



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΗΜΑΝΤΙΚΩΝ  
ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ  
ΕΙΚΟΝΑΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Νικόλαος Γ. Λιοντάκης

Άρης Α. Τσαντούλας

**Επιβλέπων :** Κωνσταντίνος Παπαοδυσσεύς

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2014





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΗΜΑΝΤΙΚΩΝ  
ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ  
ΕΙΚΟΝΑΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Νικόλαος Γ. Λιοντάκης

Άρης Α. Τσαντούλας

**Επιβλέπων :** Κωνσταντίνος Παπαοδυσσεύς

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 30<sup>η</sup> Απριλίου 2014.

.....  
Κωνσταντίνος Παπαοδυσσεύς

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Ηλίας Κουκούτσης

Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Νικόλαος Θεοδώρου

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2014



.....  
Νικόλαος Γ. Λιοντάκης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

.....  
Άρης Α. Τσαντούλας

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Νικόλαος Λιοντάκης, 2014

Copyright © Άρης Τσαντούλας, 2014.

Copyright © Κωνσταντίνος Παπαοδυσσεύς

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι η μελέτη ορισμένων από τους πλέον σύγχρονους και αποδοτικούς αλγόριθμους αυτόματης κατάτμησης εικόνας πάνω σε αρχαίες επιγραφές, ως και η σύγκριση της απόδοσης αυτών. Οι επιγραφές αυτές, έχουν φωτογραφηθεί με Φωτογραφική μηχανή υψηλής ανάλυσης (από 60 έως 600 εικονοστοιχεία ανά εκατοστό) και στην συνέχεια η κάθε μία έχει διαιρεθεί στα επιμέρους γράμματα που την απαρτίζουν, προκειμένου να γίνει ξεχωριστή κατάτμηση σε κάθε γράμμα, σε αποχρώσεις του γκρι (grey scale). Παράλληλα, σε κάθε γράμμα έχει γίνει από επιστήμονες του κλάδου του μηχανικού, κατάτμηση την οποία αναφέρουμε «ότι έχει γίνει με το χέρι». Ο στόχος της κατάτμησης των εικόνων των γραμμάτων με ανθρώπινη παρέμβαση, είναι η δημιουργία ενός μέτρου αναφοράς, δεδομένου ότι αυτή τη θεωρούμε ως την πλέον αξιόπιστη κατάτμηση.

Στα κεφάλαια αυτής της διπλωματικής παρουσιάζονται μερικές από τις πλέον βασικές υπάρχουσες μεθόδους κατάτμησης εικόνας και πραγματοποιείται η σύγκρισή τους προκειμένου να διευκρινισθεί η αποδοτικότερη εξ αυτών, ως και τα πλεονεκτήματα και οι αδυναμίες της κάθε μεθόδου. Αρχικά, παρουσιάζονται τρεις σύγχρονοι και ευρέως χρησιμοποιούμενοι αλγόριθμοι: watershed, chan-veye, multiphase, οι οποίοι βασίζονται σε διαφορετικές τεχνικές κατάτμησης. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ένας νέος αλγόριθμος αυτόματης κατάτμησης εικόνας, που έχει αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια. Τέλος, παρατίθενται συγκριτικοί πίνακες και εικόνες προκειμένου να εκτιμηθούν και πρακτικά τα αποτελέσματα της κάθε μεθόδου και να αναδειχθεί η καταλληλότερη και αποδοτικότερη μέθοδος για τον κλάδο της επιγραφολογίας. Όλες οι εικόνες έχουν συγκρίνονται και με το αποτέλεσμα που έχουμε λάβει από την κατάτμηση με το χέρι που αποτελεί το αρχικό κριτήριο ανάδειξης της καλύτερης μεθόδου.

## ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Αλγόριθμος Watershed , Active Contours ,κατάτμηση εικόνας, ομαδοποίηση, αρχαίες επιγραφές





## ABSTRACT

The aim of this thesis is to study some of the most modern and efficient algorithms automatic image segmentation on ancient inscriptions, and also the comparison of the performance of these. These inscriptions have been photographed with high resolution cameras ( from 60 to 600 pixels per cm ) and then each of them has been divided in the letters that compose it , in order to make a separate partition to each letter , in shades of grey (grey scale). At the same time, each letter has become by scientists of the engineering industry, segmentation which mention "that is done by hand". The target of the letter images' segmentation by human intervention is to create a benchmark, since this method is considered as the most reliable segmentation.

In the chapters of this thesis are presenting some of the most basic current image segmentation methods, and the comparison is made in order to clarify the most efficient ones, and the strengths and weaknesses of each method . Initially, three modern and widely used algorithms have been performed: watershed, chan-veese, multiphase, which are based on different segmentation's techniques. Thereafter, a new automatic image segmentation algorithm is presented, which has been developed in recent years. Finally, comparative tables and images have been given in order to assess and record the results of each method and to highlight the most appropriate and efficient method for the field of epigraphy. All images have been compared with the results we have obtained from the segmentation by hand, which is the primary criterion of the enhancement of the best method.

## KEYWORDS

Watershed Algorithm , Active Contours, image segmentation, clustering, ancient inscriptions



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	7
ABSTRACT.....	9
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	11
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	13
<b>1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>15</b>
1.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΩΣ ΤΩΡΑ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΓΝΩΣΕΩΣ (STATE-OF-THE-ART).....	15
1.2 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ .....	18
1.3 ΤΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ .....	19
<b>2 ΜΕΡΙΚΟΙ ΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΕΥΡΕΩΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ.....</b>	<b>21</b>
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	21
2.2 Ο ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ WATERSHED.....	23
2.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ .....	23
2.2.2 ΕΚΔΟΧΕΣ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ .....	24
2.2.3 ΤΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ .....	26
2.3 ACTIVE CONTOURS .....	28
2.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	28
2.3.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ACTIVE CONTOURS .....	29
2.3.3 ΜΕΘΟΔΟΣ GEODESIC ACTIVE CONTOURS .....	29
2.4 CHAN-VESE.....	33
2.5 MULTIPHASE .....	34
<b>3 ΕΝΑΣ ΝΕΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ .....</b>	<b>39</b>
3.1 ΕΞΑΛΕΙΨΗ ΘΟΡΥΒΟΥ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ.....	40
3.2 ΟΛΙΣΘΗΣΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΟΛΗΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ.....	41
3.3 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΤΟΥ ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΙΚΟΥ ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΚΑΘΕ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΜΕ ΔΥΟ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΕΣ ΚΑΝΟΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ. ....	42

3.4	ΕΥΡΕΣΗ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΚΑΜΠΗΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΚΑΝΟΝΙΚΩΝ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ.....	43
3.5	ΑΡΧΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΘΕΜΑΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΑΚΜΗΣ .....	44
3.6	ΕΞΑΛΕΙΨΗ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ ΚΑΙ ΟΜΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΘΕΜΑΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ .	47
3.7	ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΕΙΚΟΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΟΥ ΑΠΕΜΕΙΝΑΝ ΣΤΗ ΔΕΟΥΣΑ ΠΕΡΙΟΧΗ .....	49
3.8	ΤΕΛΙΚΟΣ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΘΕΜΑΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΤΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΑΦΕΝΟΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ ΑΦΕΤΕΡΟΥ .....	50
4	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΑΝΩΤΕΡΩ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ ΑΡΧΑΙΩΝ ΕΠΙΓΡΑΦΩΝ.....	51
4.1	ΕΝΔΟΓΕΝΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΕΙΚΟΝΩΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΓΡΑΦΩΝ .....	52
4.2	ΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΤΩΝ ΕΠΙΓΡΑΦΩΝ.....	54
4.3	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΣΤΟ ΔΕΙΓΜΑ.....	60
5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	85
6	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	89

## ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.5-1 .....	35
Εικόνα 2.5-2 .....	35
Εικόνα 2.5-3 .....	36
Εικόνα 2.5-4 .....	36
Εικόνα 2.5-5 .....	36
Εικόνα 2.5-6 .....	37
Εικόνα 4.2-1 .....	54
Εικόνα 4.2-2 .....	55
Εικόνα 4.2-3 .....	56
Εικόνα 4.2-4 .....	57
Εικόνα 4.2-5 .....	57
Εικόνα 4.2-6 .....	58
Εικόνα 4.2-7 .....	59
Εικόνα 4.2-8 .....	59
Εικόνα 4.3-1 .....	61
Εικόνα 4.3-2 .....	61
Εικόνα 4.3-3 .....	62
Εικόνα 4.3-4 .....	62
Εικόνα 4.3-5 .....	63
Εικόνα 4.3-6 .....	63
Εικόνα 4.3-7 .....	64
Εικόνα 4.3-8 .....	64
Εικόνα 4.3-9 .....	65
Εικόνα 4.3-10 .....	65
Εικόνα 4.3-11 .....	66
Εικόνα 4.3-12 .....	66
Εικόνα 4.3-13 .....	67
Εικόνα 4.3-14 .....	68
Εικόνα 4.3-15 .....	68

Εικόνα 4.3-16.....	69
Εικόνα 4.3-17.....	70
Εικόνα 4.3-18.....	70
Εικόνα 4.3-19.....	71
Εικόνα 4.3-20.....	71
Εικόνα 4.3-21.....	72
Εικόνα 4.3-22.....	73
Εικόνα 4.3-23.....	73
Εικόνα 4.3-24.....	74
Εικόνα 4.3-25.....	75
Εικόνα 4.3-26.....	75
Εικόνα 4.3-27.....	76
Εικόνα 4.3-28.....	76
Εικόνα 4.3-29.....	77
Εικόνα 4.3-30.....	77
Εικόνα 4.3-31.....	78
Εικόνα 4.3-32.....	78
Πίνακας 4.3-1.....	82
Πίνακας 4.3-2.....	83

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΩΣ ΤΩΡΑ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΓΝΩΣΕΩΣ (STATE-OF-THE-ART)

Στη σύγχρονη εποχή της ψηφιοποίησης και του αυτοματισμού, η λήψη, η επεξεργασία και η αναγνώριση – ανάγνωση μιας εικόνας από ένα υπολογιστή αποτελεί ένα ακόμη στοίχημα που πρέπει να κερδηθεί. Αρχικά, το πρώτο βήμα που έχει γίνει, είναι η ψηφιακή επεξεργασία της εικόνας, ως μέρος της ευρύτερης έννοιας της ψηφιακής επεξεργασίας σήματος, η οποία ως μέθοδος, σε σχέση με την αναλογική, έχει αρκετά πλεονεκτήματα.

Συγκεκριμένα, το βασικό προτέρημα της ψηφιοποίησης είναι το γεγονός ότι τα αποτελέσματά μας δεν εξαρτώνται από την κατάσταση, στην οποία μπορεί να περιέλθει η εικόνα από πιθανές αλλοιώσεις, που μπορεί να συμβούν λόγω φυσικής φθοράς από τον χρόνο, εκθέσεώς της στο φως και το περιβάλλον, αλλά και της συνεχούς χρήσης, όπως συμβαίνει με την αναλογική ανάλυση.

Παράλληλα, η ψηφιακή επεξεργασία επιτρέπει τη χρήση περισσότερων και πιο πολύπλοκων αλγορίθμων, οι οποίοι χωρίς τη χρήση υπολογιστών θα ήταν πολύ δύσκολο να εφαρμοσθούν στην πράξη. Έτσι βλέπουμε, ότι ακόμη και με τη χρήση απλών αλγορίθμων, μπορούμε να περιορίσουμε ή και να εξαλείψουμε το θόρυβο και την παραμόρφωση που υπάρχει και να αναδείξουμε κομμάτια της εικόνας και πληροφορίες που με «γυμνό μάτι» δεν θα μπορούσαμε.

Η κατάτμηση εικόνας (image segmentation), ιδιαίτερα δε η αυτόματη κατάτμησή της, αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι της επεξεργασίας εικόνας και ουσιαστικά πρόκειται για το διαχωρισμό των διαφόρων αντικειμένων της υπό επεξεργασία εικόνας από το φόντο. Συγκεκριμένα, μας ενδιαφέρει ο κατακερματισμός μιας ψηφιακής εικόνας και η ομαδοποίηση των pixels, βάσει κάποιου κοινού χαρακτηριστικού όπως το χρώμα, η υφή ή η πυκνότητα. Η ομαδοποίηση των δεδομένων (clustering) αποτελεί το σπουδαιότερο μέρος της κατάτμησης, καθώς από εκεί εξαρτάται το κατά πόσο θα καταφέρουμε να διαχωρίσουμε το τμήμα της εικόνας, το οποίο χρήζει διαχωρισμού. Γι' αυτό το λόγο, οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται για την κατάτμηση, αφορούν το κομμάτι αυτό. Ουσιαστικά, πρόκειται για την αυτόματη διαδικασία που κάνει το μάτι σε συνδυασμό με τον εγκέφαλο του ανθρώπου, όταν παρατηρεί κάποιο άγνωστο αντικείμενο ή πιο συγκεκριμένα μία εικόνα, προκειμένου να διαχωρίσει το χαρακτηριστικό εκείνο που θέλει, ώστε να το συγκρίνει με τα ήδη γνωστά. [1]

Στον ευρύ κλάδο της αυτόματης κατάτμησης εικόνας υπάρχουν, κυρίως, δύο ειδών προσεγγίσεις: οι Boundary-based, που βασίζονται στα όρια και οι Region-based, που βασίζονται στην περιοχή. Η πρώτη κατηγορία προσπαθεί να αξιοποιήσει τις κοινές ιδιότητες μεταξύ των περιοχών μίας εικόνας, ενώ η δεύτερη εκμεταλλεύεται τις διαφορές που υπάρχουν.

Οι Boundary-based μέθοδοι χωρίζονται σε:



- Edge-Detection (Ανίχνευσης ακμής): δεν χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα πλέον
- Active-Contour (Ενεργού περιγράμματος): αποτελούν γαιωδαισικούς τρόπους μέτρησης, που χρησιμοποιούν επίπεδα και καμπύλες μέσω μη γραμμικών μερικών διαφορικών εξισώσεων

Από την άλλη, οι Region-based μέθοδοι αποτελούνται από τις:

- Region Growing (Αναπτυσσόμενης περιοχής): στηρίζονται στην εξάπλωση των ορίων μιας περιοχής σε άλλες, που έχουν κάποιο κοινό χαρακτηριστικό (π.χ. χρώμα, υφή)
- Statistical method on Markov Random Fields (MRF): πρόκειται για στατιστικές μεθόδους, που βασίζονται στο τυχαίο πεδίο Markov, το οποίο δημιουργεί κυκλικές εξαρτήσεις βάσει κάποιας ιδιότητας· θεωρούνται αρκετά χρονοβόρα μέθοδος. [2]

Στόχος της αυτόματης κατάτμησης εικόνας είναι η δυνατότητα συλλογής των τμημάτων της εικόνας που χρειαζόμαστε, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν από κάποιο υπολογιστικό σύστημα. Γενικότερα, θεωρείται ένα από τα πιο ακανθώδη προβλήματα στην όραση των υπολογιστών, γεγονός που καθίσταται σαφές αν σκεφτούμε ότι ακόμη και το ανθρώπινο μάτι πολλές φορές δεν μπορεί να κάνει σωστή ή αντικειμενική κατάτμηση.

Το ευρύ πεδίο εφαρμογής της διαδικασίας αυτής, καθώς και η ανάγκη εφαρμογής της χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής. Ειδικότερα, χρησιμοποιείται εκτενώς στην αρχαιολογία και συγκεκριμένα στο κλάδο της επιγραφολογίας, στην οποία η κατάτμηση μιας εικόνας υπήρξε ανέκαθεν ένα σπουδαίο ζήτημα. Η επιγραφολογία, είναι ο τομέας της αρχαιολογίας, που ασχολείται με τη μελέτη και την κατηγοριοποίηση των επιγραφών. Έτσι, η αυτόματη κατάτμηση με την ταχύτητα, την ακρίβεια και την αντικειμενικότητα των αποτελεσμάτων που μας προσφέρει, μας δίνει τη δυνατότητα να βγάζουμε ασφαλή συμπεράσματα, για τα οποία θα χρειαζόμασταν τόσο περισσότερο χρόνο όσο και ανθρώπινο δυναμικό, χωρίς τη χρήση των υπολογιστικών συστημάτων.

Συμπερασματικά, θα λέγαμε, ότι η κατάτμηση εικόνας αποτελεί το πρώτο και πλέον σημαντικό βήμα στην όραση των υπολογιστών. Επομένως, είναι εύκολο να αντιληφθεί κανείς, ότι η εξαγωγή των οποιονδήποτε συμπερασμάτων και στοιχείων

που θα λάβουμε περαιτέρω, εξαρτάται άμεσα από την αποτελεσματικότητα της κατάτμησης. Ουσιαστικά, αυτός είναι και ο λόγος που πολλοί έχουν ασχοληθεί με τη δημιουργία αποδοτικών αλγορίθμων αυτόματης κατάτμησης και τη βελτίωση των ήδη υπάρχουσών μεθόδων.

## **1.2 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ**

Στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι η μελέτη ορισμένων από τους πλέον σύγχρονους και αποδοτικούς αλγόριθμους αυτόματης κατάτμησης εικόνας πάνω σε αρχαίες επιγραφές. Οι επιγραφές αυτές, έχουν φωτογραφηθεί με κάμερα υψηλής ανάλυσης (από 60 έως 600 εικονοστοιχεία ανά εκατοστό) και στην συνέχεια η κάθε μία έχει διαιρεθεί στα επιμέρους γράμματα που την απαρτίζουν, προκειμένου να γίνει ξεχωριστή κατάτμηση σε κάθε γράμμα, σε αποχρώσεις του γκρι (grey scale). Παράλληλα, σε κάθε γράμμα έχει γίνει κατάτμηση «με το χέρι», προκειμένου να έχουμε ένα μέτρο αναφοράς, θεωρώντας την ως την πιο αντικειμενική τεχνική.

Στα επόμενα κεφάλαια θα αναπτυχθούν οι βασικές υπάρχουσες μέθοδοι και θα γίνει η σύγκρισή τους προκειμένου να διευκρινισθεί η αποδοτικότερη εξ αυτών, ως και τα πλεονεκτήματα και οι αδυναμίες της κάθε μεθόδου. Αρχικά, θα αναφερθούν τρεις σύγχρονοι και ευρέως χρησιμοποιούμενοι αλγόριθμοι: watershed, chan-veye, multiphase, οι οποίοι βασίζονται σε διαφορετικές τεχνικές κατάτμησης. Στη συνέχεια, θα παρουσιάσουμε ένα νέο αλγόριθμο αυτόματης κατάτμησης εικόνας, που έχει αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια. Τέλος, θα παρατεθούν συγκριτικοί πίνακες και εικόνες προκειμένου να εκτιμήσουμε και πρακτικά τα αποτελέσματα της κάθε μεθόδου και να αναδείξουμε την καταλληλότερη και αποδοτικότερη για τον κλάδο της επιγραφολογίας μέθοδο. Όλες οι εικόνες έχουν συγκριθεί και με το αποτέλεσμα που έχουμε λάβει από την κατάτμηση με το χέρι που αποτελεί το αρχικό κριτήριο ανάδειξης της καλύτερης μεθόδου.

### **1.3 ΤΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ**

Επιπρόσθετα, θα πρέπει να αναφέρουμε ότι κατά τη διαδικασία εξαγωγής των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν τα προγράμματα Matlab και Adobe Photoshop. Το Matlab της Mathworks αποτελεί ένα περιβάλλον και μία γλώσσα προγραμματισμού υψηλού επιπέδου, που δίνει τη δυνατότητα λύσης διαφόρων προβλημάτων με τη χρήση πινάκων και πολύπλοκων αλγορίθμων. Παράλληλα, είναι ιδιαίτερα λειτουργικό με τη χρήση γραφικών για απεικόνιση των αποτελεσμάτων, τη διεξαγωγή προσομοιώσεων αλλά και την ικανότητα να παρέχει πληροφορίες σχετικά με την εικόνα (π.χ. υφή, pixel), τα στατιστικά στοιχεία και τα ιστογράμματα. Ακόμη, διαθέτει μεγάλο πλήθος συναρτήσεων, βιβλιοθηκών και επιλογών για τη διαχείριση αρχείων και δεδομένων που υπάρχουν ήδη. Έτσι, γίνεται αντιληπτό ότι τα παραπάνω χαρακτηριστικά αποτελούν ισχυρά πλεονεκτήματα που το καθιστούν απαραίτητο εργαλείο στην αυτόματη κατάτμηση εικόνας. Το Photoshop της Adobe, ως μέσο επεξεργασίας εικόνας, χρησιμοποιήθηκε για την αφαίρεση του «θορύβου», που εμφανίζεται πάνω στην εικόνα, η οποία προκύπτει από την κατάτμηση. [3] [4]



## **2 ΜΕΡΙΚΟΙ ΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΕΥΡΕΩΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ**

### **2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Τα τελευταία χρόνια, η επιστήμη της όρασης των υπολογιστών έχει κάνει σπουδαία βήματα στον τομέα της αυτόματης κατάτμησης εικόνας, με τη δημιουργία ορισμένων αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται ευρέως και οι οποίοι βασίζονται σε διαφορετικές τεχνικές. Ειδικότερα, η κατάτμηση εικόνας εξ ορισμού εξαρτάται από τον κατακερματισμό της και την ομαδοποίηση (clustering) των τμημάτων βάσει κάποιου κοινού χαρακτηριστικού. Επομένως, είναι ευδιάκριτο ότι το clustering είναι ιδιαίτερος σημαντικό τμήμα της διαδικασίας αυτής.

Έχουν αναπτυχθεί διάφοροι τρόποι ομαδοποίησης, οι οποίοι θα εξετασθούν αναλυτικά στο παρόν κεφάλαιο. Συγκεκριμένα, θα ασχοληθούμε με τους βασικούς και πλέον σημαντικούς υπάρχοντες αλγορίθμους, που ενδιαφέρουν ιδιαίτερα τον κλάδο της επιγραφολογίας. Οι τεχνικές, οι οποίες θα αναλυθούν είναι τρεις:

- Watershed
- Active Contour Chan-Vese
- Active Contour Multiphase

και στηρίζονται ουσιαστικά σε δύο διαφορετικές προσεγγίσεις, η πρώτη στις region-based και οι επόμενες στις boundary-based μεθόδους.

## 2.2 Ο ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ WATERSHED

### 2.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

Η μέθοδος Watershed, ανήκει στον κλάδο του region – based segmentation (κατάτμηση με βάση την περιοχή), στόχος του οποίου είναι να χωρίζει τις εικόνες σε τμήματα εντοπίζοντας τα όρια μεταξύ της ασυνέχειας που παρουσιάζεται κυρίως στα επίπεδα της φωτεινότητας. Έτσι, έχουμε ομαδοποίηση περιοχών βασισμένη σε προκαθορισμένα κριτήρια και κοινά χαρακτηριστικά. Ο ορισμός και η έννοια της μεθόδου αυτής εισήχθη από τους Digabel και Lantuézoul, αλλά αναπτύχθηκε και βελτιώθηκε από τους Beucher και Lantuézoul.

Ως τεχνική ανήκει στη μαθηματική μορφολογία, η οποία είναι μια μη-γραμμική μεθοδολογία ανάλυσης εικόνας. Αυτή η μεθοδολογία βασίζεται, κατά κύριο λόγο, σε προσεγγίσεις που γίνονται σύμφωνα με την θεωρία των συνόλων και των δικτύων με στόχο την ποσοτικοποίηση της γεωμετρικής δομής των εικόνων. [1]

Η αρχική ιδέα της μεθόδου αυτής, όπως προδίδει και ο τίτλος της (Watershed = λεκάνη απορροής), προέρχεται από την γεωγραφία. Συγκεκριμένα, αρκεί μια ματιά σε ένα χάρτη για να δούμε, πως η κοίτη του κάθε ποταμού, όταν είναι γεμάτη με νερό, αποτελεί φυσικό χώρισμα μεταξύ δύο τμημάτων γης. Έτσι, φανταζόμαστε μια εικόνα ως ανάγλυφο διαφορετικών διαβαθμίσεων, όπου η φωτεινότητα κάθε pixel αντιστοιχεί στο ύψος του ανάγλυφου. Το λευκό φόντο, συνιστώντας το φωτεινότερο εξ αυτών αποτελεί και το υψηλότερο σημείο. Στη συνέχεια, αν «πλημμυρίσουμε τις λεκάνες απορροής», δηλαδή τα βαθιά σημεία, ήτοι αυτά με τη χαμηλότερη φωτεινότητα, θα δούμε ότι οι βυθισμένες περιοχές είναι αυτές που μας ενδιαφέρουν και ότι οι όχθες τους αποτελούν τα σύνολα ή τις κορυφογραμμές της κατάτμησης. Η λογική του Watershed γίνεται πιο κατανοητή, αν πάρουμε ως παράδειγμα τις επιγραφές, που είναι και το αντικείμενο της έρευνάς μας. Ιδιαίτερα στις φωτογραφίες που χρησιμοποιούμε, οι οποίες είναι σε κλίμακα του γκρι, παρατηρούμε, ότι με μαύρο απεικονίζονται τα σημεία που είναι οι αυλακώσεις από το σκάλισμα του εκάστοτε γράμματος. Επομένως, γίνεται πιο εύκολη η αντιστοίχιση των περιοχών, που θα πρέπει να «ρίζουμε νερό», για την εφαρμογή της μεθόδου.

## 2.2.2 ΕΚΛΟΧΕΣ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

Το Watershed τόσο ως μέθοδος, αλλά και ως ιδέα, είναι ιδιαίτερα απλό, γεγονός που οδηγεί στην εμφάνιση διαφόρων προβλημάτων. Παρ' όλα αυτά, τόσο οι βελτιώσεις, που με ευκολία επιδέχεται, όσο και η δυνατότητα να συνδυάζεται με άλλες τεχνικές, το καθιστούν ιδιαίτερα σημαντικό στον τομέα της κατάτμησης εικόνας. Παρακάτω αναφέρονται τρεις τρόποι, με τους οποίους μπορεί να συνδυαστεί το Watershed με διάφορες μεθόδους για τη βελτίωση των αποτελεσμάτων του:

### 1. Κατάτμηση με τη χρήση του μετασχηματισμού απόστασης (Distance transform)

Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε, κυρίως, από τον Verbeek και τον Meyer και χρησιμοποιείται σε δυαδικές εικόνες, αυτές δηλαδή που αποτελούνται από δύο χρώματα, το μαύρο που συμβολίζεται με 0 και το άσπρο με 1. Πρόκειται για έναν αλγόριθμο ολοκλήρωσης, για τον υπολογισμό της σταθμισμένης απόστασης των pixels, μετατρέποντας την ψηφιακή εικόνα σε ένα γράφημα, στο οποίο οι διάφοροι κόμβοι χρησιμεύουν ως οριακές συνθήκες. Θεωρώντας ότι το φόντο μας είναι άσπρο, αυτό που μας ενδιαφέρει στον μετασχηματισμό απόστασης, είναι η δημιουργία μιας εικόνας, στην οποία θα σημειώνεται το πόσο απέχει το κάθε pixel της δυαδικής από το κοντινότερο εικονοστοιχείο, που είναι μη-μηδενικό (άσπρο). Έτσι, όσο πιο μακριά από το φόντο είναι το κάθε pixel, τόσο πιο φωτεινό θα απεικονιστεί μετά τον μετασχηματισμό. Επομένως, οι περιοχές του περιγράμματος του στοιχείου που θέλουμε να γίνει η κατάτμηση, θα εμφανίζονται με γκρι χρώμα και όσο προχωρούμε προς το εσωτερικό θα έχουμε έντονο μαύρο. Στην εικόνα που έχει προκύψει, είναι εύκολο να γίνει κατάτμηση με Watershed ξεκινώντας το «πλημμύρισμα» από τις περιοχές που απέχουν περισσότερο από το φόντο. [5]

Ο μετασχηματισμός απόστασης, εκτός από την απλή κατάτμηση μιας εικόνας, μπορεί να βοηθήσει στην εύρεση του SKIZ (Skeleton by Influent zone – σκελετός από ζώνες επιρροής), ο οποίος αποτελεί τον βασικό κορμό του σχήματος που θέλουμε να γίνει η κατάτμηση. Ουσιαστικά, αποτελεί μια πιο λεπτή εκδοχή του εν λόγω σχήματος δηλαδή γραμμές που ισαπέχουν από τα άκρα του. Το SKIZ είναι πολύ σημαντικό στην επεξεργασία εικόνας και στην όραση των υπολογιστών και



χρησιμοποιείται στην αναγνώριση χαρακτήρων, δακτυλικών αποτυπωμάτων και στον οπτικό έλεγχο.

## **2. Κατάτμηση με τη χρήση βαθμίδων (gradients)**

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται στις εικόνες, που είναι σε κλίμακα του γκρι. Το μέγεθος της βαθμιδοποίησης της εικόνας εξαρτάται, όπως και στον μετασχηματισμό απόστασης, από το πόσο μακριά βρίσκεται το κάθε pixel από το φόντο. Έτσι, τα εικονοστοιχεία της καινούργιας εικόνας στην άκρη του αντικειμένου έχουν υψηλές τιμές και χαμηλές οπουδήποτε αλλού. Όπως η προηγούμενη, έτσι και αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται πριν την κατάτμηση με Watershed. Επιπλέον, πολλές φορές χρησιμοποιείται η βαθμιδοποίηση με βάση την υφή, προκειμένου να γίνει εντοπισμός των τμημάτων της εικόνας, που μας ενδιαφέρουν, ειδικά όταν υπάρχει θόρυβος.

## **3. Κατάτμηση Watershed με βάση του markers (δείκτες)**

Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα του Watershed είναι το over-segmentation και ιδιαίτερα σε βαθμιδοποιημένες εικόνες. Έτσι, προκειμένου να περιοριστεί το πρόβλημα αυτό, χρησιμοποιούνται οι markers (δείκτες). Ουσιαστικά, άξιο προσοχής είναι να αποφευχθούν ορισμένα ελάχιστα και να επιτευχθεί το πλημμύρισμα της εικόνας από συγκεκριμένα σημεία. Τα σημεία αυτά αποτελούν τους markers και αφορούν σε ομογενοποιημένες περιοχές της εικόνας με κοινά χαρακτηριστικά. Έτσι, ορίζουμε τους εσωτερικούς markers στα αντικείμενα που θέλουμε να γίνει κατάτμηση και τους εξωτερικούς στο φόντο. Στο τελευταίο στάδιο της διαδικασίας αυτής, πλημμυρίζουμε τις λεκάνες απορροής στις οποίες είχαμε θέσει τους εσωτερικούς δείκτες και παράλληλα γεμίζουν κι αυτές που δεν είναι πηγές με αποτέλεσμα να μένουν μόνο οι κορυφογραμμές που πρέπει. Η επιλογή των markers μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους και εξαρτάται από τη λύση του προβλήματος και τις ιδιότητες της εικόνας. [1]

### 2.2.3 ΤΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Το Watershed, ως μέθοδος, προσφέρει ορισμένα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει σε διάφορους τομείς, βάσει της αρχικής ιδέας του. Συγκεκριμένα, επειδή στόχος του είναι η εύρεση των συνόρων μεταξύ των αντικειμένων της εικόνας, ως τεχνική βοηθά στην καλή διαχείριση των κενών και την τοποθέτηση ορίων στις πιο σημαντικές ακμές. Επιπλέον, παρέχει πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα σε εικόνες ή τμήματά τους που περιέχουν κύκλους, ελλείψεις ή σαφή όρια καθώς είναι πιο εύκολο να γίνει το πλημμύρισμα της εικόνας. Τα προτερήματα αυτά, είναι ιδιαίτερα χρήσιμα στην ιατρική και την μικροβιολογία, καθώς παρέχουν τη δυνατότητα εξαγωγής ασφαλών συμπερασμάτων, ιδιαίτερα όταν θα πρέπει να βρεθούν συγκεκριμένα κύτταρα ή μικροοργανισμοί και να διαχωριστούν από τα υπόλοιπα.

Παράλληλα, παρά τα πλεονεκτήματα που εμφανίζονται, υπάρχουν αρκετοί προβληματισμοί και θέματα που προκύπτουν σχετικά με τον αλγόριθμο Watershed. Αρχικά, μας ενδιαφέρει η ακρίβεια που θα πρέπει να παρουσιάζουν οι γραμμές των ορίων της κατάτμησης καθώς θα πρέπει να πετύχουμε αποτελέσματα όμοια με τον αναλογικό τρόπο. Για να περιορίσουμε το πρόβλημα αυτό χρησιμοποιούμε την ευκλείδεια συνάρτηση και τη μέθοδο chamfer για εξομάλυνση των άκρων, ώστε να μην υπάρχουν ορθές γωνίες λόγω της ψηφιοποίησης. Επιπλέον, ένα από τα πλέον σημαντικά ζητήματα που προκύπτουν από την μέθοδο Watershed είναι το over-segmentation (υπερ-κατάτμηση), δηλαδή η υπερβολική κατάτμηση μιας εικόνας. [6]

Ως φαινόμενο, είναι αρκετά σύνηθες με την τεχνική αυτή, ιδίως όταν στην εικόνα υπάρχει αρκετός θόρυβος ή διακυμάνσεις κάποιων περιοχών όσον αφορά στη φωτεινότητα. Λόγω της συχνότητας που παρουσιάζει το πρόβλημα αυτό, έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι, με πλέον σημαντική αυτή που γίνεται χρήση των markers (δεικτών), στην οποία θα αναφερθούμε εκτενέστερα παρακάτω.

Ανακεφαλαιώνοντας, θα λέγαμε ότι η συμβολή του Watershed στην κατάτμηση εικόνας είναι ιδιαίτερα μεγάλη. Μπορεί να μην είναι αρκετά ευρύ το φάσμα των δυνατοτήτων του, όμως υπάρχουν τομείς όπως η ιατρική, που μας παρέχει αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα. Εμείς στην παρούσα διπλωματική

χρησιμοποιήσαμε την απλή μέθοδο Watershed και η εκκαθάριση του θορύβου έγινε "με το χέρι" μέσω προγράμματος επεξεργασίας εικόνας, καθώς το μονό στο οποίο θέλουμε να γίνει κατάτμηση είναι το γράμμα και όχι ολόκληρη η εικόνα. Τα αποτελέσματα της μεθόδου στις επιγραφές φαίνονται σε επόμενο κεφάλαιο.

## 2.3 ACTIVE CONTOURS

### 2.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα σημαντικό πρόβλημα στην κατάτμηση εικόνας είναι ο προσδιορισμός των τοπικών μεταβολών που παρουσιάζεται σε ένα σύνολο δομών, όπως είναι οι μεταβολές του χρωματικού περιεχομένου μίας εικόνας. Σε αυτό μπορεί να βοηθήσει ιδιαίτερα η κατάλληλη εφαρμογή καμπυλών, καθώς μπορούν να αναγνωρισθούν σχήματα και ακμές που υπάρχουν σε μία τυχαία εικόνα.

Η βασική ιδέα είναι η εξής: ένα αντικείμενο διαχωρίζεται από το υπόλοιπο μέρος μίας εικόνας εξαιτίας π.χ. μίας απότομης αλλαγής στη φωτεινότητα ή στο χρώμα. Σε κάθε περίπτωση θα υπάρχει μία συνοριακή γραμμή ή καμπύλη, η οποία θα είναι το σύνορο του αντικειμένου που θέλουμε να αναγνωρίσουμε. Γι' αυτό το λόγο η λύση στο πρόβλημα της κατάτμησης εικόνας εκφράζεται ως η ελαχιστοποίηση κάποιου κατάλληλα σχεδιασμένου συναρτησιακού ενέργειας  $J$  που ορίζεται στις υποπεριοχές  $R = R_1, \dots, R_N$  της εικόνας έτσι ώστε να προκύψει το περίγραμμα του αντικειμένου. Η συνάρτηση  $J$  αυτή εκφράζεται παρακάτω:

$$J(R) = \sum_{i=1}^N \int_{R_i} f(x, R_i) dx + \sum_{i=1}^N \int_{\partial R_i} g(s) ds$$

Στον παραπάνω τύπο η συνάρτηση  $f$  ποσοτικοποιεί την ομογένεια ενός στοιχείου  $x$  της εικόνας με τα στοιχεία της εκάστοτε υποπεριοχής  $R_i$  και η συνάρτηση  $g(s)$  είναι μια φθίνουσα συνάρτηση.

### **2.3.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ACTIVE CONTOURS**

Ξεκινώντας από μία αρχική καμπύλη στο επίπεδο, θέλουμε να καταλήξουμε σε μία κλειστή καμπύλη, η οποία θα σχηματίζει το περίγραμμα του αντικειμένου, που θέλουμε να ξεχωρίσουμε από την εικόνα. Αυτό επιτυγχάνεται όπως αναφέρθηκε και παραπάνω μέσω της ελαχιστοποίησης κάποιου κατάλληλα σχεδιασμένου συναρτησιακού ενέργειας. Για την ελαχιστοποίηση αυτή χρησιμοποιείται η μέθοδος της ταχύτερης καθόδου. Η καμπύλη εξελίσσεται σύμφωνα με μία μερική διαφορική εξίσωση, έως ότου η καμπύλη να παραμείνει χρονικά αμετάβλητη. Η εξίσωση αυτή ισορροπεί, όταν η καμπύλη έχει περιγράψει το υπό κατάτμηση αντικείμενο. Η μερική διαφορική εξίσωση κατασκευάζεται με βάση τις εξισώσεις Euler-Lagrange για την ελαχιστοποίηση συναρτησιακού ενέργειας.

Η παραπάνω προσέγγιση χρησιμοποιήθηκε αρχικά στην μέθοδο Snakes (boundary-based active contour), στην οποία η αναπαράσταση του εξελισσόμενου περιγράμματος δίνεται σε παραμετρική μορφή. Ένα σημαντικό μειονέκτημά της είναι η εξάρτηση του αποτελέσματος από την επιλογή του σημείου εκκίνησης της κατάτμηση εικόνας, καθώς επίσης και το γεγονός ότι το μοντέλο δεν μπορεί απευθείας να διαιρέσει ή να συγχωνεύσει τις εξελισσόμενες καμπύλες.

### **2.3.3 ΜΕΘΟΔΟΣ GEODESIC ACTIVE CONTOURS**

Προκειμένου να ξεπεραστούν τα μειονεκτήματα της μεθόδου Active Contours, χρησιμοποιήθηκε μία νέα μέθοδος, η Geodesic Active Contours, στην οποία αποφεύγεται οποιαδήποτε είδους παραμετροποίηση. Η μέθοδος αυτή μπορεί να χωρίσει, να ενώσει και να συγχωνεύσει αντικείμενα, να βρει τόσο τα εσωτερικά όσο και τα εξωτερικά τους όρια. Συνεπώς, μπορούν να ανιχνευθούν περισσότερα του ενός αντικείμενα, χωρίς τη γνώση του ακριβούς αριθμού τους. Για την εφαρμογή της χρησιμοποιούνται οι γαιωδαιτικές καμπύλες ή οι καμπύλες ελάχιστης απόστασης, με μία μετρική, εξαρτώμενη από τα χαρακτηριστικά της εικόνας. Η Geodesic Active Contours δίνεται από μία γεωμετρική ροή, με βάση τη μέση κίνηση της καμπύλης, ελαχιστοποιεί το γεωδαιτικό μήκος της καμπύλης και δεν βασίζεται στην ελαχιστοποίηση ενέργειας. Η ελαχιστοποίηση οδηγεί σε μία μερική διαφορική

εξίσωση για την εξέλιξη της καμπύλης, η οποία υλοποιείται χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των επιπεδοσυνόλων (Level sets). Στην υλοποίηση των επιπεδοσυνόλων, το ενεργό περίγραμμα καθορίζεται έμμεσα ως το μηδενικό επιπεδοσύνολο μιας βαθμωτής συνάρτησης. Έτσι, οι εξελισσόμενες καμπύλες διαχωρίζονται και συγχωνεύονται και καθίσταται δυνατό να εντοπίζονται ταυτόχρονα δομές που δεν συνδέονται μεταξύ τους. Βέβαια ακόμα και σε αυτό το μοντέλο απαιτείται μια κατάλληλη αρχικοποίηση, καθώς η αρχική καμπύλη θα πρέπει να βρίσκεται εξολοκλήρου εσωτερικά ή εξωτερικά των ορίων του αντικειμένου. [7] [8]

Στη μέθοδο active contours που αναλύθηκε παραπάνω η συνάρτηση ενέργειας μοντελοποιείται εισάγοντας το μήκος της καμπύλης  $C$  και το εμβαδόν της επιφάνειας που περικλείει η καμπύλη  $C$ . Έτσι, έχουμε την παρακάτω συνάντηση ενέργειας:

$$\begin{aligned}
 F(c_1, c_2, C) &= \mu \cdot \text{Length}(C) + \nu \cdot \text{Area}(\text{inside}(C)) \\
 &+ \lambda_1 \int_{\text{inside}(C)} |u_0(x, y) - c_1|^2 dx dy \\
 &+ \lambda_2 \int_{\text{outside}(C)} |u_0(x, y) - c_2|^2 dx dy
 \end{aligned}$$

Όπου  $\mu \geq 0, \nu \geq 0, \lambda_1, \lambda_2 > 0$ .

Έστω ότι έχουμε ένα κλειστό περίγραμμα  $C$ , και  $\omega$  είναι η επιφάνεια που περικλείει η καμπύλη  $C$  ενώ  $\Omega$  είναι το συμπλήρωμα του  $\omega$ . Άρα ισχύει ότι  $C \subset \Omega$  και  $C = \partial\omega$  όπου η καμπύλη  $C$  ορίζεται ως το μηδενικό επιπεδοσύνολο μιας συνάρτησης Lipschitz  $\varphi(x, y): \Omega \rightarrow R$ , η οποία είναι η εξής:

$$\begin{cases}
 C = \partial\omega = \{(x, y) \in \Omega: \varphi(x, y) = 0\} \\
 \text{inside}(C) = \omega = \{(x, y) \in \Omega: \varphi(x, y) > 0\} \\
 \text{outside}(C) = \Omega \setminus \bar{\omega} = \{(x, y) \in \Omega: \varphi(x, y) < 0\}
 \end{cases}$$

Με χρήση της συνάρτησης Heaviside,  $H(z)$  και της συνάρτησης Dirac,  $\delta_0$ , οι όροι του συναρτησιακού ενέργειας  $F$  εκφράζονται ως εξής:

$$Length\{\varphi = 0\} = \int_{\Omega} |\nabla H(\varphi(x, y))| dx dy = \int_{\Omega} \delta_0(\varphi(x, y)) |\nabla \varphi(x, y)| dx dy$$

$$Area\{\varphi \geq 0\} = \int_{\Omega} H(\varphi(x, y)) dx dy$$

Και

$$\int_{\varphi > 0} |u_0(x, y) - c_1|^2 dx dy = \int_{\Omega} |u_0(x, y) - c_1|^2 H(\varphi(x, y)) dx dy$$

$$\int_{\varphi < 0} |u_0(x, y) - c_2|^2 dx dy = \int_{\Omega} |u_0(x, y) - c_2|^2 (1 - H(\varphi(x, y))) dx dy$$

Τελικά η συνάρτηση  $F(c_1, c_2, \varphi)$  μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$\begin{aligned} F(c_1, c_2, \varphi) &= \mu \int_{\Omega} \delta(\varphi(x, y)) |\nabla \varphi(x, y)| dx dy + v \int_{\Omega} H(\varphi(x, y)) dx dy \\ &+ \lambda_1 \int_{\Omega} |u_0(x, y) - c_1|^2 H(\varphi(x, y)) dx dy \\ &+ \lambda_2 \int_{\Omega} |u_0(x, y) - c_2|^2 (1 - H(\varphi(x, y))) dx dy \end{aligned}$$

Για τη λύση μπορεί να χρησιμοποιηθεί το παρακάτω διαμορφωμένο επιπεδοσύνολο:

$$u(x, y) = c_1 H(\varphi(x, y)) + c_2 (1 - H(\varphi(x, y))), (x, y) \in \bar{\Omega}$$

Διατηρώντας σταθερή την συνάρτηση  $\varphi$  και μειώνοντας την ενέργεια  $F$  έχουμε:

$$c_1 = \frac{\int_{\Omega} u_0(x, y) H(\varphi(x, y)) dx dy}{\int_{\Omega} H(\varphi(x, y)) dx dy}$$

Εάν  $\int_{\Omega} H(\varphi(x, y)) dx dy > 0$ , δηλαδή το εσωτερικό της καμπύλης δεν είναι το κενό.

$$c_2 = \frac{\int_{\Omega} u_0(x, y) (1 - H(\varphi(x, y))) dx dy}{\int_{\Omega} (1 - H(\varphi(x, y))) dx dy}$$

Εάν  $\int_{\Omega} (1 - H(\varphi(x, y))) dx dy > 0$ , το εξωτερικό της καμπύλης δεν είναι το κενό.

Να σημειώσουμε πως σε κάποιες εκφυλισμένες περιπτώσεις, όπου δεν υπάρχουν περιορισμοί για την τιμή των σταθερών  $c_1$  και  $c_2$ , οι σταθερές αυτές υπολογίζονται από τους παρακάτω τύπους:

$$\begin{cases} c_1(\varphi) = \text{average}(u_0) \text{ in } \{\varphi \geq 0\} \\ c_2(\varphi) = \text{average}(u_0) \text{ in } \{\varphi < 0\} \end{cases}$$



## 2.4 CHAN-VESE

Στη διπλωματική αυτή χρησιμοποιήθηκε ένας αλγόριθμος, ο οποίος βασίζεται στη μέθοδο Active Contours, αναπτυγμένος από τους T. F. Chan και L. A. Vese. Ο αλγόριθμος Chan-Vese είναι ένας ευέλικτος αλγόριθμος ενεργών περιγραμμάτων, που δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα στην κατάτμηση διάφορων τύπων εικόνων, οι οποίες είναι αρκετά δύσκολο να κατατμηθούν με «κλασσικές» μεθόδους, όπως με τη χρήση κατωφλίου ή με μεθόδους βασισμένες στην κλίση. Ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιείται ευρέως στην ιατρική για κατάτμηση εικόνων του εγκεφάλου, της καρδιάς και της τραχείας. Η εφαρμογή αυτού του αλγορίθμου στις εικόνες αρχαίων επιγραφών είναι μια άλλη χρήση του, η οποία χρησιμοποιήθηκε για τα πειράματα στην παρούσα διπλωματική. Το μοντέλο είναι βασισμένο σε ένα πρόβλημα ελαχιστοποίησης της ενέργειας, το οποίο αναδιατυπώθηκε στο επίπεδο διαμόρφωσης των set της υπό κατάτμηση εικόνας, με αποτέλεσμα την ευκολότερη λύση του προβλήματος. Οπτικά, και σύμφωνα με τη βασική ιδέα των μοντέλων active contours, κατά την εφαρμογή του αλγορίθμου η αρχική καμπύλη παραμορφώνεται, συγκλίνοντας προς το εσωτερικό της εικόνας με στόχο να σταματήσει στο περίγραμμα του προς ανίχνευση αντικειμένου. Το αποτέλεσμα είναι η τελική εικόνα να αποτελείται από δύο επίπεδα, το γράμμα και το υπόβαθρο, εφόσον η καμπύλη θα είναι πλέον το περίγραμμα του αντικειμένου. [9]

## 2.5 MULTIPHASE

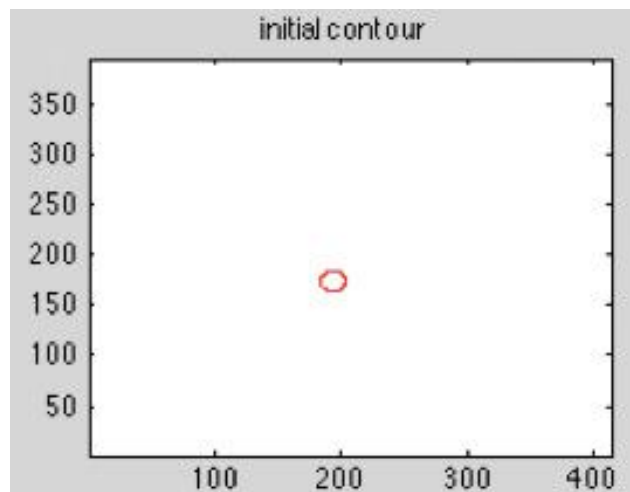
Χρησιμοποιήθηκε επίσης μία παραλλαγή αυτής της μεθόδου, ο αλγόριθμος multiphase Chan-Vese. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε περισσότερες της μίας φάσης, δηλαδή περισσότερες από μια κλειστές καμπύλες. Με αυτόν τον τρόπο, μας δίνεται η δυνατότητα να χωρίσουμε το επίπεδο σε περισσότερα κομμάτια. Πιο συγκεκριμένα, αν  $N$  ο αριθμός των φάσεων-καμπυλών που χρησιμοποιήθηκαν, θα έχουμε  $2^N$  υποπεριοχές στο αποτέλεσμα της κατάτμησης. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε πιο σύνθετες εικόνες, ώστε να επιτυγχάνουμε καλύτερα αποτελέσματα. Βεβαίως, όσο περισσότερες φάσεις έχουμε, τόσο αυξάνεται η πολυπλοκότητα του αλγορίθμου. Στα πειράματα αυτής της διπλωματικής τέθηκε  $N=2$ . Έτσι, έχουμε δύο αρχικές κλειστές καμπύλες ή δύο σύνολα αρχικών κλειστών καμπυλών, οι οποίες περικλείουν κάποιες αρχικές υποπεριοχές της υπό κατάτμηση εικόνας. Το γράμμα προκύπτει από την τομή των δύο περιοχών που ορίζουν οι καμπύλες, καθώς παραμορφώνονται, και έτσι η τελική εικόνα είναι χωρισμένη σε τέσσερις υποπεριοχές: το υπόβαθρο, την τομή των καμπυλών και τα σημεία των δύο καμπυλών που δεν ανήκουν στην τομή.

Για την καλύτερη κατανόηση των δύο αλγορίθμων που αναλύθηκαν στις παραπάνω ενότητες (2.3.2 και 2.3.3), απαραίτητη είναι η ρύθμιση κάποιων παραμέτρων για την εξαγωγή πιο ικανοποιητικών αποτελεσμάτων. Οι παράμετροι που ρυθμίστηκαν στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι το είδος της αρχικής καμπύλης και ο αριθμός των επαναλήψεων.

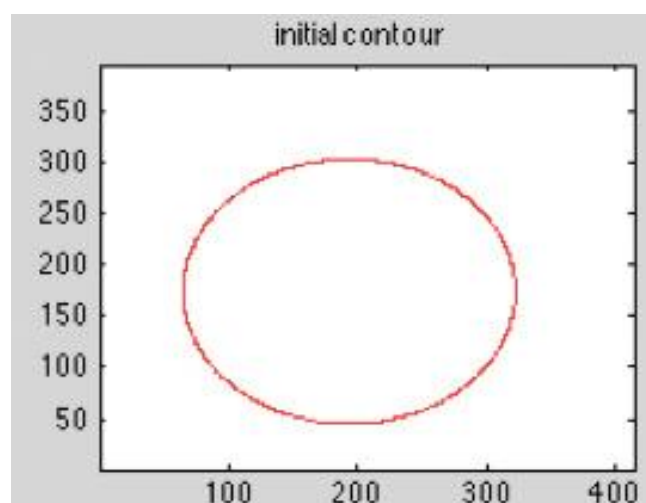
Πιο αναλυτικά, η πρώτη παράμετρος που ρυθμίστηκε είναι το είδος της αρχικής καμπύλης. Όπως επισημάνθηκε προηγουμένως, η αρχική καμπύλη παραμορφώνεται κατά τη διάρκεια των επαναλήψεων με σκοπό να σχηματίσει το περίγραμμα του εικονιζόμενου αντικειμένου και να το διαχωρίσει από το υπόβαθρο. Κατά την εφαρμογή του αλγορίθμου που αναπτύχθηκε από τους T.F.Chan και L.A.Vese διακρίνουμε δύο περιπτώσεις καμπυλών. Η πρώτη περίπτωση είναι να έχουμε μία αρχική καμπύλη, της οποίας διαφοροποιούσαμε κάθε φορά το μέγεθος (small, medium, large). Η δεύτερη περίπτωση είναι να έχουμε δύο διαφορετικά αρχικά σύνολα κλειστών καμπυλών (whole, whole and small), στα οποία και πάλι

ρυθμίστηκε το μέγεθος των καμπυλών. Ομοίως με τον αλγόριθμο των T.F.Chan και L.A.Vese, στον multiphase έχουμε στην πρώτη περίπτωση δύο καμπύλες των οποίων το μέγεθος ρυθμίζουμε με τον ίδιο τρόπο και στην δεύτερη περίπτωση έχουμε 4 αρχικά  $2^N$  σύνολα καμπυλών των οποίων το μέγεθος ρυθμίζεται αναλόγως. Ακολουθούν εικόνες που να δείχνουν όλες τις προαναφερθείσες περιπτώσεις. Όπου N για τον αλγόριθμο multiphase τέθηκε ο αριθμός 2. [9]

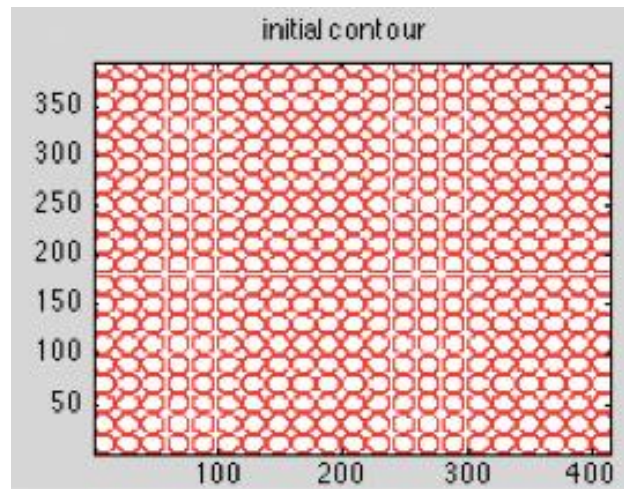
Ενδεικτικά παρατίθενται οι εικόνες, για το πώς είναι οι καμπύλες, κατά την εφαρμογή των αλγορίθμων των Chan και Vese (Εικόνα 2.1, Εικόνα 2.2, Εικόνα 2.3) για το μέγεθος small, medium και whole αντίστοιχα. Οι Εικόνες 2.4, 2.5 και 2.6 είναι η εφαρμογή του αλγορίθμου multiphase για τα ίδια μεγέθη καμπυλών αντίστοιχα.



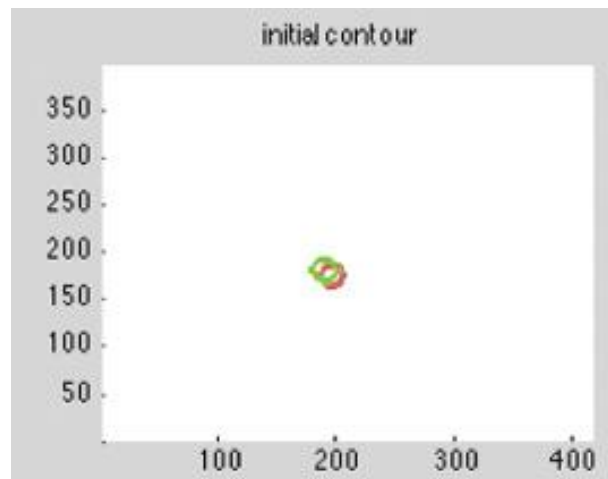
Εικόνα 2.5-1



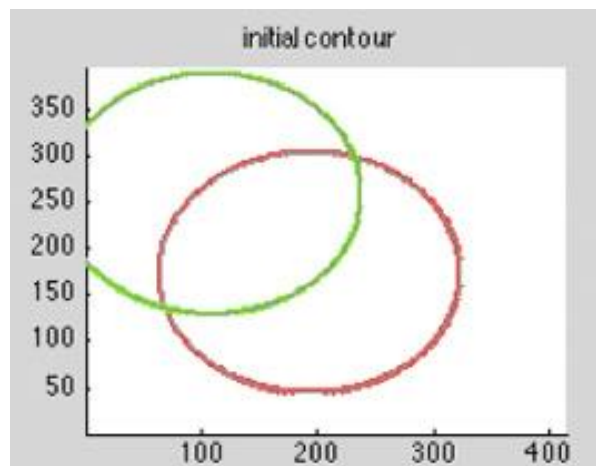
Εικόνα 2.5-2



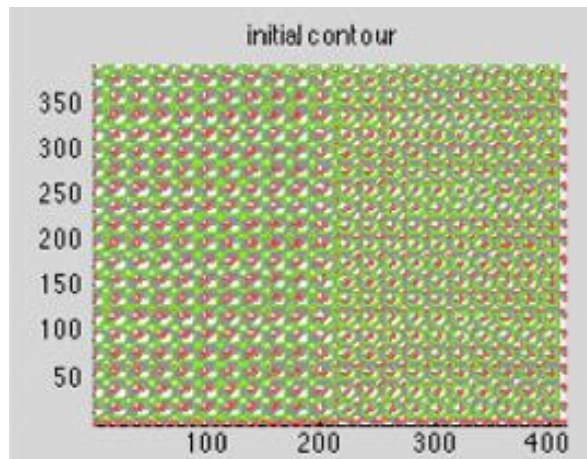
Εικόνα 2.5-3



Εικόνα 2.5-4



Εικόνα 2.5-5



Εικόνα 2.5-6

Η δεύτερη παράμετρος που ρυθμίζεται, είναι ο αριθμός των επαναλήψεων που θα εκτελέσει ο αλγόριθμος. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των επαναλήψεων που γίνονται, τόσο αυξάνεται η πολυπλοκότητα. Στόχος αυτής της ρύθμισης είναι να βρεθεί ο ελάχιστος αριθμός επαναλήψεων, που εξάγει μία εικόνα με ικανοποιητικό αποτέλεσμα, συνδυάζοντας όσο το δυνατόν μικρότερη πολυπλοκότητα και μικρότερο χρόνο εκτέλεσης του αλγορίθμου.



## 3 ΕΝΑΣ ΝΕΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ

Στα προηγούμενα κεφάλαια εξετάστηκαν κάποιες βασικές τεχνικές κατάτμησης. Στο παρόν θα περιγραφεί μία πρωτότυπη μέθοδος διαχωρισμού εικόνας σε δύο θεματικές περιοχές. Οι περιοχές αυτές αφορούν η μία την πολύτιμη πληροφορία, δηλαδή, τις φωτογραφίες των επιγραφών που εξετάζουμε, το γράμμα, ενώ η άλλη το υπόβαθρο. Στην εφαρμογή η οποία περιγράφεται στην παρούσα εργασία, το υπόβαθρο είναι κατά βάση λευκό με θόρυβο που προκύπτει από προσμείξεις μαρμάρου. Για το λόγο αυτό και επειδή η φωτογράφιση των επιγραφών έγινε με έγχρωμη ψηφιακή φωτογραφική μηχανή υψηλής ευκρίνειας, μετατρέπουμε τις ληφθείσες έγχρωμες εικόνες των επιγραφών σε αντίστοιχες διαβαθμίσεις του γκρι. Παρ' όλα αυτά, η μέθοδος που θα περιγραφεί ακολούθως, μπορεί πρακτικά αμέσως να επεκταθεί και σε έγχρωμες εικόνες. Η κατάτμηση μιας εικόνας με την συγκεκριμένη μέθοδο αποτελείται από ορισμένα βήματα τα οποία θα αναλυθούν στις παρακάτω ενότητες.

### 3.1 ΕΞΑΛΕΙΨΗ ΘΟΡΥΒΟΥ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ.

Με κέντρο κάθε σημείο της εικόνας εφαρμόζουμε μια διαδικασία σμίκρυνσης: θεωρούμε μία περιοχή με κέντρο τυχόν σημείο  $M$  της εικόνας, επιλέγουμε την ελάχιστη χρωματική απόχρωση των pixels που ανήκουν στην περιοχή αυτή και την αποδίδουμε στο  $M$ . Στη συνέχεια, επαναλαμβάνεται η σάρωση της σμικρυνόμενης εκδοχής της εικόνας που έχουμε λάβει με αυτή την περιοχή, αλλά τώρα αποδίδουμε στο εκάστοτε κέντρο  $M$  της περιοχής τη μέγιστη τιμή της απόχρωσης μεταξύ των εικονοστοιχείων της περιοχής. Με αυτόν τον τρόπο, καταλήγουμε στη λεγόμενη «ανοικτή» εκδοχή της εικόνας (opened image). Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειώσουμε ότι η απόχρωση του γκρι κάθε σημείου της «ανοικτής εικόνας» είναι μικρότερη ή ίση της απόχρωσης της αρχικής δοσμένης εικόνας. Αυτό σημαίνει ότι η «ανοικτή εικόνα» είναι ένα κάτω φράγμα της αρχικής σε όλα τα σημεία της.

Σε επόμενο στάδιο, στην ανοικτή αυτή εκδοχή της εικόνας, εφαρμόζουμε τους ακόλουθους μετασχηματισμούς: αρχικά, με κέντρο κάθε σημείο  $M$  της εικόνας σχηματίζουμε μία περιοχή με ακτίνα ένα εικονοστοιχείο (pixel) και σε αυτή την περιοχή εφαρμόζουμε τη διαδικασία dilation, δηλαδή αποδίδουμε στο σημείο  $M$  τη μέγιστη απόχρωση στην περιοχή αυτή του εικονοστοιχείου. Επαναλαμβάνουμε αυτή τη διαδικασία αυξάνοντας συνεχώς την ακτίνα της περιοχής έως ότου υπάρξει τουλάχιστον σημείο και μία αντίστοιχη περιοχή της οποίας η μέγιστη απόχρωση είναι μεγαλύτερη από την απόχρωση γκρι του  $M$  στην αρχική εικόνα. Τελικά μ' αυτή τη διαδικασία λαμβάνουμε μια ομαλοποιημένη εκδοχή της αρχικής εικόνας, με ένταση απόχρωσης του γκρι μικρότερη ή ίση αυτής. Στα βήματα που έπονται χρησιμοποιείται αυτή η ομαλοποιημένη εκδοχή της αρχικής εικόνας και πλέον όποτε αναφερόμαστε σε κάποια «εικόνα», θα εννοούμε την ομαλοποιημένη εκδοχή της από την οποία και θα έχει αντικατασταθεί.



### 3.2 ΟΛΙΣΘΗΣΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΚΑΤΑΛΛΗΛΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΟΛΗΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ

Σε αυτή τη φάση ολισθαίνουμε ένα πλαίσιο καταλλήλων διαστάσεων έστω  $N^p \times N^p$  κατά μήκος όλης της εικόνας, με σκοπό εντός του κάθε πλαισίου να δημιουργήσουμε το ιστόγραμμα αποχρώσεων του γκρι όλων των pixels που ανήκουν στο πλαίσιο.

Ξεκινώντας την ολίσθηση, η πρώτη θέση του πλαισίου είναι το άνω αριστερά εικονοστοιχείο της εικόνας, στο οποίο κατά κανόνα αποδίδονται οι συντεταγμένες (1,1). Ως επόμενο σημείο εκκίνησης του πλαισίου ορίζουμε το  $(1, 1 + \delta)$ , όπου το  $\delta$  είναι ένας μικρός φυσικός αριθμός, τον οποίο συνήθως επιλέγουμε ως ένα κατάλληλο ποσοστό του συνολικού αριθμού pixels της μικρότερης από την οριζόντια ή κατακόρυφη διάσταση της προς κατάτμησης εικόνας. Για τις δικές μας εφαρμογές, μια πολύ καλή τιμή για το  $\delta$  είναι το ακέραιο μέρος του  $1/10$  της μέγιστης διάστασης της εικόνας δηλαδή  $\delta = \text{μέγιστη διάσταση εικόνας}/10$ .

Συνεχίζουμε την ολίσθηση του πλαισίου μέχρι την εξάντληση της οριζόντιας διάστασης της εικόνας μας. Στην τελευταία θέση του πλαισίου όπου ισχύει  $(1 + n \times \delta) < \text{αριθμός στηλών εικόνας} \leq [1 + (n + 1) \times \delta]$ , επεκτείνουμε το πλαίσιο ώστε να συμπεριλάβει όλα τα εναπομείναντα εικονοστοιχεία της εικόνας κατά την οριζόντια διάσταση αυτής.

Μετατοπίζουμε την αρχή αυτού στο σημείο  $(1 + \delta, 1)$ , εφόσον το πλαίσιο διατρέξει όλη την πρώτη γραμμή της εικόνας, και επαναλαμβάνουμε την προαναφερθείσα διαδικασία κ.ο.κ. Στην τελευταία κατακόρυφη ολίσθηση για την οποία ισχύει  $(1 + m \times \delta) < \text{αριθμός γραμμών εικόνας} \leq [1 + (m + 1) \times \delta]$ , επεκτείνουμε «προς τα κάτω» το πλαίσιο ώστε να συμπεριληφθούν όλα τα εναπομείναντα pixels της προς κατάτμηση εικόνας κατά την κατακόρυφη διάσταση αυτής, παρόμοια με την αντίστοιχη θέση της οριζόντιας διάστασης που αναφέραμε παραπάνω.

### 3.3 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΤΟΥ ΓΚΡΙ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΙΚΟΥ ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΚΑΘΕ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΜΕ ΔΥΟ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΕΣ ΚΑΝΟΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ.

Σε κάθε θέση του πλαισίου, έστω την  $((1 + n \times \delta), (1 + m \times \delta))$ , δημιουργούμε το ιστόγραμμα διαβάθμισης του γκρι όλων των εικονοστοιχείων που ανήκουν στο πλαίσιο. Συγκεκριμένα, η μικρότερη τιμή απόχρωσης του γκρι εντός του πλαισίου στη θέση αυτή έστω ότι είναι  $\Gamma_{min}$ , ενώ η αντίστοιχη μέγιστη τιμή έστω ότι είναι  $\Gamma_{max}$ . Τότε χωρίζουμε το διάστημα  $[\Gamma_{min}, \Gamma_{max}]$  σε  $N^F$  ίσα υποδιαστήματα. Σε κάθε ένα από αυτά τα υποδιαστήματα, αποδίδουμε το πλήθος των pixels που έχουν τιμή μεγαλύτερη ή ίση της αρχής του διαστήματος και μικρότερη του τέλους. Στο τελευταίο υποδιάστημα, συμπεριλαμβάνουμε και τα εικονοστοιχεία που έχουν απόχρωση του γκρι μέχρι και  $\Gamma_{max}$ . Για τις δικές μας εφαρμογές, μια καλή τιμή για το πλήθος των υποδιαστημάτων ή κυτίων του ιστογράμματος είναι η  $N^F = 30$ . Στη συνέχεια, , προσεγγίζουμε βέλτιστα το ιστόγραμμα αποχρώσεων του γκρι κάθε πλαισίου με δύο ανεξάρτητες κανονικές κατανομές με την έννοια των ελαχίστων τετραγώνων. [10]

### 3.4 ΕΥΡΕΣΗ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΚΑΜΠΗΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΚΑΝΟΝΙΚΩΝ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ

Εντοπίζουμε τα σημεία καμπής των δύο κανονικών κατανομών με τις οποίες προσεγγίσαμε το ιστόγραμμα στο προηγούμενο βήμα.

Πράγματι, για τυγχάνουσα κανονική κατανομή με μέση τιμή  $\mu$  και τυπική απόκλιση  $\sigma$  ισχύουν τα ακόλουθα στοιχεία και ιδιότητες :

- Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας είναι :

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

- Η πρώτη παράγωγος αυτής είναι :

$$f'(x) = -\frac{x-\mu}{\sigma^3\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

- Η δεύτερη παράγωγος είναι :

$$f''(x) = -\frac{1}{\sigma^3\sqrt{2\pi}} \left[ 1 - \frac{(x-\mu)^2}{\sigma^2} \right] e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

- Τα σημεία καμπής προκύπτουν από τη λύση της εξίσωσης  $f''(x) = 0$  και είναι

$$x_k^1 = \mu + \sigma$$

$$x_k^2 = \mu - \sigma$$

### 3.5 ΑΡΧΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΘΕΜΑΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΑΚΜΗΣ

Όπως είναι γνωστό, τα εικονοστοιχεία (pixels), τα οποία το ανθρώπινο μάτι θεωρεί σαν ακμές (edges), είναι εκείνα στα οποία επισυμβαίνει μέγιστη μεταβολή είτε της απόχρωσης του γκρι (σε εικόνες αποχρώσεων του γκρι) είτε του χρωματικού περιεχομένου, όταν αφορά έγχρωμη εικόνα. Στη δική μας εργασία, αναφορικά με οποιαδήποτε εικόνα αποχρώσεων του γκρι -έστω ότι  $I(x, y)$  είναι η τιμή του γκρι στο pixel με συντεταγμένες  $(x, y)$ , τότε η μεταβολή της απόχρωσης του γκρι στο τυχόν pixel  $(x, y)$  δίνεται από την κλίση ή το ανάδελτα της  $I$  δηλαδή, από την συνάρτηση  $\nabla I(x, y)$ . Σύμφωνα με τα ανωτέρω, οι ακμές βρίσκονται εκεί όπου η τιμή του μέτρου του ανάδελτα  $\nabla I(x, y)$  γίνεται τοπικά μέγιστη. Αλλά, στα σημεία που παρουσιάζει τοπικό μέγιστο μια συνάρτηση δύο μεταβλητών το ανάδελτα αυτής είναι μηδέν. Άρα, στα σημεία των ακμών ισχύει

$$\nabla(|\nabla I(x, y)|) = 0$$

Από την άλλη πλευρά, ας υποθεθεί ότι έχουμε τη φωτογραφία μιας ή περισσοτέρων υλοποιήσεων ενός συμβόλου της αλφαβήτου επί του μαρμάρου. Τότε, είναι απολύτως εύλογο να υποθέσουμε ότι οι δύο κανονικές κατανομές με τις οποίες προσεγγίσαμε το ιστόγραμμα αποχρώσεων του γκρι της εικόνας, αντιστοιχούν στις δύο προαναφερθείσες περιοχές. Δηλαδή, στην περίπτωση των επιγραφών που μελετάμε, η κανονική κατανομή με μέγιστο κοντινότερο στο μηδέν (μαύρο) περιλαμβάνει pixels του σώματος του γράμματος αυτών καθ' εαυτού, ενώ η άλλη κορυφή που είναι εγγύτερα στο 255 (λευκό), περιλαμβάνει εικονοστοιχεία του υποβάθρου. Βεβαίως, λόγω της φθοράς αλλά και της ιδιαίτερης υφής του μαρμάρου και του πηλού, είναι λανθασμένο να υποθέσουμε ότι οι δύο περιοχές που προαναφέραμε είναι αμιγείς. Συγκεκριμένα, επειδή το μάρμαρο κυρίως λόγω φθοράς και προσμείξεων περιλαμβάνει πολλά σκούρα στίγματα τότε, pixels του υποβάθρου θα ανήκουν στην κανονική κατανομή της απόχρωσης του εσωτερικού του γράμματος. Δυκώς αντίστοιχα, εντός του σώματος του γράμματος υπάρχουν λευκά στίγματα για τους ίδιους λόγους. Συνεπώς, μόνο πιθανολογικά μπορεί κανείς να θεωρήσει ότι τα εικονοστοιχεία (pixels) ενός υποδιαστήματος ή κυτίου του ιστογράμματος ανήκουν στη μια ή στην άλλη κατανομή. Εντούτοις, στην περίπτωση των απεικονίσεων γραμμάτων επιγραφών, που εξετάζουμε, είναι εύλογο να θεωρήσουμε ότι το

συντριπτικά μεγαλύτερο μέρος των pixels του κυτίου που περιλαμβάνει την κορυφή της αριστερής κανονικής κατανομής ανήκουν στο σώμα του γράμματος, ενώ το μεγαλύτερο τμήμα των εικονοστοιχείων του υποδιαστήματος, που εμπεριέχει την λευκότερη κορυφή, ανήκει κατά συντριπτικό ποσοστό στο υπόβαθρο της εικόνας.

Με βάση όλες τις παραπάνω παρατηρήσεις, το παρόν βήμα για τον εντοπισμό των δύο θεματικών περιοχών που μας ενδιαφέρουν, περιλαμβάνει τις εξής ενέργειες :

- I. Θεωρούμε όλα τα εικονοστοιχεία που βρίσκονται στο ίδιο κυτίο του ιστογράμματος με την κορυφή της κανονικής κατανομής  $K^A$  που είναι εγγύτερα στο μαύρο και τα αποδίδουμε στο σώμα του γράμματος, τη θεματική περιοχή που θα συμβολίζουμε με  $\Sigma$ .
- II. Θεωρούμε όλα τα pixels που βρίσκονται στο ίδιο κυτίο του ιστογράμματος με την κορυφή της κανονικής κατανομής  $K^A$  που είναι εγγύτερα στο λευκό και τα αποδίδουμε στο υπόβαθρο της εικόνας του γράμματος, τη θεματική περιοχή που θα συμβολίζουμε με  $Y$ .
- III. Βρίσκουμε το σημείο τομής των δύο κανονικών κατανομών, έστω  $I^T$ , καθώς και το δεξί σημείο καμπής της αριστερής κανονικής κατανομής  $I^K$ . Επιλέγουμε μεταξύ των δύο  $I^T$  και  $I^K$  εκείνο, το οποίο είναι πλησιέστερο προς το μέγιστο της αριστερής κανονικής κατανομής, έστω  $I^H$ .
- IV. Από τις δύο κορυφές που επιλέχθηκαν στις ενέργειες (i) και (ii) παραπάνω, κινούμαστε εκατέρωθεν των κορυφών, συμπεριλαμβάνοντας σε αυτές τα εικονοστοιχεία του ιστογράμματος, μέχρι να φτάσουμε σε μια τιμή απόχρωσης του γκρι που είναι στο  $I^c = I(I^H) + 0.20 (I(I^{KA}) - I(I^H))$ .
- V. Πρέπει να τονισθεί, ότι υπάρχει περίπτωση η διαφοροποίηση των δύο κορυφών του ιστογράμματος να μην είναι καθόλου σαφής, ώστε ο αλγόριθμος προσαρμογής δύο κανονικών κατανομών να μπορεί να ταυτίσει τις δύο κανονικές κατανομές και να προσφέρει μόνο τη μία, την κυρίαρχη. Στην περίπτωση των γραμμάτων που αποτελούν το δικό μας θέμα μελέτης, η

κυρίαρχη κορυφή, η οποία αντιστοιχεί πάντα στο υπόβαθρο, είναι η δεξιά. Σε αυτή την περίπτωση, θεωρούμε το αριστερό σημείο καμπής  $X^{AK}$  (δηλαδή το προς τα αρνητικά) της μοναδικής κανονικής κατανομής και θεωρούμε αυτό ως ασφαλές σημείο διαφοροποίησης των pixels του ιστογράμματος που ανήκουν στο υπόβαθρο, από τα pixels που ανήκουν στο κυρίως σώμα. Προφανώς, τα pixels του κυτίου του ιστογράμματος που έχει κέντρο το  $X^{AK}$ , ανήκουν κατά βάση στο περίγραμμα του γράμματος.

### 3.6 ΕΞΑΛΕΙΨΗ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ ΚΑΙ ΟΜΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΘΕΜΑΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ

Αφού εκτελεστεί και η ενέργεια (iv) του βήματος 6, έχουμε δημιουργήσει δύο περιοχές, μία με απόχρωση γύρω από την τιμή  $I^{KA}$  και μέχρι την τιμή  $I^c$  εκατέρωθεν αυτής και μία δεύτερη περιοχή γύρω από την  $I^{K\Delta}$  και μέχρι το ίδιο κατώφλι. Σε αυτό το βήμα τώρα, θα προσπαθήσουμε να εξαλείψουμε το «θόρυβο», δηλαδή να ομογενοποιήσουμε κατά το δυνατόν τις περιοχές, με χρήση των μορφολογικών διαδικασιών που αναφέρονται παρακάτω.

Καταρχάς, ως «θόρυβος λόγω φθοράς» ή «decay noise» ορίζεται η τυχαία φθορά χρώματος και υφής που με τον καιρό δημιουργήθηκε σε κάθε μια από τις επιγραφές που μελετώνται. Προκειμένου να υπολογισθεί αυτή η κατανομή θορύβου (decay noise) λόγω φθοράς, η αρχική έγχρωμη εικόνα της επιγραφής μετατρέπεται σε εικόνα ασπρόμαυρης κλίμακας και υπολογίζεται η ένταση της κλίσης (ανάδελτα)

$$G_f(i, j) = \left| \frac{\partial I}{\partial x} \right| + \left| \frac{\partial I}{\partial y} \right| \cong |I(i+1, j) - I(i, j)| + |I(i, j+1) - I(i, j)|$$

σε κάθε εικονοστοιχείο  $(i, j)$  της εικόνας μας.

Στη συνέχεια, υπολογίζουμε την μέση τιμή  $E_G$  και την διασπορά  $R_G$  του μέτρου της κλίσης  $G_f(i, j)$  και ελέγχουμε τον αριθμό των pixels  $N_G$  που κείνται στο διάστημα  $(E_G - R_G, E_G + R_G)$ . Αν ο αριθμός  $N_G$  είναι μικρότερος από ένα σημαντικό ποσοστό  $P_G$  ( $P_G = 0.8$  για τη συγκεκριμένη εφαρμογή όπου το τελικό κριτήριο είναι η αποτελεσματικότητα της μεθόδου κατάτμησης που επιλέξαμε) του συνολικού αριθμού των εικονοστοιχείων της εικόνας μας,  $N$ , τότε θεωρούμε ότι υπάρχει μια σημαντική παρουσία θορύβου λόγω φθοράς, οπότε πρέπει να εφαρμοσθεί η ακόλουθη διαδικασία, προκειμένου να εξομαλυνθεί η απόχρωση του γκρι στην εκάστοτε επιγραφή που επεξεργαζόμαστε. Μεταθέτουμε μια περιοχή διαστάσεων  $P^x \times P^x$  pixels, όπου  $P^x$  ο κατάλληλα επιλεγμένος μικρός περιττός φυσικός, σε όλη την εικόνα του γράμματος, έτσι ώστε κάθε φορά ένα εικονοστοιχείο της επιγραφής μας να είναι το κέντρο αυτής της περιοχής, και αποδίδουμε τη μέση τιμή της απόχρωσης του γκρι όλων των pixels της περιοχής μας στο κεντρικό εικονοστοιχείο. Κατ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνουμε την χρωματική εξομάλυνση μιας εικόνας. Εάν ο

$N_G$  είναι μεγαλύτερος ή ίσος του  $P_G \times N$ , τότε αγνοούμε την προαναφερθείσα διαδικασία εξομάλυνσης.

Με κέντρο ένα pixel  $P$  της εικόνας του γράμματος ή του αγγείου ολισθαίνουμε μια μάσκα διαστάσεων  $m \times n$ , όπου  $m$  και  $n$  περιττοί. Σε κάθε θέση της μάσκας μετράμε τον αριθμό των εικονοστοιχείων της περιμέτρου αυτής, τα οποία ανήκουν σε κάθε μια εκ των περιοχών που ορίσαμε προηγουμένως. Έστω  $U_M$  η περιοχή με τον μεγαλύτερο αριθμό pixels περιμέτρου, και έστω  $N_M$  αυτός ο αριθμός. Αν ο  $N_M$  είναι μεγαλύτερος από ένα ποσοστό, έστω  $\Pi_{m,n}$ , του αριθμού των περιμετρικών εικονοστοιχείων της μάσκας, τότε η τιμή της απόχρωσης του γκρι όλων αυτών των pixels αυτής αποδίδεται στην περιοχή  $U_M$ . Η προηγούμενη διαδικασία επαναλαμβάνεται συνεχώς, μέχρι τη στιγμή που δεν χρειάζεται να τροποποιηθεί το περιεχόμενο απόχρωσης του γκρι κάποιας περιοχής  $U_M$ . Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μειώνοντας κάθε φορά κάθε μία από τις διαστάσεις της μάσκας κατά δύο και μέχρις ότου  $m = n = 3$ .

Η παραπάνω διαδικασία εξαφανίζει τον θόρυβο λόγω φθοράς στο εσωτερικό κάθε περιοχής με επιτυχία, αλλά κάποιος θόρυβος λόγω φθοράς παραμένει ακόμα στα σύνορα των περιοχών. Προκειμένου να μειώσουμε και αυτό το θόρυβο λόγω φθοράς εφαρμόζουμε την παρακάτω διαδικασία :

Με κέντρο ένα εικονοστοιχείο  $P$  της εικόνας του γράμματος ή του αγγείου ολισθαίνουμε μια μάσκα διαστάσεων  $m \times n$ , όπου  $m$  και  $n$  περιττοί. Σε κάθε θέση της μάσκας μετράμε τον αριθμό των pixels αυτής, τα οποία ανήκουν σε κάθε καθορισμένη περιοχή ξεχωριστά, και έστω  $U_{max}$  και  $U_{min}$  οι περιοχές με το μεγαλύτερο και το μικρότερο αριθμό pixels αντίστοιχα, όπου η περιοχή  $U_{max}$  περιλαμβάνει  $N_{max}$  pixels και η περιοχή  $U_{min}$   $N_{min}$  αντίστοιχα.

Κατόπιν ελέγχουμε αν ικανοποιούνται οι παρακάτω συνθήκες :

- Το κέντρο της μάσκας να ανήκει στην περιοχή  $U_{min}$ .
- Το  $N_{min}$  να είναι μικρότερο από ένα ποσοστό, έστω  $\Pi_{min(m,n)}$ , του αριθμού των εικονοστοιχείων της μάσκας.
- Το  $N_{max}$  να είναι μεγαλύτερο από ένα ποσοστό, έστω  $\Pi_{max(m,n)}$ , του αριθμού των pixels της μάσκας.



Αν ικανοποιούνται οι συνθήκες αυτές, τότε καταχωρούμε το κεντρικό εικονοστοιχείο της μάσκας στην περιοχή  $U_{max}$ . Η προαναφερθείσα διαδικασία επαναλαμβάνεται συνεχώς μέχρις ότου να μην υπάρχει πλέον εικονοστοιχείο, του οποίου η απόχρωση του γκρι να μην πρέπει να τροποποιηθεί.

Ακολουθως, κάθε μια εκ των διαστάσεων της μάσκας μειώνεται κατά δύο και η όλη διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρις ότου  $m = n = 3$ .

Σημειώνουμε πως υπάρχει μια πολύ στενή σχέση μεταξύ του βαθμού του θορύβου λόγω φθοράς, που έχει υποστεί καθεμιά από τις επιγραφές μας και των κατάλληλων τιμών των κατωφλίων  $\Pi_{m,n}$ ,  $\Pi_{\min(m,n)}$ , και  $\Pi_{\max(m,n)}$ .

Με αυτόν τον τρόπο, λαμβάνουμε την «τελικώς ομογενοποιημένη» εικόνα της επιγραφής μας. Αν θέλουμε να πάρουμε μια ακόμα πιο ομογενοποιημένη κατάτμηση μπορούμε να επαναλάβουμε τη διαδικασία εξομάλυνσης, όπως προαναφέρθηκε παραπάνω, σε καθεμιά από τις ληφθείσες περιοχές ξεχωριστά, όπου όμως χρησιμοποιείται το αρχικό περιεχόμενο του χρώματος που είχαν τα pixels της περιοχής που εξετάζουμε. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας υποβάλλεται εκ νέου στην προαναφερθείσα διαδικασία ομογενοποίησης.

### 3.7 ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΕΙΚΟΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΟΥ ΑΠΕΜΕΙΝΑΝ ΣΤΗ ΔΕΟΥΣΑ ΠΕΡΙΟΧΗ

Αφού δημιουργήσαμε τις κατά το δυνατόν ομογενοποιημένες περιοχές  $\Sigma^O$  που αντιστοιχούν σε ένα ομογενοποιημένο τμήμα του σώματος του γράμματος ή του αγγείου και την  $\Upsilon^O$ , που αντιστοιχεί σε ομογενοποιημένο τμήμα του υποβάθρου, θα αποδώσουμε τα εναπομείναντα pixels στις περιοχές αυτές ως εξής :

Έστω  $I_{\mu}^{\Sigma^O}, I_{\mu}^{\Upsilon^O}$  ο μέσος όρος των αποχρώσεων του γκρι των εικονοστοιχείων των περιοχών  $\Sigma^O$  και  $\Upsilon^O$  αντίστοιχα, και έστω  $I^X$  η απόχρωση του γκρι τυχόντος pixel της εικόνας που δεν έχει καταταγεί στις  $\Sigma^O$  και  $\Upsilon^O$ . Για κάθε τέτοιο μη ενταγμένο pixel αποχρώσεως  $I^X$  ορίζουμε ένα μέτρο απόστασης αποχρώσεως από τις  $\Sigma^O$  και  $\Upsilon^O$  μέσω της σχέσης:

$$\text{μέτρο απόστασης αποχρώσεως } d(I^X, \Sigma^O) = (\text{απόσταση } I^X \text{ από } I_{\mu}^{\Sigma^O}) + \\ + (\text{ελάχιστη απόσταση } I^X \text{ από σύνολο αποχρώσεων των pixels της } \Sigma^O)$$

Αντίστοιχο μέτρο απόστασης  $d(I^X, Y^O)$  ορίζουμε για την  $Y^O$ .

Εν συνεχεία, διατάσσουμε τις ποσότητες  $d(I^X, \Sigma^O) - d(I^X, Y^O)$  και το pixel με τη μικρότερη τιμή αυτής της διαφοράς το αποδίδουμε στο  $\Sigma^O$ , ενώ αυτό με τη μεγαλύτερη τιμή διαφοράς το αποδίδουμε στο  $Y^O$ . Κατ' αυτόν τον τρόπο, επαναπροσδιορίζουμε τις περιοχές  $\Sigma^O$  και  $Y^O$ , επανυπολογίζουμε τα  $I_{\mu}^{\Sigma^O}, I_{\mu}^{Y^O}$  και αποδίδουμε τα μη καταταγμένα εικονοστοιχεία επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία.

### **3.8 ΤΕΛΙΚΟΣ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΘΕΜΑΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΤΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΑΦΕΝΟΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ ΑΦΕΤΕΡΟΥ**

Μετά την εκτέλεση και του βήματος 8, δηλαδή μετά τη δημιουργία των επεκτεταμένων ομογενοποιημένων περιοχών  $\Sigma^O$  και  $Y^O$ , λαμβάνουμε τις τελικές εκδόσεις των δύο περιοχών, τόσο του σώματος του γράμματος όσο και του υποβάθρου, με τη χρήση των μορφολογικών διαδικασιών, όπως περιεγράφηκαν στο βήμα 7. Στο τέλος όλων των παραπάνω ενεργειών, λαμβάνουμε, μετά από μετατροπή της εικόνας σε δυαδική μορφή, το σώμα του γράμματος μαύρο, εντεθειμένο σε υπόβαθρο άσπρο.

Συνοπτικά λοιπόν, με όλη αυτή τη διαδικασία στις αρχαίες επιγραφές, επιδιώκουμε να πάρουμε μία δίτιμη (binary) εικόνα. Αυτό επιτυγχάνεται ως εξής : αρχικά, μετατρέπουμε την εικόνα κάθε γράμματος σε εικόνα διαβάθμισης του γκρι και ύστερα εφαρμόζουμε την προηγούμενη προσέγγιση σε μονοδιάστατη διαμέριση. Με την ολοκλήρωση της εφαρμογής στην εικόνα του γράμματος έχουν απομείνει δύο μόνο περιοχές αποχρώσεων του γκρι. Όλα τα εικονοστοιχεία που έχουν ενταχθεί στην περιοχή με τη χαμηλότερη τιμή απόχρωσης του γκρι θεωρείται ότι ανήκουν στο σώμα του γράμματος και αποδίδεται σε αυτά η τιμή μηδέν. Αντιθέτως, σε όλα τα υπόλοιπα αποδίδεται η τιμή ένα ή η τιμή 255, ανάλογα με το αριθμητικό σύστημα που εκάστοτε χρησιμοποιούμε. [4]

# 4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΑΝΩΤΕΡΩ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ ΕΙΚΟΝΩΝ ΑΡΧΑΙΩΝ ΕΠΙΓΡΑΦΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό, γίνεται παράθεση και ανάλυση κάποιων ενδεικτικών παραδειγμάτων εφαρμογής των αλγορίθμων, που έχουν αναλυθεί στα προηγούμενα κεφάλαια. Όπως έχει αναφερθεί, για την εφαρμογή αυτών των αλγορίθμων, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Matlab, το οποίο είναι ένα περιβάλλον αριθμητικής υπολογιστικής και μία γλώσσα προγραμματισμού 4<sup>ης</sup> γενιάς. Το Matlab μπορεί να υλοποιήσει στον τομέα των γραφικών, όσο αφορά τον μαθηματικό κλάδο, συναρτήσεις πραγματικές, μιγαδικές, πεπλεγμένες δύο μεταβλητών και πολλές ακόμα. Τα αποτελέσματα της κατάτμησης κάθε επιγραφής για την εκάστοτε μέθοδο, εισήχθησαν στο Adobe Photoshop, το οποίο είναι πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνας, και γενικότερα γραφικών, και στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκε για να απαλειφθεί ο θόρυβος που προκύπτει στα αποτελέσματα του Matlab. Τέλος, μετά την απομάκρυνση του θορύβου, οι κατετμημένες επιγραφές παρατέθηκαν με την αντίστοιχη εκτέλεση της διαδικασίας που είχε γίνει στο χέρι και μας έδωσαν σαν αποτέλεσμα, το ποσοστό επί του συνόλου του αρχικού γράμματος που μας δίνει η κάθε επιγραφή, το οποίο καλύπτει η εικόνα που προέκυψε. Προφανές είναι, ότι όσο πιο πολύ τείνει στη μονάδα αυτό το ποσοστό, τόσο πιο ικανοποιητικό είναι το αποτέλεσμα της κατάτμησης που έγινε. Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των αλγορίθμων γινόταν η κατάλληλη ρύθμιση των παραμέτρων, που χρησιμοποιεί η κάθε μέθοδος, ώστε να επιτευχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα. Οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν είναι εικόνες αρχαιολογικών ευρημάτων, που απεικονίζουν γράμματα από αρχαίες επιγραφές. Οι ονομασίες των εικόνων είναι της μορφής XXXX\_YY\_Z\_WWW. Το XXXX αντιπροσωπεύει τον αριθμό της επιγραφής, το YY τον αριθμό της σειράς στην οποία ανήκει το γράμμα, το Z υποδηλώνει ποιο γράμμα της ελληνικής αλφαβήτου παρουσιάζεται στην εικόνα και το WWW είναι ο αύξων αριθμός του γράμματος. Για παράδειγμα, το πρώτο δείγμα που παρουσιάζεται στη συνέχεια είναι η εικόνα 6006\_27\_M\_022. Το γράμμα ανήκει στην επιγραφή 6006, βρίσκεται στη

σειρά 27, είναι το γράμμα “Μ”, και είναι το 22<sup>ο</sup> “Μ” που συναντάμε σε αυτή την επιγραφή.

#### **4.1 ΕΝΔΟΓΕΝΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΕΙΚΟΝΩΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΓΡΑΦΩΝ**

Η αυτόματη κατάτμηση των αρχαιολογικών επιγραφών παρουσιάζει κάποια ενδογενή προβλήματα, που οφείλονται στην κατάσταση και την φύση τους. Ορισμένα από αυτά τα προβλήματα είναι η φθορά, η ποιότητα του υλικού (συνήθως μάρμαρο), η διαδικασία της χάραξης, η πολυπλοκότητα του γράμματος, καθώς και οι συνθήκες υπό τις οποίες έγινε η φωτογράφησή τους.

##### **➤ Φθορά των αρχαιολογικών ευρυμάτων**

Όπως είναι φυσιολογικό, λόγω της παρόδου του χρόνου οι επιγραφές αυτές έχουν υποστεί κάποια φυσική φθορά, έως ότου ανακαλύφθηκαν και κατέστησαν υπό ανασκαφή. Σημαντικό ρόλο σε αυτό έχουν μεταξύ πολλών, η ηλικία του ευρήματος και το είδος του υπεδάφους στο οποίο διατηρήθηκαν αυτές οι επιγραφές. Επιπτώσεις αυτής της φθοράς είναι η ύπαρξη στιγμάτων, κηλίδων, καθώς και η αλλοίωση των γραμμμάτων που είναι χαραγμένα πάνω σε αυτές. Συνέπεια της φθοράς, που είναι εμφανής στις εικόνες, είναι η δυσχέρεια της επεξεργασίας αυτών των εικόνων, με τους αλγορίθμους αυτόματης κατάτμησης.

Παρατίθενται δύο παραδείγματα εικόνων που έχουν υποστεί τέτοιων ειδών φθορές.

##### **➤ Διαδικασία χάραξης**

Η διαδικασία χάραξης είναι επίσης ένας πάρα πολύ σημαντικός παράγοντας, που είτε διευκολύνει, είτε δυσχεραίνει τη διαδικασία της αυτόματης κατάτμησης. Οι διαφορές στη διαδικασία χάραξης έγκεινται στο χαρακτή και στην τεχνολογία που

χρησιμοποιήθηκε, στο εργαλείο χάραξης, καθώς και στο γραφικό χαρακτήρα. Σπουδαίες παράμετροι είναι η ακριβής χάραξη και το βάθος χάραξης, τα οποία κάνουν ένα γράμμα πιο ευανάγνωστο.

#### ➤ Ποιότητα υλικού

Στις εικόνες που υπέστησαν αυτόματη κατάτμηση, το υλικό πάνω στο οποίο είναι χαραγμένα τα διάφορα γράμματα είναι το μάρμαρο, το οποίο είναι ένα πέτρωμα. Ως εκ τούτου, η σύνθεση του δεν είναι απόλυτα σταθερή, καθώς υπεισέρχονται προσμίξεις από άλλα υλικά. Αυτό δυσχεραίνει την επεξεργασία της εικόνας, καθώς ακόμη και τα αποτελέσματα κατάτμησης των καλά διασωθεισών επιγραφών, θα περιέχουν θόρυβο, ο οποίος θα προέρχεται από ρωγμές, χρώματα και προσμίξεις που τυχόν θα έχει το υπόβαθρο.

#### ➤ Πολυπλοκότητα του γράμματος

Ένας ακόμα πολύ σημαντικός παράγοντας είναι η πολυπλοκότητα του γράμματος. Όσο πιο σύνθετο ένα γράμμα, τόσο πιο μεγάλη η πολυπλοκότητά του. Για παράδειγμα, ένα “Α” έχει πολύ μεγαλύτερη πολυπλοκότητα από ένα “Ω”. Στοιχεία της πολυπλοκότητας, όπως είναι εύκολα αντιληπτό, είναι οι αιχμές, οι διασταυρώσεις και το πλήθος ακμών. Τα γράμματα που έχουν πιο έντονα αυτά τα στοιχεία είναι πιο δύσκολο να κατατμηθούν και προσφέρουν λιγότερο ικανοποιητικά αποτελέσματα.

#### ➤ Συνθήκες Φωτογράφισης

Ιδιαίτερο ρόλο στη διαδικασία αυτόματης κατάτμησης αποτελούν οι συνθήκες φωτογράφισης. Οι επιγραφές που χρησιμοποιήθηκαν ανήκουν στο Εθνικό Επιγραφικό Μουσείο και φωτογραφήθηκαν στα υπόγεια του. Οι συνθήκες φωτισμού δεν ήταν ιδανικές και δεν επιτράπη η χρήση φλας, με φυσιολογικό επακόλουθο τη μειωμένη ποιότητα, που δε βοηθάει στην λήψη ικανοποιητικών αποτελεσμάτων από την αυτόματη κατάτμηση. [9]

## 4.2 ΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΤΩΝ ΕΠΙΓΡΑΦΩΝ

Στα δείγματα των επιγραφών που θα παρατεθούν σε αυτή την ενότητα, θα χρησιμοποιηθούν γράμματα από διάφορες επιγραφές, καθώς και γράμματα διαφορετικά μεταξύ τους, ώστε να μπορεί να παρουσιαστεί και να καλυφθεί όσο το δυνατόν περισσότερο το εύρος των περιπτώσεων που ανέκυψαν κατά τη διάρκεια των πειραμάτων που έγιναν πάνω στην εφαρμογή της αυτόματης κατάτμησης εικόνας. Τα αποτελέσματα διαφέρουν μεταξύ τους, λόγω των ιδιοτήτων της κάθε εικόνας, όπως το γράμμα το οποίο απεικονίζει (διαφορά στα σημεία καμπής, διαφορά μεγέθους κ.ά.), τα χαρακτηριστικά της χάραξης, αλλά και τις φυσικές φθορές τις οποίες έχει υποστεί κάθε επιγραφή.

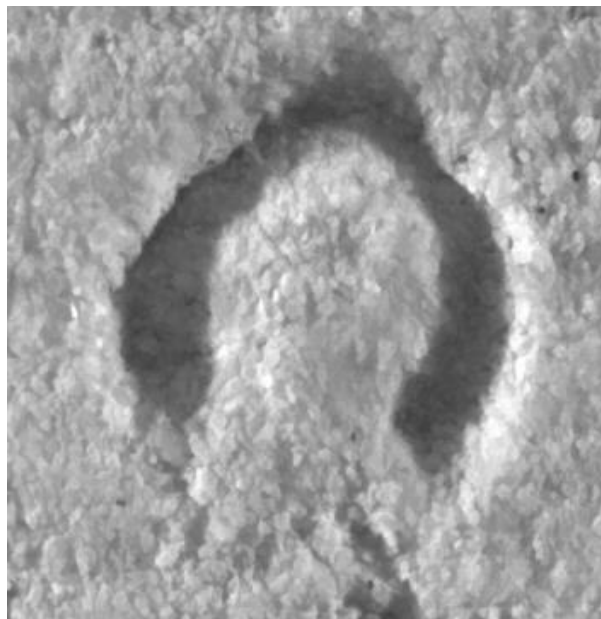
**Δείγμα Πρώτο:** Στην πρώτη εικόνα (Εικόνα 4.2.1) παραθέτουμε τη φωτογραφία του γράμματος 6006\_27\_M\_022, όπως είναι χαραγμένο στο μάρμαρο.



Εικόνα 4.2-1

Παρατηρούμε ότι το γράμμα είναι ένα Μ, το οποίο έχει έντονη χρωματική διαφορά ως προς το μάρμαρο πάνω στο οποίο είναι χαραγμένο. Το υπόβαθρο, δεν έχει πολλές φθορές, αλλά το γράμμα δεν είναι πολύ απλό. Η πολυπλοκότητα του είναι κάπως αυξημένη, λόγω των αιχμών που έχει.

**Δείγμα Δεύτερο:** Στη Δεύτερη εικόνα (Σχήμα 4.2.2) φαίνεται η φωτογραφία του γράμματος 6006\_06\_W\_005.



Εικόνα 4.2-2

Το γράμμα είναι το αρχαίο ελληνικό “Ω”. Παρατηρείται ότι η χρωματική διαφορά είναι μεν εμφανής, αλλά όχι πολύ έντονη. Το μάρμαρο δεν έχει πολύ θόρυβο και η πολυπλοκότητα του δεν είναι πολύ μεγάλη καθώς δεν έχει πολλές αιχμές και διασταυρώσεις.

**Δείγμα Τρίτο:** Πρόκειται για την εικόνα του γράμματος 6422\_05\_A\_012 (Εικόνα 4.2.3)

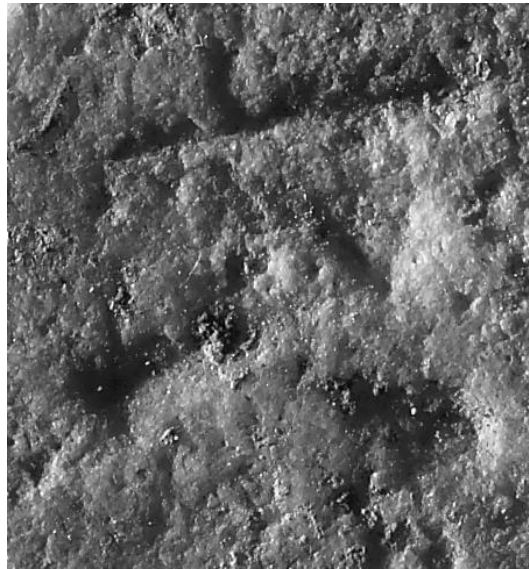


Εικόνα 4.2-3

Το εικονιζόμενο γράμμα είναι το Α. Παρατηρείται ότι το χρώμα του υποβάθρου είναι αρκετά πιο «σκοτεινό» από άλλες περιπτώσεις που εξετάστηκαν, ενώ έχει υποστεί και πολλές φθορές. Η πολυπλοκότητά του είναι σαφώς αρκετά αυξημένη.



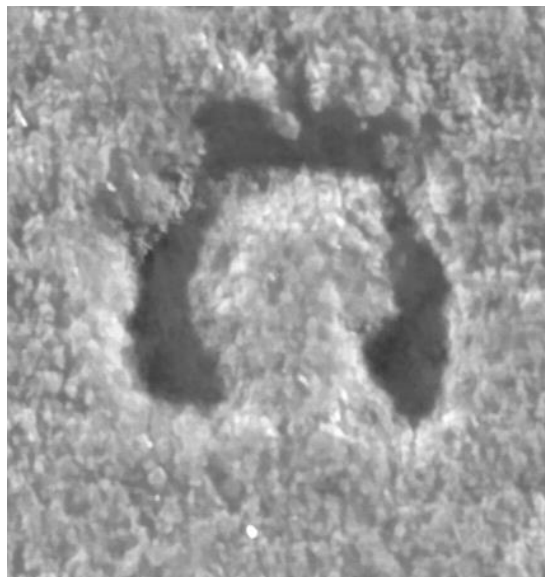
**Δείγμα Τέταρτο:** Στην Εικόνα 4.2.4 παραθέτουμε το γράμμα 7188\_03\_S\_001.



Εικόνα 4.2-4

Πρόκειται για ένα «Σ». Είναι ευδιάκριτο ότι το μάρμαρο έχει υποστεί πολλές φθορές. Το «Σ» είναι εκ φύσεως ένα πολύπλοκο γράμμα με πολλές αιχμές και διασταυρώσεις. Επίσης παρατηρείται ότι το γράμμα δεν είναι και πολύ καλά χαραγμένο πάνω στο υπόβαθρο.

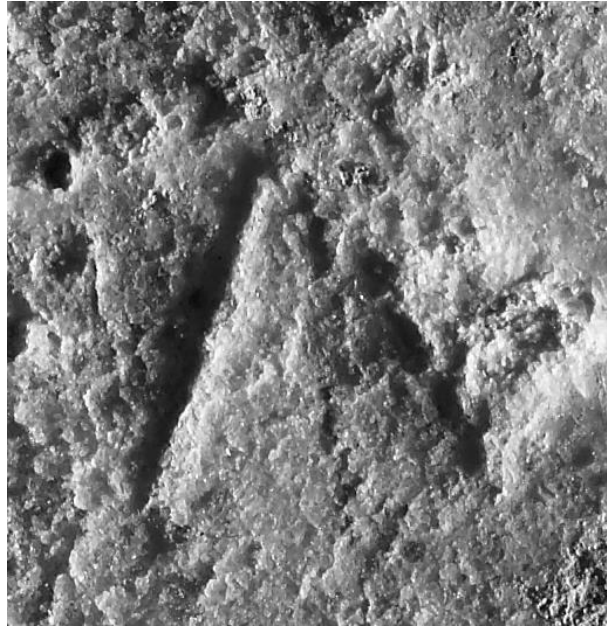
**Δείγμα Πέμπτο:** Το πέμπτο δείγμα είναι το γράμμα 6006\_33\_W\_026 και απεικονίζεται στην Εικόνα 4.2.5.



Εικόνα 4.2-5

Είναι το «Ω». Το γράμμα είναι αρκετά καλά χαραγμένο και ευδιάκριτο. Η πολυπλοκότητά του ως «Ω» δεν είναι πολύ μεγάλη και η χρωματική διαφορά γράμματος – υποβάθρου είναι αρκετά μεγάλη.

**Δείγμα Έκτο:** Στην εικόνα 4.2.6 παρατίθεται το γράμμα 7188\_06\_A\_005.



Εικόνα 4.2-6

Το γράμμα είναι ένα «Α». Το υπόβαθρο έχει πάρα πολλές φθορές, που οδήγησαν στην ελαφρά παραμόρφωση του γράμματος. Το γράμμα δεν είναι χαραγμένο πολύ καλά και η πολυπλοκότητα του, λόγω του συνδυασμού αυτών των παραγόντων είναι αυξημένη.

**Δείγμα Έβδομο:** Στην έβδομη εικόνα (Εικόνα 4.2.7) παρατίθεται το γράμμα 7481\_04\_M\_002.



Εικόνα 4.2-7

Το γράμμα είναι ένα «Μ». Το υπόβαθρο παρουσιάζει αρκετές φθορές, και η χρωματική διαφορά του με το χαραγμένο γράμμα είναι ικανοποιητική. Η χάραξη είναι καλή και κάνει το γράμμα ευδιάκριτο, ενώ η πολυπλοκότητα είναι αυξημένη λόγω αιχμών και διασταυρώσεων.

**Δείγμα όγδοο:** Η όγδοη εικόνα (Εικόνα 4.2.8) απεικονίζει το γράμμα 6671\_53\_W\_040.



Εικόνα 4.2-8

Παρατηρείται ότι η όγδοη εικόνα είναι ένα «Ω». Η χάραξη του δεν είναι πάρα πολύ καλή, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει έντονη χρωματική διαφορά μεταξύ εικόνας και υποβάθρου. Το «Ω» δεν είναι ένα πολύπλοκο γράμμα. Το υπόβαθρο, έχει υποστεί αρκετές φθορές.

### **4.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΣΤΟ ΔΕΙΓΜΑ**

Στο σημείο αυτό της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα παρουσιαστεί η εφαρμογή όλων των μεθόδων (chan-veese, multiphase, watershed και histogram) στα δείγματα που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 4.2. Ο αλγόριθμος εφαρμόστηκε στο περιβάλλον MATLAB. Λαμβάνοντας υπόψιν την ανάλυση που έγινε για τον εκάστοτε αλγόριθμο στα παραπάνω κεφάλαια, ρυθμίστηκαν οι παράμετροι αντίστοιχα. Στην αρχή αυτού του κεφαλαίου θα παρουσιαστούν όλα τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από την εφαρμογή των αλγορίθμων στα δείγματα με την εξής σειρά: watershed, chan-veese, multiphase, histogram. Στη συνέχεια, θα παρατεθούν πίνακες από τα αποτελέσματα των συγκρίσεων που έγιναν με σκοπό τη σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των διαφορετικών αλγορίθμων της αυτόματης κατάτμησης εικόνας. Όλες οι εικόνες που παρατίθενται στο παρακάτω κεφάλαιο έχουν επεξεργαστεί, ώστε να απομακρυνθεί ο θόρυβος που προκύπτει από την αυτόματη κατάτμηση, με σκοπό να υπάρχει η δυνατότητα σύγκρισής τους με ένα πρότυπο δείγμα, το οποίο έχει σχεδιαστεί με «το χέρι», ώστε να απεικονίζει επακριβώς πως αντιλαμβάνεται την εικόνα το ανθρώπινο μάτι.

**Πρώτο δείγμα:** Η εικόνα 4.3.1 είναι το αποτέλεσμα από την εφαρμογή του αλγορίθμου watershed.



Εικόνα 4.3-1

Το εξαγόμενο αποτέλεσμα της εικόνας 6006\_27\_M\_022 από την εφαρμογή του αλγορίθμου των T.F.Chan και L.A.Vese παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.3.2.



Εικόνα 4.3-2

Σε αυτή την περίπτωση, το καλύτερο αποτέλεσμα λήφθηκε από την καμπύλη large, παράμετρος η οποία έχει αναπτυχθεί στο κεφάλαιο 2.3.

Η εικόνα 4.3.3 είναι η εικόνα που πήραμε από τον αλγόριθμο multiphase.



Εικόνα 4.3-3

Εφόσον ο αλγόριθμος δοκιμάστηκε με όλες τις δυνατές παραμέτρους, το καλύτερο αποτέλεσμα λήφθηκε με τις καμπύλες «whole and small».

Στην εικόνα 4.3.4 παρατίθεται το αποτέλεσμα του αλγορίθμου histogram.



Εικόνα 4.3-4

Το πολυώνυμο της συνάρτησης που χρησιμοποιήθηκε ήταν βαθμού (lop: 16 και buy: 1) με ένωση ίση με 4.

**Δεύτερο Δείγμα:** Οι Εικόνες 4.3.5, 4.3.6, 4.3.7, 4.3.8, παρουσιάζουν τα αποτελέσματα των αλγορίθμων watershed, Chan-Vese, multiphase και histogram αντίστοιχα, για την εικόνα 6006\_06\_W\_005.



Εικόνα 4.3-5



Εικόνα 4.3-6

Η καμπύλη που επιλέχθηκε στη μέθοδο των T.F.Chan και L.A.Vese είναι η large.



Εικόνα 4.3-7

Στη παραλλαγή της μεθόδου των T.F.Chan και L.A.Vese, multiphase, χρησιμοποιήθηκε το είδος των καμπυλών “whole and small”.



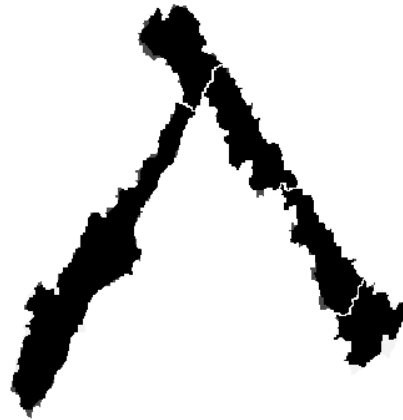
Εικόνα 4.3-8

Στην εφαρμογή του αλγορίθμου histogram, οι μεταβλητές που ρυθμίζουν το βαθμό του πολωνύμου ορίστηκαν ως εξής:  $lor=7$ ,  $buy=0$ ,  $ένωση=2$ . Συνεπώς, ο βαθμός του πολωνύμου είναι .

**Τρίτο Δείγμα:** Παρατίθενται οι εικόνες με τα αποτελέσματα της εφαρμογής των αλγορίθμων για την εικόνα 6422\_05\_A\_012.

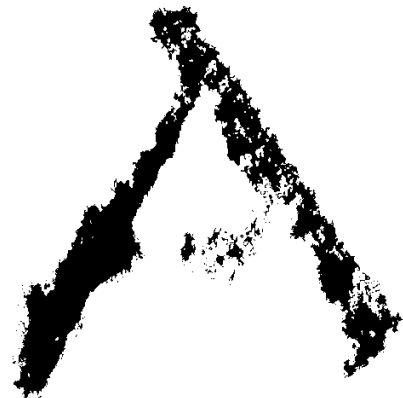


Στην Εικόνα 4.3.9 παρουσιάζεται το αποτέλεσμα του αλγορίθμου Watershed.



Εικόνα 4.3-9

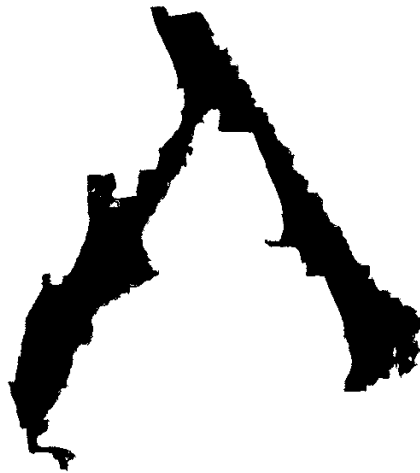
Η Εικόνα 4.3.10 εξήχθη από την εφαρμογή του αλγορίθμου των T.F.Chan και L.A.Vese .



Εικόνα 4.3-10

Η καμπύλη που χρησιμοποιήθηκε για την αυτόματη κατάτμηση είναι η “small”.

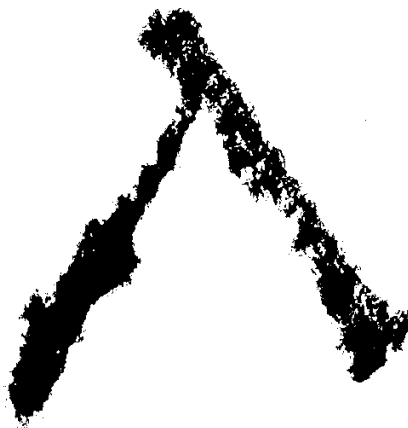
Εικόνα 4.3.11: Η προς σύγκριση εικόνα, προϊόν του αλγορίθμου multiphase.



Εικόνα 4.3-11

Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιήθηκε το σύνολο των καμπυλών “whole”.

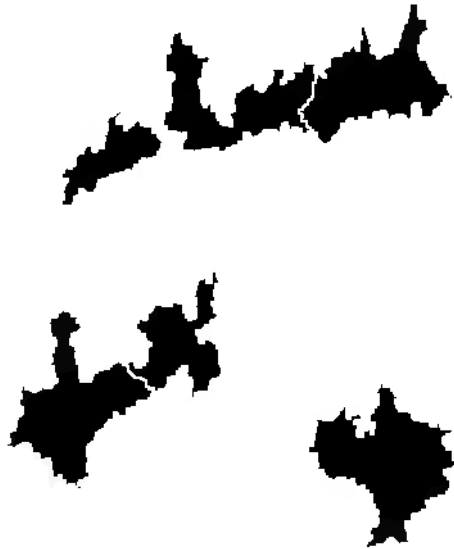
Στην τελευταία εικόνα (4.3.12) που παρουσιάζεται για το τρίτο παράδειγμα της παρούσας διπλωματικής, που είναι το αποτέλεσμα του αλγορίθμου histogram. Ο βαθμός του πολωνύμου είναι , με  $lop=6$ ,  $bny=0$ ,  $\acute{\epsilon}\nu\omega\sigma\eta=0$ .



Εικόνα 4.3-12

**Τέταρτο δείγμα:** Πρόκειται για τις εικόνες που εξήχθησαν από την εφαρμογή των αλγορίθμων στην εικόνα 7188\_03\_S\_001.

Η επόμενη εικόνα (Εικόνα 4.3.13) είναι το αποτέλεσμα της κατάτμησης με τον αλγόριθμο Watershed.



Εικόνα 4.3-13

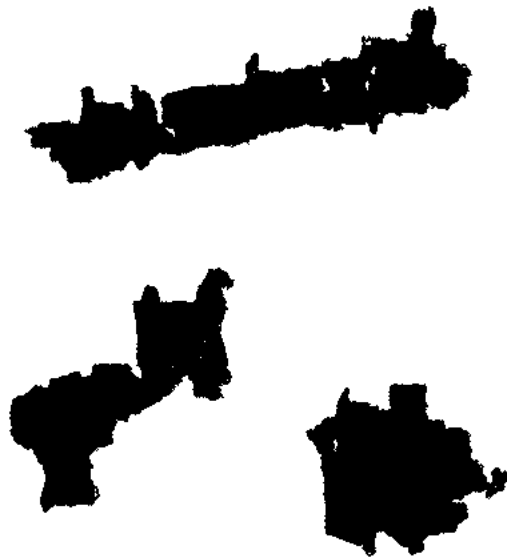
Η Εικόνα 4.3.14 εξήχθη από την εφαρμογή του αλγορίθμου των T.F.Chan και L.A.Vese.



Εικόνα 4.3-14

Η παράμετρος που καθορίζει την αρχική καμπύλη τέθηκε σε “whole and small”.

Η επόμενη εικόνα (4.3.15) είναι το αποτέλεσμα του αλγορίθμου multiphase.



Εικόνα 4.3-15

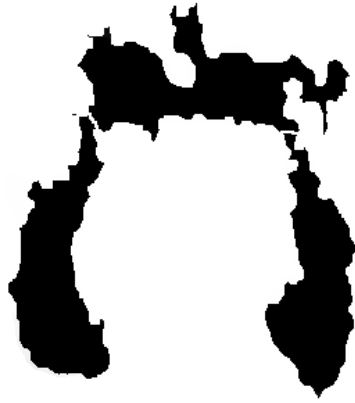
Σε αυτή την περίπτωση το σύνολο καμπυλών “whole” έδωσε το πιο ικανοποιητικό αποτέλεσμα.

Το αποτέλεσμα της μεθόδου του ιστογράμματος, έχει πολυώνυμο βαθμού ( $lop=9$ ,  $buy=1$ ,  $ένωση=1$ ) και παρατίθεται στην Εικόνα 4.3.16



Εικόνα 4.3-16

**Πέμπτο Δείγμα:** Παρουσιάζονται οι Εικόνες 4.3.17, 4.3.18, 4.3.19, 4.3.20, που είναι τα αποτελέσματα της αυτόματης κατάτμησης με τις μεθόδους watershed, Chan-Vese, multiphase και histogram αντίστοιχα, για την εικόνα 6006\_33\_W\_026. Για τη μέθοδο Chan-Vese πιο ικανοποιητικό αποτέλεσμα παρήχθη από την καμπύλη “medium”, όπως και για τη μέθοδο multiphase. Ο βαθμός του πολυωνύμου για τη μέθοδο histogram ήταν , με  $lop=11$ ,  $buy=0$  και  $ένωση=3$ .



Εικόνα 4.3-17



Εικόνα 4.3-18



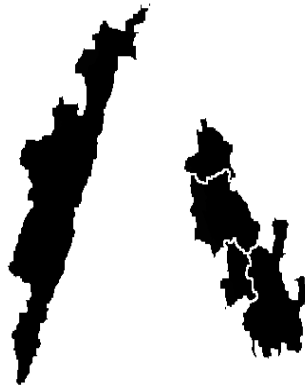
Εικόνα 4.3-19



Εικόνα 4.3-20

**Έκτο δείγμα:** Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αυτόματης κατάτμησης για την εικόνα 7188\_06\_A\_005.

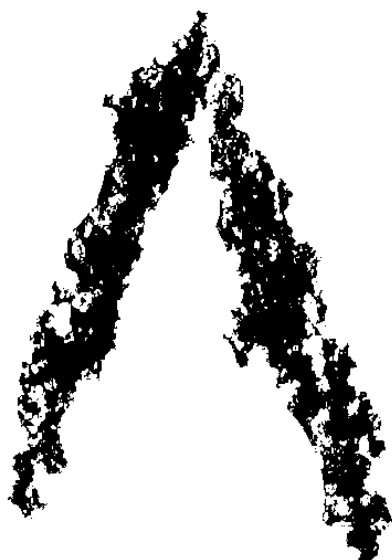
Η πρώτη εικόνα (4.3.21), που βλέπουμε στο έκτο δείγμα είναι το αποτέλεσμα της κατάτμησης με τη μέθοδο watershed.



Εικόνα 4.3-21

Το πιο ικανοποιητικό αποτέλεσμα από τον αλγόριθμο των T.F.Chan και L.A.Vese, λήφθηκε για αρχική καμπύλη “large”. Η απεικόνιση της φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 4.3.22).





Εικόνα 4.3-22

Αντίθετα, στην μέθοδο multiphase, το πιο ικανοποιητικό αποτέλεσμα ήταν αυτό με τη χρήση του συνόλου καμπυλών “whole” (Εικόνα 4.3.23).



Εικόνα 4.3-23

Στην τελευταία εικόνα (4.3.24) του έκτου δείγματος παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της αυτόματης κατάτμησης με τη χρήση του αλγορίθμου histogram. Ο βαθμός του πολυωνύμου είναι , με  $lop=23$ ,  $buy=1$ ,  $ένωση=4$ .



Εικόνα 4.3-24

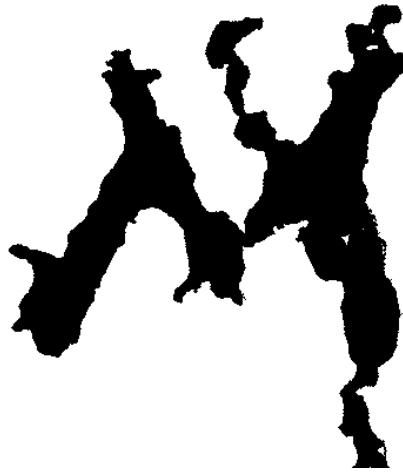
**Έβδομο Δείγμα:** Παρουσιάζονται οι Εικόνες 4.3.25, 4.3.26, 4.3.27, 4.3.28, που είναι τα αποτελέσματα της αυτόματης κατάτμησης με τις μεθόδους watershed, Chan-Vese, multiphase και histogram αντίστοιχα, για το γράμμα 7481\_04\_M\_002. Για τη μέθοδο Chan-Vese πιο ικανοποιητικό αποτέλεσμα παρήχθη από την καμπύλη “large”, ενώ για τη μέθοδο multiphase το σύνολο καμπυλών “whole and small”. Ο βαθμός του πολυωνύμου για τη μέθοδο histogram ήταν , με  $lop=5$ ,  $buy=1$  και  $ένωση=0$ .



Εικόνα 4.3-25



Εικόνα 4.3-26



Εικόνα 4.3-27



Εικόνα 4.3-28

**Όγδοο Δείγμα:** Πρόκειται για τις εικόνες που εξήχθησαν από την εφαρμογή των αλγορίθμων στην εικόνα 6671\_53\_W\_040.

Η εικόνα 4.3.29 είναι το αποτέλεσμα από την εφαρμογή του αλγορίθμου watershed.



Εικόνα 4.3-29

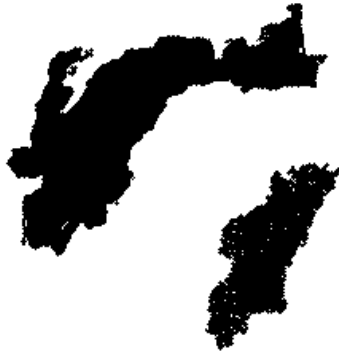
Το εξαγόμενο αποτέλεσμα της εικόνας 6671\_53\_W\_040 από την εφαρμογή του αλγορίθμου των T.F.Chan και L.A.Vese παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.3.30.



Εικόνα 4.3-30

Σε αυτή την περίπτωση, το καλύτερο αποτέλεσμα λήφθηκε από την καμπύλη medium, παράμετρος η οποία έχει αναπτυχθεί στο κεφάλαιο 2.3.

Η εικόνα 4.3.31 είναι η εικόνα που πήραμε από τον αλγόριθμο multiphase.



Εικόνα 4.3-31

Εφόσον ο αλγόριθμος δοκιμάστηκε με όλες τις δυνατές παραμέτρους, το καλύτερο αποτέλεσμα ελήφθη με την καμπύλη «medium».



Στην εικόνα 4.3.32 παρατίθεται το αποτέλεσμα του αλγορίθμου histogram.

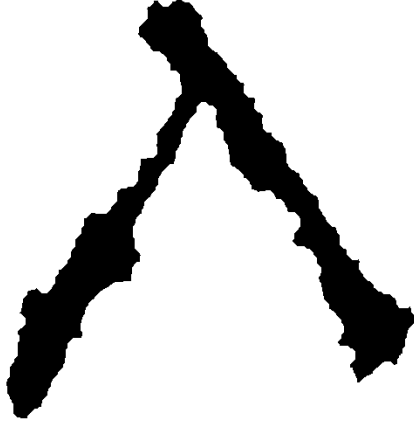
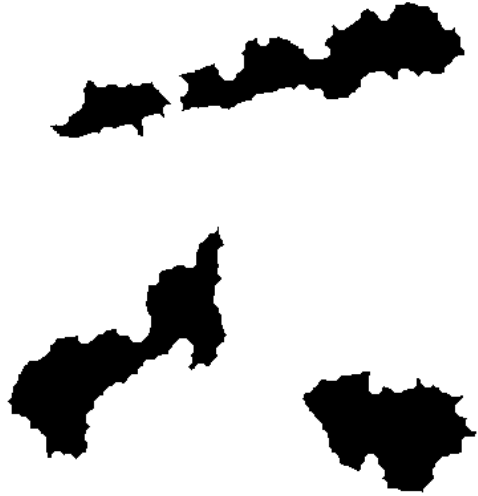


Εικόνα 4.3-32



Το πολυώνυμο της συνάρτησης που χρησιμοποιήθηκε ήταν βαθμού (1or: 23 και buy: 1) με ένωση ίση με 4.



Παρακάτω παρουσιάζονται όλες οι εικόνες των δειγμάτων, που έγιναν με «το χέρι». Αυτές οι εικόνες χρησιμοποιήθηκαν για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων όλων των μεθόδων της αυτόματης κατάτμησης με μία κοινή εικόνα, έτσι ώστε να μπορεί να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων σε κοινή βάση.

	Πρώτο Δείγμα 6006_27_M_022
	Δεύτερο Δείγμα 6006_06_W_005

	<p>Τρίτο Δείγμα 6422_05_A_012</p>
	<p>Τέταρτο Δείγμα 7188_03_S_001</p>



	<p>Πέμπτο Δείγμα 6006_33_W_026</p>
	<p>Έκτο Δείγμα 7188_06_A_005</p>

	<p>Έβδομο Δείγμα 7481_04_M_002</p>
	<p>Όγδοο Δείγμα 6671_53_W_040</p>

Πίνακας 4.3-1

Τέλος, στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 4.3.2) παρουσιάζονται όλα τα αποτελέσματα των συγκρίσεων μεταξύ των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν από την αυτόματη κατάτμηση και των πορισμάτων που παρουσιάστηκαν στον Πίνακα 4.3.1. Η σειρά τους, σύμφωνα με τη σειρά που δόθηκαν τα δείγματα, είναι η εξής:

A/A Δείγματος	Όνομα Γράμματος	Watershed	Chan- Vese	Multiphase	Νέα Μέθοδος
1	6006_27_M_022	0.685	0.8431	0.8513	0.913
2	6006_06_W_005	0.754	0.907	0.879	0.908
3	6422_05_A_012	0.878	0.732	0.707	0.889
4	7188_03_S_001	0.688	0.576	0.636	0.778
5	6006_33_W_026	0.801	0.879	0.861	0.918
6	7188_06_A_005	0.734	0.697	0.717	0.884
7	7481_04_M_002	0.825	0.846	0.641	0.899
8	6671_53_W_040	0.787	0.603	0.668	0.914
Μέσος Όρος		0.7689736	0.6550125	0.6387	0.8877625

Πίνακας 4.3-2

Παρατηρούμε ότι τόσο στο μέσο όρο, όσο και στα επιμέρους αποτελέσματα, τα πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα δόθηκαν από τη μέθοδο Histogram. Πιο αναλυτικά τα αποτελέσματα σχολιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο.



## 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Στο παρόν κεφάλαιο αναλύονται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την έρευνα για την παρούσα διπλωματική αναφορικά με τις διάφορες μεθόδους κατάτμησης. Είναι προφανές, ότι η εκάστοτε μέθοδος παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ανάλογα με την μορφολογία τόσο του μαρμάρου και κατ' επέκταση της αρχικής εικόνας όσο και του κάθε γράμματος που παρουσιάζει διαφορετικά χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα, όπως φάνηκε και στα αποτελέσματα των εικόνων, η ύπαρξη «θορύβου» αλλά και η ποικιλία των χαραγμένων γραμμμάτων βοήθησε στο να επιλεγεί η καταλληλότερη μέθοδος κατάτμησης.

Παρακάτω εμφανίζονται τα βασικά συμπεράσματα για κάθε μέθοδο:

- **Watershed:**

Η μέθοδος Watershed βασίζει την λειτουργία της στην εύρεση τοπικών και ολικών ακροτάτων της δισδιάστατης συνάρτησης των αποχρώσεων του γκρι της εικόνας. Επομένως, ο αλγόριθμος χωρίζει τις περιοχές ανάλογα με την διαβάθμιση που παρουσιάζουν, γι' αυτό μπορεί να θεωρήσει τον ελαφρύ θόρυβο ως μέρος του γράμματος και να το συμπεριλάβει σ αυτό.

- **Active Contour Chan-Vese:**

Ως μέθοδος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την μορφολογία και τον θόρυβο του μαρμάρου καθώς εξ ορισμού βασίζεται στις μεγάλες αντιθέσεις φωτεινότητας για την κατάτμηση μιας εικόνας. Συγκεκριμένα, η αρχική καμπύλη που συγκλίνει στο περίγραμμα κάθε αντικειμένου της εικόνας μπορεί να θεωρήσει μια μεγάλη "χαρακιά" στο μάρμαρο ως τελική ακμή και έτσι να μην συνεχίσει να ψάχνει. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, πολλές φορές να μην γίνεται πλήρης κατάτμηση του γράμματος. Αντίθετα, αν δεν υπάρχει έντονος θόρυβος από βαθιές αυλακώσεις η μέθοδος συνεχίζει κανονικά και έχει αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα.

- **Active Contour Multiphase:**

Ο αλγόριθμος multiphase διαφέρει από τον Chan – Vese στην χρήση περισσότερων καμπυλών (στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκαν δυο καμπύλες). Συνεπώς, η κατάτμηση προκύπτει ως αποτέλεσμα της σύγκλισης των δύο εκάστοτε καμπυλών στο περιθώριο περιοχών. Επομένως, είναι δύσκολο μέσω της μεθόδου αυτής να προσδιοριστεί η περιοχή που είναι υπόβαθρο και αυτή που είναι το γράμμα. Το γεγονός αυτό, οδηγεί στην δημιουργία περιγραμμάτων και όχι στην απευθείας κατάτμηση της εικόνας. Παράλληλα, όσο αυξάνουμε την πολυπλοκότητα της μεθόδου, αυξάνοντας τις επαναλήψεις ή τις καμπύλες, χρειαζόμαστε σημαντικά περισσότερο χρόνο για να πραγματοποιηθεί η κατάτμηση.

Τέλος, σημαντικό μειονέκτημα και για τις δυο μεθόδους Active Contours αποτελεί η άμεση εξάρτησή τους από το σημείο εκκίνησης των καμπυλών, η οποία γίνεται από μια τυχαία σταθερή θέση.

- **Ένας νέος αλγόριθμος κατάτμησης εικόνας:**

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στο ιστόγραμμα που σχηματίζεται από απόχρωση του γκρι των pixels της εικόνας. Το σώμα του γράμματος προκύπτει ως η περιοχή που η ένταση των εικονοστοιχείων είναι ανάμεσα σε αυτήν του υποβάθρου και αυτή της ακμής. Επομένως, ο αλγόριθμος αυτός προϋποθέτει την ύπαρξη συμπαγούς περιοχής για καλύτερα αποτελέσματα.





## 6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Vinay Ingle and John Proakis, *Digital Signal Processing Using MATLAB*, 2007.
- [2] "Wikipedia," [Online]. Available: [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com).
- [3] Rui Xu and Donald Wunsch II, "Survey of Clustering Algorithms," *IEEE Transactions on Neural Networks*, VOL. 16, NO. 3, 2005.
- [4] Ε. Π. Κάλφα, Συγκριτική μελέτη μεθόδων κατάτμησης και επεξεργασίας εικόνας με εφαρμογή σε αρχαίες επιγραφές, Ε.Μ.Π., 2012.
- [5] F. Meyer, "Topographic distance and watershed lines," 1994.
- [6] Jos B.T.M. Roerdink and Arnold Meijster, "The Watershed Transform: Definitions, Algorithms and Parallelization Strategies," 2001.
- [7] Tony F. Chan and Luminita Vese, "Active Contours Without Edges," 2001.
- [8] Ειρήνη-Μαρία Βένιου and Μάρκος Ι. Φουντουλάκης, "Έλεγχος επίδοσης αλγορίθμων αυτόματης κατάτμησης λίαν θορυβοδών εικόνων," 2013.
- [9] Vicent Caselles, Ron Kimmel and Guillermo Sapiro, "Geodesic Active Contours," 1997.
- [10] Michail Panagopoulos, Constantin Papaodysseus, Panayiotis Rousopoulos, Dimitra Dafi and Stephen Tracy, "Automatic Writer Identification of Ancient Greek Inscriptions," *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, pp. VOL. 31, NO. 8, 2009.