».

Προκειμένου το συγκεκριμένο μοντέλο δενδρικής αναπαράστασης να είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί για εντοπισμό ομοιοτήτων οι σχεδιαστές του εισήγαγαν τις έννοιες του ψευδό-κόμβου (empty node) και του κόμβου συνόλου (set node) προκειμένου να αφαιρέσουν τους τελεστές από τα κλαδιά του δέντρου. Οι ψευδό-κόμβοι και οι κόμβοι συνόλου τοποθετούνται στο δέντρο με βάση τους παρακάτω κανόνες:

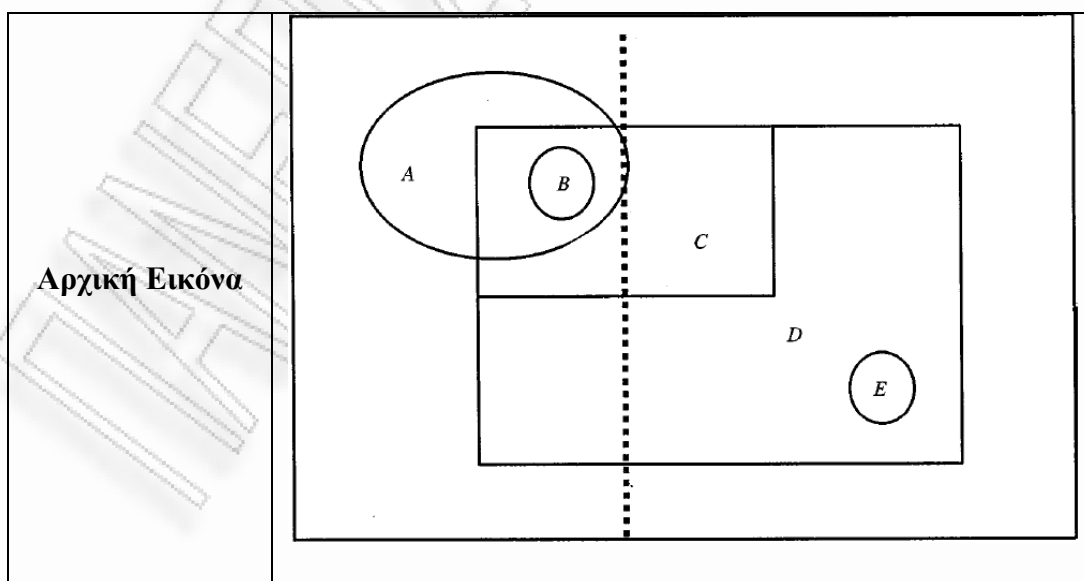
- 1.) Ο τελεστής «|» μεταξύ ενός κόμβου S και του πρώτου παιδιού του S(1) αφαιρείται τοποθετώντας έναν ψευδό-κόμβο ε πριν το πρώτο παιδί.
- 2.) Ο τελεστής «%» μεταξύ ενός κόμβου S και του πρώτου παιδιού του S(1) αφαιρείται τοποθετώντας έναν ψευδό-κόμβο ε(1) πριν το πρώτο παιδί και έναν ψευδό-κόμβο ε(n) μετά το τελευταίο παιδί του S.
- 3.) Ο τελεστής «[» μεταξύ ενός κόμβου S και του πρώτου παιδιού του S(1) αφαιρείται τοποθετώντας έναν ψευδό-κόμβο ε(n) μετά το τελευταίο παιδί του S.

- 4.) Ο τελεστής « \Rightarrow » μεταξύ ενός κόμβου S και του πρώτου παιδιού του $S(1)$ αφαιρείται χωρίς καμία προσθήκη.
- 5.) Ο τελεστής « \langle » μεταξύ ενός κόμβου S και του κάποιου παιδιού του $S(i)$ αφαιρείται χωρίς καμία προσθήκη.
- 6.) Ο τελεστής « \langle » μεταξύ ενός κόμβου S και του κάποιου παιδιού του $S(i)$ αφαιρείται τοποθετώντας έναν ψευδό-κόμβο $\varepsilon(i)$ πριν το i -οστό παιδί.
- 7.) Ένας κόμβος S που έχει ένα μόνο παιδί μπορεί να ενωθεί σε έναν κοινό κόμβο με το παιδί αυτό εάν έχουν ίδια ελάχιστη και μέγιστη τιμή για τον άξονα αναφοράς.

Όπως ήδη αναφέρθηκε η διαδικασία αφαίρεσης των τελεστών σχεδιάστηκε με απώτερο στόχο την χρησιμοποίηση των δενδρικών αναπαραστάσεων για εύρεση ομοιοτήτων σε εικόνες. Είναι προφανές ότι η ύπαρξη των τελεστών στα «κλαδιά» του δέντρου θα καθιστούσε την υλοποίηση ενός αλγορίθμου εύρεσης όμοιων υπό-δέντρων πολύ πιο σύνθετη διαδικασία.

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθεται ένα απλό παράδειγμα εικόνας, το αντίστοιχο 2D C-Tree και η εκδοχή του δέντρου χωρίς τους τελεστές:

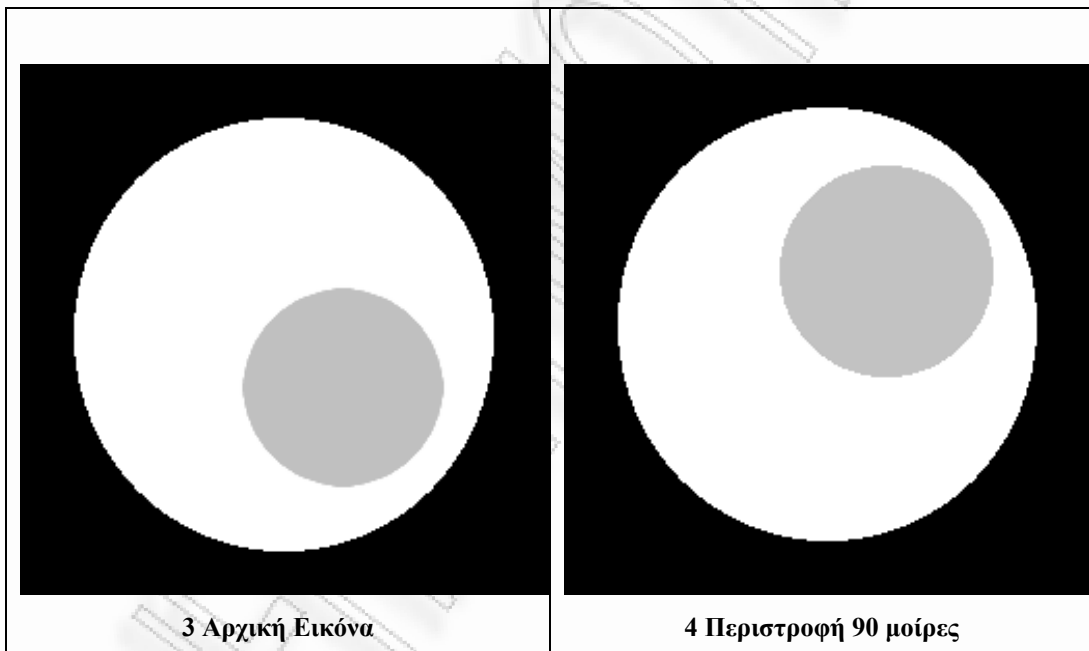
Πίνακας 5 Παράδειγμα Κατασκευής 2D C-Tree



<p>2D C-Tree</p>	
<p>2D C-Tree χωρίς τελεστές</p>	

Κεφάλαιο 3 - Σύστημα Χωρικής Αναπαράστασης Γεωμετρικά Μετασχηματισμένων Εικόνων

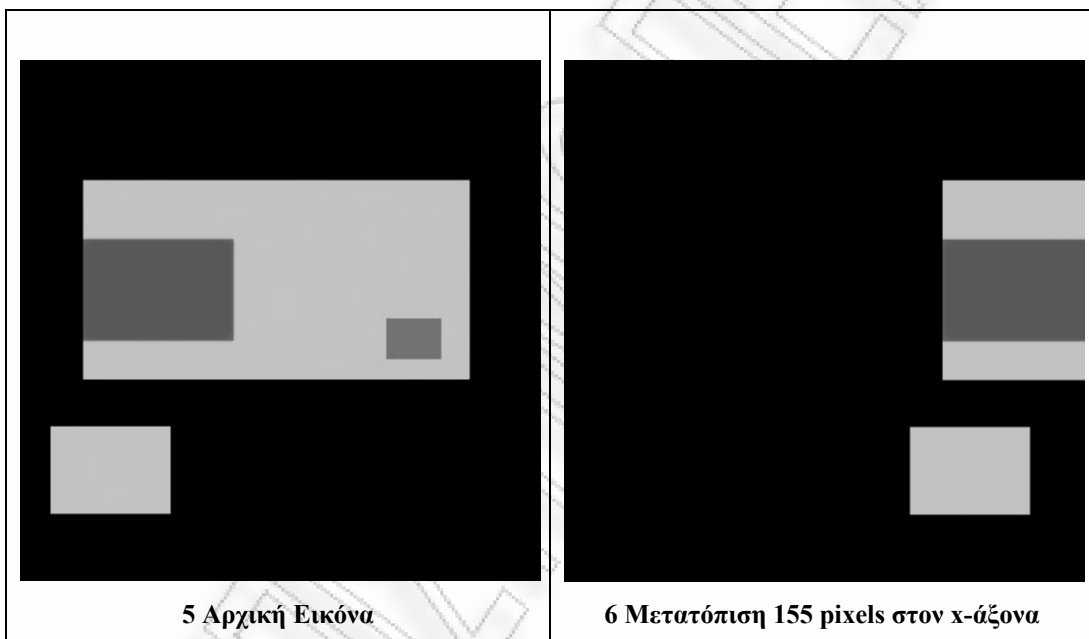
Η ιδέα της ανάκτησης εικόνων με βάση το περιεχόμενό τους, κερδίζει διαρκώς όλο και περισσότερο ερευνητικό, αλλά και πρακτικό ενδιαφέρον στο χώρο της Πληροφορικής. Μία από τις πιο διαδεδομένες σχετικές τεχνικές βασίζεται στην κατάτμηση μιας εικόνας σε περιοχές που αντιπροσωπεύουν διαφορετικά αντικείμενα ή οντότητες και είναι αναμενόμενο πως ένα αντικείμενο μπορεί να έχει αρκετές διαφορετικές εκφάνσεις. Μια προφανής τέτοια κατάσταση είναι η περίπτωση των γεωμετρικά μετασχηματισμένων εικόνων.



Οι εικόνες που έχουν υποστεί ένα γεωμετρικό μετασχηματισμό πολλές φορές υφίστανται απώλεια πληροφορίας και άλλες όχι. Για να γίνει αυτό καλύτερα κατανοητό θα χρησιμοποιήσουμε ένα από παράδειγμα. Στην Εικόνα 3 παρατίθεται μία αρχική εικόνα ενώ στην Εικόνα 4 η ίδια εικόνα έχει περιστραφεί κατά 90 μοίρες. Η περιστροφή είναι μια περίπτωση που ο γεωμετρικός μετασχηματισμός δεν προκαλεί καμία απώλεια πληροφορίας, καθώς όπως βλέπουμε όλες οι περιοχές της αρχικής εικόνας είναι παρούσες και στην επεξεργασμένη εκδοχή της, ενώ είναι εύκολο για τον ανθρώπινο εγκέφαλο να

κατανοήσει τον μετασχηματισμό που μεσολάβησε και να εντοπίσει τις ομοιότητες.

Αντίθετα μετασχηματισμοί όπως η μετατόπιση, η μεγέθυνση και η κύρτωση είναι δυνατόν να προκαλέσουν μερική απώλεια πληροφορίας, όμως και πάλι ο ανθρώπινος εγκέφαλος μπορεί πολύ εύκολα να εντοπίσει τις ομοιότητες αναπαράγοντας τον αντίστροφο μετασχηματισμό. Οι Εικόνες 5 και 6 που ακολουθούν παρουσιάζουν μια μετατόπιση στον οριζόντιο άξονα που προκάλεσε απώλεια πληροφορίας.



Μία όμοια διαδικασία αναγνώρισης των μετασχηματισμών που υπέστη μια εικόνα δεν θα ήταν παλαιότερα εφικτή για ένα υπολογιστικό σύστημα, καθώς δεν υπήρχε μια σαφής αναπαράσταση των χωρικών σχέσεων ανάμεσα στις περιοχές της εικόνας. Σήμερα όμως υπάρχουν στην διάθεσή μας οι τεχνικές και οι μηχανισμοί αναπαράστασης χωρικών σχέσεων που επεξηγήθηκαν στην προηγούμενη ενότητα και το εγχείρημα μιας τέτοιας μελέτης παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον.

Πιο συγκεκριμένα στην παρούσα ενότητα παρουσιάζεται μια πρωτότυπη δενδρική αναπαράσταση των περιοχών μιας εικόνας βασισμένη στο 2D C-Tree, τα Minimum Bounding Rectangles και τους χωρικούς τελεστές Jungert. Η

αναπαράσταση αυτή αν και ακολουθεί τις γενικές αρχές από τις παραπάνω θεωρίες, είναι αρκετά απλοποιημένη και προσαρμοσμένη σε υποσύνολα χωρικών σχέσεων, ώστε να περιοριστεί στα όρια της παρούσης Διπλωματικής Εργασίας. Πριν την δενδρική αναπαράσταση παρουσιάζεται το στάδιο προ-επεξεργασίας της εικόνας που βασίζεται σε γνωστές, καταγεγραμμένες τεχνικές, μεθόδους και αλγορίθμους.

3.1 Στάδιο Προ-επεξεργασίας της Εικόνας

Οι περισσότερες φυσικές αλλά και συνθετικές εικόνες εσωκλείουν μεγάλη ποσότητα πληροφορίας διαφόρων ειδών, που καθιστά σχεδόν αδύνατη την άμεση εξαγωγή των διαφορετικών περιοχών από αυτές. Στην παρούσα εργασία ένα τμήμα της μελέτης αφιερώθηκε στην ανάπτυξη μιας διαδικασίας επιτυχημένης αφαίρεσης πληροφορίας από την εικόνα που δεν θα αλλοιώσει τις περιοχές της.

3.1.1 Εντοπισμός άκρων (Edge Detection)

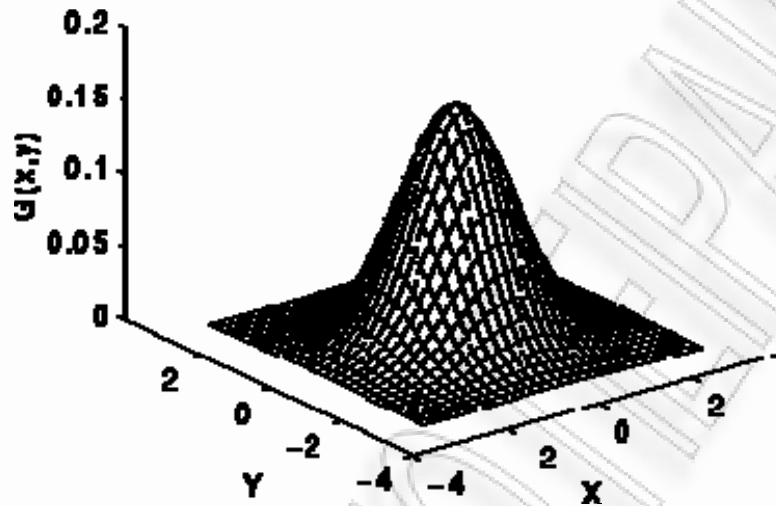
Η διαδικασία του edge detection αποσκοπεί στην όσο το δυνατόν καλύτερη περιγραφή για το υπολογιστικό σύστημα των περιγραμμάτων των διαφορετικών περιοχών. Η βασική αρχή όλων των αλγορίθμων edge detection είναι ο εντοπισμός των σημείων εκείνων που η φωτεινότητα της εικόνας παρουσιάζει ασυνέχειες. Στο πειραματικό σύστημα που υλοποιήθηκε χρησιμοποιήθηκαν οι αλγόριθμοι Canny και Sobel, δύο από τους πιο διαδεδομένους αλγορίθμους στην Επεξεργασία Εικόνας.

Αλγόριθμος Canny [26]

Το πρώτο βήμα του αλγορίθμου εφαρμόζει στην εικόνα έναν πίνακα συνέλιξης Gauss με αποτέλεσμα την λείανση (smoothing) των χαρακτηριστικών της. Στον δισδιάστατο χώρο όπου μελετώνται οι εικόνες, η κατανομή Gauss ορίζεται από τον τύπο:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

έχει την «κωδωνοειδή» μορφή που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



7 Κατανομή Gauss 2D

και τελικά προσεγγίζεται με διακριτό τρόπο ώστε να είναι εφαρμόσιμη στα διακριτά στοιχεία της ψηφιακής εικόνας (pixels) με την μορφή ενός δισδιάστατου, τετραγωνικού πίνακα που εφαρμόζεται σαν μάσκα στην εικόνα, όπως ο παρακάτω:

$$\frac{1}{159}$$

2	4	5	4	2
4	9	12	9	4
5	12	15	12	5
4	9	12	9	4
2	4	5	4	2

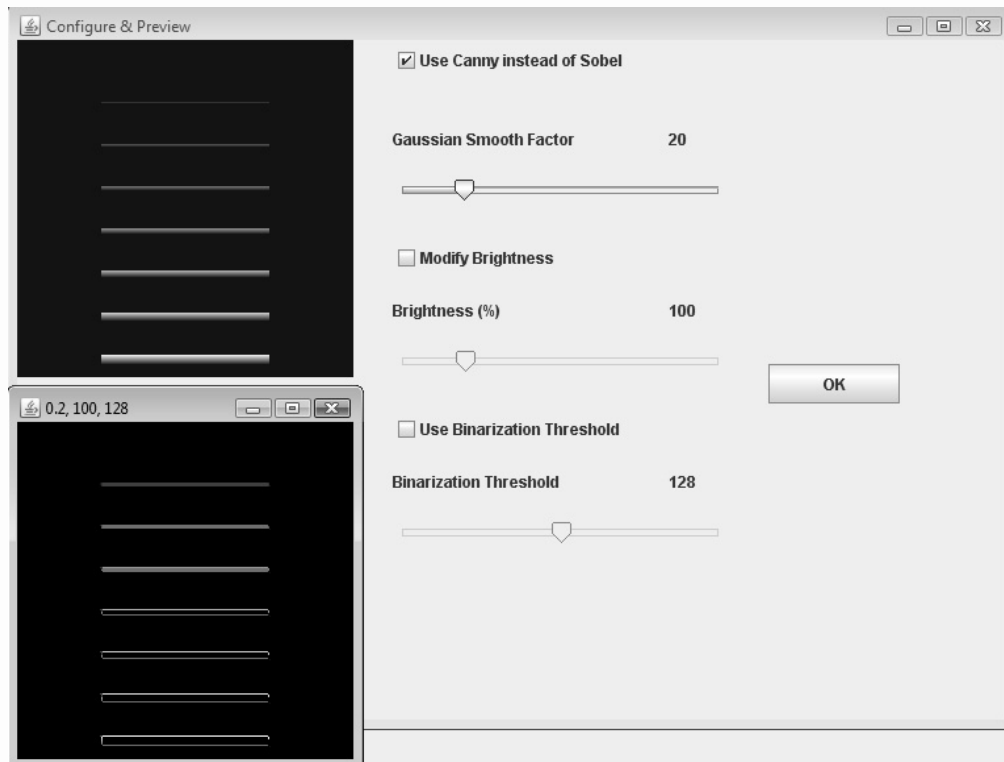
8 Πίνακας Συνέλιξης Gauss

Στο επόμενο βασικότερο βήμα του ο αλγόριθμος υπολογίζει το μέγεθος κλίσης του χρώματος (color gradient) στην εικόνα με την βοήθεια προσεγγίσεων των μερικών παραγώγων και εντοπίζει τα περιγράμματα των περιοχών.

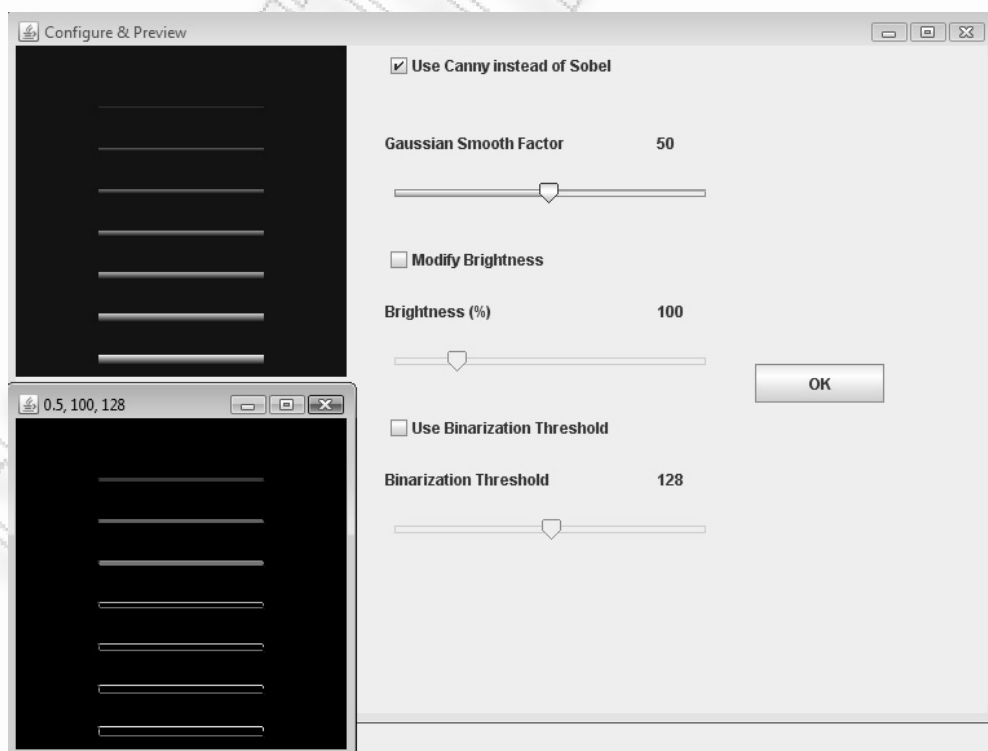
Έπειτα τα περιγράμματα λεπτόνονται μέσω μιας διαδικασίας γνωστής ως μη-μέγιστη καταστολή (non-maximal suppression), ώστε τα pixels που δεν βρίσκονται πραγματικά επάνω στο περίγραμμα, αλλά γειτνιάζουν με αυτό, να μην συμπεριληφθούν στην τελική του εκδοχή.

Τέλος, στην εικόνα εφαρμόζονται δύο κατώτατα όρια (thresholds) T_1 , T_2 όπου $T_1 > T_2$ (στις περισσότερες υλοποιήσεις $T_1 = 2 * T_2$) και παράγονται δύο εικόνες. Η πρώτη εξ' αυτών, όπου έχει εφαρμοστεί το T_1 περιέχει πολλά λανθασμένα άκρα, ενώ η δεύτερη περιέχει σωστότερη πληροφορία αλλά με κενά στα περιγράμματα. Κάθε περίγραμμα της δεύτερης εικόνας συνδυάζεται με το αντίστοιχο της πρώτης, ώστε να καλυφθούν τα κενά και παράγεται η τελική εικόνα.

Στα πλαίσια της παρούσης εργασίας υλοποιήθηκε μία εκδοχή του αλγορίθμου του Canny σε γλώσσα Java, η οποία μπορεί να βρεθεί στο ηλεκτρονικό παραδοτέο, ενώ παρακάτω παρατίθενται εικόνες από την χρήση της:



9 Παράδειγμα Χρήσης Αλγορίθμου του Canny με $\sigma=2.0$



10 Παράδειγμα Χρήσης Αλγορίθμου Canny με $\sigma=5.0$

Όπως βλέπουμε ο χρήστης μπορεί να ρυθμίσει τον παράγοντα σ της συνέλιξης Gauss ανάλογα με τις απαιτήσεις της εικόνας που επιθυμεί να επεξεργαστεί.

Σε ορισμένες περιπτώσεις σημαντική βελτίωση στα αποτελέσματα του αλγορίθμου είχε η εφαρμογή ενός φίλτρου αλλαγής φωτεινότητας πριν το edge detection, αλλά οι περιπτώσεις αυτές περιορίζονται σε εικόνες όπου δεν υπάρχουν επικαλύψεις περιοχών.

Αλγόριθμος Sobel [27]

Ο αλγόριθμος του Sobel είναι αρκετά απλούστερος στην υλοποίηση, αλλά σε αρκετές περιπτώσεις αποδεικνύεται αποτελεσματικότερος, εντοπίζοντας σύνθετα και εφαπτόμενα περιγράμματα με αρκετή επιτυχία.

Χρησιμοποιεί δύο πίνακες συνέλιξης για τους δύο κάθετους άξονες αναφοράς, όπως αυτοί που φαίνονται παρακάτω. Στην πραγματικότητα ο δεύτερος πίνακας είναι ίδιο με τον πρώτο απλώς έχει περιστραφεί κατά 90 μοίρες:

-1	0	+1
-2	0	+2
-1	0	+1

G_x

+1	+2	+1
0	0	0
-1	-2	-1

G_y

11 Πίνακες Συνέλιξης Αλγορίθμου Sobel

Οι πίνακες αυτοί μπορούν να εφαρμοστούν χωριστά στην αρχική εικόνα, για να παραγάγουν τις χωριστές μετρήσεις του τμήματος κλίσης σε κάθε έναν από τους κάθετους άξονες. Έπειτα μπορούν να συνδυαστούν για να βρεθεί το απόλυτο

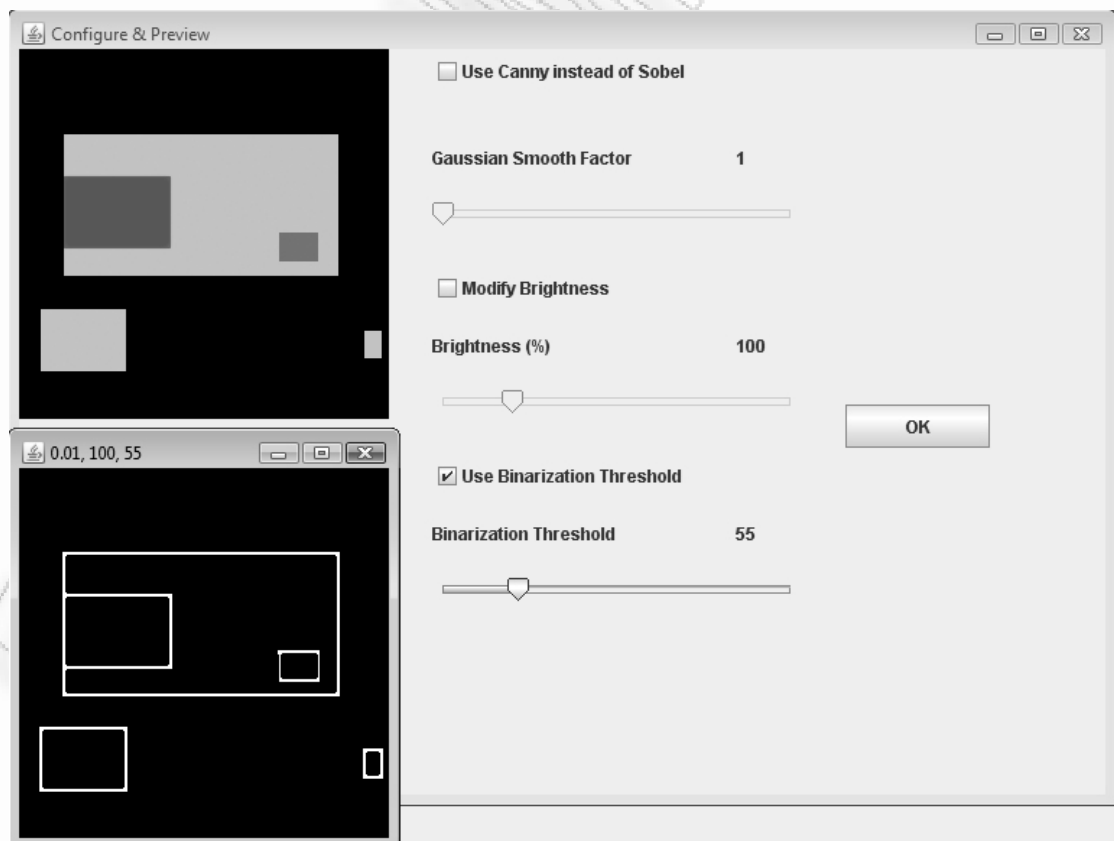
μέγεθος κλίσης σε κάθε σημείο της εικόνας και ο προσανατολισμός της κλίσης αυτής . Το μέγεθος κλίσης δίνεται από τον τύπο:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

ενώ η γωνία κλίσης από τον τύπο:

$$\theta = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right)$$

Για το σύστημά μας υλοποιήθηκε και ο αλγόριθμος του Sobel σε γλώσσα Java και παρακάτω ακολουθεί ένα παράδειγμα χρήσης του για αφαίρεση πληροφορίας από την αρχική εικόνα. Όπως φαίνεται και στο παράδειγμα για να καταστεί δυνατός ο εντοπισμός όλων των δυνατών περιγραμμάτων στην αρχική εικόνα εφαρμόστηκε και ένα κατώτατο όριο δυαδικής ψηφιοποίησης (binarization threshold) στο αποτέλεσμα του αλγορίθμου.



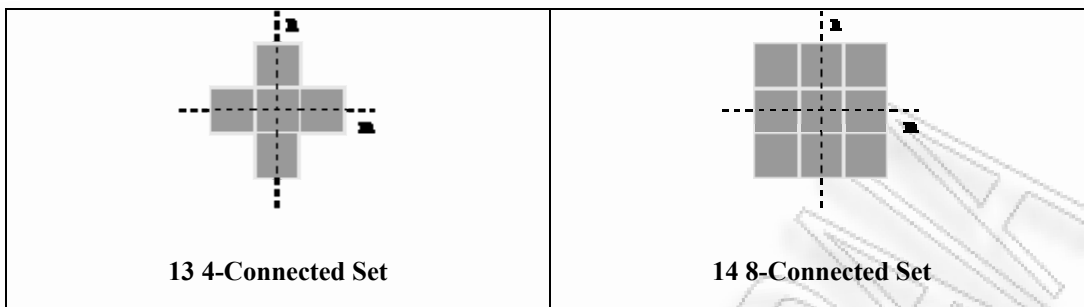
12 Παράδειγμα Χρήσης Αλγορίθμου Sobel

Το κατώτατο όριο δυαδικής ψηφιοποίησης είναι μία ακόμη βοηθητική μέθοδος που εμπίπτει στο συγκεκριμένο σύστημα μιας και τα πειράματα διεξήχθησαν επάνω σε συνθετικές εικόνες στις αποχρώσεις του γκρι (grayscale artificial images). Με την μέθοδο αυτή τα pixels με τιμή μικρότερη του threshold μετατρέπονται μαύρα και εκείνα με τιμή μεγαλύτερη σε λευκά διευκολύνοντας πολύ τον διαχωρισμό των περιοχών. Πάραυτα πρέπει να τονιστεί πως η δυαδική ψηφιοποίηση δεν έφερε το ίδιο καλά αποτελέσματα συνδυαζόμενη με τον αλγόριθμο του Canny.

3.1.2 Μορφολογικοί Τελεστές [28]

Για την βελτίωση των αποτελεσμάτων του edge detection χρησιμοποιήθηκαν στο σύστημά μας και φίλτρα από την οικογένεια των μαθηματικών μορφολογικών τελεστών, και συγκεκριμένα η διαστολή (dilation) και η διάβρωση (erosion). Η χρήση τους επιλέχθηκε γιατί συχνά οι αλγόριθμοι εντοπισμού άκρων αφήνουν κενά pixels στα περιγράμματα, γεγονός που θα καθιστούσε τον αλγόριθμο κατάτμησης της εικόνας σε περιοχές αρκετά αναποτελεσματικό. Οι τελεστές αυτοί χρησιμοποιήθηκαν στην εικόνα που προέκυψε μετά το edge detection, καθώς επιδρούν πολύ ισχυρότερα σε pixels που προσεγγίζουν το λευκό χρώμα.

Γενικά, η διαστολή μεγαλώνει τις περιοχές στις οποίες εντοπίζει pixels που δεν ανήκουν στο φόντο, ενώ η διάβρωση φέρνει το ακριβώς αντίθετο αποτέλεσμα. Για να εκτελεστούν αυτοί οι τελεστές απαιτείται ο προσδιορισμός του δομικού τους πίνακα (structuring element). Οι δύο πιο διαδεδομένοι δομικοί πίνακες για τα φίλτρα αυτά παρουσιάζονται στα σχήματα που ακολουθούν και είναι γνωστά ως «τετραπλά-συνδεδεμένο σύνολο» και «οκταπλά-συνδεδεμένο σύνολο».



Το παρόν σύστημα χρησιμοποιεί ένα κανονικό 4πλά-συνδεδεμένο σύνολο για την διάβρωση και ένα ιδιαίτερο σύνολο για την διαστολή. Η ακριβής μορφή και των δύο τελεστών παρατίθεται στον πίνακα που ακολουθεί:

<table border="0"> <tr><td>1.5</td><td>0.0</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>1.0</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>1.5</td><td>0.0</td><td>1.5</td></tr> </table> <p>Πίνακας Διαστολής</p>	1.5	0.0	1.5	0.0	1.0	0.0	1.5	0.0	1.5	<table border="0"> <tr><td>0.0</td><td>1.0</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>0.0</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>0.0</td><td>1.0</td><td>0.0</td></tr> </table> <p>Πίνακας Διάβρωσης</p>	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0
1.5	0.0	1.5																	
0.0	1.0	0.0																	
1.5	0.0	1.5																	
0.0	1.0	0.0																	
1.0	0.0	1.0																	
0.0	1.0	0.0																	

Το σύνολο που περιγράφει τον πίνακα της διαστολής επιλέχθηκε έτσι ούτως ώστε να διορθώνει τα ελλιπή περιγράμματα στα σημεία που υπήρχαν γωνίες, μιας και εκεί παρατηρήθηκαν τα περισσότερα προβλήματα και για τους δύο αλγορίθμους edge detection.

3.2 Κατάτμηση Εικόνας σε Περιοχές

Όπως έχει ήδη περιγραφεί υπάρχουν αρκετές μέθοδοι κατάτμησης μιας αρχικής εικόνας σε περιοχές (regions). Μια από τις πλέον διαδεδομένες τεχνικές που χρησιμοποιήθηκε και στο σύστημα αυτό είναι γνωστή ως region growing [29] και είναι βασισμένη στην μελέτη του ιστογράμματος της εικόνας, της χρωματικής δηλαδή κατανομής ανάμεσα στα pixels. Οι αρχές που διέπουν την μέθοδο αυτή έχουν ως εξής:

- Το θεμελιώδες μειονέκτημα της βασισμένης στο ιστογράμμο ανίχνευσης περιοχών είναι ότι τα ιστογράμματα δεν παρέχουν καμία χωρική πληροφορία.

- Οι region growing προσεγγίσεις εκμεταλλεύονται το σημαντικό γεγονός ότι τα pixels που είναι γειτνιάζουν έχουν συνήθως παρόμοιες τιμές του γκρι.

- Βασικός αλγόριθμος:

Βήμα 1: Επιλέγεται το αρχικό pixel (seed) και ορίζεται να ανήκει σε μία περιοχή.

Βήμα 2: Ελέγχονται τα γειτονικά pixels του αρχικού και προστίθενται στην περιοχή εάν έχουν παρόμοια χρωματική τιμή με αυτό.

Το Βήμα 2 επαναλαμβάνεται για κάθε νέο pixel που ελέγχεται μέχρι να ελεγχθεί ολόκληρη η εικόνα.

Η επιλογή του αρχικού (ή των αρχικών) pixel εξαρτάται από την φύση του προβλήματος που επιθυμούμε να λύσουμε. Στις περιπτώσεις που δεν υπάρχει καμία a-priori γνώση για την φύση της εικόνας συνήθως επιλέγονται οι ισχυρότερες κορυφές του ιστογράμματος.

Στην υλοποίηση του συστήματος αυτού το κριτήριο ένταξης σε μια περιοχή είναι οι ομοιότητες στο ιστόγραμμα, οι οποίες επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας κατ' αρχήν εικόνες με περιοχές στις αποχρώσεις του γκρι, οι οποίες έχουν υποστεί edge detection. Με τον τρόπο αυτό οι περιοχές ορίζονται από κλειστά περιγράμματα με λευκό χρώμα, τα οποία θεωρούμε ως πολύγωνα και η χρωματική πληροφορία είναι αρκετή για να διαχωρίσουμε περιοχές. Πιο αναλυτικά ο αλγόριθμος που υλοποιήθηκε έχει ως εξής:

Αλγόριθμος Region Growing

Βήμα 1: Βρες ένα pixel που δεν έχει ενταχθεί σε περιοχή (not labeled). Τοποθέτησέ το σε μια περιοχή και αποθήκευσε τις συντεταγμένες του σε μία στοίβα.

Βήμα 2: Όσο υπάρχουν pixels στην στοίβα

Βήμα 3: Βγάλε ένα pixel από τη στοίβα (considered pixel)

Βήμα 4: Έλεγε τα γειτονικά του pixel και αν δεν ανήκουν ήδη σε μία περιοχή έλεγε την τιμή χρώματος

Βήμα 5: Αν η τιμή χρώματος είναι ίδια με του considered pixel, τοποθέτησε τα στην ίδια περιοχή (label) και αποθήκευσε τις συντεταγμένες τους στην στοίβα

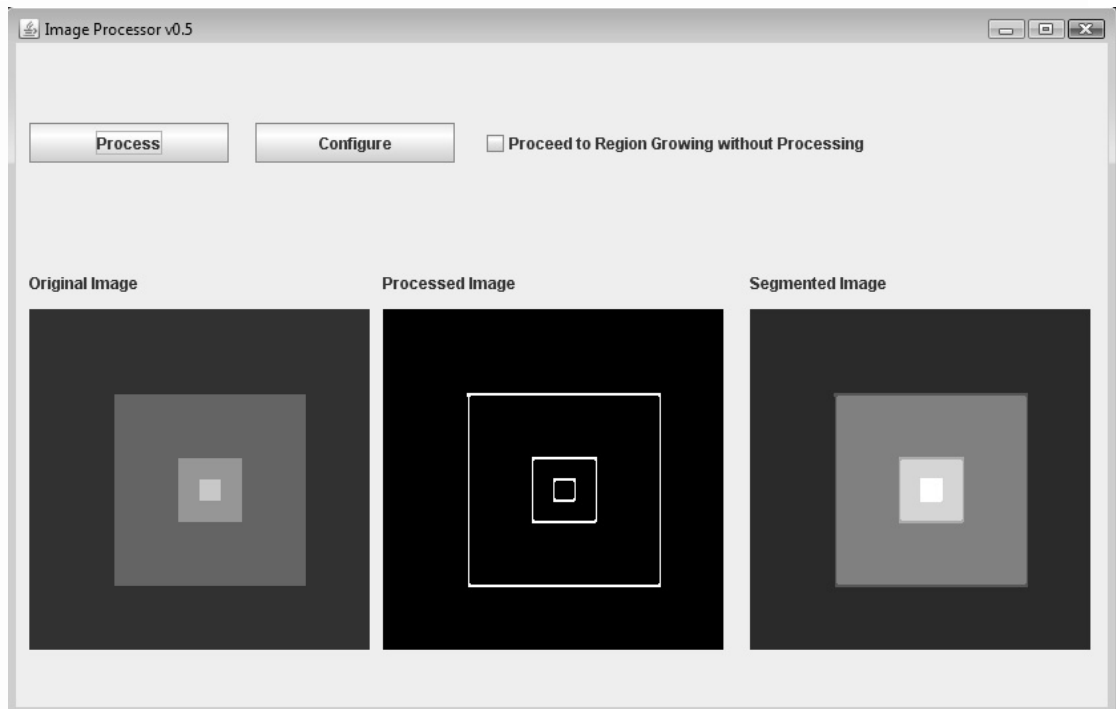
Βήμα 6: Επανάλαβε από το Βήμα 1 μέχρι να ελεγχθούν όλα τα pixels της εικόνας.

Η υλοποίηση του αλγορίθμου σε γλώσσα Java μπορεί να βρεθεί στο ηλεκτρονικό παραδοτέο.

Αναπαράσταση μιας Περιοχής

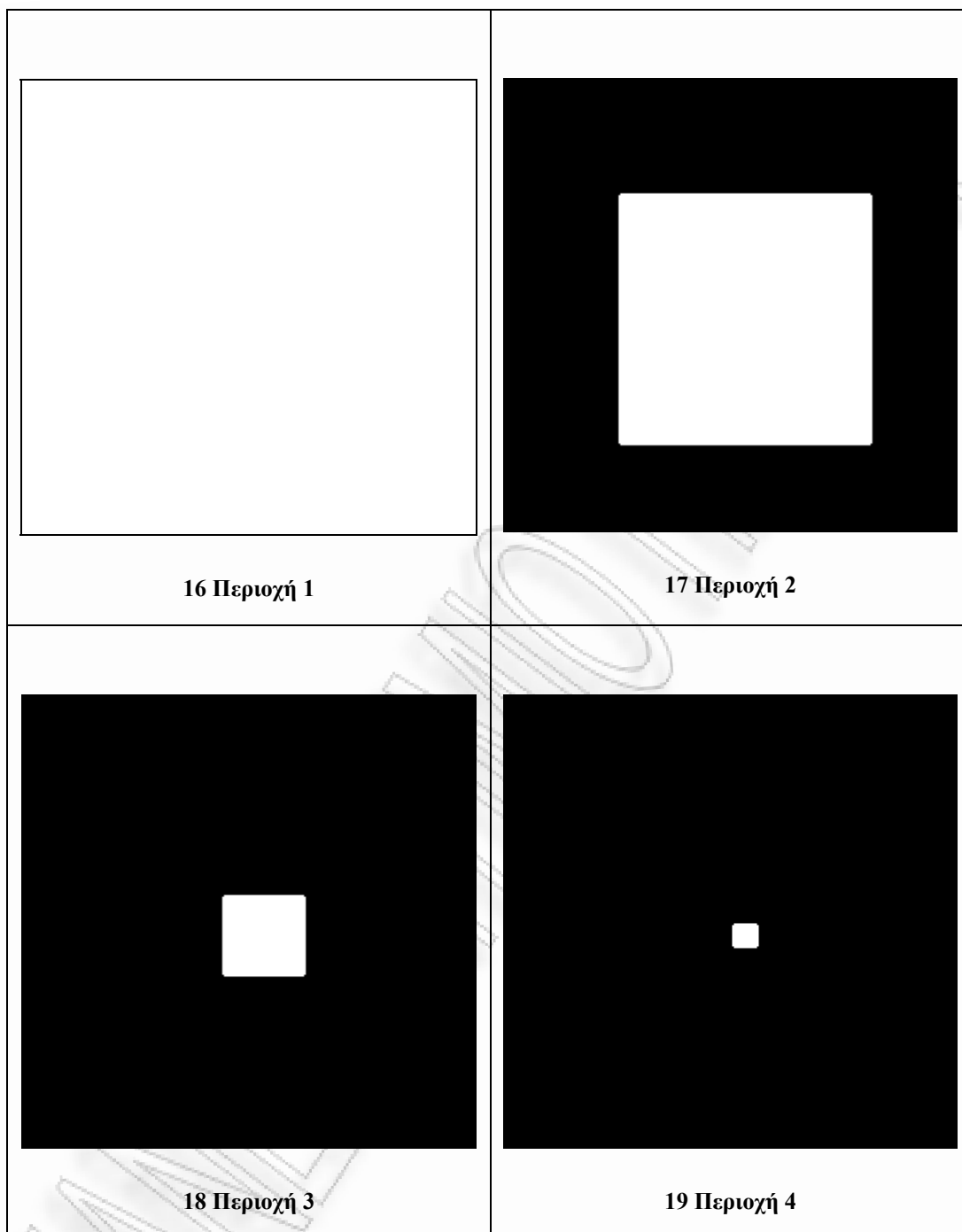
Η χρήσιμη πληροφορία που εσωκλείει μια περιοχή της εικόνας μπορεί να είναι διαφορετική από σύστημα σε σύστημα, ανάλογα με τον σκοπό που αυτό επιτελεί. Στην συγκεκριμένη περίπτωση το βασικό ζητούμενο είναι η χωρική αναπαράσταση (spatial representation), η οποία βασίζεται στην θεωρία των ελαχίστων ορθογωνίων παραλληλογράμμων οριοθέτησης (Minimum Bounding Rectangles), επομένως τα ακρότατα κάθε περιοχής στους δύο άξονες είναι το βασικό στοιχείο ενδιαφέροντος. Κάθε περιοχή ορίζεται από ένα τέτοιο παραλληλόγραμμο, για το οποίο αποθηκεύονται το αρχικό του σημείο (με συντεταγμένες το ελάχιστο στον x-άξονα και το ελάχιστο στον y-άξονα (min-x, min-y)) και επιπλέον το μήκος και το πλάτος (ύψος) του, μέσω των οποίων μπορούν να οριστούν τα υπόλοιπα τρία ακρότατα σημεία: (minx, miny+height), (minx+width, miny), (minx+width, miny+height). Επιπλέον, για κάθε περιοχή ορίζεται το πολύγωνο του περιγράμματός της καθώς και το κέντρο μάζας (centroid) που στην περίπτωσή μας, μιας και μιλάμε για ορθογώνιες περιοχές, είναι το σημείο τομής των διαγωνίων ευθύγραμμων τμημάτων που ορίζουν τα ακρότατα σημεία.

Ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα επιτυχούς κατάτμησης εικόνας σε περιοχές από το σύστημά μας, και η πληροφορία που συλλέγεται για αυτές ακολουθεί:



15 Επεξεργασία και Κατάτμηση Εικόνας σε Περιοχές

Στα αριστερά της εικόνας 13 παρουσιάζεται η αρχική εικόνα (Original Image), στο μέσον της η εικόνα μετά την επεξεργασία από ένα συνδυασμό φίλτρων της προηγούμενης ενότητας (Processed Image), ενώ στα αριστερά η τελική εκδοχή της χωρισμένη σε τέσσερις διαφορετικές περιοχές (Segmented Image). Για επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων το σύστημα παράγει και αποθηκεύει μία ασπρόμαυρη εικόνα για κάθε περιοχή προβεβλημένη στον καμβά της αρχικής όπως φαίνεται παρακάτω:



Επιπλέον για κάθε περιοχή τυπώνονται στην κονσόλα εξόδου πληροφορίες για κάθε περιοχή που θα χρειαστούν για την χωρική αναπαράσταση:

Region 1 MBR: Rectangle[x=0, y=0, width=255, height=255]
 Region 2 MBR: Rectangle[x=65, y=65, width=142, height=141]
 Region 3 MBR: Rectangle[x=113, y=113, width=46, height=45]
 Region 4 MBR: Rectangle[x=129, y=129, width=14, height=13]

3.3 Γεωμετρικοί Μετασχηματισμοί

Κατευθυνόμενοι σταδιακά προς τον βασικό στόχο της παρούσας εργασίας την μελέτη δηλαδή της πληροφορίας που φέρει μια χωρική αναπαράσταση σε εικόνες που έχουν υποστεί γεωμετρικούς μετασχηματισμούς, είναι χρήσιμο στο σημείο αυτό να παρουσιάσουμε μια σύνοψη των μετασχηματισμών αυτών στην γενική τους μορφή.

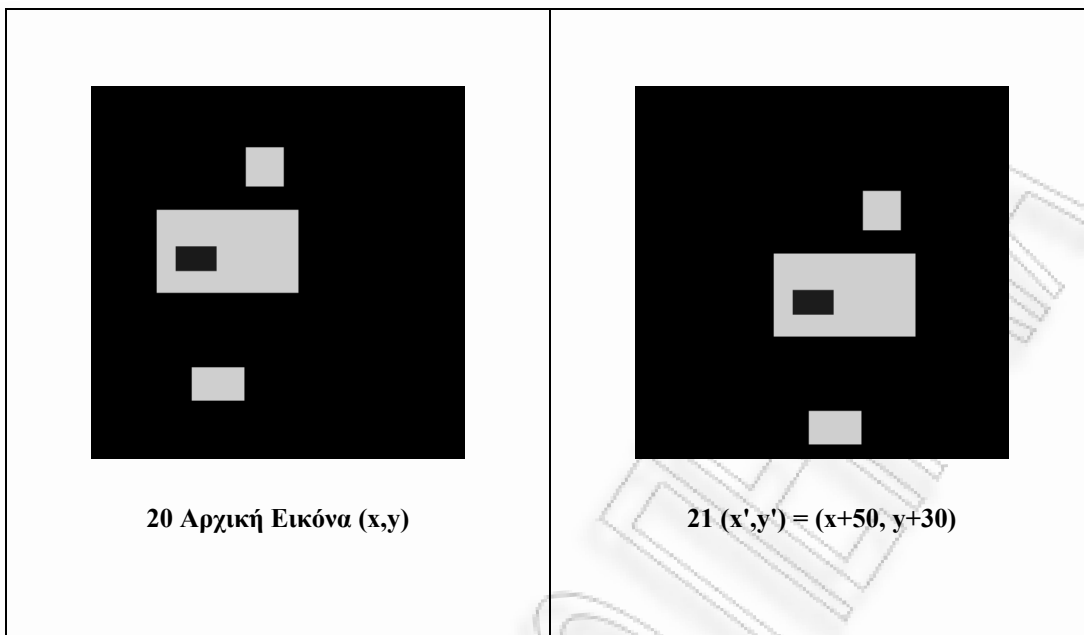
Ένας διδιάστατος γεωμετρικός μετασχηματισμός απεικονίζει κάθε σημείο $A(x, y)$ του επιπέδου σε ένα άλλο σημείο $B(x', y')$ μέσω μίας συνάρτησης T έτσι ώστε: $T(x, y) = (x', y')$. Οι γεωμετρικοί μετασχηματισμοί είναι τέσσερις και παρακάτω παρουσιάζεται η μαθηματική έκφραση για κάθε έναν καθώς και ένα παράδειγμα της επίδρασης του σε εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα που εκτελέστηκαν.

3.3.1 Μετατόπιση (Translation)

Η μετατόπιση επηρεάζει με τον ίδιο τρόπο όλα τα σημεία ενός επιπέδου, μετακινώντας τις συντεταγμένες τους με βάση τις συντεταγμένες ενός σταθερού σημείου $m(a, b)$. Θεωρώντας την εικόνα ως ένα σύνολο διακριτών σημείων στο επίπεδο ο μετασχηματισμός της μετατόπισης εκφράζεται μαθηματικά ως εξής:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & a \\ 0 & 1 & b \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x + a \\ y + b \\ 1 \end{bmatrix}$$

Στην μετατόπιση υπάρχει το ενδεχόμενο μερικής απώλειας πληροφορίας καθώς τμήματα περιοχών ή ολόκληρες περιοχές μπορεί να βρεθούν εκτός του επιπέδου της εικόνας. Το αποτέλεσμα ενός τέτοιου μετασχηματισμού στην απλή περίπτωση χωρίς απώλεια πληροφορίας φαίνεται στις παρακάτω εικόνες:

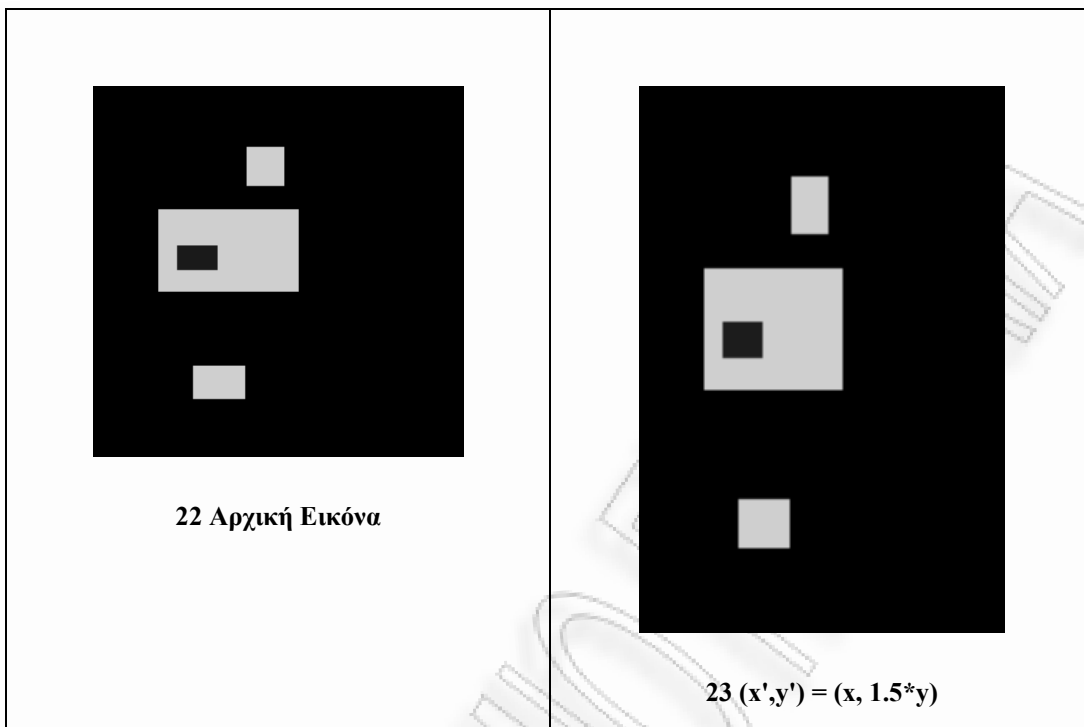


3.3.2 Αλλαγή Κλίμακας (Scaling)

Η αλλαγή κλίμακας επηρεάζει τα σημεία της εικόνας σε συνάρτηση με την αρχική τους θέση και έναν σταθερό παράγοντα για κάθε έναν από τους κάθετους άξονες ($a*x, b*y$). Η μαθηματική έκφραση της αλλαγής κλίμακας είναι:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & 0 & 0 \\ 0 & b & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a * x \\ b * y \\ 1 \end{bmatrix}$$

Η σμίκρυνση με οποιονδήποτε παράγοντα διατηρεί ολόκληρη την πληροφορία της εικόνας, ενώ αντίθετα η μεγέθυνση μπορεί να θεωρηθεί με δύο τρόπους. Ο πρώτος διατηρεί υπό οποιεσδήποτε συνθήκες αναλλοίωτη την πληροφορία της εικόνας μεταβάλλοντας τις διαστάσεις του επιπέδου της, ενώ ο δεύτερος διατηρεί σταθερό το επίπεδο και επομένως υπάρχει η πιθανότητα τμήματα περιοχών ή ολόκληρες περιοχές να βρεθούν εκτός αυτού. Στο παράδειγμα που ακολουθεί παρουσιάζεται μία περίπτωση μεγέθυνσης με παράγοντες (1, 1.5) για τους άξονες x και y αντίστοιχα, που διατηρεί αναλλοίωτη την αρχική πληροφορία:



3.3.3 Περιστροφή (Rotation)

Η συνηθέστερη μορφή περιστροφής ορίζεται με κέντρο το κέντρο των αξόνων αναφοράς. Όμως ιδιαίτερα συχνά απαντάται και η περίπτωση του αντικατοπτρισμού, η περιστροφή δηλαδή ως προς έναν από τους δύο άξονες. Ο αντικατοπτρισμός (reflection ή flip) είναι μια εξαιρετικά ενδιαφέρουσα περίπτωση μετασχηματισμού για το σύστημα χωρικής αναπαράστασης που παρουσιάζεται παρακάτω και για το λόγο αυτό μελετήθηκε ξεχωριστά.

Ο γενικός τύπος που περιγράφει την περιστροφή κατά γωνία θ είναι:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta * x + \sin\theta * y \\ -\sin\theta * x + \cos\theta * y \\ 1 \end{bmatrix}$$

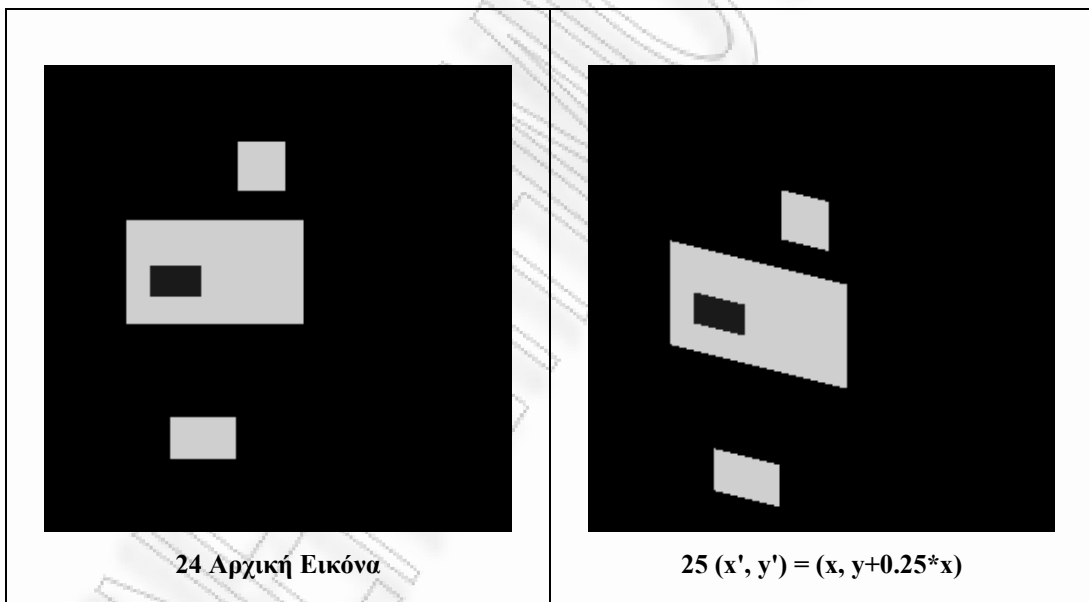
Στο σύστημά μας μελετήθηκαν οι ειδικές αλλά ιδιαίτερα συχνές περιπτώσεις της περιστροφής κατά 90° , 180° και 270° , αλλά και η περίπτωση του αντικατοπτρισμού ως προς τους άξονες αναφοράς. Χαρακτηριστικό παράδειγμα περιστροφής υπάρχει στις εικόνες (1) και (2) της ενότητας αυτής.

3.3.4 Κύρτωση (Shearing)

Η τελευταία περίπτωση γεωμετρικού μετασχηματισμού που θα μας απασχολήσει είναι η κύρτωση. Η κύρτωση επίσης ανήκει στην κατηγορία εκείνη των μετασχηματισμών που μπορεί να οδηγήσουν σε μερική απώλεια πληροφορίας. Η κύρτωση στην γενική της περίπτωση είναι η μεταβολή των συντεταγμένων κάθε σημείου στον ένα άξονα κατά ένα ποσό που είναι ανάλογο της συντεταγμένης του ίδιου σημείου στον άλλο άξονα. Η μαθηματική της έκφραση έχει ως εξής:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \lambda & 0 \\ \mu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x + \lambda * y \\ y + \mu * x \\ 1 \end{bmatrix}$$

Οι εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζουν ένα παράδειγμα κύρτωσης με παράγοντες $\lambda=0$, $\mu=0.25$



3.4 Χωρική Αναπαράσταση Περιοχών Εικόνας

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η χωρική αναπαράσταση των περιοχών της εικόνας που ακολουθεί το σύστημά μας βασίζεται στην θεωρία του 2D C-Tree [23] και στους χωρικούς τελεστές του Jungert [25]. Οι περιοχές της εικόνας αναπαρίστανται ως κόμβοι ενός δέντρου, ενώ οι ακμές του δέντρου επί-σημειώνονται με έναν χωρικό

τελεστή που υποδεικνύει την σχέση μεταξύ των δύο κόμβων-περιοχών, όπως ισχύει και στα γενικευμένα αυτά μοντέλα. Όμως έχουν γίνει συγκεκριμένες παραδοχές και στις δύο περιπτώσεις, ώστε να σχεδιαστεί ένα μοντέλο προσαρμοσμένο στις ανάγκες μελέτης των γεωμετρικά μετασχηματισμένων εικόνων. Στα πειράματα που θα ακολουθήσουν την θεωρητική και αλγοριθμική περιγραφή του μοντέλου, θεωρούμε γνωστές την αρχική και τελική (μετασχηματισμένη) εικόνα και έναν δεδομένο μετασχηματισμό του οποίου οι παράμετροι μπορούν να αλλάζουν. Στόχος είναι η ανάπτυξη αλγορίθμων που εφαρμοζόμενοι στην δενδρική αναπαράσταση της αρχικής εικόνας να παράγουν το δέντρο της τελικής εικόνας και να βρίσκουν εφαρμογή σε όσο το δυνατόν περισσότερες περιπτώσεις χωρικών σχέσεων και όσο το δυνατόν πιο σύνθετες δομές περιοχών.

Για κάθε εικόνα κατασκευάζονται δύο δέντρα. Ένα για τον άξονα x και ένα για τον άξονα y , τα οποία περιγράφουν τις χωρικές σχέσεις των εντοπισμένων περιοχών σε κάθε άξονα και περιέχουν τους ίδιους κόμβους. Η πλήρης αναπαράσταση της εικόνας είναι το σύνολο των δύο δέντρων και το αποτέλεσμα κάθε μετασχηματισμού είναι και πάλι δύο νέα δέντρα που περιέχουν συνήθως ίδιους κόμβους. Οι περισσότεροι αλγόριθμοι που παρουσιάζονται στη συνέχεια αυτής της ενότητας ισχύουν στην γενική τους περίπτωση για εικόνες χωρίς μερικές αλληλοεπικαλύψεις περιοχών, ενώ ορισμένοι για μερικές αλληλοεπικαλύψεις περιοχών μονάχα στον ένα άξονα.

3.4.1 Σύνολο Χωρικών Τελεστών

Έχοντας ως βάση τους χωρικούς τελεστές του Jungert, αλλά και με δεδομένο πως στην τελική της μορφή κάθε περιοχή περιγράφεται από ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο σχεδιάστηκαν δύο σύνολα περιγραφής χωρικών σχέσεων. Το πρώτο σύνολο ονομάζεται σύνολο περιγραφής ακρότατων:

$$S_{extrema} = \{start, end\}$$

Τα μέλη αυτού του συνόλου αποτυπώνουν τις πιθανές σχέσεις ενός ακρότατου σημείου με την περιοχή στην οποία ανήκει. Εάν δηλαδή πρόκειται για ελάχιστο

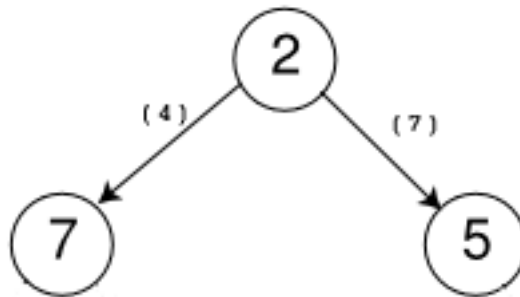
(αρχή περιοχής) ή για μέγιστο σε έναν άξονα. Το δεύτερο σύνολο ονομάζεται σύνολο σχέσεων ακρότατων:

$$S_{relations} = \{before, together, after\}$$

Τα μέλη και των δύο συνόλων θεωρούνται ανεξάρτητα ενδεχόμενα μεταξύ τους και έτσι το σύνολο των πιθανών συνδυασμών τους αποτελεί ένα υποψήφιο σύνολο χωρικών τελεστών:

$$S_{operators} = \{ \\ [start\ before - end\ before\ (1)], \\ [start\ before - end\ after\ (2)], \\ [start\ before - end\ together\ (3)], \\ [start\ after - end\ before\ (4)], \\ [start\ after - end\ after\ (5)], \\ [start\ after - end\ together\ (6)], \\ [start\ together - end\ before\ (7)], \\ [start\ together - end\ after\ (8)], \\ [start\ together - end\ together\ (9)] \\ \}$$

Οι τελεστές αυτοί όταν τοποθετηθούν ανάμεσα σε δύο κόμβους του δέντρου επεξηγούν τη χωρική τους σχέση από τον κόμβο-παιδί προς τον γονικό κόμβο. Για να γίνει αυτό κατανοητό ας θεωρήσουμε το δέντρο της παρακάτω εικόνας:



Η χωρική πληροφορία που περιέχεται στο δέντρο αυτό μπορεί να περιγραφεί ως εξής: «Η περιοχή 7 αρχίζει μετά την 2 και τελειώνει πριν από αυτήν, επομένως η περιοχή 2 περιέχει ολόκληρη την περιοχή 7 στον άξονα αναφοράς. Η περιοχή 5 αρχίζει μαζί με την περιοχή 2 και τελειώνει πριν από αυτήν, επομένως η περιοχή 2 περιέχει οριακά ολόκληρη την περιοχή 5 στον άξονα αναφοράς.»

Σύμφωνα με την γενική αρχή του 2D C-tree οι κόμβοι-περιοχές που ξεκινούν νωρίτερα (πιο κοντά στην αρχή του άξονα) τείνουν να βρίσκονται σε μικρότερο βάθος στο δέντρο αναπαράστασης, όπως επίσης και οι πολύ ευρείς ως προς κάποιον άξονα κόμβοι. Οι αρχές αυτές διατηρούνται σε μεγάλο βαθμό και στην αναπαράσταση που ακολουθεί.

Από τους τελεστές που περιγράψαμε προηγουμένως πρέπει να σημειώσουμε ότι ο (1) και ο (5) είναι σχέσεις ανεπιθύμητες καθώς είναι αμφίσημες και ο αλγόριθμος κατασκευής του δέντρου θα επιχειρήσει να τις μετατρέψει σε άλλες πιο εύκολα εξηγήσιμες σχέσεις. Η αμφισημία έγκειται στο γεγονός ότι δεν είναι δυνατόν από μια τέτοια αναπαράσταση να εξαχθεί πληροφορία για την ύπαρξη ή όχι κοινών σημείων ανάμεσα σε κόμβους που συνδέονται με αυτές τις σχέσεις.

Ο τελεστής (9) επί-σημειώνει τις ακριβείς αδελφικές σχέσεις. Όταν δύο κόμβοι έχουν ακριβώς τα ίδια ακρότατα σημεία σε ένα άξονα θεωρούνται αδελφικοί και η σχέση αυτή πρέπει να σημειωθεί ξεχωριστά καθώς φέρει χρήσιμη πληροφορία.

Τέλος, ορισμένοι από τους τελεστές είναι δυνατόν να αφαιρεθούν από το τελικό σύνολο, καθώς η μονόδρομη έκφραση των σχέσεων καθιστά αδύνατη την εμφάνισή τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι τελεστές (2) και (4), οι οποίοι περιγράφουν ακριβώς αντίστροφες σχέσεις. Καθώς όμως οι σχέσεις περιγράφονται από τους κόμβους-παιδιά προς τους γονικούς ο τελεστής (2) είναι

αδύνατον να εμφανιστεί γιατί σε κάθε περίπτωση θα έχει μετατραπεί σε τελεστή (4) με τους κόμβους σε αντίστροφες θέσεις στο δέντρο. Ομοίως, ο τελεστής (3) εξουδετερώνεται από τον τελεστή (6), ο τελεστής (8) από τον (7) και ο τελεστής (1) από τον (5). Έτσι καταλήγουμε στο τελικό, περιορισμένο σύνολο τελεστών που θα χρησιμοποιήσουμε για την κατασκευή των δέντρων αναπαράστασης, το οποίο έχει ως εξής:

$$S_{operators} = \{$$

$$[start\ after - end\ before(4)],$$

$$[start\ after - end\ after(5)],$$

$$[start\ after - end\ together(6)],$$

$$[start\ together - end\ before(7)],$$

$$[start\ together - end\ together(9)]$$

$$\}$$

Στην συνέχεια όλοι οι τελεστές θα αναφέρονται με τον αριθμητικό κωδικό τους (π.χ. τελεστής (1)) χάριν συντομίας.

3.4.2 Αλγόριθμος Δενδρικής Αναπαράστασης Εικόνας

Η διαδικασία σχεδιασμού του αλγορίθμου αυτού είχε ως στόχο την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη γενικότητα στην εφαρμογή του, αλλά ταυτόχρονα και την κατασκευή μιας δομής δεδομένων με όσο το δυνατόν περισσότερη χρήσιμη για τον μετασχηματισμό των εικόνων πληροφορία. Τα στοιχεία που αποτελούν το δέντρο είναι οι κόμβοι του που αντιπροσωπεύουν τις περιοχές τις εικόνας και οι τελεστές που εξηγούν τις σχέσεις μεταξύ κόμβων.

Το δέντρο υλοποιείται με την χρήση συνδεδεμένης λίστας με κάθε κόμβο να «δείχνει» τους κόμβους-παιδιά του, που μπορούν με τη σειρά τους να είναι υπό-

δέντρα και ο αλγόριθμος κατασκευής λειτουργεί με τρόπο ώστε η προδιατεταγμένη διαδρομή στους κόμβους του δέντρου να παρουσιάζει τις περιοχές της εικόνας με την σειρά που εμφανίζονται διατρέχοντας τον αντίστοιχο άξονα αναφοράς. Προγραμματιστικά οι κόμβοι είναι ξεχωριστά αντικείμενα που περιέχουν ένα αντικείμενο τύπου «περιοχή της εικόνας» ο κάθε ένας. Ξεχωριστά αντικείμενα είναι και οι τελεστές που περιέχουν έναν αριθμητικό κωδικό και την αντίστοιχη έκφραση σε φυσική γλώσσα όπως περιγράψαμε προηγουμένως.

Αναλυτικά τα βήματα του αλγορίθμου κατασκευής ενός δέντρου είναι τα εξής:

Βήμα 1: Δημιούργησε ένα καινούριο δέντρο και θέσε ως ρίζα την περιοχή που ορίζεται από ολόκληρη την εικόνα

Βήμα 2: Ταξινόμησε σε μία λίστα τις εξαχθείσες από την εικόνα περιοχές σε αύξουσα σειρά με βάση το ελάχιστο τους στον άξονα αναφοράς.

Βήμα 3: Εάν δύο περιοχές έχουν το ίδιο ελάχιστο τοποθέτησε πρώτη στη λίστα εκείνη την περιοχή με το μεγαλύτερο μέγιστο στον άξονα αναφοράς.

Βήμα 4: Τοποθέτησε την πρώτη στη λίστα περιοχή ως κόμβο-παιδί της ρίζας του δέντρου με τελεστή (4) και θέσε την ως «υποψήφιο πατέρα»

Βήμα 5: Για όλες τις υπόλοιπες περιοχές επανέλαβε

Βήμα 6: Έλεγξε τον τελεστή που προκύπτει για τον τωρινό κόμβο και τον τωρινό υποψήφιο πατέρα

Βήμα 7: Εάν δεν είναι τελεστής (1), (5) ή (9) σύνδεσε τους δύο κόμβους, αποθήκευσε τον αντίστοιχο τελεστή, θέσε τον τωρινό κόμβο ως «υποψήφιο πατέρα» και επέστρεψε στο Βήμα 5

Βήμα 8: Εάν ο τελεστής είναι (5):

Βήμα 9: Διέτρεξε αντίστροφα το μονοπάτι από τον τωρινό «υποψήφιο πατέρα» προς τη ρίζα

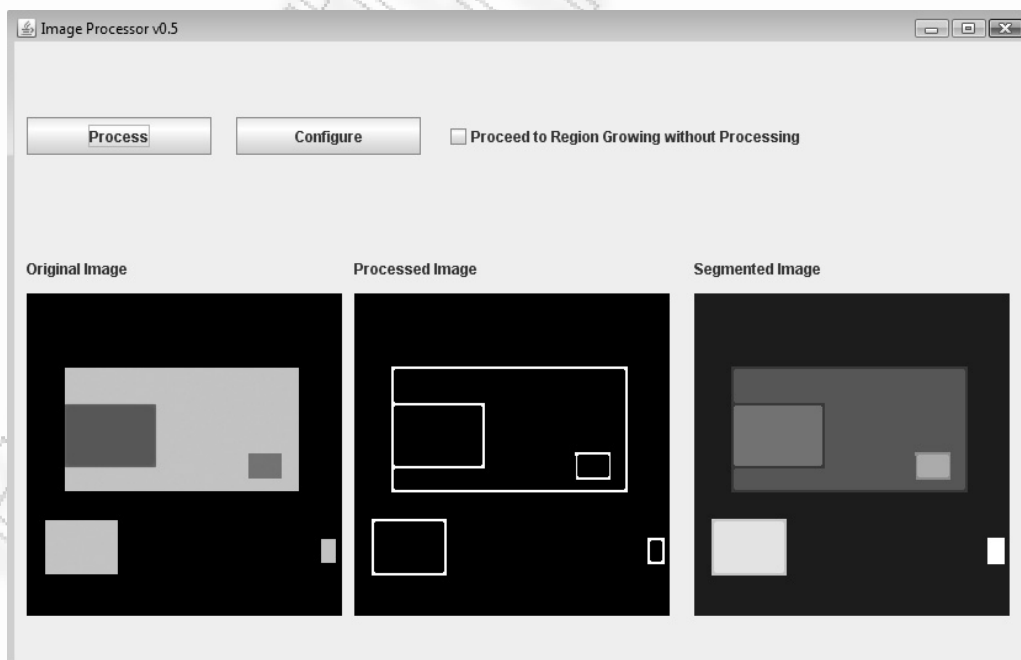
Βήμα 10: Έλεγξε τους τελεστές που προκύπτουν με την περιοχή ενδιαφέροντος, σύνδεσε την περιοχή αυτή ως παιδί του πρώτου κόμβου που δίνει τελεστή $\neq 5$ και επέστρεψε στο Βήμα 5

Βήμα 11: Εάν ο τελεστής είναι (9) σύνδεσε την περιοχή ενδιαφέροντος στον κόμβο-πατέρα του τωρινού «υποψήφιου πατέρα»

Βήμα 12: Ακολούθησε την προ-διατεταγμένη διαδρομή στο δέντρο για να παρουσιαστεί η σειρά εμφάνισης των περιοχών στον άξονα αναφοράς.

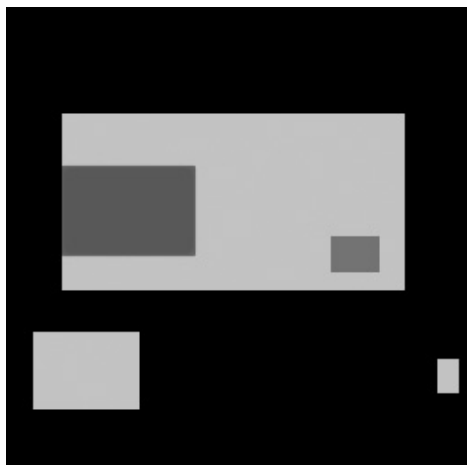
Η διαδικασία αυτή ακολουθείται πανομοιότυπα και για τους δύο άξονες αναφοράς και παράγει δύο ξεχωριστά δέντρα περιγραφής της εικόνας. Παρακάτω παρατίθεται ένα παράδειγμα χρήσης του αλγορίθμου βήμα-προς-βήμα και τα δέντρα που τελικά παράγονται, ενώ υλοποίηση του αλγορίθμου σε γλώσσα Java συμπεριλαμβάνεται στο ηλεκτρονικό παραδοτέο.

Κατάτμηση αρχικής εικόνας:

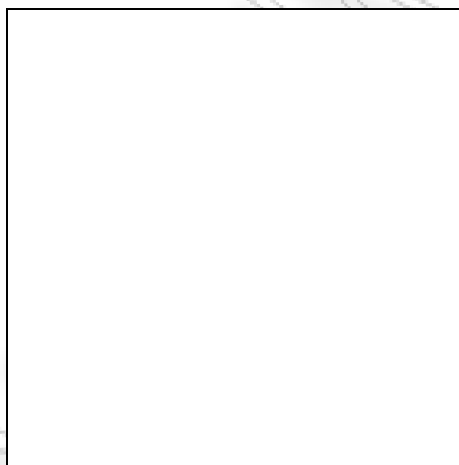


26 Επεξεργασία - Κατάτμηση Αρχικής Εικόνας

Η αρχική εικόνα και οι εξαχθείσες περιοχές:



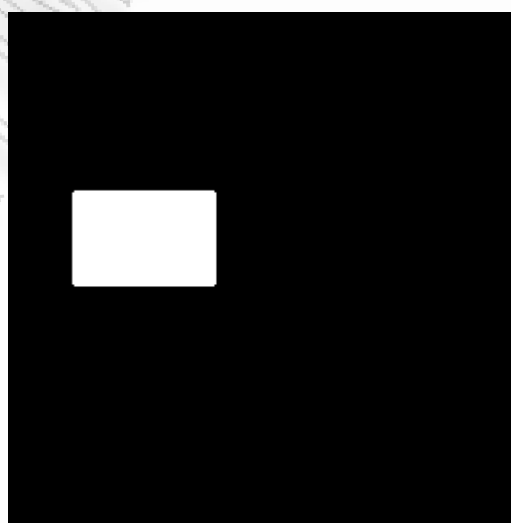
27 Αρχική Εικόνα



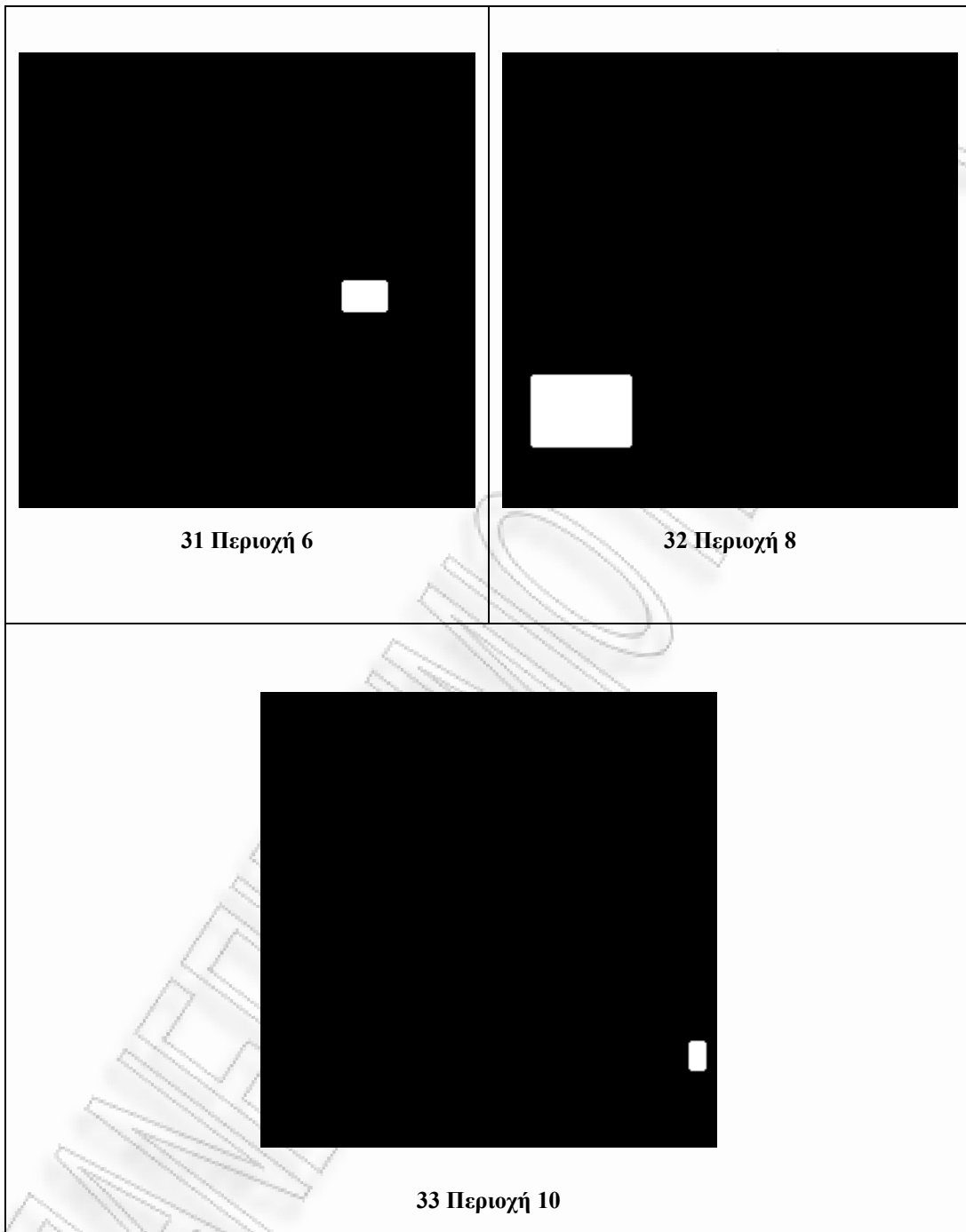
28 Περιοχή 1 - Ρίζα



29 Περιοχή 3



30 Περιοχή 4



Τα Minimum Bounding Rectangles των περιοχών όπως παρουσιάζονται από το σύστημα:

Region 1 MBR: Rectangle[x=0, y=0, width=255, height=255]

Region 8 MBR: Rectangle[x=16, y=181, width=56, height=40]

Region 3 MBR: Rectangle[x=32, y=60, width=187, height=95]

Region 4 MBR: Rectangle[x=32, y=89, width=71, height=47]

Region 6 MBR: Rectangle[x=181, y=128, width=25, height=17]

Region 10 MBR: Rectangle[x=240, y=196, width=9, height=16]

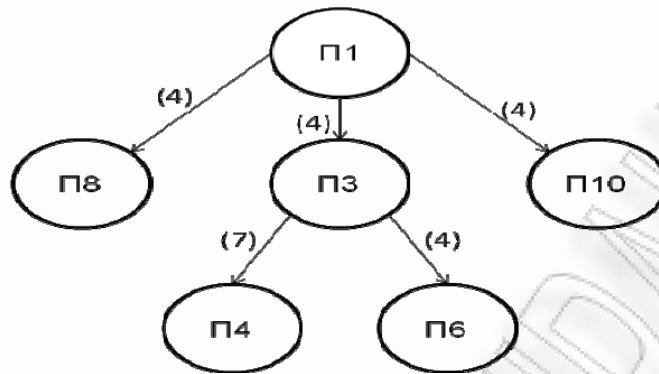
Κατασκευή δέντρου στον άξονα x:

- Η Περιοχή 1 (Π1) τίθεται ως ρίζα στο δέντρο
- Οι υπόλοιπες ταξινομούνται ως εξής (Π8, Π3, Π4, Π6, Π10)

Παρατηρούμε ότι στην ταξινόμηση ανάμεσα στην Περιοχή 3 και την Περιοχή 4 που έχουν το ίδιο ελάχιστο x ($=32$), τοποθετείται πρώτη η Π3 που έχει μεγαλύτερο μέγιστο x , σύμφωνα με το Βήμα 3.

- Η Π8 μπαίνει στο δέντρο ως παιδί της ρίζας Π1 και γίνεται υποψήφιος πατέρας
- Η Π3 επιχειρείται να εισαχθεί ως παιδί της Π8. Ο τελεστής είναι (5) και επιχειρείται εισαγωγή στον πρώτο πρόγονο της Π8 που είναι η ρίζα Π1. Εδώ ο τελεστής είναι (4) και εισαγωγή εκτελείται επιτυχώς. Η Π3 γίνεται υποψήφιος πατέρας.
- Η Π4 επιχειρείται να εισαχθεί ως παιδί της Π3. Ο τελεστής είναι (7) και η εισαγωγή γίνεται επιτυχώς. Η Π4 γίνεται υποψήφιος πατέρας.
- Η Π6 επιχειρείται να εισαχθεί ως παιδί της Π4. Ο τελεστής είναι (5) και έτσι ελέγχεται ο πρώτος πρόγονος της Π4, εν προκειμένω η Π3. Εδώ ο τελεστής είναι (4) και η εισαγωγή γίνεται επιτυχώς. Η Π6 γίνεται υποψήφιος πατέρας
- Η Π10 επιχειρείται να εισαχθεί ως παιδί της Π6. Ο τελεστής είναι (5) και ελέγχεται ο πατέρας της Π6, δηλ. η Π3. Ο τελεστής είναι και πάλι (5) και ελέγχεται ο πατέρας της Π3, δηλ. η ρίζα Π1. Εδώ ο τελεστής είναι (4) και η εισαγωγή γίνεται επιτυχώς.

Τελικά, το δέντρο του άξονα x έχει ως εξής:



Η σύμφωνα με την παρουσίαση του συστήματος στην κονσόλα εξόδου:

X Pre-Order Traversal = 1, 8, 3, 4, 6, 10

Node 1 has children:

-> (4) 8

-> (4) 3

-> (4) 10

Node 3 has children:

-> (7) 4

-> (4) 6

Εάν ακολουθήσουμε την προ-διατεταγμένη διαδρομή στο δέντρο αυτό λαμβάνουμε και τους κόμβους με την σειρά που ο αλγόριθμος κατασκευής του δέντρου τους ταξινόμησε (Π1, Π8, Π3, Π4, Π6, Π10) και διαπιστώνουμε ότι η βασική πληροφορία σχετικά με την χωρική διάταξη των περιοχών έχει διατηρηθεί. Το γεγονός αυτό αποτελεί ιδιαίτερα βασικό πλεονέκτημα στην σχεδίαση αλγορίθμων που μετασχηματίζουν το δέντρο, όπως ο αντίστοιχος γεωμετρικός μετασχηματισμός την εικόνα.

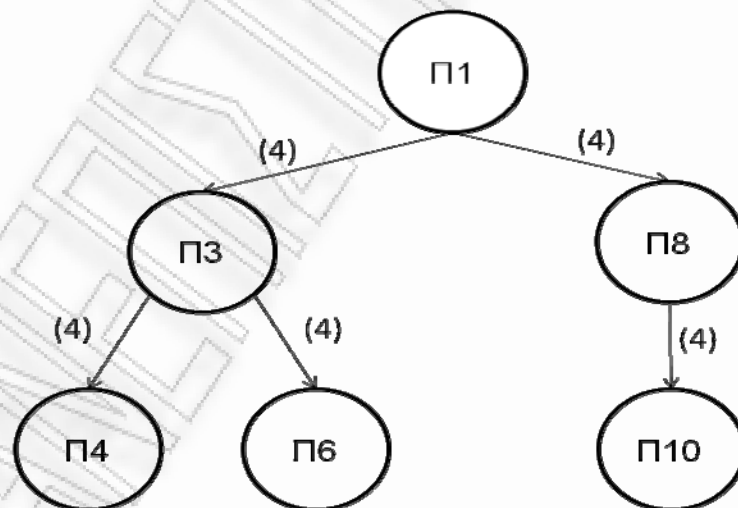
Κατασκευή δέντρου στον άξονα y:

Χρησιμοποιώντας τον ίδιο αλγόριθμο και θεωρώντας ως αρχή του άξονα y την πάνω αριστερά γωνία όπως συνηθίζεται στα περισσότερα συστήματα Επεξεργασίας Εικόνας έχουμε τα παρακάτω βήματα:

- Η Περιοχή 1 (Π1) τίθεται ως ρίζα στο δέντρο

- Οι υπόλοιπες ταξινομούνται ως εξής (Π3, Π4, Π6, Π8, Π10)
- Η Π3 μπαίνει στο δέντρο ως παιδί της ρίζας Π1 και γίνεται υποψήφιος πατέρας
- Η Π4 επιχειρείται να εισαχθεί ως παιδί της Π3. Ο τελεστής είναι (4) και εισαγωγή εκτελείται επιτυχώς. Η Π4 γίνεται υποψήφιος πατέρας.
- Η Π6 επιχειρείται να εισαχθεί ως παιδί της Π4. Ο τελεστής είναι (5) και έτσι ελέγχεται ο πρώτος πρόγονος της Π4, εν προκειμένω η Π3. Εδώ ο τελεστής είναι (4) και η εισαγωγή γίνεται επιτυχώς. Η Π6 γίνεται υποψήφιος πατέρας.
- Η Π8 επιχειρείται να εισαχθεί ως παιδί της Π6. Ο τελεστής είναι (5) και έτσι ελέγχεται ο πρώτος πρόγονος της Π6, εν προκειμένω η Π3. Ο τελεστής είναι και πάλι (5) και ελέγχεται ο πατέρας της Π3, δηλ. η ρίζα Π1. Εδώ ο τελεστής είναι (4) και η εισαγωγή γίνεται επιτυχώς.
- Η Π10 επιχειρείται να εισαχθεί ως παιδί της Π8. Ο τελεστής είναι (4) και η εισαγωγή γίνεται επιτυχώς.

Τελικά το δέντρο στον άξονα y έχει ως εξής:



Ή σύμφωνα με την έξοδο στην κονσόλα του συστήματος:

Y Pre-Order Traversal = 1, 3, 4, 6, 8, 10

Node 1 has children:

-> (4) 3

-> (4) 8

Node 3 has children:

-> (4) 4

-> (4) 6

Node 8 has children:

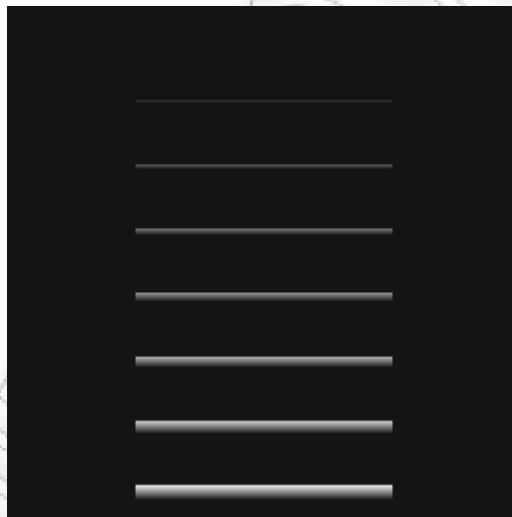
-> (4) 10

Στο σημείο αυτό είναι χρήσιμο να σημειώσουμε ορισμένα ενδιαφέροντα θέματα που θα παίξουν σημαντικό ρόλο στην περιγραφή των αλγορίθμων των μετασχηματισμών που ακολουθούν.

Το πρώτο ενδιαφέρον και ιδιαίτερο στοιχείο είναι πως η χωρική αναπαράσταση της εικόνας δεν εξαρτάται μονάχα από την κάθετη δομή του δέντρου, αλλά και από την οριζόντια δομή του σε κάθε επίπεδο. Οι κόμβοι-παιδιά μιας περιοχής είναι οι υπό-περιοχές που με κάποιο τρόπο «περιέχει», ή για να είμαστε ακριβέστεροι οι υπό-περιοχές των οποίων τη θέση στο χώρο δύναται να περιγράψει. Η σειρά των παιδιών αυτών από τα αριστερά προς τα δεξιά αποδίδει την εσωτερική μεταξύ τους σχέση τουλάχιστον σε ένα βαθμό. Έπειτα από την ταξινόμηση των περιοχών με βάση το ελάχιστο στον άξονα αναφοράς αυτές τοποθετούνται ως κόμβοι-παιδιά ενός κοινού γονέα με βάση αυτή την ταξινόμηση. Επομένως, για τους κόμβους του ίδιου επιπέδου εάν θεωρήσουμε μια σάρωση του άξονα αναφοράς από το ελάχιστο προς το μέγιστο μπορούμε με ασφάλεια να πούμε ότι κάθε κόμβος προηγείται χωρικά από όσους βρίσκονται στα δεξιά του. Ακόμη βέβαια και σε αυτήν την περίπτωση δεν είναι δυνατόν να εξαγάγουμε πλήρη συμπεράσματα για πιθανές επικαλύψεις μεταξύ κόμβων στο ίδιο επίπεδο.

Η επιλογή της τοποθέτησης των κόμβων με αυτό τον τρόπο, ώστε να διατηρείται κάποια πληροφορία και ανά επίπεδο του δέντρου, έχει να κάνει με τον χειρισμό της ειδικής περίπτωσης του τελεστή (9). Ο τελεστής αυτός σχεδιάστηκε για να «σημειώνει» περιοχές που έχουν ακριβώς ίδια σημεία σε έναν άξονα αναφοράς, περιγράφοντας έτσι την ακριβή ομοιότητα («αδελφική σχέση»). Στην περίπτωση λοιπόν που επιχειρηθεί η πρόσθεση στο δέντρο ενός κόμβου και ο τελεστής που ορίζει την σχέση με τον υποψήφιο πατέρα είναι (9), ο κόμβος που εισέρχεται τελικά συνδέεται ως παιδί του γονικού κόμβου του «υποψήφιου πατέρα». Έτσι οι

δύο «αδελφικοί» κόμβοι τοποθετούνται στο ίδιο επίπεδο του δέντρου προσδίδοντας μεγαλύτερη εννοιολογική σαφήνεια στην αναπαράσταση. Παρ' όλα αυτά ο τελεστής (9) διατηρείται και ερμηνεύεται διαφορετικά από τους υπόλοιπους γιατί δεν σημαίνει ότι γονέας και παιδί έχουν τα ίδια ακριβώς σημεία στον άξονα αναφοράς, αλλά ότι η περιοχή-παιδί έχει τα ίδια σημεία στον αναφοράς με την αμέσως προηγούμενη περιοχή-παιδί στο ίδιο επίπεδο. Λόγω της ταξινόμησης τα «αδέλφια» λαμβάνονται ακριβώς το ένα μετά το άλλο από τη λίστα για να τοποθετηθούν στο δέντρο με αποτέλεσμα η αναπαράσταση να είναι σε κάθε περίπτωση σωστή και μπορεί να αναπαραστήσει περισσότερα των δύο «αδέλφια» σε ένα επίπεδο. Ένα σύντομο παράδειγμα περιοχών που τελικά θεωρούνται «αδέλφια» αποτελεί η παρακάτω εικόνα:



34 Αρχική Εικόνα με Περιοχές "αδέλφια" στον x-άξονα

Στην εικόνα αυτή παρατηρούμε εύκολα 7 περιοχές χωρίς καμία μεταξύ τους χωρική εξάρτηση για τον άξονα-y, όμως αρχίζουν και τελειώνουν στο ίδιο σημείο για τον άξονα-x. Πραγματικά η έξοδος του συστήματος περιγράφει στον άξονα-x το παρακάτω δέντρο:

X Pre-Order Traversal = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

Node 1 has children:

-> (4) 2

-> (9) 3

-> (9) 4

-> (9) 5

-> (9) 6

-> (9) 7

-> (9) 8

Εύκολα διαπιστώνουμε ότι η Περιοχή 3 θεωρείται «αδελφική» της Περιοχής 2, η Περιοχή 4 «αδελφική» της Περιοχής 3, η Περιοχή 5 «αδελφική» με την Περιοχή 4 κλπ. Έτσι όλες οι περιοχές πλην της ρίζας (που υποδεικνύει ολόκληρη την εικόνα) είναι «αδέλφια» μεταξύ τους αναφορικά με τον άξονα-x.

3.4.3 Αλγόριθμοι Περιπτώσεων Γεωμετρικών Μετασχηματισμών

Στην ενότητα που ακολουθεί περιγράφονται προτεινόμενοι αλγόριθμοι εκτέλεσης γεωμετρικών μετασχηματισμών επάνω στην δενδρική αναπαράσταση των περιοχών μιας εικόνας που περιγράφηκε παραπάνω. Όπως και η δενδρική αναπαράσταση, έτσι και οι αλγόριθμοι που ακολουθούν μελετήθηκαν σε ένα περιορισμένο σύνολο τεχνητών εικόνων και η καθολική εφαρμογή τους είναι δύσκολο να αποδειχθεί στα πλαίσια της παρούσης Διπλωματικής Εργασίας. Το ίδιο το μοντέλο αναπαράστασης και τα πειράματα που θα ακολουθήσουν επιχειρούν απλώς να δώσουν υπόσταση σε ένα μέχρι τώρα ξεκάθαρα θεωρητικό πρόβλημα και να αποτελέσουν μια βάση για μελλοντική μελέτη που θα είναι δυνατόν να δώσει πολύ πιο γενικευμένα και ισχυρά αποτελέσματα. Για όλους όμως τους αλγορίθμους που περιγράφονται στην ενότητα αυτή υπάρχει εκτενής περιγραφή επιτυχημένων πειραμάτων στην αμέσως επόμενη ενότητα, ενώ στο ηλεκτρονικό παραδοτέο υπάρχει και ο αντίστοιχος πηγαίος κώδικας σε γλώσσα Java.

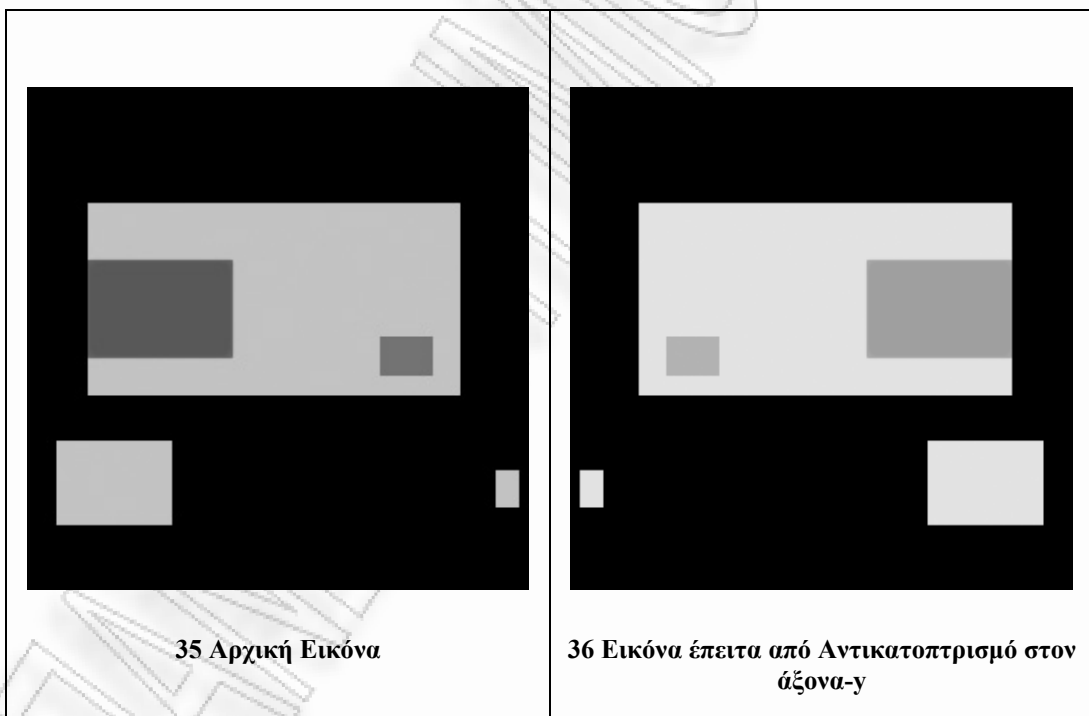
Αλγόριθμος Αντικατοπτρισμού (Reflection)

Ο αντικατοπτρισμός μιας εικόνας ως προς έναν από τους άξονες αναφοράς, είναι ένας μετασχηματισμός που όπως ήδη αναφέρθηκε δεν προκαλεί καμία απώλεια πληροφορίας. Έτσι είναι δυνατόν να μελετηθεί συνολικά και για οποιονδήποτε τύπο εικόνας είναι δυνατόν να ορίσουμε περιοχές με τα Ελάχιστα Ορθογώνια Οριοθέτησης (MBR). Επιπλέον, ο αλγόριθμος του αντικατοπτρισμού αποτελεί την βάση για την μελέτη των ειδικών περιπτώσεων περιστροφής. Οι περιπτώσεις

εικόνων που υφίστανται τέτοιους μετασχηματισμούς είναι ιδιαίτερα συχνές σε πραγματικά συστήματα CBIR και σύνολα δεδομένων (data sets). Για το λόγο αυτό θεωρήθηκε ιδιαίτερα σημαντικό να εξεταστεί με αρκετή λεπτομέρεια.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται δύο εικόνες με το ίδιο ακριβώς περιεχόμενο. Εύκολα γίνεται αντιληπτό πως η δεύτερη προέκυψε έπειτα από αντικατοπτρισμό της πρώτης στον άξονα-y.

Το πρώτο συμπέρασμα που είναι δυνατόν να εξαχθεί είναι πως η χωρική αναπαράσταση ως προς τον άξονα-y δεν έχει αλλάξει και επομένως το δέντρο του άξονα αυτού παραμένει αναλλοίωτο σε σχέση με αυτό της αρχικής εικόνας. Ομοίως θεωρούμε ότι εάν η αρχική εικόνα υποστεί αντικατοπτρισμό ως προς τον άξονα-x, το δέντρο που αντιστοιχεί στον άξονα αυτό θα είναι ίδιο και στην τελική εικόνα.



Το δέντρο στον έτερο άξονα αναφοράς, αλλάζει με ένα τρόπο εύκολο στην κατανόηση που περιγράφεται αναλυτικά από τα παρακάτω βήματα:

Βήμα 1: Για κάθε κόμβο του δέντρου

Βήμα 2: Ανέκτησε το υπό-δέντρο με ρίζα τον κόμβο αυτόν

Βήμα 3: Αντέστρεψε την σειρά των κόμβων-παιδιών του και των αντίστοιχων τελεστών

Βήμα 4: Για κάθε κόμβο του δέντρου έλεγξε τους τελεστές σχέσεων προς τα παιδιά του έναν προς έναν

Βήμα 5: Εάν ο τελεστής είναι (6) άλλαξε τον σε (7) και επέστρεψε στο Βήμα 4

Βήμα 6: Εάν ο τελεστής είναι (7) άλλαξε τον σε (6) και επέστρεψε στο Βήμα 4

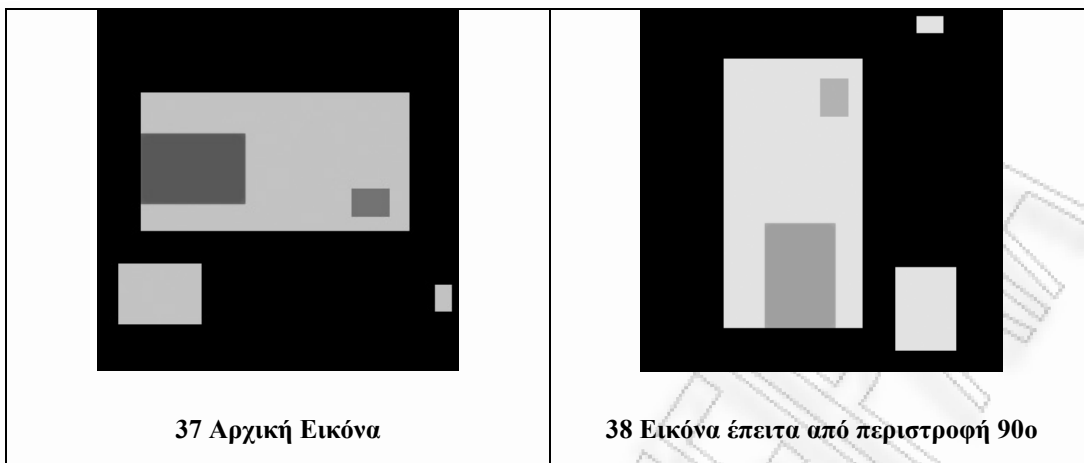
Βήμα 7: Εάν ο τελεστής είναι (9) άλλαξε θέσεις με τον τελεστή του αμέσως δεξιότερου παιδιού.

Η έννοια των βημάτων 5-7 είναι αρκετά απλή: Καθώς ο ένας άξονας αντιστρέφεται οι τελεστές (4) παραμένουν ως έχουν γιατί ουσιαστικά περιγράφουν πλήρη επικάλυψη των σημείων της περιοχής-παιδιού από την περιοχή γονέα. Από την αντιστροφή του άξονα προκύπτει και η αμοιβαία εναλλαγή μεταξύ των τελεστών (6) και (7) καθώς οι οριακές πλήρεις επικαλύψεις αλλάζουν απλώς τύπο. Τέλος, λόγω της αντιστροφής της σειράς των κόμβων σε κάθε επίπεδο, ο τελεστής (9) αποθηκεύεται στον έτερο δύο «αδελφών», εκείνον δηλαδή που βρισκόταν αριστερότερα στο αρχικό δέντρο.

Στην περίπτωση του αντικατοπτρισμού στον άξονα x , το x -δέντρο της εικόνας παραμένει αναλλοίωτο, ενώ το y -δέντρο, επεξεργάζεται με τον αλγόριθμο που μόλις περιγράψαμε.

Αλγόριθμος Περιστροφής (Rotation) κατά 90° 180° και 270°

Οι αλγόριθμοι περιστροφής κατά 90° ($\pi/2$), 180° (π) και 270° ($3\pi/4$) ως προς το κέντρο των αξόνων αναφοράς βασίζονται εξ' ολοκλήρου στον αλγόριθμο του αντικατοπτρισμού. Ας θεωρήσουμε αρχικά την περιστροφή κατά 90° , όπως φαίνεται στις εικόνες του παρακάτω πίνακα:



Παρατηρώντας τις δύο εικόνες προσεκτικά μπορούμε να εντοπίσουμε ότι τώρα σε σχέση με την αρχική εικόνα η αρχή του άξονα y (πάνω αριστερά γωνία) έχει μεταφερθεί στην αρχή του άξονα x (κάτω αριστερά γωνία) και η αρχή του άξονα x βρίσκεται στην κάτω δεξιά γωνία, δηλαδή στο τέλος του άξονα y . Επομένως μπορούμε να πούμε ότι για την περιστροφή αυτή οι χωρικές σχέσεις του άξονα x είναι όμοιες με τις χωρικές σχέσεις του άξονα y της αρχικής εικόνας, ενώ οι χωρικές σχέσεις στον άξονα y της περιστρεμμένης εικόνας είναι όμοιες με αυτές του άξονα x της αρχικής εάν είχε υποστεί έναν αντικατοπτρισμό στον y -άξονα.

Επομένως τα βήματα που απαιτείται να εκτελεστούν για να λάβουμε τη σωστή δενδρική αναπαράσταση είναι:

90 Μοίρες

Βήμα 1: Δημιούργησε 2 νέα δέντρα, ένα για κάθε άξονα για την περιστρεμμένη εικόνα.

Βήμα 2: Θέσε το x -δέντρο της περιστρεμμένης ίσο με το y -δέντρο της αρχικής εικόνας

Βήμα 3: Εκτέλεσε τον αλγόριθμο του αντικατοπτρισμού για το x -δέντρο της αρχικής εικόνας και θέσε το αποτέλεσμα ίσο με το y -δέντρο της περιστρεμμένης.

180 Μοίρες

Αντίστοιχα είναι τα βήματα και για την περιστροφή κατά 180° μόνο που αυτή τη φορά δεν έχουμε αλλαγή αξόνων, αλλά ταυτόχρονο αντικατοπτρισμό και στους δύο άξονες:

Βήμα 1: Δημιούργησε 2 νέα δέντρα, ένα για κάθε άξονα για την περιστρεμμένη εικόνα.

Βήμα 2: Εκτέλεσε τον αλγόριθμο του αντικατοπτρισμού για το x-δέντρο της αρχικής εικόνας και θέσε το αποτέλεσμα ίσο με το x-δέντρο της περιστρεμμένης.

Βήμα 3: Εκτέλεσε τον αλγόριθμο του αντικατοπτρισμού για το y-δέντρο της αρχικής εικόνας και θέσε το αποτέλεσμα ίσο με το y-δέντρο της περιστρεμμένης.

270 Μοίρες

Η περιστροφή κατά 270° μπορεί να θεωρηθεί αντίστροφη από την περιστροφή κατά 90° και συνεπώς τα βήματα που απαιτείται να εκτελεστούν είναι ακριβώς αντίστροφα από αυτήν:

Βήμα 1: Δημιούργησε 2 νέα δέντρα, ένα για κάθε άξονα για την περιστρεμμένη εικόνα.

Βήμα 2: Θέσε το y-δέντρο της περιστρεμμένης ίσο με το x-δέντρο της αρχικής εικόνας

Βήμα 3: Εκτέλεσε τον αλγόριθμο του αντικατοπτρισμού για το y-δέντρο της αρχικής εικόνας και θέσε το αποτέλεσμα ίσο με το x-δέντρο της περιστρεμμένης.

Αλγόριθμος Μετατόπισης (Translation)

Η μετατόπιση όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι ένας μετασχηματισμός που μπορεί να προκαλέσει μερική απώλεια πληροφορίας σε σχέση με την αρχική εικόνα, καθώς είναι πιθανόν ολόκληρες περιοχές ή τμήματα αυτών να βρεθούν εκτός των

δεδομένων ορίων της εικόνας. Σε αυτή την περίπτωση απαιτείται ειδικός χειρισμός για το αν μια περιοχή αφαιρείται ολόκληρη ή όχι.

Στις περιπτώσεις που μια περιοχή πρέπει να αφαιρεθεί ολόκληρη εντοπίζεται ο αντίστοιχος κόμβος στο δέντρο και αφαιρείται ολόκληρο το υπό-δέντρο που ξεκινά από αυτόν. Κάτι τέτοιο είναι αναμενόμενο, εάν αναλογιστούμε ότι ως παιδιά ενός κόμβου ορίζονται εκείνες οι περιοχές που οριακά ή μη καλύπτονται ολοκληρωτικά από αυτόν.

Αντίθετα στις περιπτώσεις που μονάχα ένα τμήμα μιας περιοχής αφαιρείται, όλοι οι κόμβοι στο υπό-δέντρο που ξεκινά από αυτόν τον κόμβο πρέπει να ελεγχθούν για το αν αφαιρούνται τμήματα και από αυτούς και για το πώς μεταβάλλονται οι αντίστοιχες χωρικές σχέσεις.

Επιπλέον, μιας και η μετατόπιση μπορεί να μην περιορίζεται σε έναν άξονα, αλλά να έχουμε μετατόπιση ταυτόχρονα και στους δύο άξονες αναφοράς, κάθε ένα από τα δύο δέντρα που αντιπροσωπεύουν μια εικόνα ελέγχεται σε σχέση και με τις δύο σχετικές μετατοπίσεις.

Αναλυτικά τα βήματα της εκτέλεσης της μετατόπισης σε κάθε άξονα έχουν ως εξής:

Μετατόπιση σε έναν άξονα:

Είσοδος: (Δέντρο, παράγοντας μετατόπισης, άξονας αναφοράς)

Βήμα 1: Για κάθε κόμβο του δέντρου

Βήμα 2: Για κάθε παιδί του κόμβου αυτού

Βήμα 3: Εάν το ελάχιστο του κόμβου-παιδιού συν τον παράγοντα μετατόπισης είναι μεγαλύτερο από το μέγιστο της ρίζας:

- αφαίρεσε τον κόμβο από το δέντρο (μαζί με όλα τα παιδιά του)
- μείωσε το πλήθος των παιδιών του κόμβου κατά ένα
- επέστρεψε στο Βήμα 2

Βήμα 4: Εάν το ελάχιστο (του κόμβου-παιδιού) συν τον παράγοντα μετατόπισης είναι μικρότερο από το μέγιστο της ρίζας ΚΑΙ το μέγιστο του κόμβου-παιδιού συν τον παράγοντα μετατόπισης είναι μεγαλύτερο από το μέγιστο της ρίζας:

- δημιούργησε έναν νέο τελεστή για την σχέση γονέα – παιδιού
- επέστρεψε στο Βήμα 2

Βήμα 5: Για κάθε κόμβο του δέντρου

Βήμα 6: Άλλαξε τις τιμές ορισμού του Ελάχιστου Ορθογωνίου Οριοθέτησης για κάθε κόμβο στον δεδομένο άξονα αναφοράς.

Η μετατόπιση ενός δέντρου και στους δύο άξονες είναι ο συνδυασμός:

Μετατόπιση Δέντρου:

Είσοδος: (Δέντρο)

Βήμα 1: Μετατόπιση σε έναν άξονα(Δέντρο, παράγοντας1, x)

Βήμα 2: Μετατόπιση σε έναν άξονα(Δέντρο, παράγοντας2, y)

και συνολικά η μετατόπιση στην δενδρική αναπαράσταση μιας εικόνας είναι:

Μετατόπιση:

Είσοδος: (x-δέντρο, y-δέντρο, παράγοντας1, παράγοντας2)

Βήμα 1: Μετατόπιση Δέντρου (x-δέντρο)

Βήμα 2: Μετατόπιση Δέντρου (y-δέντρο)

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειώσουμε ότι στις περιπτώσεις αφαίρεσης τμημάτων περιοχών από την εικόνα, τίθεται το θέμα εντοπισμού της ομοιότητας ανάμεσα σε μία περιοχή και ένα τμήμα αυτής. Η επίλυση ενός τέτοιου προβλήματος κάθε άλλο παρά εύκολη είναι καθώς οι μετρικές ομοιότητας ποικίλλουν από σύστημα σε σύστημα και οι επιδόσεις τους αλλάζουν ανάλογα με τον τύπο της εικόνας. Στα πλαίσια της παρούσης εργασίας δεν προτείνονται

λύσεις σχετικά με το πρόβλημα αυτό, απλώς θεωρούμε δεδομένη την ύπαρξη κατάλληλης τέτοιας μετρικής ή διαφορετικά εκτελούμε τον αλγόριθμο με ένα ποσοστό αβεβαιότητας για τα αποτελέσματά του.

Αλγόριθμος Αλλαγής Κλίμακας (Scaling)

Ο αλγόριθμος της αλλαγής κλίμακας μπορεί να διαχωριστεί σε δύο διαφορετικές περιπτώσεις, την σμίκρυνση και τη μεγέθυνση. Η περίπτωση της σμίκρυνσης είναι σαφώς απλούστερη καθώς δεν υφίσταται το ενδεχόμενο αφαίρεσης περιοχών από την εικόνα. Όλες οι περιοχές της αρχικής εικόνας θα είναι παρούσες και στην τελική και θα διατηρούν αλώβητες τις χωρικές τους σχέσεις, με τη διαφορά ότι τα Ελάχιστα Ορθογώνια Οριοθέτησης για κάθε περιοχή θα έχουν μεταβληθεί κατά τον παράγοντα αλλαγής κλίμακας, πλην της περιοχής που αναπαρίσταται στην ρίζα και εκφράζει ολόκληρο το ορατό επίπεδο της εικόνας, η οποία παραμένει ίδια.

Όσον αφορά στη μεγέθυνση, όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα μπορούμε να ακολουθήσουμε δύο προσεγγίσεις. Η πρώτη και πιο απλή θεωρεί ότι η μεγέθυνση αλλάζει το εμβαδόν του ορατού επιπέδου της εικόνας και συνεπώς δεν απαντάται το ενδεχόμενο της αφαίρεσης περιοχών, ενώ η δεύτερη θεωρεί το εμβαδόν αυτό σταθερό και επομένως η αφαίρεση περιοχών ή τμημάτων αυτών μπορεί να συμβεί. Ο αλγόριθμος που παρατίθεται παρακάτω επιχειρεί να προσεγγίσει την αλλαγή κλίμακας με βάση την δεύτερη προσέγγιση για τη μεγέθυνση και τα βήματά του έχουν ως εξής:

Αλλαγή κλίμακας σε έναν άξονα:

Είσοδος: (Δέντρο, παράγοντας αλλαγής κλίμακας, άξονας αναφοράς)

Βήμα 1: Εάν ο παράγοντας αλλαγής κλίμακας είναι μεγαλύτερος της μονάδας

Βήμα 2: Για κάθε κόμβο του δέντρου

Βήμα 3: Για κάθε παιδί του κόμβου αυτού

Βήμα 4: Εάν το ελάχιστο του κόμβου-παιδιού επί τον παράγοντα αλλαγής κλίμακας είναι μεγαλύτερο από το μέγιστο της ρίζας:

- αφαίρεσε τον κόμβο από το δέντρο (μαζί με όλα τα παιδιά του)
- μείωσε το πλήθος των παιδιών του κόμβου κατά ένα
- επέστρεψε στο Βήμα 3

Βήμα 5: Εάν το ελάχιστο (του κόμβου-παιδιού) επί τον παράγοντα αλλαγής κλίμακας είναι μικρότερο από το μέγιστο της ρίζας ΚΑΙ το μέγιστο του κόμβου-παιδιού επί τον παράγοντα αλλαγής κλίμακας είναι μεγαλύτερο από το μέγιστο της ρίζας:

- δημιούργησε έναν νέο τελεστή για την σχέση γονέα – παιδιού
- επέστρεψε στο Βήμα 3

Βήμα 5: Για κάθε κόμβο του δέντρου

Βήμα 6: Άλλαξε τις τιμές ορισμού του Ελάχιστου Ορθογωνίου Οριοθέτησης για κάθε κόμβο στον δεδομένο άξονα αναφοράς.

Η αλλαγή κλίμακας σε ένα δέντρο και στους δύο άξονες είναι ο συνδυασμός:

Αλλαγή Κλίμακας Δέντρου:

Είσοδος: (Δέντρο)

Βήμα 1: Αλλαγή κλίμακας σε έναν άξονα(Δέντρο, παράγοντας1, x)

Βήμα 2: Αλλαγή κλίμακας σε έναν άξονα(Δέντρο, παράγοντας2, y)

και συνολικά η αλλαγή κλίμακας στην δενδρική αναπαράσταση μιας εικόνας μπορεί να περιγραφεί ως εξής:

Αλλαγή Κλίμακας:

Είσοδος: (x-δέντρο, y-δέντρο, παράγοντας1, παράγοντας2)

Βήμα 1: Μετατόπιση Δέντρου (x-δέντρο)

Βήμα 2: Μετατόπιση Δέντρου (y-δέντρο)

Αλγόριθμος Κύρτωσης (Shearing)

Η κύρτωση αποτελεί μια πολύ ιδιαίτερη και σύνθετη περίπτωση γεωμετρικού μετασχηματισμού, καθώς όχι μόνο ενέχει το ενδεχόμενο αφαίρεσης περιοχών από την δενδρική αναπαράσταση, αλλά είναι δυνατόν να μεταβάλλει και τις σχέσεις μεταξύ κόμβων-περιοχών που παραμένουν αναλλοίωτες. Για τον μετασχηματισμό αυτόν το πεδίο μελέτης περιορίστηκε περαιτέρω στα πλαίσια της παρούσης Διπλωματικής Εργασίας, χωρίς αυτό να σημαίνει βέβαια ότι δεν υφίσταται η δυνατότητα ανάπτυξης του μοντέλου και του αλγορίθμου, ώστε να καλυφθούν περισσότερες περιπτώσεις. Τα πειράματα που εκτελέστηκαν σχετικά με την κύρτωση αφορούσαν μετασχηματισμούς στον ένα άξονα κάθε φορά που δεν οδηγούν σε απώλεια περιοχών στην τελική εικόνα και επιπλέον για εικόνες που περιγράφονται από το μοντέλο αποκλειστικά με σχέσεις πλήρους επικάλυψης στον ένα άξονα (τελεστής (4)).

Η κύρτωση εξετάστηκε μεμονωμένα για κάθε άξονα, καθώς από τον γενικό μαθηματικό τύπο που την περιγράφει εύκολα διαπιστώνεται ότι η εφαρμογή της στον άξονα x, αφήνει τον άξονα y αναλλοίωτο (επομένως και την δενδρική αναπαράσταση που του αντιστοιχεί) και αντίστροφα όταν εφαρμόζεται στον άξονα y, ο άξονας x παραμένει αναλλοίωτος.

Στον αλγόριθμο που την περιγράφει εισάγεται η έννοια του οριακού παράγοντα κύρτωσης ανάμεσα σε δύο περιοχές, του παράγοντα δηλαδή που αν εφαρμοστεί μεταβάλλει τη σχέση ανάμεσα σε δύο συνδεδεμένους στο δέντρο κόμβους. Ο οριακός παράγοντας κύρτωσης αφορά περιοχές της εικόνας που συνδέονται με τον τελεστή (4) στον άξονα εφαρμογής της κύρτωσης, αλλά είναι εντελώς

ανεξάρτητες και με τον γονέα να προηγείται χωρίς επικάλυψη στην προδιατεταγμένη διαδρομή του έτερου άξονα.

Ο οριακός παράγοντας κύρτωσης προκύπτει ως εξής:

Έστω δύο περιοχές 1 και 2 μιας αρχικής εικόνας που πληρούν τις παραπάνω συνθήκες και ένας μετασχηματισμός κύρτωσης στον άξονα x με παράγοντα λ. Εάν p1 είναι το σημείο (max-X, max-Y) για την περιοχή 1 και p2 το αντίστοιχο σημείο για την περιοχή 2 (δηλ. η κάτω δεξιά γωνία του MBR κάθε περιοχής), και με δεδομένο τον τύπο της κύρτωσης:

$$(x', y') = (x + \lambda * y, y)$$

τα σημεία p1, p2 θα υποστούν την μέγιστη δυνατή μεταβολή για κάθε περιοχή. Δεδομένου ότι $\max\text{-}Y(p2) > \max\text{-}Y(p1)$ και $\max\text{-}X(p2) < \max\text{-}X(p1)$ είναι δυνατόν να υπάρξει ένα λ τέτοιο ώστε $\max\text{-}X(p2') = \max\text{-}X(p1')$ και σε αυτή την περίπτωση ο τελεστής που συνδέει τις δύο περιοχές θα πρέπει να μεταβληθεί από (4) σε (6).

Εφ' όσον: $\max\text{-}X(p1') = \max\text{-}X(p1) + \lambda * \max\text{-}Y(p1)$ και $\max\text{-}X(p2') = \max\text{-}X(p2) + \lambda * \max\text{-}Y(p2)$, ο οριακός παράγοντας κύρτωσης για τις δύο περιοχές θα είναι:

$$\lambda = \frac{|\max X(p1) - \max X(p2)|}{|\max Y(p2) - \max Y(p1)|}$$

Στην περίπτωση που ο παράγοντας κύρτωσης είναι μικρότερος του οριακού λ, καμία αλλαγή δεν συμβαίνει στις χωρικές σχέσεις των περιοχών, ενώ στην περίπτωση που είναι μεγαλύτερος ή ίσος με το οριακό λ οι απαραίτητες αλλαγές περιγράφονται στα βήματα του αλγορίθμου που ακολουθεί:

Κύρτωση σε έναν άξονα:

Είσοδος: (Δέντρο, παράγοντας κύρτωσης, άξονας αναφοράς)

Βήμα 1: Για κάθε κόμβο του δέντρου:

Βήμα 2: Για κάθε παιδί του κόμβου αυτού:

Βήμα 3: Υπολόγισε το οριακό λ για το παιδί και τον πατέρα του

Βήμα 4: Εάν ο παράγοντας κύρτωσης είναι μεγαλύτερος από το οριακό λ ΚΑΙ το μέγιστο του πατέρα στον έτερο άξονα είναι μικρότερο από το μέγιστο του κόμβου αναφοράς στον έτερο άξονα:

Βήμα 5: Αφαίρεσε τον κόμβο αναφοράς από τον πατέρα του

- Πρόσθεσε τον κόμβο αναφοράς ως παιδί στον γονέα του πατέρα του μια θέση δεξιότερα από αυτόν
- Θέσε ως τελεστή της σχέσης τον τελεστή (4)
- Επέστρεψε στο Βήμα 2

Βήμα 6: Εάν ο παράγοντας κύρτωσης είναι ίσος με το οριακό λ ΚΑΙ το μέγιστο του πατέρα στον έτερο άξονα είναι μικρότερο από το μέγιστο του κόμβου αναφοράς στον έτερο άξονα:

Βήμα 7: Εάν ο παράγοντας κύρτωσης είναι μεγαλύτερος του μηδέν:

Βήμα 8: Μετέτρεψε τον τελεστή της σχέσης σε τελεστή (6)

- Επέστρεψε στο Βήμα 2

Βήμα 9: Εάν ο παράγοντας κύρτωσης είναι μικρότερος του μηδενός:

Βήμα 10: Μετέτρεψε τον τελεστή της σχέσης σε τελεστή (7)

- Επέστρεψε στο Βήμα 2

Τελικά μία κύρτωση σε έναν άξονα για ολόκληρη την εικόνα περιγράφεται ως εξής:

Κύρτωση στον άξονα x:

Βήμα 1: Δημιούργησε δύο νέα δέντρα, ένα για κάθε άξονα αναφοράς

Βήμα 2: Θέσε το νέο δέντρο για τον άξονα x ίσο με το αποτέλεσμα στις διαδικασίας Κύρτωση σε έναν άξονα(x-Δέντρο, παράγοντας κύρτωσης, x)

Βήμα 3: Θέσε το νέο δέντρο για τον άξονα y ίσο με το αντίστοιχο δέντρο της αρχικής εικόνας.

Κύρτωση στον άξονα y:

Βήμα 1: Δημιούργησε δύο νέα δέντρα, ένα για κάθε άξονα αναφοράς

Βήμα 2: Θέσε το νέο δέντρο για τον άξονα y ίσο με το αποτέλεσμα στις διαδικασίας «Κύρτωση σε έναν άξονα(y-Δέντρο, παράγοντας κύρτωσης, y)»

Βήμα 3: Θέσε το νέο δέντρο για τον άξονα x ίσο με το αντίστοιχο δέντρο της αρχικής εικόνας.

3.5 Πειραματικά Αποτελέσματα

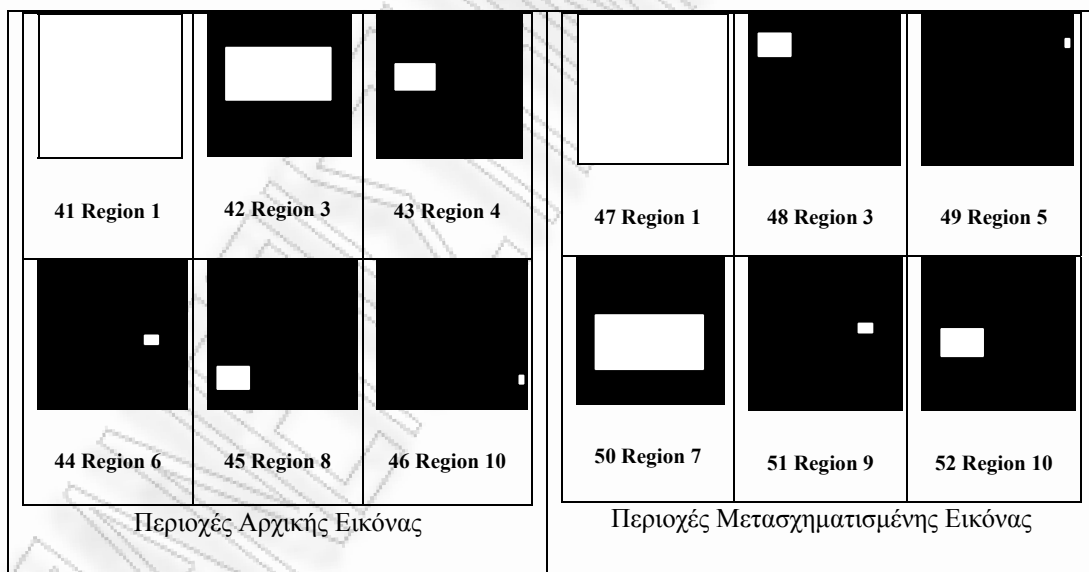
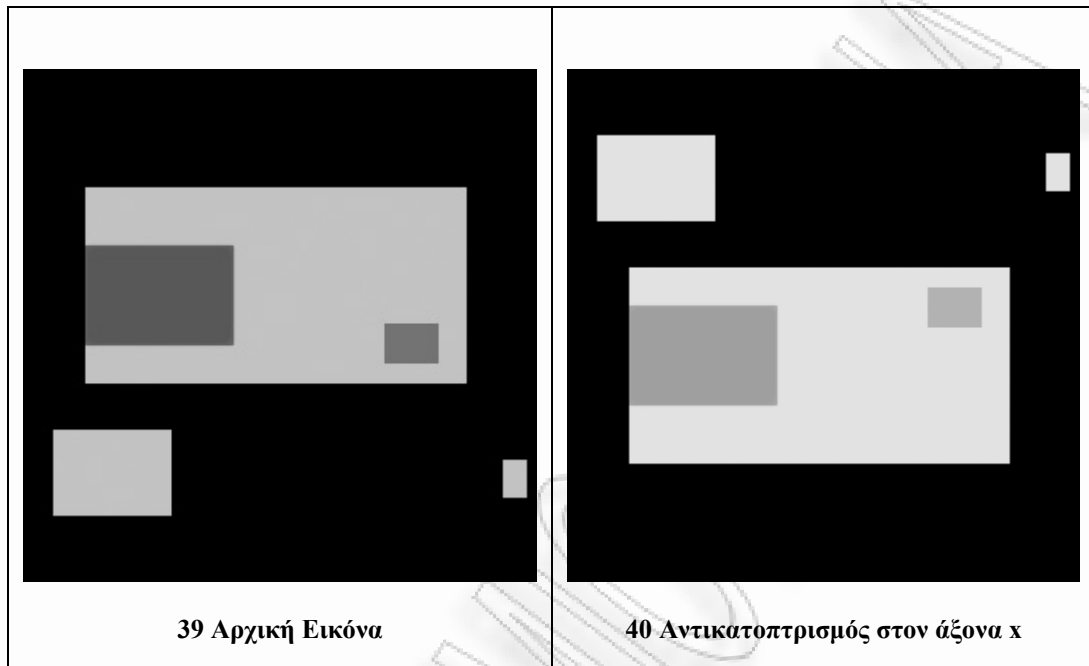
Στην παρούσα ενότητα παρατίθεται μία σειρά περιπτώσεων χρήσης των μεθόδων που περιγράψαμε παραπάνω. Οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση των πειραμάτων είναι συνθετικές εικόνες με αποχρώσεις του γκρι που περιέχουν εξ' αρχής περιοχές που ορίζονται από ορθογώνια παραλληλόγραμμα. Η επιλογή αυτή έγινε μιας και βασικός στόχος δεν είναι η επίδειξη λειτουργίας του δεδομένα απλού συστήματος επεξεργασίας και κατάτμησης της εικόνας, αλλά η επίδειξη χρήσεων της δενδρικής αναπαράστασης σε γεωμετρικά μετασχηματισμένες εικόνες.

Σε ορισμένους μετασχηματισμούς θα παρατηρηθεί το φαινόμενο το σύστημα να παράγει σχετικά διαφορετικό δέντρο για την τελική εικόνα, από αυτό που παράγει ο αντίστοιχος αλγόριθμος μετασχηματισμού που βασίζεται στην αρχική. Σε όλες όμως τις περιπτώσεις το μεγαλύτερο τμήμα της πληροφορίας υπάρχει και στις δύο αναπαραστάσεις και μάλιστα κατάλληλα τοποθετημένο στα δέντρα των δύο αξόνων αναφοράς. Έτσι, ακόμη και αν ο πλήρης εντοπισμός όμοιων περιοχών δεν είναι σε όλες τις περιπτώσεις εφικτός, ένας αλγόριθμος αναζήτησης όμοιων υπό-δέντρων θα εντόπιζε τις περισσότερες κοινές περιοχές σε όλους τους πιθανούς μετασχηματισμούς μιας εικόνας, διατηρώντας την πληροφορία περιεχομένου.

Για κάθε μετασχηματισμό επιλέχθηκε μία περίπτωση χρήσης με κριτήριο το να συνδυάζει όσο το δυνατόν περισσότερες παραμέτρους από αυτές που λαμβάνονται υπ' όψιν στον αντίστοιχο αλγόριθμο. Η δομή των πειραμάτων έχει ως εξής:

Αρχικά παρουσιάζονται η αρχική και η τελική εικόνα, οι περιοχές που έχουν εξαχθεί από αυτές με το σύστημά μας και ο ακριβής μετασχηματισμός που έχει μεσολαβήσει. Ακολουθεί η δενδρική αναπαράσταση και των δύο εικόνων (αρχικής και τελικής) στην μορφή εξόδου του συστήματος (βλ. σελ. 27-28) και στη συνέχεια η δενδρική αναπαράσταση που παράγει ο αντίστοιχος αλγόριθμος βασιζόμενος μονάχα στην αρχική εικόνα.

1. Αντικατοπτρισμός στον άξονα x



Οι αντιστοιχίες στις «ετικέτες» των περιοχών ανάμεσα στην αρχική και την τελική εικόνα είναι:

Region 1 – Region 1, Region 3 – Region 7, Region 4 – Region 10, Region 6 – Region 9, Region 8 – Region 3 και Region 10 – Region 5.

Δενδρική Αναπαράσταση Αρχικής Εικόνας:

X Pre-Order Traversal = 1, 8, 3, 4, 6, 10

Node 1 has children:

-> (4) 8 w/ MBR: Rectangle[x=16, y=181, width=56, height=40]

-> (4) 3 w/ MBR: Rectangle[x=32, y=60, width=187, height=95]

-> (4) 10 w/ MBR: Rectangle[x=240, y=196, width=9, height=16]

Node 3 has children:

-> (7) 4 w/ MBR: Rectangle[x=32, y=89, width=71, height=47]

-> (4) 6 w/ MBR: Rectangle[x=181, y=128, width=25, height=17]

Y Pre-Order Traversal = 1, 3, 4, 6, 8, 10

Node 1 has children:

-> (4) 3 w/ MBR: Rectangle[x=32, y=60, width=187, height=95]

-> (4) 8 w/ MBR: Rectangle[x=16, y=181, width=56, height=40]

Node 3 has children:

-> (4) 4 w/ MBR: Rectangle[x=32, y=89, width=71, height=47]

-> (4) 6 w/ MBR: Rectangle[x=181, y=128, width=25, height=17]

Node 8 has children:

-> (4) 10 w/ MBR: Rectangle[x=240, y=196, width=9, height=16]

Δενδρική Αναπαράσταση Τελικής Εικόνας:

X Pre-Order Traversal = 1, 3, 7, 10, 9, 5

Node 1 has children:

-> (4) 3 w/ MBR: Rectangle[x=16, y=34, width=56, height=40]

-> (4) 7 w/ MBR: Rectangle[x=32, y=100, width=187, height=95]

-> (4) 5 w/ MBR: Rectangle[x=240, y=43, width=9, height=16]

Node 7 has children:

-> (7) 10 w/ MBR: Rectangle[x=32, y=119, width=71, height=47]

-> (4) 9 w/ MBR: Rectangle[x=181, y=110, width=25, height=17]

Y Pre-Order Traversal = 1, 3, 5, 7, 9, 10

Node 1 has children:

-> (4) 3 w/ MBR: Rectangle[x=16, y=34, width=56, height=40]

-> (4) 7 w/ MBR: Rectangle[x=32, y=100, width=187, height=95]

Node 3 has children:

-> (4) 5 w/ MBR: Rectangle[x=240, y=43, width=9, height=16]

Node 7 has children:

-> (4) 9 w/ MBR: Rectangle[x=181, y=110, width=25, height=17]

-> (4) 10 w/ MBR: Rectangle[x=32, y=119, width=71, height=47]

Με βάση τις αντιστοιχίες στις «ετικέτες» των περιοχών ο αλγόριθμος του αντικατοπτρισμού στον άξονα x αναμένουμε να μας δώσει τα περιεχόμενα της αριστερής στήλης του παρακάτω πίνακα, ενώ στην δεξιά στήλη βρίσκονται τα πραγματικά αποτελέσματα εκτέλεσής του.

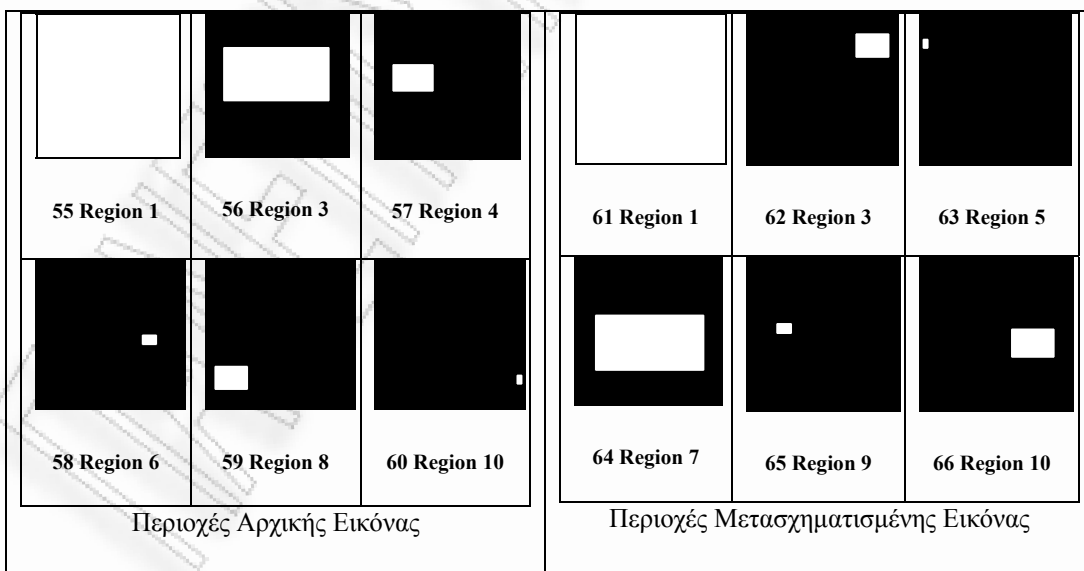
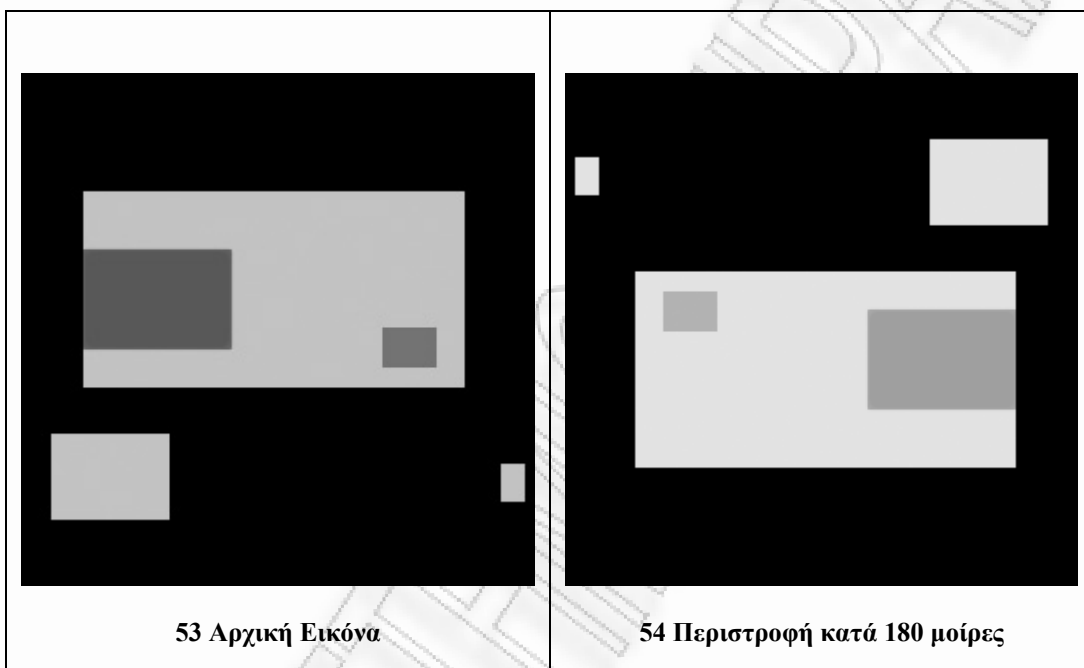
Αναμενόμενα Αποτελέσματα	Πραγματικά Αποτελέσματα
X Pre-Order Traversal = 1, 8, 3, 4, 6, 10	X Pre-Order Traversal = 1, 8, 3, 4, 6, 10
Node 1 has children:	Node 1 has children:
-> (4) 8 w/ MBR: Rectangle[x=16, y=34, width=56, height=40]	-> (4) 8 w/ MBR: Rectangle[x=16, y=181, width=56, height=40]
-> (4) 3 w/ MBR: Rectangle[x=32, y=100, width=187, height=95]	-> (4) 3 w/ MBR: Rectangle[x=32, y=60, width=187, height=95]
-> (4) 10 w/ MBR: Rectangle[x=240, y=43, width=9, height=16]	-> (4) 10 w/ MBR: Rectangle[x=240, y=196, width=9, height=16]
Node 3 has children:	Node 3 has children:
-> (7) 4 w/ MBR: Rectangle[x=32, y=119, width=71, height=47]	-> (7) 4 w/ MBR: Rectangle[x=32, y=89, width=71, height=47]
-> (4) 6 w/ MBR: Rectangle[x=181, y=110, width=25, height=17]	-> (4) 6 w/ MBR: Rectangle[x=181, y=128, width=25, height=17]

<p>Y Pre-Order Traversal = 1, 8, 10, 3, 6, 4</p> <p>Node 1 has children:</p> <p>-> (4) 8 w/ MBR: Rectangle[x=16, y=34, width=56, height=40]</p> <p>-> (4) 3 w/ MBR: Rectangle[x=32, y=100, width=187, height=95]</p> <p>Node 8 has children:</p> <p>-> (4) 10 w/ MBR: Rectangle[x=240, y=43, width=9, height=16]</p> <p>Node 3 has children:</p> <p>-> (4) 6 w/ MBR: Rectangle[x=181, y=110, width=25, height=17]</p> <p>-> (4) 4 w/ MBR: Rectangle[x=32, y=119, width=71, height=47]</p>	<p>Y Pre-Order Traversal = 1, 8, 10, 3, 6, 4</p> <p>Node 1 has children:</p> <p>-> (4) 8 w/ MBR: Rectangle[x=16, y=181, width=56, height=40]</p> <p>-> (4) 3 w/ MBR: Rectangle[x=32, y=60, width=187, height=95]</p> <p>Node 8 has children:</p> <p>-> (4) 10 w/ MBR: Rectangle[x=240, y=196, width=9, height=16]</p> <p>Node 3 has children:</p> <p>-> (4) 6 w/ MBR: Rectangle[x=181, y=128, width=25, height=17]</p> <p>-> (4) 4 w/ MBR: Rectangle[x=32, y=89, width=71, height=47]</p>
--	--

Εύκολα παρατηρούμε ότι τα αναμενόμενα και τα πραγματικά αποτελέσματα συμπίπτουν απόλυτα και τελικά το δέντρο του άξονα x παραμένει αναλλοίωτο, ενώ το δέντρο του άξονα y υφίσταται τις μεταβολές που προβλέπει ο αλγόριθμος. Οι διαφορές των τιμών της παραμέτρου y ανάμεσα στα MBR των αναμενόμενων και των πραγματικών αποτελεσμάτων προκύπτουν από το ότι για κάθε περιοχή το πραγματικό $y' = \text{ImageHeight} - (y + \text{RegionHeight})$. Ο αντικατοπτρισμός στον άξονα y ακολουθεί ακριβώς τις ίδιες αρχές, αλλά μεταβάλλει το δέντρο του άξονα x.

2. Περιστροφή κατά 180°

Αναφορικά με την περιστροφή παρουσιάζεται ένα πείραμα για την περίπτωση των 180°, η οποία είναι και η πλέον σύνθετη από όσες μελετήθηκαν, βασισμένο στην ίδια αρχική εικόνα με τον αντικατοπτρισμό:



Οι αντιστοιχίες στις «ετικέτες» των περιοχών ανάμεσα στην αρχική και την τελική εικόνα είναι:

Region 1 – Region 1, Region 3 – Region 7, Region 4 – Region 10, Region 6 – Region 9, Region 8 – Region 3 και Region 10 – Region 5.

Δενδρική Αναπαράσταση Αρχικής Εικόνας:

X Pre-Order Traversal = 1, 8, 3, 4, 6, 10

Node 1 has children:

-> (4) 8 w/ MBR: Rectangle[x=16, y=181, width=56, height=40]

-> (4) 3 w/ MBR: Rectangle[x=32, y=60, width=187, height=95]

-> (4) 10 w/ MBR: Rectangle[x=240, y=196, width=9, height=16]

Node 3 has children:

-> (7) 4 w/ MBR: Rectangle[x=32, y=89, width=71, height=47]

-> (4) 6 w/ MBR: Rectangle[x=181, y=128, width=25, height=17]

Y Pre-Order Traversal = 1, 3, 4, 6, 8, 10

Node 1 has children:

-> (4) 3 w/ MBR: Rectangle[x=32, y=60, width=187, height=95]

-> (4) 8 w/ MBR: Rectangle[x=16, y=181, width=56, height=40]

Node 3 has children:

-> (4) 4 w/ MBR: Rectangle[x=32, y=89, width=71, height=47]

-> (4) 6 w/ MBR: Rectangle[x=181, y=128, width=25, height=17]

Node 8 has children:

-> (4) 10 w/ MBR: Rectangle[x=240, y=196, width=9, height=16]

Δενδρική Αναπαράσταση Τελικής Εικόνας:

X Pre-Order Traversal = 1, 5, 7, 9, 10, 3

Node 1 has children:

-> (4) 5 w/ MBR: Rectangle[x=6, y=43, width=9, height=16]

-> (4) 7 w/ MBR: Rectangle[x=36, y=100, width=187, height=95]

-> (4) 3 w/ MBR: Rectangle[x=183, y=34, width=56, height=40]

Node 7 has children:

-> (4) 9 w/ MBR: Rectangle[x=50, y=110, width=25, height=17]

-> (6) 10 w/ MBR: Rectangle[x=152, y=119, width=71, height=47]

Y Pre-Order Traversal = 1, 3, 5, 7, 9, 10

Node 1 has children:

-> (4) 3 w/ MBR: Rectangle[x=183, y=34, width=56, height=40]

-> (4) 7 w/ MBR: Rectangle[x=36, y=100, width=187, height=95]

Node 3 has children:

-> (4) 5 w/ MBR: Rectangle[x=6, y=43, width=9, height=16]

Node 7 has children:

-> (4) 9 w/ MBR: Rectangle[x=50, y=110, width=25, height=17]

-> (4) 10 w/ MBR: Rectangle[x=152, y=119, width=71, height=47]

Με βάση τις αντιστοιχίες στις «ετικέτες» των περιοχών συγκρίνουμε τις δύο στήλες του παρακάτω πίνακα για να ελέγξουμε την ορθότητα των πραγματικών αποτελεσμάτων.

Αναμενόμενα Αποτελέσματα	Πραγματικά Αποτελέσματα
X Pre-Order Traversal = 1, 10, 3, 6, 4, 8	X Pre-Order Traversal = 1, 10, 3, 6, 4, 8
Node 1 has children:	Node 1 has children:
-> (4) 10 w/ MBR: Rectangle[x=6, y=43, width=9, height=16]	-> (4) 10 w/ MBR: Rectangle[x=240, y=196, width=9, height=16]
-> (4) 3 w/ MBR: Rectangle[x=36, y=100, width=187, height=95]	-> (4) 3 w/ MBR: Rectangle[x=32, y=60, width=187, height=95]
-> (4) 8 w/ MBR: Rectangle[x=183, y=34, width=56, height=40]	-> (4) 8 w/ MBR: Rectangle[x=16, y=181, width=56, height=40]
Node 3 has children:	Node 3 has children:
-> (4) 6 w/ MBR: Rectangle[x=50, y=110, width=25, height=17]	-> (4) 6 w/ MBR: Rectangle[x=181, y=128, width=25, height=17]
-> (6) 4 w/ MBR: Rectangle[x=152, y=119, width=71, height=47]	-> (6) 4 w/ MBR: Rectangle[x=32, y=89, width=71, height=47]

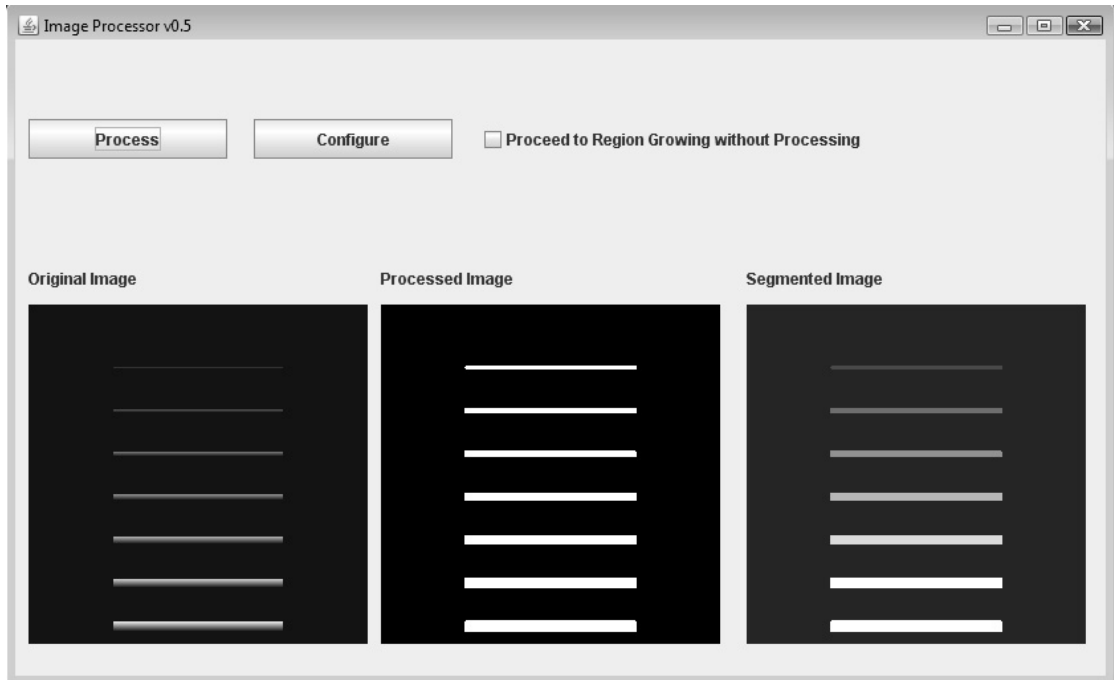
<p>Y Pre-Order Traversal = 1, 8, 10, 3, 6, 4</p> <p>Node 1 has children:</p> <p>-> (4) 8 w/ MBR: Rectangle[x=183, y=34, width=56, height=40]</p> <p>-> (4) 3 w/ MBR: Rectangle[x=36, y=100, width=187, height=95]</p> <p>Node 8 has children:</p> <p>-> (4) 10 w/ MBR: Rectangle[x=6, y=43, width=9, height=16]</p> <p>Node 3 has children:</p> <p>-> (4) 6 w/ MBR: Rectangle[x=50, y=110, width=25, height=17]</p> <p>-> (4) 4 w/ MBR: Rectangle[x=152, y=119, width=71, height=47]</p>	<p>Y Pre-Order Traversal = 1, 8, 10, 3, 6, 4</p> <p>Node 1 has children:</p> <p>-> (4) 8 w/ MBR: Rectangle[x=16, y=181, width=56, height=40]</p> <p>-> (4) 3 w/ MBR: Rectangle[x=32, y=60, width=187, height=95]</p> <p>node= 8 has children:</p> <p>-> (4) 10 w/ MBR: Rectangle[x=240, y=196, width=9, height=16]</p> <p>Node 3 has children:</p> <p>-> (4) 6 w/ MBR: Rectangle[x=181, y=128, width=25, height=17]</p> <p>-> (4) 4 w/ MBR: Rectangle[x=32, y=89, width=71, height=47]</p>
---	---

Όπως φαίνεται από τον πίνακα αναμενόμενα και πραγματικά αποτελέσματα συμπίπτουν. Οι διαφορές των παραμέτρων x και y στα MBR των περιοχών ανάμεσα στις δύο στήλες εξηγούνται και στην περίπτωση αυτή με βάση τους τύπους: $x' = ImageWidth - (x + RegionWidth)$ και $y' = ImageHeight - (y + regionHeight)$.

Το συγκεκριμένο πείραμα περιστροφής συμπεριλαμβάνει και μία ειδική περίπτωση σχέσης, μεταξύ των Περιοχών 3 και 4. Όπως φαίνεται η σχέση των δύο για τον άξονα x είναι σχέση οριακής πλήρους επικάλυψης με κοινή αρχή στην αρχική εικόνα (τελεστής (7)), ενώ μετατρέπεται σε σχέση οριακής πλήρους επικάλυψης με κοινό τέλος στην μετασχηματισμένη εικόνα (τελεστής (6)). Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα η σχέση αυτή έγινε αντιληπτή και μετασχηματίστηκε αναλόγως.

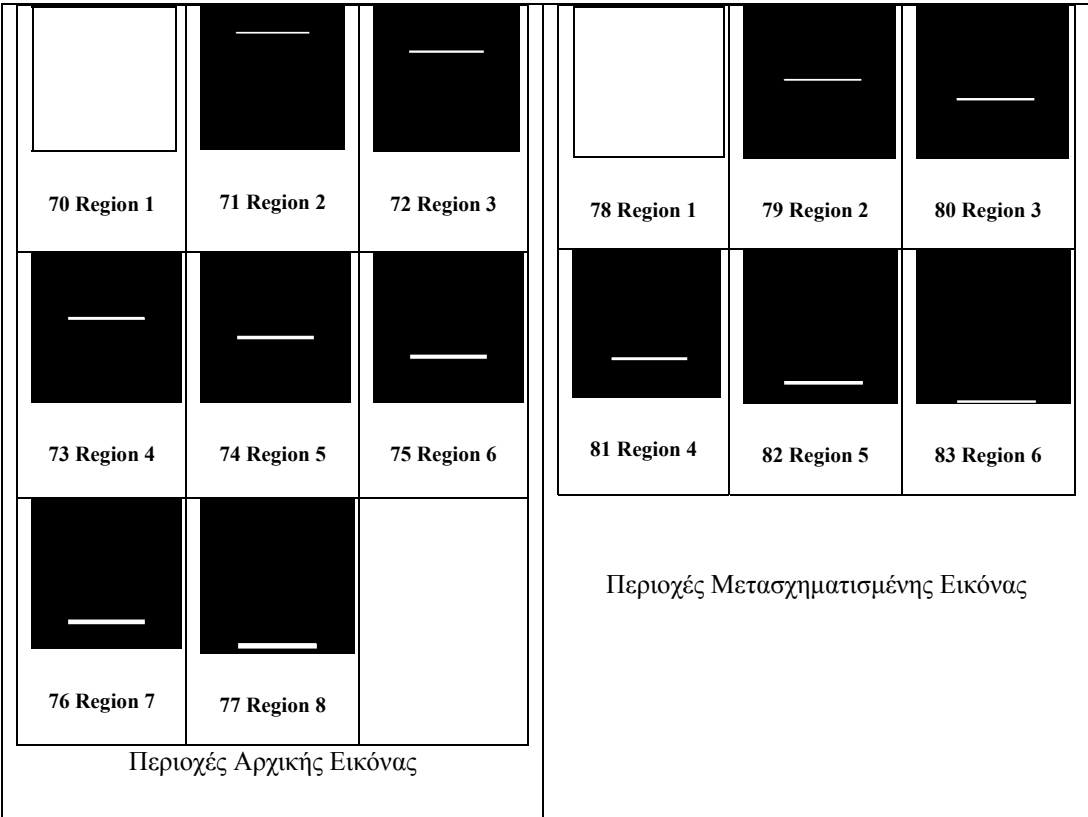
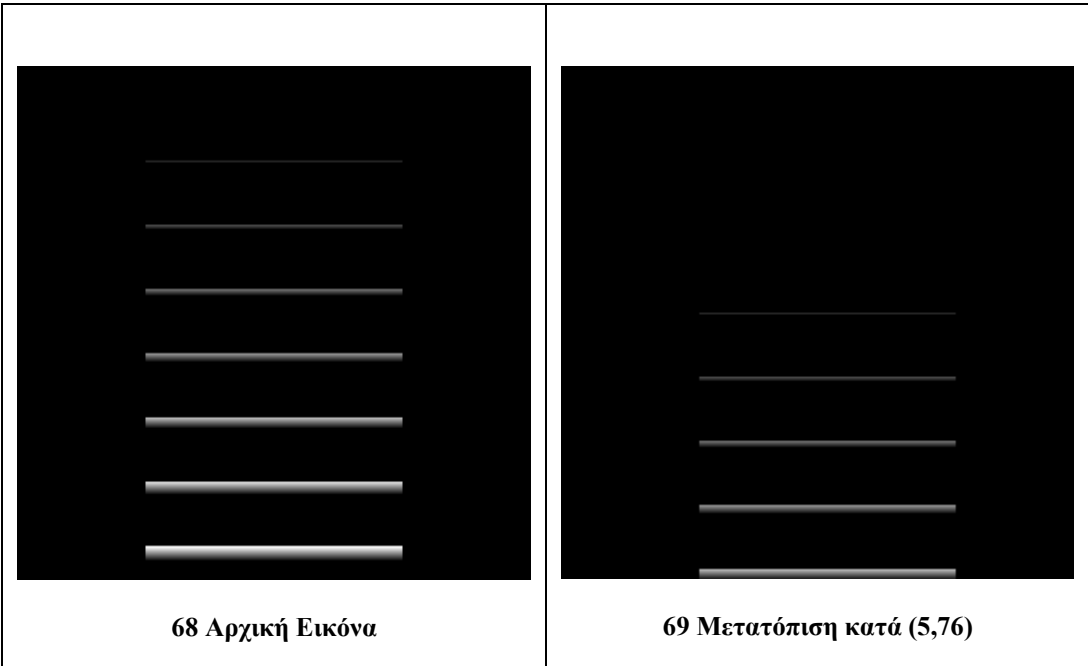
3. Μετατόπιση με παράγοντες $\lambda_x = 5$, $\lambda_y = 76$

Για τον έλεγχο αποτελεσματικότητας του αλγορίθμου μετατόπισης θα χρησιμοποιηθεί μια διαφορετική εικόνα, αλλά εξ' ίσου ενδιαφέρουσα ως περίπτωση καθώς περιέχει περιοχές που δεν είναι απόλυτα μονοχρωματικές και επιπλέον παρουσιάζει συνεχόμενες «αδελφικές» σχέσεις στο δέντρο του άξονα x.



67 Επεξεργασία Αρχικής Εικόνας

Οι παράγοντες μετατόπισης που επιλέχτηκαν είναι τέτοιοι ώστε μπορέσουμε να εξετάσουμε την περίπτωση αφαίρεσης ολόκληρων περιοχών όπως φαίνεται και από τον πίνακα με την αρχική και τελική εικόνα.



Όπως φαίνεται στους παραπάνω πίνακες η περιοχές φέρουν την ίδια «ετικέτα» και στις δύο εικόνες. Όμως οι περιοχές 7 και 8 απουσιάζουν παντελώς από την τελική εικόνα ενώ η περιοχή 6 είναι αρκετά διαφορετική.

Δενδρική Αναπαράσταση Αρχικής Εικόνας:

X Pre-Order Traversal = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

Node 1 has children:

- > (4) 2 w/ MBR: Rectangle[x=63, y=46, width=129, height=2]
- > (9) 3 w/ MBR: Rectangle[x=63, y=78, width=129, height=3]
- > (9) 4 w/ MBR: Rectangle[x=63, y=110, width=129, height=4]
- > (9) 5 w/ MBR: Rectangle[x=63, y=142, width=129, height=5]
- > (9) 6 w/ MBR: Rectangle[x=63, y=174, width=129, height=6]
- > (9) 7 w/ MBR: Rectangle[x=63, y=206, width=129, height=7]
- > (9) 8 w/ MBR: Rectangle[x=63, y=238, width=129, height=8]

Y Pre-Order Traversal = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

Node= 1 has children:

- > (4) 2 w/ MBR: Rectangle[x=63, y=46, width=129, height=2]
- > (4) 3 w/ MBR: Rectangle[x=63, y=78, width=129, height=3]
- > (4) 4 w/ MBR: Rectangle[x=63, y=110, width=129, height=4]
- > (4) 5 w/ MBR: Rectangle[x=63, y=142, width=129, height=5]
- > (4) 6 w/ MBR: Rectangle[x=63, y=174, width=129, height=6]
- > (4) 7 w/ MBR: Rectangle[x=63, y=206, width=129, height=7]
- > (4) 8 w/ MBR: Rectangle[x=63, y=238, width=129, height=8]

Όπως βλέπουμε αναφορικά με τον άξονα x οι 7 περιοχές της εικόνας ορθά θεωρούνται μεταξύ τους «αδέλφια» αφού αρχίζουν και τελειώνουν στο ίδιο ακριβώς σημείο του άξονα x.

Δενδρική Αναπαράσταση Τελικής Εικόνας:

X Pre-Order Traversal = 1, 2, 3, 4, 5, 6

Node 1 has children:

-> (4) 2 w/ MBR: Rectangle[x=68, y=122, width=129, height=2]

-> (9) 3 w/ MBR: Rectangle[x=68, y=154, width=129, height=3]

-> (9) 4 w/ MBR: Rectangle[x=68, y=186, width=129, height=4]

-> (9) 5 w/ MBR: Rectangle[x=68, y=218, width=129, height=5]

-> (9) 6 w/ MBR: Rectangle[x=68, y=250, width=129, height=3]

Y Pre-Order Traversal = 1, 2, 3, 4, 5, 6

Node 1 has children:

-> (4) 2 w/ MBR: Rectangle[x=68, y=122, width=129, height=2]

-> (4) 3 w/ MBR: Rectangle[x=68, y=154, width=129, height=3]

-> (4) 4 w/ MBR: Rectangle[x=68, y=186, width=129, height=4]

-> (4) 5 w/ MBR: Rectangle[x=68, y=218, width=129, height=5]

-> (4) 6 w/ MBR: **Rectangle[x=68, y=250, width=129, height=3]**

Για τον μετασχηματισμό αυτόν τα πραγματικά αποτελέσματα που αναμένουμε να λάβουμε είναι ακριβώς ίδια με την αναπαράσταση της τελικής εικόνας.

Πραγματικά Αποτελέσματα

X Pre-Order Traversal = 1, 2, 3, 4, 5, 6

Node 1 has children:

-> (4) 2 w/ MBR: Rectangle[x=68, y=122, width=129, height=2]

-> (9) 3 w/ MBR: Rectangle[x=68, y=154, width=129, height=3]

-> (9) 4 w/ MBR: Rectangle[x=68, y=186, width=129, height=4]

-> (9) 5 w/ MBR: Rectangle[x=68, y=218, width=129, height=5]

-> (9) 6 w/ MBR: Rectangle[x=68, y=250, width=129, height=5]

Y Pre-Order Traversal = 1, 2, 3, 4, 5, 6

-> (4) 2 w/ MBR: Rectangle[x=68, y=122, width=129, height=2]

-> (4) 3 w/ MBR: Rectangle[x=68, y=154, width=129, height=3]

-> (4) 4 w/ MBR: Rectangle[x=68, y=186, width=129, height=4]

-> (4) 5 w/ MBR: Rectangle[x=68, y=218, width=129, height=5]

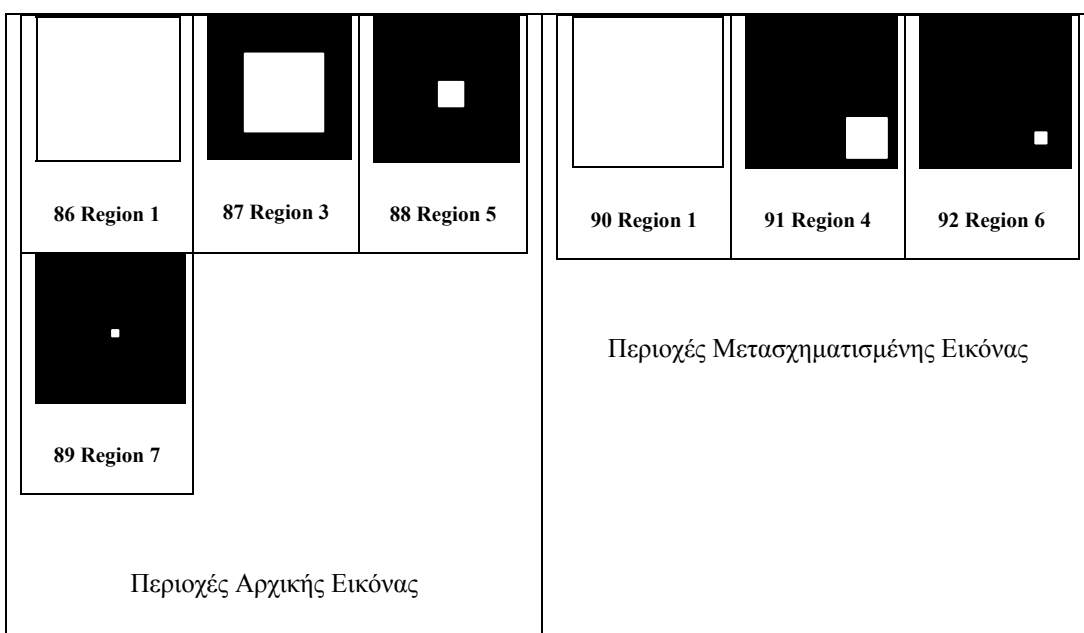
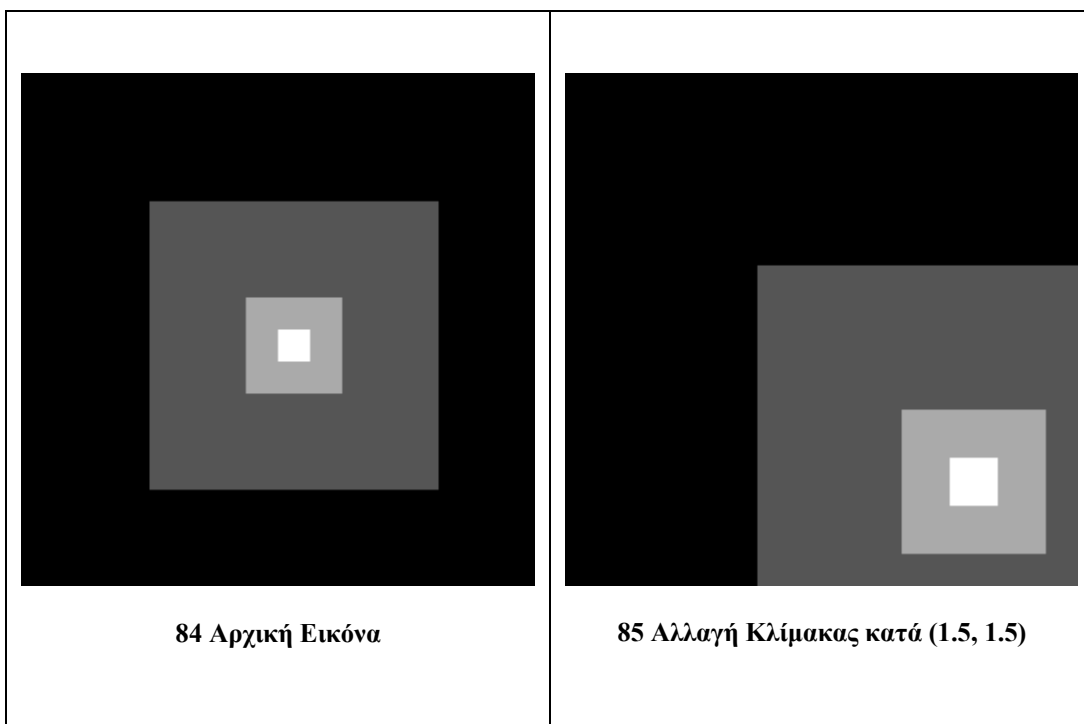
-> (6) 6 w/ MBR: **Rectangle[x=68, y=250, width=129, height=5]**

Βλέπουμε ότι ο αλγόριθμος μετατόπισης παράγει ακριβώς τις αναμενόμενες δενδρικές δομές, διατηρώντας αναλλοίωτες τις σχέσεις και εντοπίζοντας με επιτυχία τα MBR των περιοχών που παραμένουν ολόκληρες στο δέντρο. Ταυτόχρονα από το δέντρο που παρήγαγε ο αλγόριθμος ορθά λείπουν οι περιοχές 7 και 8 που δεν βρίσκονται πλέον στο ορατό επίπεδο της εικόνας. Παρατηρούμε όμως ένα ελαφρύ σφάλμα στον υπολογισμό του μεγέθους της περιοχής 6, γεγονός που αποδεικνύει όσα έχουν ήδη αναφερθεί περί αβεβαιότητας αποτελεσμάτων σε ειδικές, οριακές καταστάσεις.

Ο παράγοντας μετατόπισης λy έχει υπολογιστεί έτσι ώστε η περιοχή 6 να μην βρίσκεται ολόκληρη στο ορατό πεδίο της εικόνας μετά τον μετασχηματισμό. Επομένως, θα πρέπει το μέγιστο y της περιοχής αυτής να είναι το μέγιστο της ρίζας που είναι ίσο με 255. Όπως βλέπουμε όμως ο αλγόριθμος κατασκευής του y -δέντρου όταν εφαρμόστηκε για την μετασχηματισμένη εικόνα έδωσε ως μέγιστο y το 253. Αυτές οι αδυναμίες σχετίζονται βέβαια με την μέθοδο που χρησιμοποιείται για την κατάτμηση της εικόνας σε περιοχές και όχι με την μέθοδο αναπαράστασής της.

4. Αλλαγή Κλίμακας με παράγοντες $\lambda x=1.5$, $\lambda y=1.5$

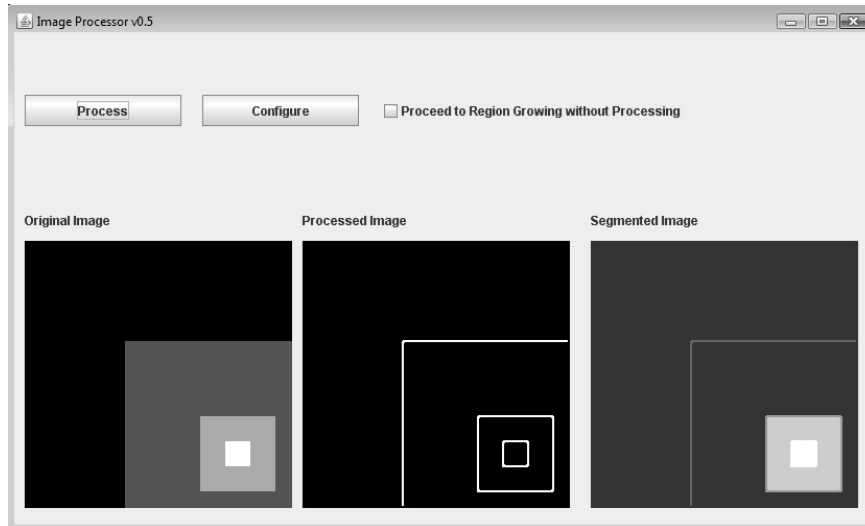
Για την αλλαγή κλίμακας θα εξετάσουμε μία απλή περίπτωση μεγέθυνσης που προκαλεί μερική αφαίρεση μιας από τις περιοχές της αρχικής εικόνας. Το πείραμα αυτό θα βοηθήσει στην κατανόηση και ορισμένων ακόμη σημείων αβεβαιότητας που προκύπτουν από την επεξεργασία της εικόνας.



Οι αντιστοιχίες των «ετικετών» ανάμεσα στην αρχική και την τελική εικόνα έχουν ως εξής:

Region 1 – Region 1, Region 5 – Region 4, Region 7 – Region 6

Παρατηρούμε ότι η Region 3 δεν έχει αντίστοιχο στην τελική εικόνα. Η έξοδος του συστήματος κατά την επεξεργασία της τελικής εικόνας για την κατασκευή των δέντρων αναπαράστασής της βοηθά στο να δώσουμε μια εξήγηση:



93 Επεξεργασία Τελικής Εικόνας

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται ξεκάθαρα ο λόγος αδυναμίας εντοπισμού ενός αντίστοιχου της Περιοχής 3 της αρχικής εικόνας. Έπειτα από τη μεγέθυνση η περιοχή αυτή εξακολουθεί να βρίσκεται εν μέρει στο ορατό επίπεδο, όμως δεν είναι δυνατόν να κατασκευαστεί ένα πλήρες περίγραμμα για να καθορίσει το εσωτερικό της. Με δεδομένη λοιπόν αυτή την αδυναμία εντοπισμού καταλήγουμε στις παρακάτω δενδρικές αναπαραστάσεις:

Δενδρική Αναπαράσταση Αρχικής Εικόνας:

X Pre-Order Traversal = 1, 3, 5, 7

Node 1 has children:

-> (4) 3 w/ MBR: Rectangle[x=65, y=65, width=141, height=141]

Node 3 has children:

-> (4) 5 w/ MBR: Rectangle[x=113, y=113, width=45, height=45]

Node 5 has children:

-> (4) 7 w/ MBR: Rectangle[x=129, y=129, width=14, height=13]

Y Pre-Order Traversal = 1, 3, 5, 7

Node 1 has children:

-> (4) 3 w/ MBR: Rectangle[x=65, y=65, width=141, height=141]

Node 3 has children:

-> (4) 5 w/ MBR: Rectangle[x=113, y=113, width=45, height=45]

Node 5 has children:

-> (4) 7 w/ MBR: Rectangle[x=129, y=129, width=14, height=13]

Δενδρική Αναπαράσταση Τελικής Εικόνας:

X Pre-Order Traversal = 1, 4, 6

Node 1 has children:

-> (4) 4 w/ MBR: Rectangle[x=169, y=169, width=69, height=69]

Node 4 has children:

-> (4) 6 w/ MBR: Rectangle[x=193, y=193, width=21, height=21]

Y Pre-Order Traversal = 1, 4, 6

Node 1 has children:

-> (4) 4 w/ MBR: Rectangle[x=169, y=169, width=69, height=69]

Node 4 has children:

-> (4) 6 w/ MBR: Rectangle[x=193, y=193, width=21, height=21]

Με βάση τις αντιστοιχίες στις «ετικέτες» των περιοχών μπορούμε να κατασκευάσουμε τον πίνακα με τα αναμενόμενα και τα πραγματικά αποτελέσματα:

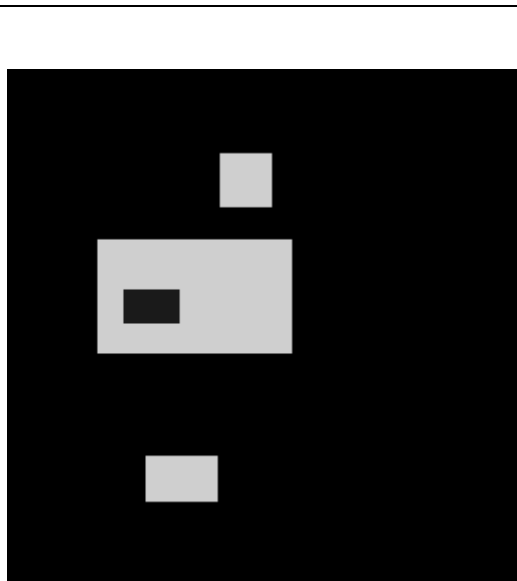
Αναμενόμενα Αποτελέσματα	Πραγματικά Αποτελέσματα
<p>X Pre-Order Traversal = 1, 5, 7</p> <p>Node 1 has children:</p> <p>-> (4) 5 w/ MBR: Rectangle[x=169, y=169, width=69, height=69]</p> <p>Node 5 has children:</p> <p>-> (4) 7 w/ MBR: Rectangle[x=193, y=193, width=21, height=21]</p>	<p>X Pre-Order Traversal = 1, 3, 5, 7</p> <p>Node 1 has children:</p> <p>-> (6) 3 w/ MBR: Rectangle[x=98, y=98, width=157, height=157]</p> <p>Node 3 has children:</p> <p>-> (4) 5 w/ MBR: Rectangle[x=170, y=170, width=67, height=67]</p> <p>Node 5 has children:</p> <p>-> (4) 7 w/ MBR: Rectangle[x=194, y=194, width=21, height=19]</p>
<p>Y Pre-Order Traversal = 1, 5, 7</p> <p>Node 1 has children:</p> <p>-> (4) 5 w/ MBR: Rectangle[x=169, y=169, width=69, height=69]</p> <p>Node 5 has children:</p> <p>-> (4) 7 w/ MBR: Rectangle[x=193, y=193, width=21, height=21]</p>	<p>Y Pre-Order Traversal = 1, 3, 5, 7</p> <p>Node 1 has children:</p> <p>-> (6) 3 w/ MBR: Rectangle[x=98, y=98, width=157, height=157]</p> <p>Node 3 has children:</p> <p>-> (4) 5 w/ MBR: Rectangle[x=170, y=170, width=67, height=67]</p> <p>Node= 5 has children:</p> <p>-> (4) 7 w/ MBR: Rectangle[x=194, y=194, width=21, height=19]</p>

Το βασικό συμπέρασμα που εξάγεται και από τον πίνακα σύγκρισης αποτελεσμάτων είναι η απουσία της Περιοχής 3 της αρχικής εικόνας από τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Παρ' όλα αυτά πρέπει να σημειώσουμε ότι ο αλγόριθμος μετατροπής της δενδρικής αναπαράστασης εκφράζει ορθότερα την πληροφορία που φέρει η τελική εικόνα καθώς λαμβάνει υπ' όψιν του την Περιοχή 3. Επιπλέον πρέπει να σημειώσουμε και τις μικρές διαφορές που παρατηρούνται ανάμεσα στις τιμές των παραμέτρων αντίστοιχων MBR και οι οποίες οφείλονται

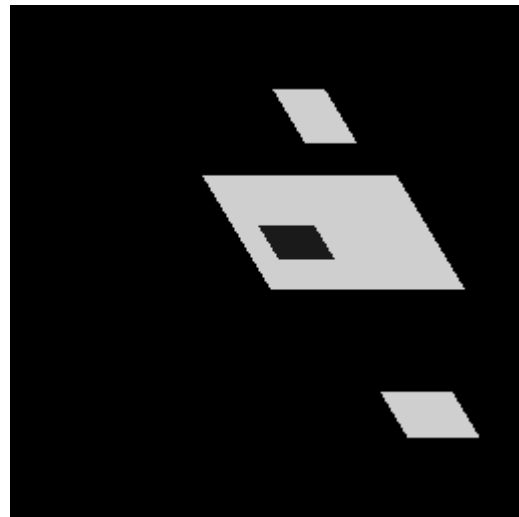
κυρίως σε στρογγυλοποιήσεις μιας και οι εικόνες αποτελούνται από διακριτά στοιχεία.

5. Κύρτωση με παράγοντα $\lambda_x = 0.6$

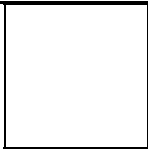
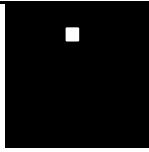
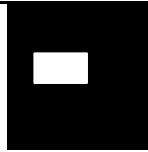

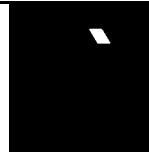
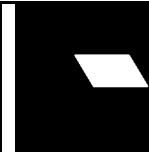
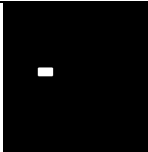

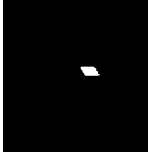

Σχετικά με τον μετασχηματισμό της κύρτωσης θα εξετάσουμε μια αρκετά απλή περίπτωση μιας και όπως έχει ήδη αναφερθεί ο αλγόριθμος που προτείνεται βρίσκει εφαρμογή σε πολύ συγκεκριμένες περιπτώσεις.



94 Αρχική Εικόνα



95 Κύρτωση με $\lambda=0.6$ στον άξονα x

					
96 Region 1	97 Region 3	98 Region 5	101 Region 1	102 Region 34	103 Region 5
					
99 Region 7	100 Region 9		104 Region 7	105 Region 9	
Περιοχές Αρχικής Εικόνας			Περιοχές Μετασχηματισμένης Εικόνας		

Δενδρική Αναπαράσταση Αρχικής Εικόνας:

X Pre-Order Traversal = 1, 5, 7, 9, 3

Node 1 has children:

-> (4) 5 w/ MBR: Rectangle[x=46, y=86, width=94, height=54]

Node 5 has children:

-> (4) 7 w/ MBR: Rectangle[x=59, y=111, width=25, height=14]

-> (4) 9 w/ MBR: Rectangle[x=70, y=194, width=33, height=20]

-> (4) 3 w/ MBR: Rectangle[x=107, y=43, width=23, height=24]

Y Pre-Order Traversal = 1, 3, 5, 7, 9

Node 1 has children:

-> (4) 3 w/ MBR: Rectangle[x=107, y=43, width=23, height=24]

-> (4) 5 w/ MBR: Rectangle[x=46, y=86, width=94, height=54]

-> (4) 9 w/ MBR: Rectangle[x=70, y=194, width=33, height=20]

Node 5 has children:

-> (4) 7 w/ MBR: Rectangle[x=59, y=111, width=25, height=14]

Δενδρική Αναπαράσταση Τελικής Εικόνας:

X Pre-Order Traversal = 1, 5, 7, 3, 9

Node 1 has children:

-> (4) 5 w/ MBR: Rectangle[x=99, y=86, width=123, height=54]

-> (4) 9 w/ MBR: Rectangle[x=188, y=194, width=42, height=20]

Node 5 has children:

-> (4) 7 w/ MBR: Rectangle[x=128, y=111, width=31, height=14]

-> (4) 3 w/ MBR: Rectangle[x=134, y=43, width=35, height=24]

Y Pre-Order Traversal = 1, 3, 5, 7, 9

Node 1 has children:

-> (4) 3 w/ MBR: Rectangle[x=134, y=43, width=35, height=24]

-> (4) 5 w/ MBR: Rectangle[x=99, y=86, width=123, height=54]

-> (4) 9 w/ MBR: Rectangle[x=188, y=194, width=42, height=20]

Node= 5 has children:

-> (4) 7 w/ MBR: Rectangle[x=128, y=111, width=31, height=14]

Εφ' όσον η κύρτωση αφορά τον άξονα x όπως ήταν αναμενόμενο τα y-δέντρα της αρχικής και τελικής εικόνας είναι απολύτως όμοια όσον αφορά τις χωρικές σχέσεις, με μοναδική διαφορά τις τιμές των παραμέτρων των MBR.

Το αποτέλεσμα που αναμένουμε να δώσει ο αλγόριθμος της κύρτωσης στην περίπτωση αυτή είναι δύο δέντρα όμοια με αυτά της τελικής εικόνας.

Πραγματικά Αποτελέσματα

X Pre-Order Traversal = 1, 5, 7, 3, 9

Node 1 has children:

-> (4) 5 w/ MBR: Rectangle[x=46, y=86, width=94, height=54]

-> (4) 9 w/ MBR: Rectangle[x=70, y=194, width=33, height=20]

node= 5 has children:

-> (4) 7 w/ MBR: Rectangle[x=59, y=111, width=25, height=14]

-> (4) 3 w/ MBR: Rectangle[x=107, y=43, width=23, height=24]

Y Pre-Order Traversal = 1, 3, 5, 7, 9

Node 1 has children:

-> (4) 3 w/ MBR: Rectangle[x=107, y=43, width=23, height=24]

-> (4) 5 w/ MBR: Rectangle[x=46, y=86, width=94, height=54]

-> (4) 9 w/ MBR: Rectangle[x=70, y=194, width=33, height=20]

Node 5 has children:

-> (4) 7 w/ MBR: Rectangle[x=59, y=111, width=25, height=14]

Ο αλγόριθμος εκτέλεσης της κύρτωσης όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα έχει δώσει αποτελέσματα ίδια με αυτά που προέκυψαν από την κατασκευή των δέντρων της τελικής εικόνας. Παρατηρούμε ότι η Περιοχή 9 που στην αρχική εικόνα καλύπτεται αναφορικά με τον άξονα x εξ' ολοκλήρου από την Περιοχή 5 έπειτα από την κύρτωση με $\lambda x=0.6$ έχει συνδεθεί με τον πατέρα της Περιοχής 5, την ρίζα του δέντρου, καθώς το λx υπολογίζεται να ξεπερνά τον οριακό παράγοντα κύρτωσης για τις περιοχές αυτές.

Κεφάλαιο 4 – Συμπεράσματα και Προοπτικές

Τα περισσότερα συστήματα CBIR που αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια των προηγούμενων ετών έχουν μια παρόμοια γενική προσέγγιση, βασίζονται δηλαδή στην κατ' αρχήν κατάτμηση της εικόνας σε περιοχές και έπειτα εξάγουν χαμηλού επιπέδου χαρακτηριστικά γνωρίσματα από αυτές. Εντούτοις, κανένα από αυτά τα συστήματα δεν υποστηρίζει μια γενική και ευέλικτη μέθοδο κατάτμησης και εξαγωγής χαρακτηριστικών που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ανεξάρτητα από τον τύπο των εικόνων.

Στα πλαίσια της παρούσης Διπλωματικής Εργασίας βασικές αρχές και προσεγγίσεις από τέτοια συστήματα συνδυάστηκαν ώστε να αντιμετωπίσουν ένα συγκεκριμένο πρόβλημα: τις δυνατότητες αναζήτησης γεωμετρικά μετασχηματισμένων εκφάνσεων μιας αρχικής εικόνας. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο αναζητήθηκε κυρίως μία αναπαράσταση τέτοια ώστε το αποτέλεσμα ενός γεωμετρικού μετασχηματισμού να μπορεί να εφαρμοστεί σε αυτήν χωρίς να είναι απαραίτητη οποιαδήποτε γνώση για την τελική, μετασχηματισμένη εικόνα.

Το σύστημα που υλοποιήθηκε αποτελεί σαφώς μια απλοποιημένη εκδοχή συστήματος CBIR, διατηρεί όμως εκείνα τα βασικά στοιχεία που διαμορφώνουν τις δυνατότητες ανάκτησης εικόνας με βάση το περιεχόμενο. Το στάδιο προεπεξεργασίας της εικόνας είναι βασισμένο στην εφαρμογή γνωστών αλγορίθμων (Canny, Sobel, Mathematical Morphology, κλπ.) και σε συνδυασμούς αυτών που έχουν ήδη εφαρμοστεί με επιτυχία στο παρελθόν. Αντίθετα η αναπαράσταση που σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε αποτελεί το πρωτότυπο τμήμα της παρούσης μελέτης, γιατί αν και βασίστηκε σε γνωστές μεθόδους χωρικής αναπαράστασης (Minimum Bounding Rectangles, 2D C-Tree, κλπ.) διατήρησε από αυτές μονάχα τις γενικές αρχές τους, εισάγοντας ταυτόχρονα ένα διαφοροποιημένο σύνολο τελεστών χωρικών σχέσεων και μία νέα δενδρική δομή.

Τα πειραματικά αποτελέσματα που εξήχθησαν προέρχονται από ένα περιορισμένο σύνολο συνθετικών εικόνων με συγκεκριμένους περιορισμούς (π.χ. οι περιοχές ορίζονται εξ' αρχής ως ορθογώνια παραλληλόγραμμα παρακάμπτοντας το στάδιο υπολογισμού του MBR για ένα τυχαίο πολύγωνο),

όμως δεν μπορούν παρά να θεωρηθούν τουλάχιστον ενθαρρυντικά. Στις περισσότερες περιπτώσεις και ιδιαίτερα σε μετασχηματισμούς που δεν προκαλούν απώλεια πληροφορίας από την αρχική εικόνα η ταύτισή τους με το αναμενόμενο αποτέλεσμα ήταν απόλυτη, αποδεικνύοντας κατ' αρχήν ότι η αναπαράσταση των χωρικών σχέσεων των αντικειμένων σε μία εικόνα αποτελεί μία από τις σημαντικότερες πηγές πληροφορίας για αποτελεσματική ανάκτηση.

Επιπλέον, τα αποτελέσματα διευκρινίζουν ότι η απόδοση ενός τέτοιου συστήματος μπορεί να ποικίλει ανάλογα με διάφορους παράγοντες όπως η μέθοδος εξαγωγής χαρακτηριστικών γνωρισμάτων και το είδος αυτών, η μέθοδος κατάτμησης της εικόνας που εφαρμόστηκε, κλπ. Αυτό σημαίνει ότι ακόμα και αν τα τοπικά και χωρικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα από τις περιοχές χρησιμοποιούνται, τα αποτελέσματα μπορεί να διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με το σημασιολογικό περιεχόμενο που επιθυμούμε να περιγράψουμε και την επίδραση των ατελειών της κατάτμησης σε δεδομένους τύπους εικόνας.

Η κατάτμηση είναι πιθανότατα ο σημαντικότερος παράγων που καθορίζει την απόδοση ενός συστήματος CBIR καθώς οι χωρικές πληροφορίες μεταξύ των περιοχών που εξάγονται είναι το βασικότερο βήμα προς την «ανθρώπινου τύπου» κατανόηση της εικόνας από το μηχανικό σύστημα. Εάν η κατάτμηση παρέχει μια ελλιπή περιγραφή των περιοχών, η ποιότητα των χωρικών πληροφοριών υποβιβάζεται στην ισχύ της περιγραφής τους και η περιγραφή αυτή είναι το κλειδί για την αποτελεσματική και αποδοτική ανάκτηση.

Με βάση όλα τα παραπάνω και με δεδομένο την μέχρι σήμερα αδυναμία των ερευνητών να σχεδιάσουν ένα σύστημα ανάκτησης εικόνας με βάση το περιεχόμενο το σημαντικότερο μελλοντικό βήμα στην εξέλιξη του παρόντος συστήματος είναι η επέκταση του μοντέλου αναπαράστασης και των αλγορίθμων μετασχηματισμού, ώστε να καλύπτονται συνολικά οι τέσσερις βασικοί γεωμετρικοί μετασχηματισμοί. Επιπλέον, η περαιτέρω βελτίωση της μεθόδου κατάτμησης της εικόνας σε περιοχές θα προσδώσει στο σύστημα νέες δυνατότητες και θα το καταστήσει μια ολοκληρωμένη πρόταση στον χώρο της Επεξεργασίας και Ανάκτησης Πολυμέσων.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

- [1] C. Faloutsos, W. Equitz, M. Flickner, W. Niblack, D. Petkovic, and R. Barber, “Efficient and Effective Querying by Image Content”, *Journal of Intelligent Information Systems*, vol. 3, pp. 231-262, 1994.
- [2] M. Ortega, Y. Rui, K. Chakrabarti, S. Mehrotra, and T. S. Huang. “Supporting similarity queries in MARS”, *In Proceedings of the 5th ACM International Multimedia Conference*, pp. 403-413, Seattle, Washington, 1997.
- [3] T. Gevers and A. Smeulders, “Pictoseek: Combining color and shape invariant features for image retrieval”, *IEEE Transactions on Image Processing.*, vol. 9, pp. 102-119, 2000.
- [4] J.R. Smith and S. F. Chang, “VisualSEEK: a fully automated content-based image query system”, *In Proc. of ACM Multimedia*, Boston, Nov. 1996.
- [5] C. Carson, S. Belongie, H. Greenspan, and J. Mailk, “Blobworld: Image segmentation using expectation-maximization and its application to image querying”, *IEEE Transactions on PAMI*, vol. 24, pp. 1026–1038, 2002.
- [6] W.Y. Ma, and B.S. Manjunath, “NeTra: A Toolbox for Navigating Large Image Databases”, *IEEE Internationa. Conference. on Image Processing*, vol. 1, pp. 568-571, Santa Barbara, USA, Oct. 1997.
- [7] S. Ardizzoni, I. Bartolini, M. Patella, “Windsurf: region-based image retrieval using wavelets”, *10th International. Workshop on Database and Expert Systems App.*, p. 167-173, 1999.
- [8] J.Wang, J. Li, G. Wiederhold, “SIMPLicity: Semantics-sensitive integrated matching for picture libraries”, *IEEE Transactions on PAMI*, vol. 23, pp. 947-963, 2000.
- [9] Linda G. Shapiro and George C. Stockman (2001): “Computer Vision”, pp 279-325, New Jersey, Prentice-Hall, ISBN 0-13-030796-3

- [10] K. V. Mardia, T. J. Hainsworth, "A spatial thresholding method for image segmentation", *IEEE Transactions on PAMI*, vol. 10, pp. 919-927, Nov. 1988.
- [11] M.L.G Althouse, C. Chang, "Image segmentation by local entropy methods", *Proceedings International Conf. on Image Processing*, vol. 3, pp. 61-64, Oct. 1995.
- [12] S. Kiranyaz, M. Ferreira, M. Gabbouj, "Automatic Object Extraction over Multi- Scale Edge Field for Multimedia Retrieval", *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 15, pp. 3759-3772, 2006.
- [13] V. Luc and P. Soilt, "Watershed in digital spaces: An efficient algorithm based on immersion simulations". *IEEE Transactions on PAMI*, vol. 13, pp. 583-598, 1991.
- [14] Q. Zhou, L. Ma, M. Zhou, D. Chelberg, "Strong Image Segmentation from a Datadriven Perspective: Impossible?", *6th IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation*, 2004.
- [15] Y. Deng, C. Kenney, M. S. Moore, and B. S. Manjunath, "Peer Group Filtering and Perceptual Color Image Quantization", *Proc. of IEEE Int. Symposium on Circuits and Systems*, vol. 4, pp. 21-24, 1999.
- [16] Y. Liu, D. S. Zhang, G. Lu, and W.-Y. Ma, "Region-Based Image Retrieval with High-Level Semantic Color Names", *In Proc. of IEEE 11th International Multi-Media Modelling Conference*, pp. 180-187, Melbourne, Australia, 2005.
- [17] G. Pass, and R. Zabith, "Histogram refinement for content-based image retrieval", *IEEE Workshop on Applications of Computer Vision*, pp. 96-102, 1996.
- [18] P.C. Mahalanobis, On the generalized distance in statistics, *Proceedings of the National Institute of Science of India* 12 (1936)
- [19] J. Fauqueur and N. Boujemaa, "Region-Based Image Retrieval: Fast Coarse Segmentation and Fine Color Description", in *Proc. of IEEE Int. Conf. on Image Processing*, Rochester, USA, Sep. 2002.

- [20] A. Natsev, R. Rastogi, K. Shim, "WALRUS: a similarity retrieval algorithm for image databases", *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 16, pp. 301-318, 2004.
- [21] D. Papadias, Y. Theodoridis, "Spatial Relations, Minimum Bounding Rectangles, and Spatial Data Structures", *International Journal of Geographical Information Science*, 1997
- [22] SY Lee, FJ Hsu, "2D C-STRING: A NEW SPATIAL KNOWLEDGE REPRESENTATION FOR IMAGE DATABASE SYSTEMS", *Pattern Recognition*, 1990
- [23] FJ HSU, SUHYIN LEE, BAOS LIN, "2D C-Tree Spatial Representation for Iconic Image", *Journal of Visual Languages and Computing*, 1999
- [24] FJ Hsu, SY Lee, BS Lin, "Similarity Retrieval by 2D C-Trees Matching in Image Databases", *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 1998
- [25] E. Jungert, "Extended Symbolic Projections as a Knowledge Structure for Spatial Reasoning", *Proceedings of the 4th International Conference on Pattern Recognition*, 1988
- [26] J. Canny, "A Computational Approach to Edge Detection", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1986
- [27] Sobel I., Feldman,G., "A 3x3 Isotropic Gradient Operator for Image Processing", *presented at a talk at the Stanford Artificial Project*, 1968
- [28] Jean Serra (1982), *Image Analysis and Mathematical Morphology*, ISBN 0126372403
- [29] R. Adams and L. Bischof, "Seeded Region Growing", *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 16, pp. 641-647, 1994

- [30] Josef Sivic, Andrew Zisserman, “Video Google: A Text Retrieval Approach to Object Matching in Videos”, *Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Computer Vision*, 2003
- [31] Horst Bunke, Marcel Zumbuhl, “Acquisition of 2D Shape Models from Scenes with Overlapping Objects using String Matching”, *Pattern Analysis and Applications – Springer*, 1999
- [32] D. Depalov, T. N. Pappas, D. Li and B. Gandhi “Perceptually Based Techniques for Semantic Image Classification and Retrieval,” *Human Vision and Electronic Imaging, SPIE Conference*, San Jose, CA, Jan. 2006
- [33] I. Pratikakis, I. Vanhamel, H. Sahli, B. Gatos, S.J.Perantonis, “Unsupervised watershed-driven region-based image retrieval“, *IEE Proceedings on Vision, Image and Signal Processing*, vol. 153, pp. 313- 322, Jun. 2006