



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

**ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ
ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΔΙΑΝ ΘΟΡΥΒΩΔΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ειρήνη-Μαρία Β. Βενιού

Μάρκος Ι. Φουντουλάκης

Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Παπαοδυσσεύς
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούνιος 2013



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

ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΛΙΑΝ ΘΟΡΥΒΩΔΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ειρήνη-Μαρία Β. Βενιού

Μάρκος Ι. Φουντουλάκης

Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Παπαοδυσσεύς

Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 18^η Ιουνίου 2013.

.....
Κωνσταντίνος Παπαοδυσσεύς

Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ηλίας Κουκούτσης

Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Γεώργιος Καμπουράκης

Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούνιος 2013

.....

Ειρήνη-Μαρία Β. Βενιού

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

.....

Μάρκος Ι. Φουντουλάκης

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

Copyright © Ειρήνη-Μαρία Βενιού, 2013

Copyright © Μάρκος Φουντουλάκης, 2013

Copyright © Κωνσταντίνος Παπαοδυσσεύς, 2013

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.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα θέλαμε να εκφράσουμε τις θερμές μας ευχαριστίες σε όλους όσους υποστήριξαν αυτήν την προσπάθεια.

Αρχικά, θα θέλαμε να εκφράσουμε τις θερμές μας ευχαριστίες στον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας κ. Κ. Παπαοδυσσέα για την επίβλεψη της παρούσας εργασίας, αλλά και για το σπουδαίο διδακτικό του έργο καθ' όλη τη διάρκεια των προπτυχιακών μας σπουδών.

Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους υπεύθυνους υποψηφίους διδάκτορες Ευδοκία Καλφά και Δημήτρη Αραμπατζή για την άψογη συνεργασία. Οι χρήσιμες υποδείξεις και οι γνώσεις τους πάνω στο αντικείμενο έπαιξαν σπουδαίο ρόλο στη διεξαγωγή της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας για τη συμπαράστασή τους σε όλες μας τις προσπάθειες.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές αυτόματης κατάτμησης εικόνας με την χρήση υπολογιστή. Στην παρούσα διπλωματική μελετάμε κατ'αρχήν μερικές ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνικές κατάτμησης εικόνας. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται οι αρχές επί των οποίων βασίζονται αυτές οι μέθοδοι ως και οι αλγόριθμοι με τους οποίους αυτές υλοποιούνται. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται μια νέα εναλλακτική μέθοδος αυτόματης κατάτμησης εικόνας, με ταυτόχρονη αναλυτική περιγραφή του αλγορίθμου με τον οποίο υλοποιείται.

Επιπρόσθετα, γίνεται εκτενέστατη σύγκριση της νέας μεθόδου με τις γνωστές μεθόδους των active contours, Chan-Vese και multiphase. Η εφαρμογή των μεθόδων πραγματοποιείται σε εικόνες αρχαίων επιγραφών. Η εφαρμογή αυτή είναι μεγάλης σπουδαιότητας για τις επιστήμες της ιστορίας και της αρχαιολογίας, διότι αποτελεί την βάση ενός πρόσφατα αναπτυχθέντος συστήματος αυτόματης ταυτοποίησης του γραφέα αρχαίων επιγραφών.

Στο δείγμα το οποίο χρησιμοποιείται, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η νέα μέθοδος παρουσιάζει συνολικά καλύτερα αποτελέσματα από τις μεθόδους Chan-Vese και multiphase με ποσοστό επιτυχίας (επικάλυψης) 90% έναντι 76% και 71% για τις δυο άλλες αντίστοιχα. Ταυτόχρονα, ενώ η νέα μέθοδος παρήγαγε πολύ καλά αποτελέσματα όταν οι υπόλοιπες υστερούσαν, στην περίπτωση που οι δυο άλλες μεθόδους επικρατούσαν η νέα μέθοδος υστερούσε ελάχιστα. Ως εκ τούτου, προκύπτει ότι η νέα μέθοδος παράγει συνολικά καλύτερα αποτελέσματα από τις έτερες υπό εξέταση μεθόδους.

ABSTRACT

In the past years a great variety of automatic image segmentation methods have been developed. In the present dissertation a number of widely used image segmentation methods are studied first. More specifically, the principles upon which these methods are based are presented, as well as the corresponding algorithmic schemes. Next, a new image segmentation method is studied and analytically presented.

Subsequently, a quite extensive comparison of this image segmentation method with the Chan-Vese and the multiphase algorithm is presented. All these methods have been applied to the problem of segmenting images of ancient inscriptions. This application is very important for History and Archeology, given that the obtained segmented images are used by a novel system of automatic identification of the writer of ancient inscriptions.

In these ensemble of images, the new method behaved much better than the Chan-Vese and multiphase algorithms, offering a successful segmentation rate of 90% as compared to 76% and 71% of the Chan-Vese and multiphase respectively. As a rule, the new method offered overwhelmingly better results in most cases, while in the rest cases the results it offered were pretty close to the ones furnished by the Chan-Vese and multiphase algorithms. Conclusively, one may quite safely state that the new image segmentation method offers essentially better image segmentation results, at least when applied to images of ancient inscriptions.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή	9
2. Μέθοδοι κατάτμησης εικόνας	11
2.1. Γενικά περί κατάτμησης εικόνας	11
2.2. Μερικές ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνικές κατάτμησης εικόνας	12
2.2.1. Μέθοδοι κατάτμησης εικόνας με βάση διαχωριστικές τεχνικές	12
Μέθοδοι κέντρου βάρους	12
Μέθοδοι διαμέσου	13
2.2.2. Μέθοδοι κατάτμησης εικόνας με βάση ιεραρχικές τεχνικές	14
2.2.3. Active contours	17
Εισαγωγή	17
Η μέθοδος active contours	17
Η μέθοδος geodesic active contours	18
2.2.4. Ο αλγόριθμος Watershed	21
3. Μία νέα μέθοδος κατάτμησης εικόνων αρχαίων επιγραφών	22
Βήμα 1: Εφαρμογή μορφολογικών φίλτρων για εξάλειψη θορύβου	22
Βήμα 2: Ολίσθηση πλαισίου κατάλληλων διαστάσεων κατά μήκος όλης της εικόνας	23
Βήμα 3: Δημιουργία ιστογράμματος διαβάθμισης του γκρι για όλα τα pixel του πλαισίου και σε κάθε θέση αυτού	24
Βήμα 4: Βέλτιστη προσέγγιση του χρωματικού ιστογράμματος κάθε πλαισίου με δύο ανεξάρτητες κανονικές κατανομές	25
Βήμα 5: Εύρεση των σημείων καμπής των δύο κανονικών κατανομών	26
Βήμα 6: Αρχική εκτίμηση των θεματικών περιοχών και των σημείων ακμής	26
Βήμα 7: Εξάλειψη του θορύβου και ομογενοποίηση των θεματικών περιοχών	28
Βήμα 8: Απόδοση των εναπομεινάντων εικονοστοιχείων στη δέουσα περιοχή	30
Βήμα 9: Τελικός καθορισμός των δύο θεματικών περιοχών	30

4. Εφαρμογή συγκεκριμένων μεθόδων κατάτμησης σε εικόνες αρχαιολογικών ευρημάτων	32
4.1. Οι ενδογενείς δυσκολίες του προβλήματος της αυτόματης κατάτμησης εικόνων αρχαιολογικών ευρημάτων	32
4.2. Εφαρμογή της μεθόδου Chan-Vese στην κατάτμηση εικόνων αρχαίων επιγραφών	38
4.2.1. Μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα	39
Παράδειγμα 1 ^ο	39
Παράδειγμα 2 ^ο	42
Παράδειγμα 3 ^ο	43
Παράδειγμα 4 ^ο	45
Παράδειγμα 5 ^ο	46
Παράδειγμα 6 ^ο	48
Παράδειγμα 7 ^ο	49
Παράδειγμα 8 ^ο	51
Παράδειγμα 9 ^ο	52
Παράδειγμα 10 ^ο	54
4.3. Εφαρμογή της μεθόδου multiphase active contours στην κατάτμηση εικόνων αρχαίων επιγραφών	56
4.3.1. Μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα	57
Παράδειγμα 1 ^ο	57
Παράδειγμα 2 ^ο	60
Παράδειγμα 3 ^ο	62
Παράδειγμα 4 ^ο	63
Παράδειγμα 5 ^ο	65
Παράδειγμα 6 ^ο	66
Παράδειγμα 7 ^ο	68
Παράδειγμα 8 ^ο	69
Παράδειγμα 9 ^ο	71
Παράδειγμα 10 ^ο	72
4.4. Εφαρμογή της νέας μεθόδου στην κατάτμηση εικόνων αρχαίων επιγραφών	74
4.4.1. Μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα	75
Παράδειγμα 1 ^ο	75

Παράδειγμα 2 ^ο	79
Παράδειγμα 3 ^ο	81
Παράδειγμα 4 ^ο	83
Παράδειγμα 5 ^ο	85
Παράδειγμα 6 ^ο	87
Παράδειγμα 7 ^ο	89
Παράδειγμα 8 ^ο	91
Παράδειγμα 9 ^ο	93
Παράδειγμα 10 ^ο	95
5. Μερικά πρώτα συγκριτικά αποτελέσματα	97
5.1 Μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα	98
Παράδειγμα 1 ^ο	98
Παράδειγμα 2 ^ο	99
Παράδειγμα 3 ^ο	101
Παράδειγμα 4 ^ο	102
Παράδειγμα 5 ^ο	104
Παράδειγμα 6 ^ο	105
Παράδειγμα 7 ^ο	107
Παράδειγμα 8 ^ο	108
Παράδειγμα 9 ^ο	110
5.2 Συμπεράσματα	111
Βιβλιογραφία	114

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εφαρμογή μεθόδων αυτόματης κατάτμησης εικόνας στο πεδίο της αρχαιολογίας και ειδικότερα σε εικόνες αρχαίων επιγραφών. Πιο συγκεκριμένα εφαρμόζονται κάποιοι αλγόριθμοι αυτόματης κατάτμησης σε εικόνες οι οποίες λόγω φθοράς, διαδικασίας χάραξης και συνθηκών φωτογράφισης παρουσιάζουν αυξημένα επίπεδα θορύβου.[1] Σε γενικές γραμμές, η κατάτμηση εικόνων θεωρείται ένα από τα πιο σημαντικά και πιο δύσκολα προβλήματα στον τομέα της ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας με χρήση υπολογιστή.

Οι τεχνικές αυτές εφαρμόζονται πάνω σε φωτογραφίες μεμονωμένων γραμμάτων που έχουν αποκοπεί από τις επιγραφές. Σκοπός της μεθόδου είναι η εξαγωγή του κυρίου κορμού του γράμματος και η απομόνωσή του από το υπόβαθρο με ταυτόχρονη όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ελαχιστοποίηση του θορύβου. Αυτό γίνεται με τον κατακερματισμό της εικόνας σε ασυνεχείς περιοχές, κάθε μία από τις οποίες είναι διασυνδεδεμένη και ομογενής με βάση κάποιο κοινό χαρακτηριστικό, όπως η τιμή του γκριζου, η υφή, το χρώμα, η κίνηση, το βάθος. Ο σκοπός της κατάτμησης εικόνας, λόγω της ασάφειας στον καθορισμό της διασύνδεσης ομογενών περιοχών, εξαρτάται τόσο από το κοινό χαρακτηριστικό κάθε περιοχής που επιλέγουμε, όσο και από τον αλγόριθμο που εφαρμόζεται. Δεδομένου ότι ακόμα και η κατάτμηση μιας εικόνας από τον ανθρώπινο παράγοντα δύναται να παράγει πολλά διαφορετικά αποτελέσματα λόγω της υποκειμενικότητας του παρατηρητή μπορούμε να αντιληφθούμε τη δυσκολία του σχεδιασμού ενός αλγόριθμου που να παράγει αξιόπιστα αποτελέσματα.

Η αξία αυτών των εφαρμογών στις αρχαίες επιγραφές έχει ιδιαίτερη σημασία για την επιστήμη της επιγραφολογίας και γενικότερα την ιστορία και αρχαιολογία. Ο κλάδος της επιγραφολογίας είναι μείζονος σημασίας για την ορθή καταγραφή της ιστορίας διότι παρέχει πολλές δυσεύρετες πληροφορίες για την αρχαιολογική ιστορική καταγραφή. Είναι δεδομένο δε, ότι έχει σημαντικές εφαρμογές σε αρχαιολογικά ευρήματα που προέρχονται από πληθώρα αρχαίων πολιτισμών σε ελληνικό και παγκόσμιο επίπεδο.[2] Παράλληλα, με τη μελέτη των επιγραφών, μπορούμε να εξάγουμε πολύτιμα συμπεράσματα και στα πλαίσια άλλων επιστημών που τροφοδοτούνται από την έρευνα της αρχαίας εποχής, όπως η κοινωνιολογία, οι πολιτικές και θετικές επιστήμες, η αρχιτεκτονική και άλλες.

Όπως αναφέραμε και πριν η μέχρι πρότινος μελέτη και έρευνα των επιγραφών αυτών πραγματοποιούνταν αποκλειστικά από τον εκάστοτε ιστορικό-αρχαιολόγο με εμφανείς συνέπειες

την εξάρτηση των αποτελεσμάτων από την υποκειμενικότητα του ανθρώπινου παράγοντα καθώς και τη δυσκολία μοντελοποίησης της διαδικασίας. Ως εκ τούτου, η εισαγωγή και η χρήση των υπολογιστικών συστημάτων, με τα πλεονεκτήματα που προαναφέραμε, μπορεί να προσφέρει μεγάλη ώθηση στον κλάδο αυτόν αφού εμπεριέχει την ανθρώπινη εμπειρία και αντίληψη αλλά ταυτόχρονα δίνει τη δυνατότητα εξαγωγής ταχύτερων και αντικειμενικότερων συμπερασμάτων. [9]

Η εφαρμογή των μεθόδων αυτόματης κατάτμησης εικόνας στην φωτογραφία ενός μεμονωμένου γράμματος παράγει ως αποτέλεσμα μία εικόνα που προσεγγίζει ικανοποιητικά τον κύριο κορμό ή το περίγραμμα του γράμματος, εφόσον ο αλγόριθμος κατάτμησης είναι αποδοτικός. Το αποτέλεσμα αυτό πέραν της προφανούς εφαρμογής του στην αναγνώριση του γράμματος της επιγραφής που μελετάται μπορεί παράλληλα να χρησιμοποιηθεί και για την εξαγωγή πολλών άλλων συμπερασμάτων. Για παράδειγμα, με την εφαρμογή επιπλέον κριτηρίων μπορούν να προκύψουν συμπεράσματα για την χρονολογική περίοδο στην οποία ανήκει η επιγραφή αλλά και την ταυτότητα του χαρακτήρα, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το διαχωρισμό, την κατάταξη και ταυτοποίηση των επιγραφών. [1]

Στη συνέχεια θα αναφέρουμε κάποια πιο συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των αρχών που διέπουν τους αλγόριθμους τέτοιας φύσεως καθώς επίσης και θα περιγράψουμε πιο αναλυτικά τις διάφορες μεθόδους κατάτμησης εικόνας που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα και τα χαρακτηριστικά της κάθε μεθόδου. Επίσης θα γίνει εκτενής αναφορά μιας νέας εναλλακτικής προσαρμοσμένης αυτοματοποιημένης μεθόδου κατάτμησης εικόνας. Επιπρόσθετα, θα γίνει παρουσίαση των πρακτικών αποτελεσμάτων των διαφόρων μεθόδων σε γράμματα από ψηφιακές φωτογραφίες επιγραφών και σύγκρισή τους με αντίστοιχες κατατμήσεις που έχουν προκύψει χωρίς τη χρήση υπολογιστικών συστημάτων.

2.ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ

2.1. Γενικά περί κατάτμησης εικόνας

Η αναζήτηση, εξαγωγή και συσταδοποίηση δεδομένων (data mining) στα οποία υπάγεται και η κατάτμηση εικόνας με τα οποία ασχολείται ο κλάδος της επιστήμης των υπολογιστών, παρουσιάζει μεγάλη ανάπτυξη και πρόοδο τα τελευταία χρόνια. Φυσικό επακόλουθο της ανάπτυξης είναι ο καταμερισμός του όλου προβλήματος σε επιμέρους ζητήματα με ένα από τα σημαντικότερα αυτό της ομαδοποίησης δεδομένων (data clustering), δηλαδή της κατάταξης των δεδομένων σε ομάδες, εντός των οποίων υπάρχει ομοιότητα των στοιχείων τους. Οι ομάδες αυτές θα είναι διαχωρισμένες μεταξύ τους. Το clustering των δεδομένων είναι θεμελιώδους σημασίας σε πολλά προβλήματα, όπως για παράδειγμα στην αναζήτηση δεδομένων σε βάσεις αλλά και στην ορθή κατάταξη σε κατηγορίες στοιχείων για στατιστική ανάλυση και περαιτέρω επεξεργασία.

Γενικά περί μεθόδων συσταδοποίησης/ομαδοποίησης (clustering)

Η ομαδοποίηση δεδομένων λόγω της μεγάλης εφαρμογής και χρησιμότητας της οδήγησε σε πολλές διαφορετικές μεθόδους clustering, κάθε μια από τις οποίες παρουσιάζει πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα ανάλογα με την περίπτωση που καλείται να αντιμετωπίσει.[4] Παρακάτω παρατίθενται ορισμένες βασικές μέθοδοι κατάτμησης εικόνας.

2.2 Μερικές ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνικές κατάτμησης εικόνας

2.2.1 Μέθοδοι κατάτμησης εικόνας με βάση Διαχωριστικές Τεχνικές (Partitional Techniques)

Στις μεθόδους αυτές χρησιμοποιήθηκε αρχικά η προσέγγιση με βάση το κέντρο βάρους της περιοχής (centroid) και στη συνέχεια εφαρμόστηκαν διαφορετικές προσεγγίσεις με βάση κάποια σημεία αντιπροσώπους.

Μέθοδοι κέντρου βάρους (centroid based techniques).

Στις μεθόδους αυτές αποδίδονται σημεία σε μια υποπεριοχή, όταν ελαχιστοποιείται η ευκλείδεια ή τετραγωνική ή χρωματική κλπ. απόσταση τους, από το κέντρο βάρους της υποπεριοχής. [4] Η πιο διαδεδομένη μέθοδος είναι η K-means, στην οποία επιλέγονται αρχικά τυχαία N περιοχές και στη συνέχεια αποδίδονται σε κάθε μια από αυτές τα σημεία της αρχικής περιοχής με βάση το παραπάνω κριτήριο.

Πιο συγκεκριμένα, αρχικά η εικόνα χωρίζεται σε N θεματικές περιοχές. Για τις ειδικές περιπτώσεις κατάτμησης εικόνων γραμμάτων που μελετάμε, λαμβάνεται $N=2$. Το ελάχιστο (minimum) του ιστογράμματος διαβαθμίσεων του γκρι θεωρείται προσωρινά η αφητηρία του υποβάθρου και ταυτόχρονα λαμβάνεται το μέγιστο (maximum) αυτού του ιστογράμματος και θεωρείται η αφητηρία της δεύτερης περιοχής που για τις εφαρμογές που μας ενδιαφέρουν έχει τη σημαντική πληροφορία, δηλαδή τον κορμό του γράμματος. Τυχαία επιλέγονται εικονοστοιχεία από την εικόνα μέχρι αυτά να εξαντληθούν. Έστω P_1 το χρωματικό περιεχόμενο του πρώτου pixel που επιλέγεται και έστω ότι αυτό είναι πλησιέστερο στο χρωματικό περιεχόμενο της αρχικής εκτίμησης του υποβάθρου. Το P_1 αποδίδεται στο υπόβαθρο και το χρωματικό περιεχόμενου του υποβάθρου επαναπροσδιορίζεται ως ο μέσος όρος του χρωματικού περιεχομένου των δύο εικονοστοιχείων. Ακολουθεί το τρίτο εικονοστοιχείο και έστω ότι επίσης το χρωματικό περιεχόμενο του P_2 είναι πλησιέστερο στην ομάδα pixel του υποβάθρου. Με τη σειρά του το P_2 αποδίδεται στο υπόβαθρο και το χρωματικό περιεχόμενο του υποβάθρου ορίζεται πλέον ως ο μέσος όρος του χρωματικού περιεχομένου των τριών εικονοστοιχείων. Αντίστοιχα θα μπορούσε η απόδοση να γίνει στην άλλη περιοχή, εάν το χρωματικό περιεχόμενο του εκάστοτε

επιλεγόμενου pixel ήταν πλησιέστερο στο κέντρο βάρους του χρωματικού περιεχομένου του γράμματος.

Η συγκεκριμένη μέθοδος έχει το μειονέκτημα ότι κατά την εφαρμογή της, κυρίαρχη σημασία έχει η σειρά επιλογής των εικονοστοιχείων χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η τοπολογία της εικόνας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μεμονωμένες νησίδες φθοράς με παραπλήσιο χρωματικό περιεχόμενο με του γράμματος αποδίδονται στην περιοχή του χωρίς να ανήκουν σε αυτό. Αντιστρόφως, σημεία φθοράς εντός του χώρου κρίσιμης πληροφορίας αποδίδονται με τον αλγόριθμο K-means λανθασμένα στο υπόβαθρο. Ως εκ τούτου, συχνά χρειάζεται να πραγματοποιηθεί αρχικά μια μορφολογική επεξεργασία της εικόνας.

Για παράδειγμα, μία συνηθισμένη μέθοδος επεξεργασίας είναι η εξής: Έστω ότι γνωρίζουμε πως το μέγιστο πλήθος των ομάδων pixel φθοράς είναι είκοσι (20). Ολισθαίνουμε μια περιοχή $N \times N$, εμβαδού μεγαλύτερου του είκοσι (20) σε όλη την εικόνα. Όταν το περίγραμμα της περιοχής είναι πλησιέστερα στο λευκό (δηλαδή είναι υπόβαθρο) και το εσωτερικό είναι σκούρο τότε το εσωτερικό γίνεται επίσης λευκό. Σε μία διαφοροποίηση της μεθόδου αυτής δύναται μικρό ποσοστό του περιγράμματος να είναι σκούρο.

Μέθοδοι διαμέσου (median).

Οι μέθοδοι διαμέσου είναι στο μεγαλύτερο μέρος τους όμοιες με την προαναφερθείσα μέθοδο (K-means). Η βασική διαφοροποίηση είναι ότι η αντιπροσωπευτική τιμή κάθε περιοχής κάθε φορά προσδιορίζεται η ενδιάμεση τιμή (διάμεσος) των pixel που έχουν αποδοθεί στην περιοχή αυτή αντί για το κέντρο βάρους που χρησιμοποιείται στην μέθοδο K-means. [4] Αυτό σημαίνει ότι για κάθε pixel που αποδίδεται στην αντίστοιχη περιοχή εφαρμόζουμε ταξινόμηση των εικονοστοιχείων ως προς το χρωματικό τους περιεχόμενο και λαμβάνουμε ως αντιπροσωπευτική τιμή τη διάμεσο αυτής της ταξινομημένης σειράς. Σε αρκετές περιπτώσεις η τιμή αυτή θεωρείται καλύτερος αντιπρόσωπος του χρωματικού υποβάθρου της κάθε περιοχής από ότι ο μέσος όρος.

Οι αλγόριθμοι διαμέσου (πχ PAM, Clarans) σε γενικές γραμμές παράγουν πιο αξιόπιστα αποτελέσματα από αλγόριθμους όπως ο K-means, παρ'όλα αυτά αποτυγχάνουν να δώσουν ένα καλύτερο αποτέλεσμα σε ομάδες που διαφέρουν σημαντικά ως προς το μέγεθος και σε ομάδες που έχουν κυρτά σχήματα. Επίσης οι τεχνικές αυτές επηρεάζονται λιγότερο από το θόρυβο αλλά όπως και οι τεχνικές κέντρου βάρους δίνουν καλύτερο αποτέλεσμα όταν οι υποπεριοχές έχουν κυκλικά σχήματα και παραπλήσια μεγέθη.

2.2.2. Μέθοδοι κατάτμησης εικόνας με βάση Ιεραρχικές Τεχνικές (Hierarchical Techniques)

Στις ιεραρχικές τεχνικές η μεθοδολογία που εφαρμόζεται παρουσιάζεται συνοπτικά στα παρακάτω στάδια:

1. Ορίζουμε οντότητες που μπορεί να είναι και εικονοστοιχεία (pixel) .
2. Αρχικοποιούμε όλες τις οντότητες στην εικόνα. Συνήθως, επιλέγουμε όλες οι αρχικές οντότητες να είναι μονομελή σύνολα εικονοστοιχείων, ώστε να συμπεριλάβουμε όλα τα pixel της εικόνας.
3. Ορίζουμε κριτήρια συγγένειας ή ομοιότητας, αλλά και διαφοροποιήσεις μεταξύ των οντοτήτων.
4. Αρχικά βρίσκουμε το βαθμό συγγένειας κάθε οντότητας με όλες τις άλλες. Κατά αυτόν τον τρόπο δημιουργούμε έναν πίνακα συγγενείας $\sigma_{(i,j)}$. Οι γραμμές και οι στήλες αυτού είναι το πλήθος των οντοτήτων, το δε τυχόν στοιχείο του $\sigma_{(i,j)}$ είναι μια ποσότητα που εκφράζει το βαθμό ομοιότητας μεταξύ της i-οστής και j-οστής οντότητας.
5. Στη μήτρα συγγένειας ορίζουμε ένα αποδεκτό κατώφλι συσχέτισης, όσον αφορά το στόχο (π.χ. εάν ο στόχος είναι να κατατμήσουμε μια εικόνα σε θεματικές είτε χρωματικές περιοχές, τότε ο βαθμός ομοιότητας πρέπει να εκφράζει την απόσταση του θεματικού ή χρωματικού περιεχομένου των δύο συγκρινόμενων περιοχών/οντοτήτων). Όσα στοιχεία της μήτρας έχουν τιμή μικρότερη από ένα κατάλληλα επιλεγμένο κατώφλι παίρνουν την τιμή μηδέν, θεωρούμε δηλαδή, ότι αυτά δε μπορούν να ανήκουν στην ίδια οντότητα π.χ. δηλαδή στην ίδια θεματική ή χρωματική περιοχή.
6. Θεωρούμε όλες τις αρχικές οντότητες ως κόμβους ενός γράφου. Αν η τιμή που αντιστοιχεί σε δύο συγκεκριμένους κόμβους στη μήτρα συγγενείας είναι μεγαλύτερη του μηδενός τότε συνδέουμε τους δύο κόμβους με έναν κλάδο. Σταθμίζουμε τον κλάδο, αποδίδοντας σε αυτόν ένα μέτρο του βαθμού συγγενείας των οντοτήτων που συνδέει, που προκύπτει από το αντίστοιχο στοιχείο στη μήτρα συγγενείας.

7. Οι κόμβοι που οι κλάδοι τους έχουν μεγάλο βαθμό συγγενείας ομαδοποιούνται κατάλληλα. Ορίζουμε ένα κατώφλι και όταν όλοι οι κόμβοι έχουν ομαδοποιηθεί σε οντότητες που ικανοποιούν αυτό το κριτήριο η διαδικασία τερματίζει. Κατά τη διαδικασία συνένωσης δυο κόμβων θεωρούμε ότι αυτοί αποτελούν ένα νέο κόμβο, ο οποίος αντικαθιστά τους προηγούμενους που τον δημιούργησαν. Οι κλάδοι του νέου κόμβου με τους υπολοίπους καθώς και η στάθμιση κάθε κλάδου επανορίζονται δυναμικά.

Πιο συγκεκριμένα για την περίπτωση αυτόματης κατάτμησης εικόνας:

- Ορίζουμε ένα μέτρο ομοιότητας μεταξύ δύο οντοτήτων, για παράδειγμα μεταξύ δύο εικονοστοιχείων. Ένα τέτοιο μέτρο ομοιότητας θα μπορούσε να είναι η χρωματική απόσταση μεταξύ τους.
- Κατασκευάζουμε έναν πίνακα ομοιότητας $n \times m$ όλων των οντοτήτων μεταξύ τους. Στην αρχική μήτρα τα στοιχεία είναι η χρωματική απόσταση όλων των εικονοστοιχείων ανά δύο. Αυτή η χρωματική απόσταση συνήθως ορίζεται ως μια νόρμα στο χώρο των R,G,B. Για παράδειγμα, εάν ένα pixel P_i έχει χρωματικό περιεχόμενο (R_i, G_i, B_i) και ένα άλλο P_j έχει χρωματικό περιεχόμενο (R_j, G_j, B_j) , τότε η χρωματική απόσταση των δύο εικονοστοιχείων μπορεί να οριστεί με έναν από τους παρακάτω τύπους:

$$d_1 = |(R_i - R_j)| + |(G_i - G_j)| + |(B_i - B_j)|$$

$$d_2 = \sqrt{(R_i - R_j)^2 + (G_i - G_j)^2 + (B_i - B_j)^2}$$

$$d_M = x^T M x, \quad x = [(R_i - R_j), (G_i - G_j), (B_i - B_j)]^T,$$

όπου M κατάλληλα επιλεγμένη τετραγωνική μήτρα, π.χ. Mahalanobis.

Από τον πίνακα ομοιότητας, σε κάθε βήμα παράγεται ένας νέος τέτοιος πίνακας, ο οποίος συνήθως είναι αραιός πίνακας. Αυτό επιτυγχάνεται μηδενίζοντας τα στοιχεία του πίνακα που αντιστοιχούν σε περιοχές με μεγάλο βαθμό ανομοιότητας, δηλαδή που έχουν απόσταση πάνω από την τιμή που έχουμε ορίσει ως κατώφλι. Για το λόγο αυτό η διαδικασία αναπαρίσταται από αραιούς γράφους. Κόμβοι του γράφου είναι οι οντότητες (τα δεδομένα) ενώ οι σταθμισμένες ακμές του γράφου είναι ο εκάστοτε βαθμός ομοιότητας μεταξύ δύο κόμβων. [4]

Οι μέθοδοι που έχουν παρουσιαστεί και οι οποίες διεθνώς αποκαλούνται *agglomerative hierarchical clustering methods* είναι πολλές, ενώ το κυρίαρχο στοιχείο το οποίο τις διαφοροποιεί μεταξύ τους είναι ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζεται η ομοιότητα μεταξύ των υπαρχόντων ομάδων αλλά και των συγχωνευμένων, σε κάθε επανάληψη.

Ειδικές ιεραρχικές τεχνικές

Ανάλογα με το κριτήριο που χρησιμοποιείται κάθε φορά έχουμε τις εξής παραλλαγές των ιεραρχικών τεχνικών:

- Ορίζεται σε κάθε cluster ένας αντιπρόσωπος (π.χ. κέντρο βάρους). Στην αρχή κάθε σημείο (εικονοστοιχείο - pixel) είναι και ο αντιπρόσωπος του εαυτού του. Μετράται στη συνέχεια η ομοιότητα μεταξύ των αντιπροσώπων κάθε cluster και με βάση αυτό το κριτήριο και κάποιο συγκεκριμένο κατώφλι αποφασίζεται αν θα συγχωνευτούν δύο clusters.
- single link method: Κάθε cluster αντιπροσωπεύεται από όλα του τα στοιχεία και η ομοιότητα μεταξύ δύο cluster καθορίζεται από την ομοιότητα του πιο κοντινού ζεύγους στοιχείων που ανήκουν σε διαφορετικά cluster.
- CURE method: Η μέθοδος αυτή είναι ουσιαστικά συνδυασμός των δύο προηγούμενων μεθόδων. Εδώ ορίζονται αντιπρόσωποι, αλλά περισσότεροι από ένας για κάθε cluster. Η ομοιότητα μετράται μεταξύ των ζευγών των αντιπροσώπων των cluster και το κριτήριο συνένωσης δύο περιοχών εξαρτάται από τον βαθμό ομοιότητας των ζευγών αυτών συνολικά που ανήκουν σε διαφορετικά clusters. Σε κάθε συγχώνευση clusters, δυναμικά ορίζονται νέοι αντιπρόσωποι του νέου cluster που προέκυψε. Ακριβώς επειδή ο αλγόριθμος αυτός αποδίδει πολλούς αντιπροσώπους σε κάθε περιοχή, αλλά και γιατί τους συρρικνώνει προς το κέντρο βάρους, αντιμετωπίζει καταστάσεις διαφορετικών μεγεθών και σχημάτων cluster με μεγαλύτερη επιτυχία. Ο αριθμός των αντιπροσώπων εξαρτάται από το μέγεθος, το σχήμα και την παρουσία θορύβου σε κάθε cluster.
- group-average method: Η μέθοδος αυτή υποθέτει διασύνδεση όλων των δεδομένων των clusters και υπολογίζει όλες τις αποστάσεις μεταξύ τους. Κανονικοποιεί τις τιμές σχηματίζοντας ένα $n \times m$ πίνακα όπου n είναι ο αριθμός των δεδομένων στην μία περιοχή και m ο αντίστοιχος στην δεύτερη, ώστε να αντιμετωπίσει το πρόβλημα που προκύπτει όταν τα clusters έχουν διαφορετικό μέγεθος.

- ROCK method: Ο αλγόριθμος αυτός μοιάζει με αυτόν της group-average μεθόδου , κανονικοποιεί όμως με βάση κατώφλι ορισμένο από τον χρήστη, αντί να χρησιμοποιεί ένα πίνακα $n \times m$. [10]

2.2.3 Active Contours

Εισαγωγή

Ένα σημαντικό πρόβλημα στην κατάτμηση εικόνας είναι ο προσδιορισμός των τοπικών μεταβολών που παρουσιάζονται σε ένα συγκεκριμένο σύνολο δομών όπως είναι οι μεταβολές του χρωματικού περιεχομένου μίας εικόνας. Τα σημεία που υπάρχει έντονη μεταβολή αποτελούν συνήθως και σημεία του περιγράμματος του αντικειμένου που θέλουμε να διαχωρίσουμε στην εικόνα. 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. [6]

Η μέθοδος active contours

Κατά την τεχνική active contours δίνονται αρχικά μια η περισσότερες κλειστές καμπύλες οι οποίες περικλείουν κάποιες αρχικές υποπεριοχές της υπό κατάτμηση εικόνας. Στόχος είναι η παραμόρφωση των καμπυλών αυτών ώστε σχηματίσουν το περίγραμμα του αντικειμένου της εικόνας που θέλουμε να διαχωρίσουμε από το υπόβαθρο (στη δική μας περίπτωση το γράμμα). Αυτό επιτυγχάνεται όπως αναφέρθηκε και παραπάνω μέσω της ελαχιστοποίησης κάποιου κατάλληλα σχεδιασμένου συναρτησιακού ενέργειας. Για την ελαχιστοποίηση αυτή χρησιμοποιείται η μέθοδος της ταχύτερης καθόδου και η καμπύλη εξελίσσεται σύμφωνα με μία μερική διαφορική εξίσωση μεχρις ότου η καμπύλη να παραμένει χρονικά αμετάβλητη. Ιδανικά, η εξίσωση αυτή ισορροπεί όταν η καμπύλη έχει περιγράψει το υπό κατάτμηση αντικείμενο,

δηλαδή το γράμμα. Η κατασκευή της μερικής διαφορικής εξίσωσης γίνεται με βάση τις εξισώσεις Euler-Lagrange για την ελαχιστοποίηση συναρτησιακού ενέργειας.

Η παραπάνω προσέγγιση χρησιμοποιήθηκε αρχικά στην μέθοδο Snakes (boundary-based active contours) στην οποία η αναπαράσταση του εξελισσόμενου περιγράμματος δίνεται σε παραμετρική μορφή. Ένα μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η μεγάλη εξάρτηση του αποτελέσματος από την επιλογή του σημείου εκκίνησης της κατάτμησης εικόνας καθώς επίσης και το γεγονός ότι το μοντέλο δεν μπορεί απευθείας να διαιρέσει ή να συγχωνεύσει τις εξελισσόμενες καμπύλες. [6]

Η μέθοδος Geodesic Active Contours

Με σκοπό να ξεπεραστούν τα μειονεκτήματα της μεθόδου active contours ή snakes που αναφέρθηκαν παραπάνω εφαρμόστηκε μία νέα μέθοδος, η Geodesic Active Contours, στην οποία δεν απαιτείται κάποιου είδους παραμετροποίηση. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στον υπολογισμό των γεωδαιτικών καμπυλών ή των καμπυλών ελάχιστης απόστασης, με μία μετρική εξαρτώμενη από χαρακτηριστικά της εικόνας. [5]

Πιο συγκεκριμένα, στο μοντέλο Geodesic Active Contours ελαχιστοποιείται το γεωδαιτικό μήκος της καμπύλης. 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 (ή του γράμματος).

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:

$$F(c_1, c_2, C) = \mu \cdot \text{Length}(C) + v \cdot \text{Area}(\text{inside}(C)) + \lambda_1 \int_{\text{inside}(C)} |u_0(x, y) - c_1|^2 dx dy$$

$$+ \lambda_2 \int_{\text{outside}(C)} |u_0(x, y) - c_2|^2 dx dy$$

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

Έστω ότι έχουμε ένα κλειστό περίγραμμα C , και ω είναι η επιφάνεια που περικλείει η καμπύλη C ενώ Ω είναι το συμπλήρωμα του ω . 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, δ_0 , οι όροι του συναρτησιακού ενέργειας F εκφράζονται ως εξής:

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

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

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:

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

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 φ 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:

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

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος που ανέπτυξαν οι T.F. Chan και L.A. Vese η οποία υπάγεται στις μεθόδους active contours που αναπτύξαμε παραπάνω. Πρόκειται για μία μέθοδο που παράγει ικανοποιητικά αποτελέσματα στην κατάτμηση διαφόρων τύπων εικόνων, όπως είναι και οι εικόνες αρχαιολογικών ευρημάτων και επιγραφών. Η διαδικασία που ακολουθείται κατά την εφαρμογή της μεθόδου είναι αυτή που περιγράφεται παραπάνω. Επίσης χρησιμοποιήθηκε και μία παραλλαγή του αλγορίθμου Chan-Vese, ο multiphase Chan-Vese. Στην παραλλαγή αυτή η διαφορά είναι ότι έχουμε δύο αρχικές κλειστές καμπύλες η δύο σύνολα αρχικών κλειστών καμπυλών οι οποίες περικλείουν κάποιες αρχικές υποπεριοχές της υπό κατάτμηση εικόνας. [6] Έτσι, στην πρώτη περίπτωση (μέθοδος Chan-Vese) το περίγραμμα του γράμματος προκύπτει από την σταδιακή παραμόρφωση της αρχικής καμπύλης και η τελική εικόνα αποτελείται από δύο περιοχές, το γράμμα και το υπόβαθρο. Στην δεύτερη όμως περίπτωση (μέθοδος multiphase) το γράμμα προκύπτει από την τομή των δύο περιοχών που ορίζουν οι καμπύλες καθώς παραμορφώνονται και έτσι η τελική εικόνα είναι χωρισμένη ουσιαστικά σε

τέσσερις υποπεριοχές. Όλα αυτά θα γίνουν πιο κατανοητά παρακάτω καθώς θα παρουσιαστούν συγκεκριμένα παραδείγματα εφαρμογής των δύο αυτών μεθόδων.

2.2.4 Ο αλγόριθμος Watershed

Ένας ακόμα αλγόριθμος που αναπτύχθηκε για την κατάτμηση εικόνων είναι ο αλγόριθμος Watershed. Στον αλγόριθμο αυτό μια μονοχρωματική εικόνα επιπέδων του γκρι θεωρείται ως ένα τοπογραφικό ανάγλυφο, όπου η φωτεινότητα του κάθε εικονοστοιχείου αντιστοιχίζεται με το ύψος του ανάγλυφου σε εκείνο το σημείο.[7] Αν ρίξουμε νερό σε μία τέτοια επιφάνεια, αυτό θα ρέει κατά μήκος ενός μονοπατιού, μέχρι να καταλήξει σε κάποιο τοπικό ελάχιστο. Αν κατόπιν πλημμυρίσουμε την τοπογραφική επιφάνεια τοποθετώντας πηγές νερού στα τοπικά ελάχιστα και ταυτόχρονα δεν επιτρέψουμε τη συνένωση των υδάτων που προέρχονται από διαφορετικές πηγές χτίζοντας φράγματα μεταξύ τους, τότε θα διαιρέσουμε την επιφάνεια στις λεκάνες απορροής (catchment basins) και στους υδροκρίτες (watershed lines) αυτών. Η ιδέα αυτή προτάθηκε για πρώτη φορά το 1979 από τους S. Beucher και C. Lantuéjoul και η μέθοδος ονομάστηκε “Watershed by flooding”.

Ένα σημαντικό πρόβλημα του μετασχηματισμού αυτού είναι ότι ορισμένες φορές δημιουργεί πάρα πολλές λεκάνες απορροής και καθεμιά αντιστοιχεί σε ένα τοπικό ελάχιστο στη συνάρτηση της κλίσης. Τα περισσότερα από αυτά τα ελάχιστα, δημιουργούνται είτε από θόρυβο, είτε από τοπικές ανωμαλίες στην εικόνα και τελικά συμβάλλουν στην υπέρ-τμηματοποίηση. Τα αποτελέσματα θα μπορούσαν να βελτιωθούν ως ένα βαθμό, αν φιλτράραμε την εικόνα των κλίσεων πριν τον μετασχηματισμό. Μία άλλη μέθοδος, που εξαλείφει το πρόβλημα της υπέρ-τμηματοποίησης είναι ο μετασχηματισμός watershed με χρήση δεικτών.

Ο μετασχηματισμός Watershed με χρήση δεικτών αποτελεί μία εξαιρετικά σημαντική βελτίωση του μετασχηματισμού Watershed και υλοποιεί το πλημμύρισμα της τοπογραφικής επιφάνειας, τοποθετώντας τις πηγές νερού όχι πια στα τοπικά ελάχιστα της κλίσης της εικόνας, αλλά σε προκαθορισμένα σημεία τα οποία ονομάζονται δείκτες (markers). Το νερό μετά αρχίζει να κυλάει στο ανάγλυφο δημιουργώντας τόσες λεκάνες απορροής, όσοι είναι και οι δείκτες που ορίσαμε.

[8]

3. ΜΙΑ ΝΕΑ ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ **ΕΙΚΟΝΩΝ ΑΡΧΑΙΩΝ ΕΠΙΓΡΑΦΩΝ**

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει περιγραφή μιας νέας πρωτότυπης μεθόδου διαχωρισμού της εικόνας σε δύο θεματικές περιοχές. Η πρώτη περιοχή περιλαμβάνει την πολύτιμη πληροφορία, δηλαδή στην περίπτωση των αρχαίων επιγραφών το γράμμα, ενώ η δεύτερη περιοχή αποτελεί το υπόβαθρο της εικόνας. Στην εφαρμογή που περιγράφεται στην παρούσα διπλωματική εργασία το υπόβαθρο είναι λευκό με θόρυβο. Για το λόγο αυτό και επειδή η φωτογράφιση των επιγραφών έγινε με έγχρωμη ψηφιακή φωτογραφική μηχανή υψηλής ευκρίνειας (από 60 έως 600 pixel), γίνεται μετατροπή των έγχρωμων εικόνων των επιγραφών σε αντίστοιχες εικόνες διαβάθμισης του γκρι. Να σημειωθεί βέβαια ότι η μέθοδος που παρατίθεται εδώ, μπορεί πρακτικά να επεκταθεί και σε έγχρωμες εικόνες. [4]

Στη συνέχεια θα γίνει αναλυτική περιγραφή των βημάτων της μεθόδου αυτόματης κατάτμησης εικόνας που αναπτύχθηκε.

Βήμα 1: Εφαρμογή μορφολογικών φίλτρων για εξάλειψη θορύβου

Με κέντρο κάθε σημείο της εικόνας εφαρμόζουμε μια διαδικασία σμίκρυνσης : δηλαδή θεωρούμε μία περιοχή με κέντρο τυχόν σημείο M της εικόνας, επιλέγουμε την ελάχιστη χρωματική απόχρωση των pixel που περιλαμβάνονται στην περιοχή αυτή και την αποδίδουμε στο M . Εν συνεχεία, επαναλαμβάνουμε τη σάρωση της σμικρυμένης εκδοχής της εικόνας με αυτή την περιοχή, όμως αυτή τη φορά αποδίδεται στο εκάστοτε κέντρο M της περιοχής η μέγιστη τιμή της απόχρωσης των pixel που περιλαμβάνονται στην περιοχή. Με αυτόν τον τρόπο, καταλήγουμε στη λεγόμενη «ανοικτή» εκδοχή της εικόνας. Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειώσουμε ότι η απόχρωση γκρι κάθε σημείου της «ανοικτής εικόνας» είναι μικρότερη ή ίση της απόχρωσης της αρχικής δοσμένης εικόνας. Αυτό σημαίνει ότι η «ανοικτή εικόνα» είναι ουσιαστικά ένα κάτω φράγμα της αρχικής σε όλα τα σημεία της.

Στη συνέχεια, στην ανοικτή εκδοχή της εικόνας, εφαρμόζουμε τους παρακάτω μετασχηματισμούς: με κέντρο κάθε σημείο M της εικόνας σχηματίζουμε μια περιοχή με ακτίνα ένα pixel αρχικά και σε αυτή την περιοχή εφαρμόζουμε τη διαδικασία dilation, δηλαδή αποδίδουμε στο M τη μέγιστη απόχρωση στην περιοχή αυτή. Επαναλαμβάνουμε αυτή τη

διαδικασία αυξάνοντας την ακτίνα της περιοχής έως ότου υπάρξει ένα τουλάχιστον σημείο και μια αντίστοιχη περιοχή, η μέγιστη απόχρωση της οποίας είναι μεγαλύτερη από την απόχρωση γκρι του M στην αρχική εικόνα. Στο τέλος αυτής της διαδικασίας έχουμε μια ομαλοποιημένη εκδοχή της αρχικής εικόνας, με ένταση απόχρωσης του γκρι μικρότερη ή ίση αυτής. Στα παρακάτω βήματα του αλγορίθμου η αρχική εικόνα αντικαθίσταται από αυτή την ομαλοποιημένη εκδοχή της.

Βήμα 2: Ολίσθηση πλαισίου κατάλληλων διαστάσεων κατά μήκος όλης της εικόνας

Ολισθαίνουμε ένα πλαίσιο κατάλληλων διαστάσεων έστω $N^P \times N^P$ κατά μήκος όλης της εικόνας έτσι ώστε εντός του κάθε πλαισίου να δημιουργήσουμε το ιστόγραμμα αποχρώσεων του γκρι όλων των pixel που ανήκουν στο πλαίσιο. Η πρώτη θέση του πλαισίου είναι το πάνω αριστερά εικονοστοιχείο (pixel) της εικόνας, το οποίο έχει συνήθως τις συντεταγμένες $(1,1)$. Ως επόμενο σημείο εκκίνησης του πλαισίου ορίζουμε αυτό με συντεταγμένες $(1, 1 + \delta)$, όπου το δ είναι ένας μικρός φυσικός αριθμός, τον οποίο συνήθως επιλέγουμε να είναι ένα κατάλληλο ποσοστό του συνολικού αριθμού pixel της μικρότερης από την οριζόντια ή κατακόρυφη διάσταση της προς κατάτμησης εικόνας. Στις εφαρμογές που παρουσιάζονται παρακάτω, μια καλή τιμή για το δ ήταν το ακέραιο μέρος του $1/10$ της μέγιστης διάστασης της εικόνας δηλαδή

$$\delta = (\text{μέγιστη διάσταση εικόνας}) \text{div } 10.$$

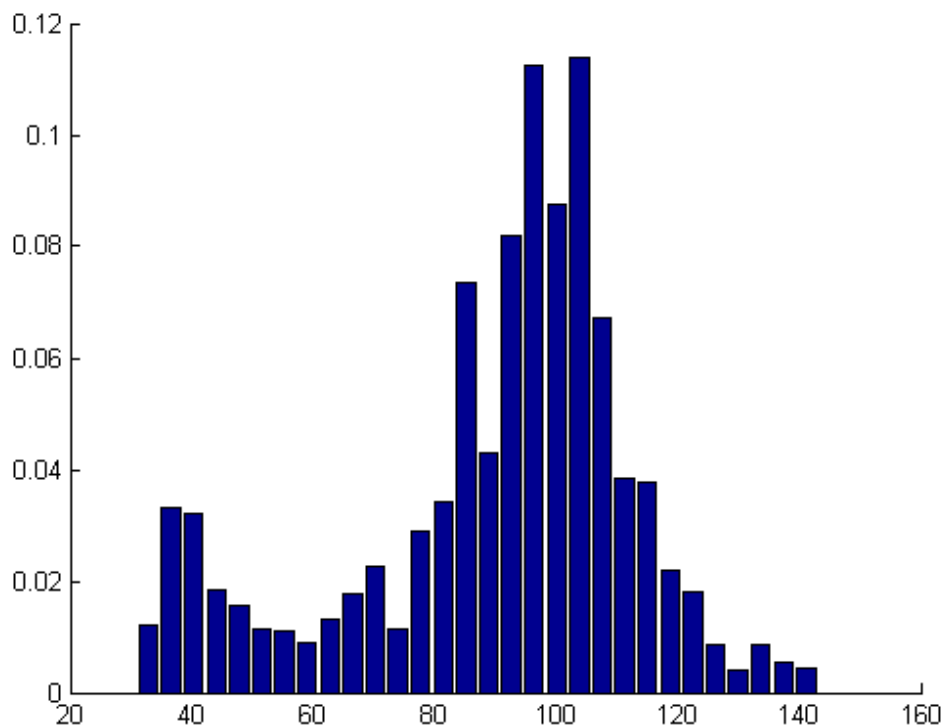
Η ολίσθηση συνεχίζεται, μέχρι να εξαντληθεί η οριζόντια διάσταση της εικόνας. Στην τελευταία θέση του πλαισίου, όπου ισχύει ότι $(1 + n\delta) < \text{αριθμός στηλών εικόνας} \leq (1 + (n + 1)\delta)$, επεκτείνουμε το πλαίσιο για να συμπεριληφθούν όλα τα εναπομείναντα εικονοστοιχεία της εικόνας κατά την οριζόντια διάσταση.

Αφού το πλαίσιο διατρέξει όλη την πρώτη γραμμή της εικόνας, μετατοπίζουμε την αρχή αυτού στο σημείο $(1 + \delta, 1)$ και επαναλαμβάνουμε την διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω. Στην τελευταία κατακόρυφη ολίσθηση όπου ισχύει $(1 + m\delta) < \text{αριθμός γραμμών εικόνας} \leq (1 + (m + 1)\delta)$, επεκτείνουμε 'προς τα κάτω' το πλαίσιο για να συμπεριληφθούν όλα τα εναπομείναντα pixel της προς κατάτμησης εικόνας κατά την κατακόρυφη διάσταση.

Βήμα 3: Δημιουργία ιστογράμματος διαβάθμισης του γκρι για όλα τα pixel του πλαισίου και σε κάθε θέση αυτού

Σε κάθε θέση του πλαισίου, έστω την $((1 + nx\delta), (1 + mx\delta))$ δημιουργούμε το ιστόγραμμα διαβάθμισης του γκρι όλων των εικονοστοιχείων του πλαισίου. Η μικρότερη τιμή απόχρωσης του γκρι εντός του πλαισίου στη θέση αυτή είναι έστω Γ_{min} , ενώ η αντίστοιχη μέγιστη τιμή έστω ότι είναι Γ_{max} . Τότε χωρίζουμε το διάστημα $[\Gamma_{min}, \Gamma_{max}]$ σε N^F ίσα υποδιαστήματα. Σε κάθε υποδιάστημα, αποδίδουμε το πλήθος των pixel 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 ίση με την τιμή Γ_{max} . Για όλες τις εφαρμογές που θα περιγραφούν παρακάτω, μια καλή τιμή για το πλήθος των υποδιαστημάτων του ιστογράμματος είναι η $N^F = 30$.

Για παράδειγμα για μία εικόνα γράμματος αρχαίας επιγραφής θα προκύψει το παρακάτω ιστόγραμμα:

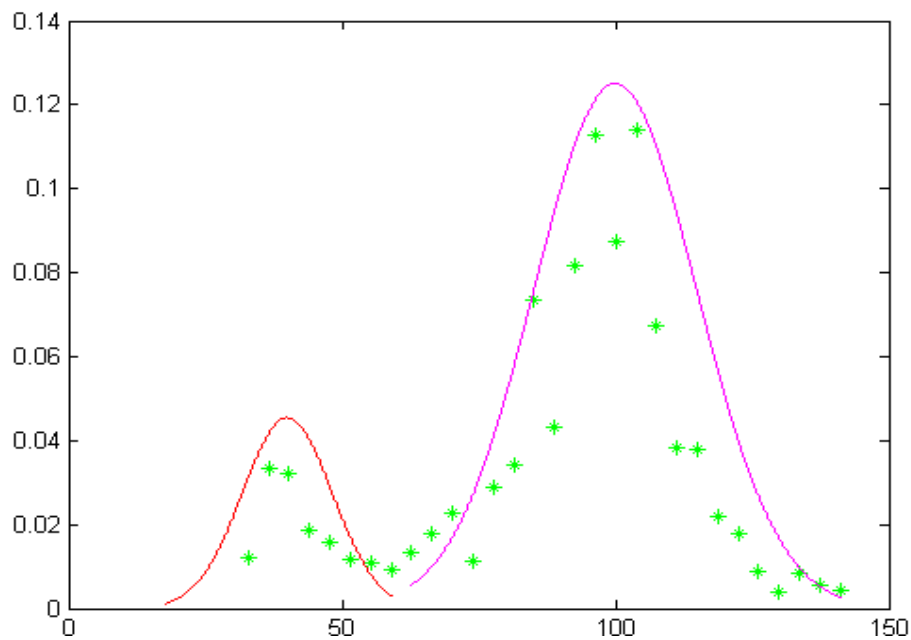


Εικόνα 3.1

Βήμα 4: Βέλτιστη προσέγγιση του χρωματικού ιστογράμματος κάθε πλαισίου με δύο ανεξάρτητες κανονικές κατανομές

Σε αυτό το βήμα της μεθόδου γίνεται μία βέλτιστη προσέγγιση του ιστογράμματος αποχρώσεων του γκρι κάθε πλαισίου με δύο ανεξάρτητες κανονικές κατανομές. Ουσιαστικά προσεγγίζουμε το ιστόγραμμα που υπολογίστηκε στο βήμα 3 με δύο κανονικές κατανομές με την έννοια των ελαχίστων τετραγώνων.

Η προσέγγιση του ιστογράμματος που παρατέθηκε στο βήμα 3 θα γίνει ως εξής, όπου φαίνονται οι δύο ανεξάρτητες κανονικές κατανομές:



Εικόνα 3.2

Βήμα 5: Εύρεση των σημείων καμπής των δύο κανονικών κατανομών

Για μία τυχούσα κανονική κατανομή με μέση τιμή μ και τυπική απόκλιση σ ισχύουν τα εξής:

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας εκφράζεται από τον τύπο:

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

Η πρώτη παράγωγος αυτής είναι

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

Και η δεύτερη παράγωγος είναι

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

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

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

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

Βήμα 6: Αρχική εκτίμηση των θεματικών περιοχών και των σημείων ακμής

Ένας παράγοντας που επηρεάζει την ποιότητα των εικόνων και την επεξεργασία αυτών είναι οι συνθήκες φωτογράφισης των αρχαίων επιγραφών. Όπως είναι φυσικό, τα pixel τα οποία θεωρούνται ακμές (edges) από το ανθρώπινο μάτι είναι αυτά στα οποία παρατηρείται μεγίστη μεταβολή της απόχρωσης του γκρι για εικόνες αποχρώσεων του γκρι. Στην παρούσα διπλωματική 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 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 περισσότερων υλοποιήσεων ενός συμβόλου της αλφαβήτου επί του μαρμάρου. Τότε, μπορούμε να υποθέσουμε ότι οι δύο

κανονικές κατανομές με τις οποίες προσεγγίσαμε το ιστόγραμμα αποχρώσεων του γκρι της εικόνας, αντιστοιχούν στις δύο προαναφερθείσες περιοχές. Πιο συγκεκριμένα, για τις αρχαίες επιγραφές, η κανονική κατανομή με μέγιστο κοντινότερο στο μηδέν (μαύρο) περιλαμβάνει pixel του κύριου κορμού του γράμματος, ενώ η άλλη κορυφή που είναι κοντύτερα στο 255 (λευκό) περιλαμβάνει pixel του υποβάθρου. Βέβαια λόγω της φθοράς των επιγραφών αλλά και της ιδιαίτερης υφής του μαρμάρου, οι δύο αυτές περιοχές δεν θα είναι αμιγείς. Πιο συγκεκριμένα, κάποια σκούρα στίγματα στην επιφάνεια του μαρμάρου λόγω φθοράς και προσμίξεων θα έχουν ως αποτέλεσμα pixel του υποβάθρου να ανήκουν στην κανονική κατανομή της απόχρωσης του εσωτερικού του γράμματος. Αντίστοιχα, στο εσωτερικό του γράμματος θα υπάρχουν για τους ίδιους λόγους κάποια λευκά στίγματα. Εντούτοις, στην περίπτωση των απεικονίσεων γραμμάτων επιγραφών, που εξετάζουμε, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το συντριπτικά μεγαλύτερο μέρος των pixel του υποδιαστήματος που περιλαμβάνει την κορυφή της αριστερής κανονικής κατανομής ανήκουν στον κύριο κορμό του γράμματος, ενώ το μεγαλύτερο τμήμα των pixel του υποδιαστήματος που περιλαμβάνει την κορυφή της δεύτερης κανονικής κατανομής ανήκει στο υπόβαθρο της εικόνας.

Με βάση τα παραπάνω, η διαδικασία για τον εντοπισμό των δύο θεματικών περιοχών που μας ενδιαφέρουν περιλαμβάνει τις εξής ενέργειες:

- Θεωρούμε όλα τα εικονοστοιχεία που βρίσκονται στο ίδιο υποδιάστημα του ιστογράμματος με την κορυφή της κανονικής κατανομής K^A που είναι κοντύτερα στο μαύρο και τα αποδίδουμε στον κύριο κορμό του γράμματος, θεματική περιοχή που θα συμβολίζουμε με Σ .
- Θεωρούμε όλα τα pixel που βρίσκονται στο ίδιο κυτίο του ιστογράμματος με την κορυφή της κανονικής κατανομής K^A που είναι κοντύτερα στο λευκό και αποδίδουμε στο υπόβαθρο της εικόνας του γράμματος, τη θεματική περιοχή που θα συμβολίζουμε με Y .
- Βρίσκουμε το σημείο τομής των δύο κανονικών κατανομών, έστω I^T , καθώς και το δεξί σημείο καμπής της αριστερής κανονικής κατανομής I^K . Επιλέγουμε εκ των I^T και I^K το σημείο το οποίο είναι πλησιέστερο προς το μέγιστο της αριστερής κανονικής κατανομής έστω I^H .
- Από τις δύο κορυφές που επελέγησαν στις δύο πρώτες ενέργειες κινούμαστε εκατέρωθεν των κορυφών, συμπεριλαμβάνοντας σε αυτές τα pixel του ιστογράμματος, έως ότου φτάσουμε σε μια τιμή αποχρώσεως του γκρι που είναι στο

$$I^c = I(I^H) + 0.20(I(I^{KA}) - I(I^H)).$$

- Κάποιες φορές η διαφοροποίηση των δύο κορυφών του ιστογράμματος δεν είναι καθόλου σαφής, σε σημείο που ο αλγόριθμος προσαρμογής δύο κανονικών κατανομών ταυτίζει τις δύο κανονικές κατανομές και προσφέρει μόνο τη μία, την κυρίαρχη. Στην περίπτωση των γραμμάτων αρχαίων επιγραφών, 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 pixel του ιστογράμματος που ανήκουν στο υπόβαθρο από τα pixel που ανήκουν στον κύριο κορμό. Προφανώς, τα pixel του υποδιαστήματος του ιστογράμματος που έχει κέντρο το X^{AK} , ανήκουν κατά κύριο λόγο στο περίγραμμα του γράμματος.

Βήμα 7: Εξάλειψη του θορύβου και ομογενοποίηση των θεματικών περιοχών

Μετά την εκτέλεση της τέταρτης ενέργειας του παραπάνω βήματος, έχουμε δημιουργήσει δύο περιοχές, μια με απόχρωση γύρω από την τιμή I^{KA} και μέχρι την τιμή I^c εκατέρωθεν αυτής και μια δεύτερη περιοχή γύρω από την τιμή $I^{K\Delta}$ και μέχρι το ίδιο κατώφλι. Σε αυτό το βήμα, θα γίνει προσπάθεια να εξαλειφθεί ο ‘θόρυβος’ δηλαδή να ομογενοποιηθούν όσο το δυνατόν περισσότερο οι δύο περιοχές, με τη χρήση των παρακάτω μορφολογικών διαδικασιών.

Ως θόρυβος λόγω φθοράς (decay noise) ορίζεται η τυχαία φθορά χρώματος που υπάρχει σε κάθε μια από τις επιγραφές. Για να υπολογιστεί η κατανομή του θορύβου γίνεται μετατροπή της αρχικής έγχρωμης εικόνας της επιγραφής σε εικόνα αποχρώσεων του γκρι 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 pixel (i, j) της εικόνας μας.

Επειτα υπολογίζεται η μέση τιμή E_G και η διασπορά R_G του μέτρου της κλίσης $G_f(i, j)$ και γίνεται έλεγχος του αριθμού των pixel N_G που βρίσκονται 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 pixel της εικόνας μας, N , τότε θεωρούμε ότι υπάρχει σημαντική παρουσία θορύβου λόγω φθοράς και πρέπει να εφαρμόσουμε την παρακάτω διαδικασία ώστε να εξομαλυνθεί η απόχρωση του γκρι στην εκάστοτε επιγραφή που επεξεργαζόμαστε. Μεταθέτουμε μια περιοχή διαστάσεων $P^x \times P^x$ pixel σε όλη την εικόνα του γράμματος, όπου P^x κατάλληλα επιλεγμένος μικρός περιττός φυσικός αριθμός, έτσι ώστε κάθε

φορά ένα pixel της επιγραφής μας να είναι το κέντρο αυτής της περιοχής και αποδίδουμε τη μέση τιμή της απόχρωσης του γκρι όλων των pixel της περιοχής μας στο κεντρικό pixel. Με αυτόν τον τρόπο πραγματοποιείται η χρωματική εξομάλυνση μιας εικόνας. Εάν ο N_G είναι μεγαλύτερος ή ίσος του $P_G \times N$, τότε αγνοούμε την παραπάνω διαδικασία εξομάλυνσης.

Στη συνέχεια, με κέντρο ένα pixel P της εικόνας του γράμματος ολισθαίνουμε μια μάσκα διαστάσεων $m \times n$, όπου m και n περιττοί. Σε κάθε θέση της μάσκας μετράμε τον αριθμό των εικονοστοιχείων (pixel) της περιμέτρου αυτής, τα οποία περιλαμβάνονται σε κάθε μια από τις περιοχές που ορίσαμε προηγουμένως. Έστω U_M η περιοχή με τον μεγαλύτερο αριθμό pixel 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 pixel αυτής αποδίδεται στην περιοχή U_M . Η προηγούμενη διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου δεν χρειάζεται να τροποποιηθεί πλέον το περιεχόμενο απόχρωσης του γκρι κάποιας περιοχής U_M . Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μειώνοντας κάθε φορά κάθε μια από τις διαστάσεις της μάσκας κατά δύο και μέχρις ότου $m = n = 3$.

Με την παραπάνω διαδικασία εξαλείφεται επιτυχώς ο θόρυβος λόγω φθοράς στο εσωτερικό κάθε περιοχής. Παρ'όλα αυτά κάποιος θόρυβος λόγω φθοράς υπάρχει ακόμα στα σύνορα των περιοχών. Προκειμένου να μειώσουμε αυτό το θόρυβο εφαρμόζουμε την παρακάτω διαδικασία.

Με κέντρο ένα εικονοστοιχείο P της εικόνας του γράμματος ολισθαίνουμε μια μάσκα διαστάσεων $m \times n$, όπου m και n περιττοί. Σε κάθε θέση της μάσκας μετράμε τον αριθμό των pixel 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 pixel αντίστοιχα, όπου η περιοχή U_{max} περιλαμβάνει N_{max} pixel και η περιοχή U_{min} N_{min} .

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 pixel της μάσκας.

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

Ακολούθως, 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 αυτό τον τρόπο έχουμε τελικά την ομογενοποιημένη εικόνα της επιγραφής μας. Αν θέλουμε να πάρουμε μια ακόμα πιο ομογενοποιημένη κατάσταση μπορούμε να επαναλάβουμε τη διαδικασία εξομάλυνσης, σε καθεμιά από τις ληφθείσες περιοχές ξεχωριστά, όπου όμως χρησιμοποιείται το αρχικό περιεχόμενο του χρώματος που είχαν τα pixel της περιοχής που εξετάζουμε. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας υποβάλλεται ξανά στην προαναφερθείσα διαδικασία ομογενοποίησης.

Βήμα 8: Απόδοση των εναπομείναντων εικονοστοιχείων στη δέουσα περιοχή

Αφού δημιουργήσαμε τις όσο το δυνατόν καλύτερα ομογενοποιημένες περιοχές, την Σ^0 που αντιστοιχεί σε ένα ομογενοποιημένο τμήμα του κυρίου κορμού του γράμματος και την Y^0 που αντιστοιχεί σε ομογενοποιημένο τμήμα του υποβάθρου, θα πρέπει να αποδοθούν τα εναπομείναντα pixel στις περιοχές αυτές ως εξής:

Έστω $I_{\mu}^{\Sigma^0}, I_{\mu}^{Y^0}$ ο μέσος όρος των αποχρώσεων του γκρι των εικονοστοιχείων των περιοχών Σ^0 και Y^0 αντιστοίχως και έστω I^X , η απόχρωση του γκρι τυχόντος pixel της εικόνας που δεν έχει καταταγεί στις Σ^0 και Y^0 . Για κάθε τέτοιο μη ενταγμένο pixel αποχρώσεως I^X , ορίζουμε ένα μέτρο απόστασης αποχρώσεως από τις Σ^0 και Y^0 μέσω της σχέσεως

Μέτρο απόστασης αποχρώσεως $d(I^X, \Sigma^0) = (\text{απόσταση } I^X \text{ από } I_{\mu}^{\Sigma^0}) + (\text{ελάχιστη απόσταση } I^X \text{ από σύνολο αποχρώσεων των pixels της } \Sigma^0)$. Αντίστοιχο μέτρο απόστασης $d(I^X, Y^0)$ ορίζουμε για την Y^0 .

Εν συνεχεία διατάσσουμε τις ποσότητες $d(I^X, \Sigma^0) - d(I^X, Y^0)$ και το pixel με τη μικρότερη τιμή αυτής της διαφοράς το αποδίδουμε στο Σ^0 , ενώ αυτό με τη μεγαλύτερη τιμή διαφοράς την αποδίδουμε στο Y^0 . Κατ' αυτόν τον τρόπο επανορίζουμε τις περιοχές Σ^0 και Y^0 , επαναυπολογίζουμε τα $I_{\mu}^{\Sigma^0}, I_{\mu}^{Y^0}$ και αποδίδουμε τα μη καταταγμένα pixel επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία.

Βήμα 9: Τελικός καθορισμός των δύο θεματικών περιοχών, αφενός του κυρίου κορμού του γράμματος και αφετέρου του υποβάθρου

Μετά τη δημιουργία των ομογενοποιημένων περιοχών Σ^0 και Y^0 , που πραγματοποιήθηκε με τη διαδικασία που περιγράφηκε στο βήμα 8, λαμβάνουμε τις τελικές εκδόσεις των δύο περιοχών τόσο του κυρίου κορμού του γράμματος όσο και του υποβάθρου της εικόνας με χρήση των μορφολογικών διαδικασιών που περιγράφησαν στο βήμα 7.

Στο τέλος όλων των ενεργειών που αναλύθηκαν στα παραπάνω βήματα λαμβάνουμε, μετά από μετατροπή της εικόνας σε δυαδική μορφή, τον κύριο κορμό του γράμματος μαύρο, εντεθειμένο σε άσπρο υπόβαθρο .[10]

4.ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΤΑΤΜΣΗΣ ΣΕ ΕΙΚΟΝΕΣ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΥΡΗΜΑΤΩΝ

4.1 Οι ενδογενείς δυσκολίες του προβλήματος της αυτόματης κατάτμησης εικόνων αρχαιολογικών ευρημάτων

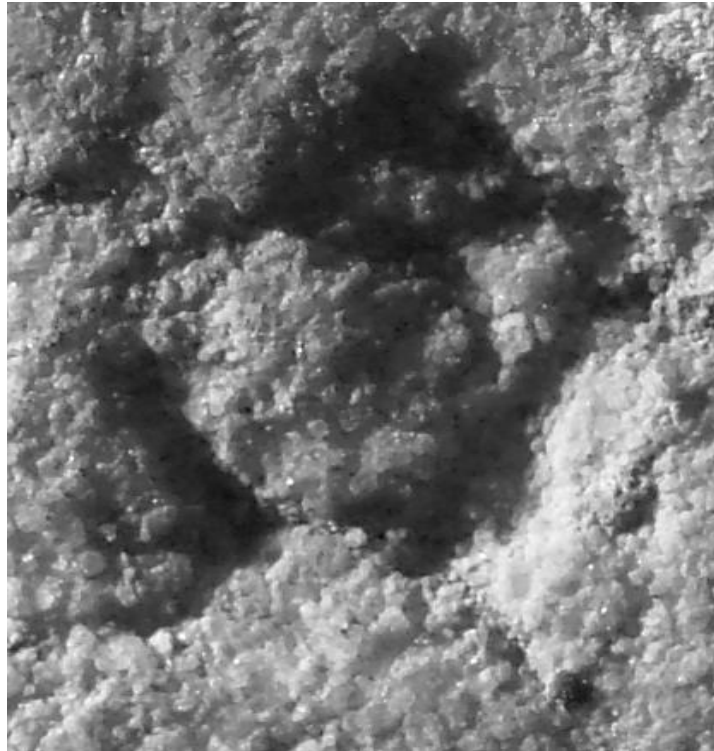
Η αυτόματη κατάτμηση εικόνων παρουσιάζει κάποια ενδογενή προβλήματα που οφείλονται στην ίδια τη φύση και κατάσταση των επιγραφών αυτών.

Φθορά των αρχαιολογικών ευρημάτων

Από τη φύση τους οι ανασκαφείς επιγραφές έχουν υποστεί σημαντική φθορά λόγω της παρόδου του χρόνου. Όσο παλαιότερη είναι μία επιγραφή τόσο μεγαλύτερη φθορά και αλλοίωση έχει υποστεί η επιφάνεια της και κατά συνέπεια τα γράμματα. Επίσης, η κατάσταση στην οποία βρίσκονται οι επιγραφές εξαρτάται και από τις συνθήκες στις οποίες διατηρηθήκαν όλα τα χρόνια μέχρι την ανασκαφή τους. Ανάλογα με το είδος του υπεδάφους στο οποίο διατηρήθηκαν οι επιγραφές, διαφορετικά είναι και τα επίπεδα φθοράς τα οποία έχουν υποστεί. Αποτέλεσμα της φθοράς είναι η ύπαρξη κηλίδων, στιγμάτων κλπ πάνω στις επιγραφές, καθώς επίσης και σε κάποιες περιπτώσεις αλλοίωση ή παραμόρφωση του κυρίως θεματικού περιεχομένου της εικόνας, δηλαδή του γράμματος. [10] Η φθορά αυτή που έχουν υποστεί τα ευρήματα φυσικά απεικονίζεται στις φωτογραφίες και δυσχεραίνει την επεξεργασία αυτών μέσω των αλγορίθμων κατάτμησης. Παρουσιάζονται μερικά παραδείγματα εικόνων ιδιαίτερα αλλοιωμένων επιγραφών (Εικόνα 4.1.1, 4.1.2)



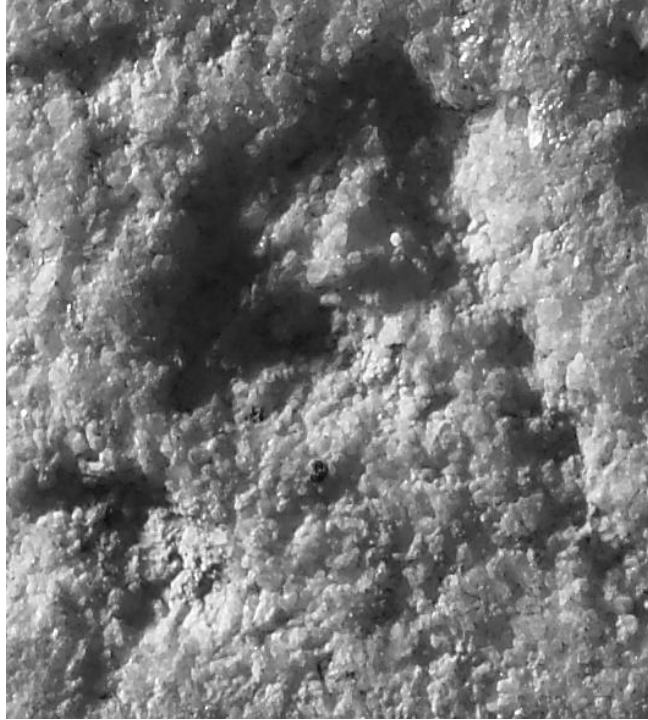
Εικόνα 4.1.1



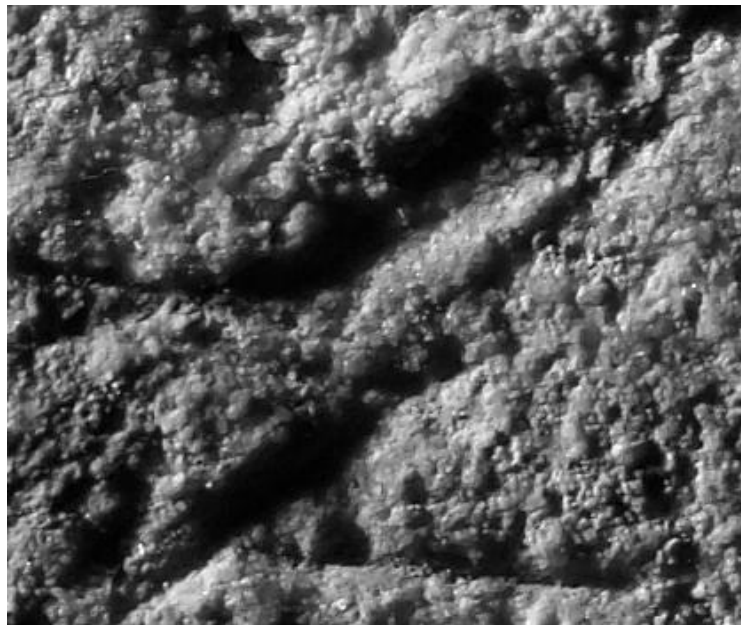
Εικόνα 4.1.2

Μάρμαρο και ποιότητα υλικού

Καθοριστικό ρόλο στο αποτέλεσμα της κατάτμησης της εικόνας παίζει και το είδος του υποβάθρου, το οποίο στην περίπτωση των αρχαίων επιγραφών είναι το μάρμαρο. Το υλικό αυτό αποτελεί πέτρωμα και κατά συνέπεια η σύνθεσή του δεν είναι σταθερή καθώς υπεισέρχονται προσμίξεις και άλλα υλικά. Για αυτό το λόγο το μάρμαρο είναι ουσιαστικά από τη φύση του στικτό, γεγονός που προσθέτει σημαντικό θόρυβο στο υπόβαθρο της εικόνας ακόμα και σε καλά διασωθείσες επιγραφές. Όταν αναφερόμαστε σε θόρυβο του υποβάθρου εννοούμε ρωγμές, πόρους, χρώματα από προσμίξεις, εγκλωβισμένα άλλα υλικά που υπάρχουν στην χαραγμένη επιφάνεια. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα (Εικόνα 4.1.3, 4.1.4).



Εικόνα 4.1.3



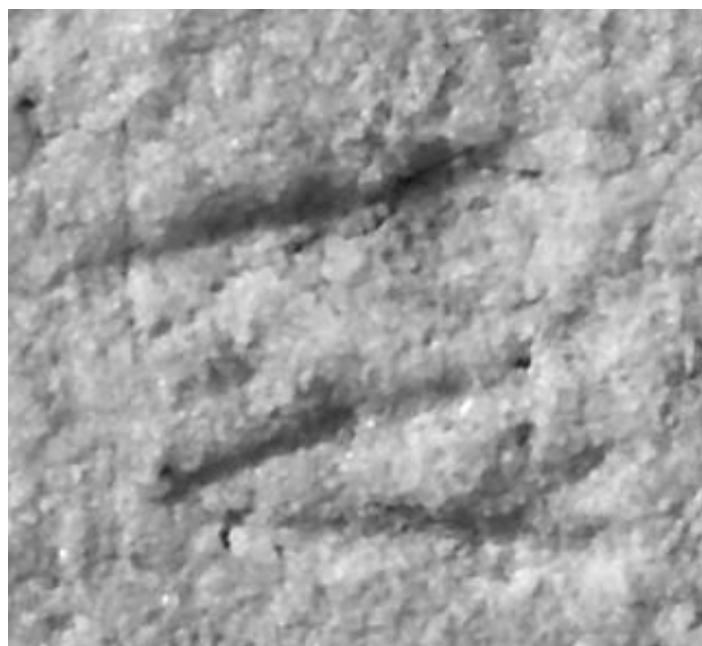
Εικόνα 4.1.4

Συνθήκες φωτογράφισης

Ένας ακόμα παράγοντας που επηρεάζει την ποιότητα των εικόνων και κατά συνέπεια την επεξεργασία αυτών είναι οι συνθήκες φωτογράφισης των αρχαίων επιγραφών. [9] Παραδείγματος χάριν, κάποιες επιγραφές φωτογραφήθηκαν στα υπόγεια της αγοράς του Αττάλου ή στα υπόγεια του Εθνικού Επιγραφικού Μουσείου όπου οι συνθήκες φωτισμού δεν ήταν καθόλου ικανοποιητικές. Επίσης κατά τη διάρκεια κάποιων φωτογραφίσεων απαγορευόταν η χρήση του φλας για λόγους προστασίας των αρχαιολογικών ευρημάτων. Κατά συνέπεια οι εικόνες αυτών των επιγραφών έχουν πολύ χαμηλή ποιότητα η ανάλυση δυσχεραίνοντας τη διαδικασία της κατάτμησης.



Εικόνα 4.1.5



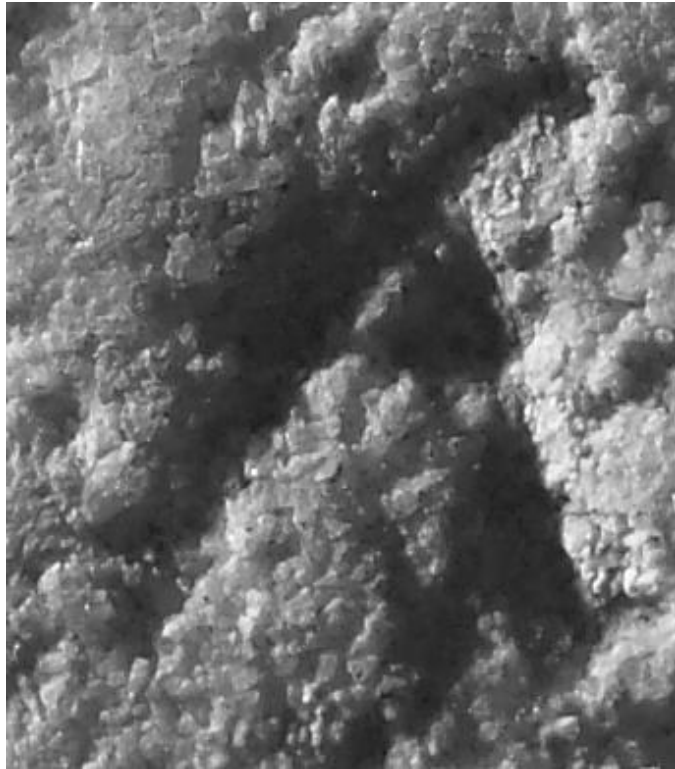
Εικόνα 4.1.6

Διαδικασία χάραξης-πολυπλοκότητα γραμμάτων

Όσον αφορά στη διαδικασία χάραξης, αναφερόμαστε τόσο στον ίδιο τον χαρακτήρα και την τεχνοτροπία χάραξης ανάλογα με τον χαρακτήρα και την χρονική περίοδο, αλλά και το εργαλείο χάραξης. η χάραξη των επιγραφών επηρεαζόταν από τον «γραφικό χαρακτήρα» του κάθε γραφέα, καθώς και την τεχνοτροπία που ακολουθούσε ανάλογα με την γεωγραφική περιοχή και την χρονική περίοδο στην οποία έζησε και χάραξε την εκάστοτε επιγραφή. [9] Ως εκ τούτου υπάρχουν επιγραφές οι οποίες είναι πιο «ευανάγνωστες» καθώς ο γραφικός χαρακτήρας του γραφέα είναι πιο καλός και η μέθοδος χάραξης ακριβής και δεν προκαλεί φθορές στο υπόβαθρο χάραξης. Επίσης σημαντικό ρόλο στο διαχωρισμό του γράμματός μας από το υπόβαθρο παίζει το βάθος χάραξης, το οποίο εξαρτάται από την ικανότητα του γραφέα καθώς επίσης και από το εργαλείο χάραξης. Όπως είναι φυσικό όσο πιο επιφανειακά είναι χαραγμένο ένα γράμμα, τόσο δυσκολότερος είναι ο διαχωρισμός του από το υπόβαθρο. Τέλος, η ίδια η πολυπλοκότητα του εκάστοτε γράμματος επηρεάζει σημαντικά τη διαδικασία της κατάτμησης της εικόνας. Έτσι, διαπιστώνουμε ότι γράμματα τα οποία παρουσιάζουν πολλές αιχμές και διασταυρώσεις μεταξύ των καμπυλών και των ευθυγράμμων τμημάτων που τα σχηματίζουν παρουσιάζουν μεγαλύτερη πολυπλοκότητα στην κατάτμησή τους.



Εικόνα 4.1.7



Εικόνα 4.1.8



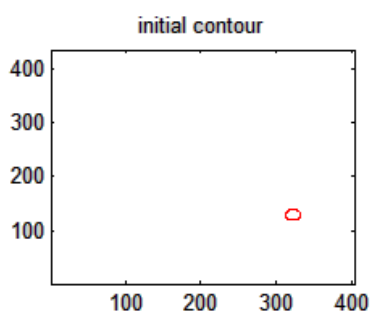
Εικόνα 4.1.9

4.2 Εφαρμογή της μεθόδου Chan-Vese στην κατάτμηση εικόνων αρχαίων επιγραφών

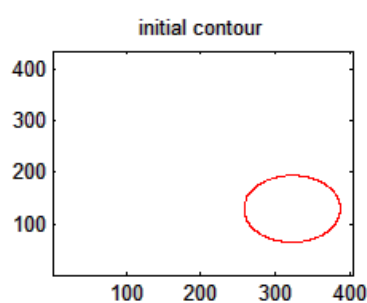
Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογής της μεθόδου active contours που ανέπτυξαν οι T.F. Chan και L.A. Vese η οποία περιγράφηκε αναλυτικά στο κεφάλαιο 2.2.3. Ο αλγόριθμος εφαρμόστηκε σε περιβάλλον αριθμητικής υπολογιστικής και προγραμματισμού MATLAB. Σκοπός της αναλυτικής παρουσίασης των αποτελεσμάτων της κατάτμησης είναι να γίνει κατανοητός ο τρόπος εφαρμογής του αλγορίθμου καθώς και ο τρόπος ρύθμισης των παραμέτρων για την αποτελεσματικότερη εξαγωγή του επιθυμητού αποτελέσματος.

Οι παράμετροι οι οποίες διαδραματίζουν το σημαντικότερο ρόλο κατά την εφαρμογή της μεθόδου είναι οι εξής:

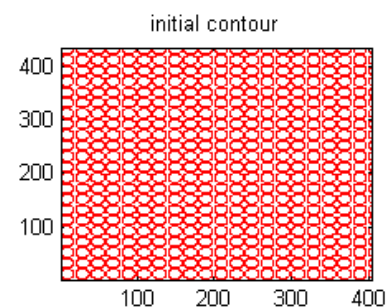
- Η πρώτη παράμετρος που ρυθμίζουμε είναι το είδος της αρχικής κλειστής καμπύλης η οποία παραμορφώνεται κατά τις επαναλήψεις του αλγορίθμου με σκοπό να σχηματίσει το περίγραμμα του αντικειμένου της εικόνας που θέλουμε να διαχωρίσουμε από το υπόβαθρο, δηλαδή του γράμματος. Εμείς κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας εφαρμόσαμε δύο διαφορετικές προσεγγίσεις. Στη μία περίπτωση είχαμε μία αρχική καμπύλη της οποίας διαφοροποιούσαμε κάθε φορά το αρχικό μέγεθος (small, medium και large). Στη δεύτερη περίπτωση είχαμε δυο διαφορετικά αρχικά σύνολα κλειστών καμπυλών (whole και whole and small). Μέσα από τα παραδείγματα θα γίνει σαφής η διαφορά στο αποτέλεσμα της κατάτμησης κατά την εφαρμογή της κάθε καμπύλης. Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται σχηματικά κάποια παραδείγματα κλειστών καμπυλών. [6]



Εικόνα 4.2.1
Καμπύλη «small»



Εικόνα 4.2.2
Καμπύλη «large»



Εικόνα 4.2.3
Καμπύλη «whole»

- Η δεύτερη παράμετρος που ρυθμίζουμε είναι ο αριθμός των επαναλήψεων του αλγορίθμου. Σκοπός μας είναι να βρεθεί ο μικρότερος δυνατός αριθμός επαναλήψεων που να δίνει μια ικανοποιητική κατάτμηση της εικόνας, έτσι ώστε να είναι όσο το δυνατόν συντομότερη η εφαρμογή του αλγορίθμου.

4.2.1 Μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα

Παράδειγμα 1^ο

Στο πρώτο παράδειγμα περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία που εφαρμόστηκε πειραματικά καθώς και τα κριτήρια σύμφωνα με τα οποία πραγματοποιήθηκε η ρύθμιση των παραμέτρων με σκοπό την βέλτιστη δυνατή κατάτμηση της εικόνας, ώστε να γίνει κατανοητή η διαδικασία του αλγορίθμου και κατόπιν στα υπόλοιπα παραδείγματα θα παραθέσουμε μόνο τα αποτελέσματα.

Η πρώτη εικόνα που εισήχθη στον αλγόριθμο είναι η παρακάτω:



Εικόνα 4.2.4

Αρχικά δοκιμάζουμε την κατάτμηση της εικόνας έχοντας επιλέξει ως αρχική κλειστή καμπύλη την καμπύλη «small» και έχοντας ρυθμίσει τον αλγόριθμο ώστε να κάνει 2000 επαναλήψεις. Το αποτέλεσμα της κατάτμησης παρουσιάζεται στην εικόνα 4.2.5. Όπως παρατηρούμε το αποτέλεσμα της κατάτμησης δεν είναι το καλύτερο δυνατό καθώς η καμπύλη δεν διαγράφει όλο το περίγραμμα του αντικειμένου, δηλαδή του γράμματος.



Εικόνα 4.2.5

Έτσι λοιπόν συνεχίζουμε τις δοκιμές επιλέγοντας αυτή τη φορά ως αρχική καμπύλη την καμπύλη «large» και ξεκινώντας με 1000 επαναλήψεις του αλγορίθμου. Το αποτέλεσμα της κατάτμησης παρουσιάζεται στην εικόνα 4.2.6. Το αποτέλεσμα δεν είναι ούτε αυτή τη φορά ικανοποιητικό και για αυτό το λόγο αυξάνουμε τον αριθμό των επαναλήψεων στις 2500 διατηρώντας την ίδια αρχική καμπύλη και παίρνουμε την κατάτμηση που παρουσιάζεται στην εικόνα 4.2.7. Η κατάτμηση αυτή φαίνεται αρκετά ικανοποιητική συγκρινόμενη με την αρχική εικόνα του γράμματος. Παρ' όλα αυτά κάνουμε μία ακόμη δοκιμή αυξάνοντας τις επαναλήψεις του αλγορίθμου στις 3000 για να ελέγξουμε αν υπάρχει επιπλέον βελτίωση στην κατάτμηση της εικόνας. Το αποτέλεσμα της τελευταίας δοκιμής παρουσιάζεται στην εικόνα 4.2.8.



Εικόνα 4.2.6



Εικόνα 4.2.7



Εικόνα 4.2.8

Όπως είναι φανερό η τελευταία κατάτμηση δεν παρουσιάζει αισθητή βελτίωση σε σχέση με το αποτέλεσμα που προέκυψε από τις 2500 επαναλήψεις του αλγορίθμου. Με βάση λοιπόν όλα τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρούμε ότι η πιο αποδοτική κατάτμηση της αρχικής εικόνας είναι αυτή που παρουσιάζεται στην εικόνα 4.2.7.

Στη συνέχεια δοκιμάζουμε την κατάτμηση της εικόνας 4.2.4 χρησιμοποιώντας ένα σύνολο αρχικών καμπυλών όπως περιγράψαμε και παραπάνω. Έτσι έχοντας επιλέξει ως αρχική καμπύλη την καμπύλη «whole» (εικόνα 4.2.3) ο αλγόριθμος εκτελεί 143 επαναλήψεις και μετά τερματίζει δίνοντάς μας το αποτέλεσμα της εικόνας 4.2.9.

Όπως παρατηρούμε στην περίπτωση αυτού του γράμματος το τελευταίο αποτέλεσμα της κατάτμησης δεν είναι αρκετά ικανοποιητικό καθώς παρατηρείται έντονος «θόρυβος» από φθορές στο μάρμαρο γύρω από την περιοχή του γράμματος, που φυσικά είναι ανεπιθύμητο.

Μετά την ολοκλήρωση της κατάτμησης της εικόνας μέσω του αλγορίθμου ακολουθεί η αφαίρεση του θορύβου από τις φθορές του μαρμάρου γύρω από το γράμμα μας, με τη βοήθεια κάποιου προγράμματος επεξεργασίας εικόνας. Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία έχουμε το τελικό αποτέλεσμα της κατάτμησης της εικόνας το οποίο παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 4.2.9



Εικόνα 4.2.10

Παράδειγμα 2^ο

Σε αυτό το παράδειγμα, όπως και στα παραδείγματα που θα ακολουθήσουν, θα παρουσιαστούν μόνο τα βέλτιστα αποτελέσματα για κάθε εικόνα γράμματος. Υποθέτοντας λοιπόν ότι ακολουθήθηκε παρόμοια διαδικασία με το πρώτο παράδειγμα παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα για την παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 4.2.11

Η τελική κατάτμηση που προκύπτει φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 4.2.12). Έχει επιλεγεί η καμπύλη «large» και έγιναν 2800 επαναλήψεις του αλγορίθμου.



Εικόνα 4.2.12

Μετά την επεξεργασία του αποτελέσματος της κατάτμησης (Εικόνα 4.2.12) με σκοπό την εξάλειψη του θορύβου που υπάρχει στο υπόβαθρο του μαρμάρου, παίρνουμε την εξής εικόνα.



Εικόνα 4.2.13

Παράδειγμα 3^ο

Αφού ακολουθήθηκε και πάλι παρόμοια διαδικασία με αυτήν που περιγράψαμε στο πρώτο παράδειγμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της κατάτμησης για το παρακάτω γράμμα.



Εικόνα 4.2.14

Η τελική κατάτμηση που προκύπτει φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 4.2.15). Έχει επιλεγεί η καμπύλη «large» και έγιναν 2000 επαναλήψεις του αλγορίθμου.



Εικόνα 4.2.15

Το τελικό αποτέλεσμα είναι αυτό που προκύπτει αφού γίνει η επεξεργασία της εικόνας ώστε να εξαλειφθεί ο θόρυβος και παρουσιάζεται παρακάτω (Εικόνα 4.2.16).



Εικόνα 4.2.16

Παράδειγμα 4^ο

Υποθέτοντας λοιπόν ότι ακολουθήθηκε παρόμοια διαδικασία με το πρώτο παράδειγμα παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα για την παρακάτω εικόνα.



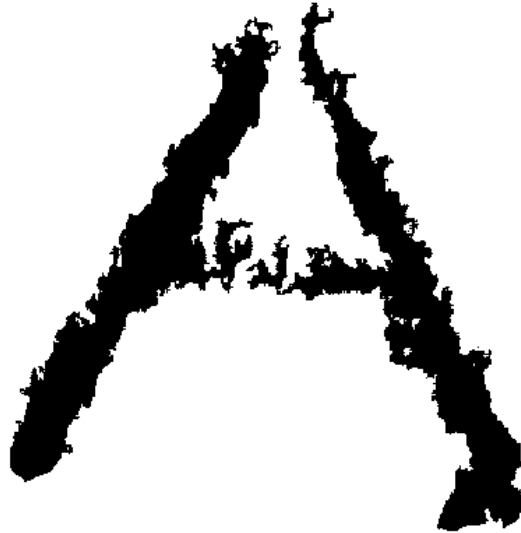
Εικόνα 4.2.17

Το τελικό αποτέλεσμα της κατάτμησης παρουσιάζεται παρακάτω (Εικόνα 4.2.18). Έχει γίνει επιλογή της καμπύλης «whole» και ο αλγόριθμος τερμάτισε μετά από 126 επαναλήψεις.



Εικόνα 4.2.18

Μετά την επεξεργασία του αποτελέσματος της κατάτμησης (Εικόνα 4.2.18) με σκοπό την εξάλειψη του θορύβου που υπάρχει στο υπόβαθρο του μαρμάρου, παίρνουμε την εξής εικόνα.



Εικόνα 4.2.19

Παράδειγμα 5^ο

Αφού ακολουθήθηκε και πάλι παρόμοια διαδικασία με αυτήν που περιγράψαμε στο πρώτο παράδειγμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της κατάτμησης για το παρακάτω γράμμα.



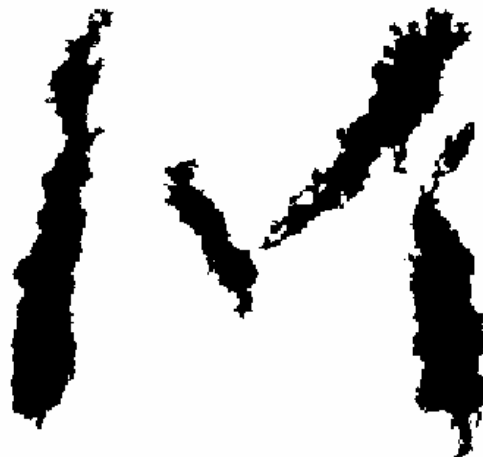
Εικόνα 4.2.20

Η τελική κατάτμηση που προκύπτει φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 4.2.21). Έχει επιλεγεί η καμπύλη «large» και έγιναν 2000 επαναλήψεις του αλγορίθμου.



Εικόνα 4.2.21

Το τελικό αποτέλεσμα είναι αυτό που προκύπτει αφού γίνει η επεξεργασία της εικόνας ώστε να εξαλειφθεί ο θόρυβος και παρουσιάζεται παρακάτω (Εικόνα 4.2.22).



Εικόνα 4.2.22

Παράδειγμα 6^ο

Υποθέτοντας και πάλι ότι ακολουθήθηκε παρόμοια διαδικασία με το πρώτο παράδειγμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το παρακάτω γράμμα.



Εικόνα 4.2.23

Το τελικό αποτέλεσμα της κατάτμησης παρουσιάζεται παρακάτω (Εικόνα 4.2.24). Έχει γίνει επιλογή της καμπύλης «small» και εκτελέστηκαν 2500 επαναλήψεις του αλγορίθμου.



Εικόνα 4.2.24

Το τελικό αποτέλεσμα είναι αυτό που προκύπτει αφού γίνει η επεξεργασία της εικόνας ώστε να εξαλειφθεί ο θόρυβος και παρουσιάζεται παρακάτω (Εικόνα 4.2.25).



Εικόνα 4.2.25

Παράδειγμα 7^ο

Αφού ακολουθήθηκε για ακόμη μία φορά η γνωστή διαδικασία προσδιορισμού των παραμέτρων παρουσιάζονται τα αποτελέσματα κατάτμησης που προέκυψαν για το παρακάτω γράμμα.



Εικόνα 4.2.26

Το τελικό αποτέλεσμα της κατάτμησης παρουσιάζεται παρακάτω (Εικόνα 4.2.27). Έχει γίνει επιλογή της καμπύλης «whole and small» και ο αλγόριθμος τερμάτισε μετά από 129 επαναλήψεις.



Εικόνα 4.2.27

Μετά την επεξεργασία του αποτελέσματος της κατάτμησης (Εικόνα 4.2.27) με σκοπό την εξάλειψη του θορύβου που υπάρχει στο υπόβαθρο του μαρμάρου, παίρνουμε την εξής εικόνα.



Εικόνα 4.2.28

Παράδειγμα 8^ο

Υποθέτοντας και πάλι ότι ακολουθήθηκε η γνωστή διαδικασία που παρουσιάστηκε στο πρώτο παράδειγμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το παρακάτω γράμμα.



Εικόνα 4.2.29

Το τελικό αποτέλεσμα της κατάτμησης παρουσιάζεται παρακάτω (Εικόνα 4.2.30). Έχει γίνει επιλογή της καμπύλης «large» και εκτελέστηκαν 2800 επαναλήψεις του αλγορίθμου.



Εικόνα 4.2.30

Αφού γίνει επεξεργασία του αποτελέσματος της κατάτμησης (Εικόνα 4.2.30) ώστε να εξαλειφθεί ο «θόρυβος» που υπάρχει στο υπόβαθρο του μαρμάρου, παίρνουμε την εξής εικόνα.



Εικόνα 4.2.31

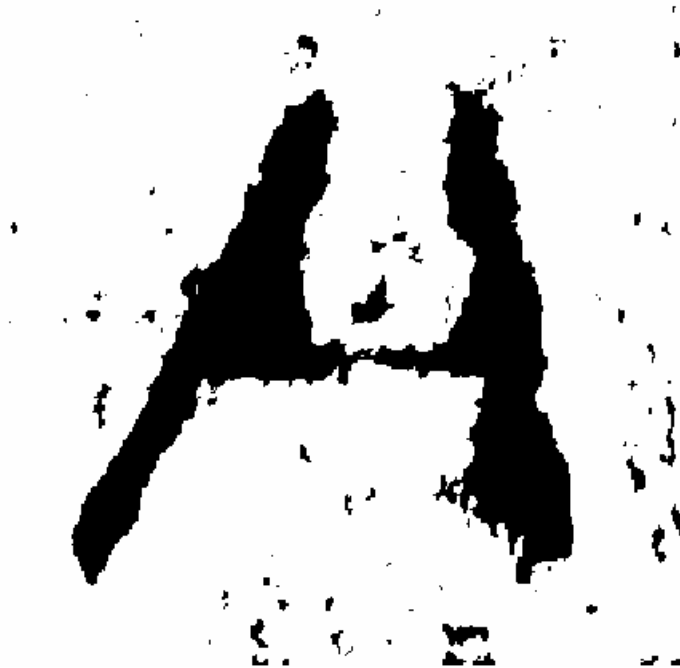
Παράδειγμα 9^ο

Αφού ακολουθήθηκε για ακόμη μία φορά η γνωστή διαδικασία προσδιορισμού των παραμέτρων παρουσιάζονται τα αποτελέσματα κατάτμησης που προέκυψαν για το παρακάτω γράμμα.



Εικόνα 4.2.32

Η τελική κατάτμηση που προκύπτει φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 4.2.33). Έχει επιλεγεί η καμπύλη «medium» και έγιναν 2000 επαναλήψεις του αλγορίθμου.



Εικόνα 4.2.33

Μετά την επεξεργασία του αποτελέσματος της κατάτμησης (Εικόνα 4.2.33) με σκοπό την εξάλειψη του θορύβου που υπάρχει στο υπόβαθρο του μαρμάρου, παίρνουμε την παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 4.2.34

Παράδειγμα 10^ο

Υποθέτοντας ότι ακολουθήθηκε για μία ακόμη φορά η γνωστή διαδικασία προσδιορισμού των παραμέτρων που παρουσιάστηκε στο πρώτο παράδειγμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το παρακάτω γράμμα.



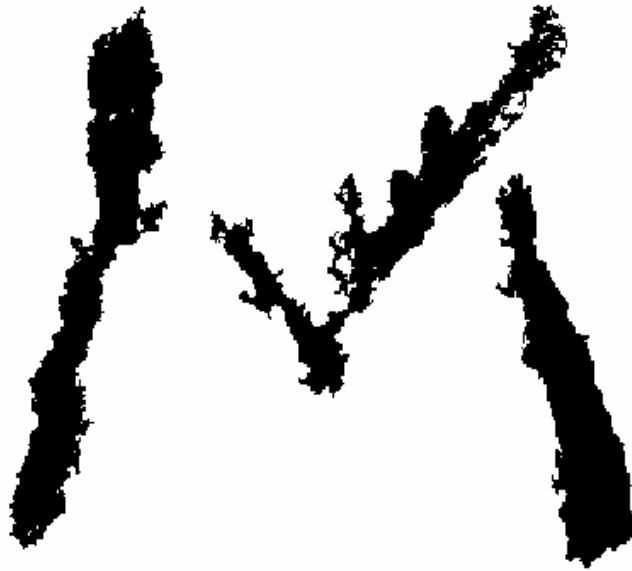
Εικόνα 4.2.35

Η τελική κατάτμηση που προκύπτει φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 4.2.36). Έχει επιλεγεί η καμπύλη «medium» και έγιναν 2000 επαναλήψεις του αλγορίθμου.



Εικόνα 4.2.36

Αφού γίνει επεξεργασία του αποτελέσματος της κατάτμησης (Εικόνα 4.2.36) ώστε να εξαλειφθεί ο «θόρυβος» που υπάρχει στο υπόβαθρο του μαρμάρου, παίρνουμε την εξής εικόνα.



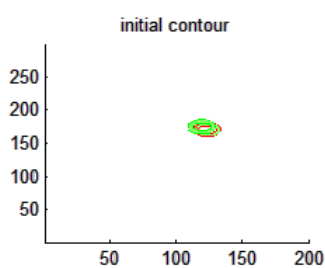
Εικόνα 4.2.37

Παρακάτω θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα κατάτμησης για τις δέκα παραπάνω εικόνες γραμμάτων αρχαίων επιγράφων και με άλλες μεθόδους κατάτμησης εικόνας ώστε να μπορεί να γίνει μια πρώτη σύγκριση των μεθόδων ως προς την αποτελεσματικότητά τους. Πιο συγκεκριμένα θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της μεθόδου *multiphase active contours* που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 2.2.3 και τα αποτελέσματα της νέας μεθόδου κατάτμησης εικόνων αρχαίων επιγραφών που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 3.

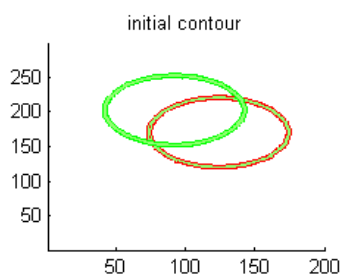
4.3 Εφαρμογή της μεθόδου *multiphase active contours* στην κατάτμηση εικόνων αρχαίων επιγραφών

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογής της μεθόδου *multiphase active contours*. Η μέθοδος αυτή παρουσιάστηκε αναλυτικά στο κεφάλαιο 2.2.3. Ο αλγόριθμος εφαρμόστηκε σε περιβάλλον αριθμητικής υπολογιστικής και προγραμματισμού MATLAB. Σκοπός της αναλυτικής παρουσίασης των αποτελεσμάτων της κατάτμησης είναι να γίνει κατανοητός ο τρόπος εφαρμογή του αλγορίθμου καθώς και ο τρόπος ρύθμισης των παραμέτρων για την αποτελεσματικότερη εξαγωγή του επιθυμητού αποτελέσματος. Οι παράμετροι οι οποίες διαδραματίζουν το σημαντικότερο ρόλο κατά την εφαρμογή της μεθόδου είναι, όπως και στον αλγόριθμο Chan-Vese (κεφάλαιο 4.3), οι εξής:

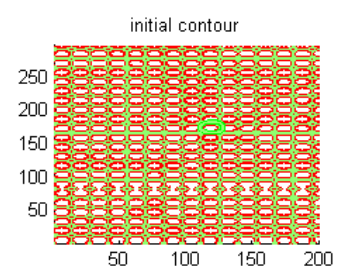
- Η πρώτη παράμετρος που ρυθμίζουμε είναι το είδος της αρχικής κλειστής καμπύλης η οποία παραμορφώνεται κατά τις επαναλήψεις του αλγορίθμου με σκοπό να σχηματίσει το περίγραμμα του αντικειμένου της εικόνας που θέλουμε να διαχωρίσουμε από το υπόβαθρο, δηλαδή του γράμματος. Όπως και παραπάνω (κεφάλαιο 4.3) εφαρμόσαμε δύο διαφορετικές προσεγγίσεις. Στη μία περίπτωση είχαμε δύο αρχικές καμπύλη των οποίων διαφοροποιούσαμε κάθε φορά το αρχικό μέγεθος (*small*, *medium* και *large*). Στη δεύτερη περίπτωση είχαμε δυο διαφορετικά αρχικά σύνολα κλειστών καμπυλών (*whole* και *whole and small*). Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται σχηματικά κάποια παραδείγματα κλειστών καμπυλών. [6]



Εικόνα 4.3.1
Καμπύλη «small»



Εικόνα 4.3.2
Καμπύλη «medium»



Εικόνα 4.3.3
Καμπύλη «whole and small»

- Η δεύτερη παράμετρος που ρυθμίζουμε είναι ο αριθμός των επαναλήψεων του αλγορίθμου. Σκοπός μας είναι να βρεθεί ο μικρότερος δυνατός αριθμός επαναλήψεων που να δίνει μια ικανοποιητική κατάτμηση της εικόνας, έτσι ώστε να είναι όσο το δυνατόν συντομότερη η εφαρμογή του αλγορίθμου.

4.3.1 Μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα

Παράδειγμα 1^ο

Στο πρώτο παράδειγμα περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία που εφαρμόστηκε πειραματικά καθώς και τα κριτήρια σύμφωνα με τα οποία πραγματοποιήθηκε η ρύθμιση των παραμέτρων με σκοπό την βέλτιστη δυνατή κατάτμηση της εικόνας, με σκοπό να γίνει κατανοητή η διαδικασία του αλγορίθμου και κατόπιν στα υπόλοιπα παραδείγματα θα παραθέσουμε για συντομία μόνο τα βέλτιστα αποτελέσματα.

Η πρώτη εικόνα προς κατάτμηση είναι η παρακάτω:



Εικόνα 4.3.4

Αρχικά δοκιμάζουμε την κατάτμηση της εικόνας έχοντας επιλέξει ως αρχική κλειστή καμπύλη την καμπύλη «small» και έχοντας ρυθμίσει τον αλγόριθμο ώστε να κάνει 600 επαναλήψεις. Ο αλγόριθμος τερματίζει χωρίς να ολοκληρώσει τη διαδικασία της κατάτμησης μετά από 48 επαναλήψεις. Η κατάτμηση της εικόνας με την καμπύλη «small» δεν μας δίνει κανένα αποτέλεσμα. Έτσι λοιπόν συνεχίζουμε τις δοκιμές επιλέγοντας αυτή τη φορά ως αρχική καμπύλη την καμπύλη «medium» και ξεκινώντας με 600 επαναλήψεις του αλγορίθμου. Το αποτέλεσμα της κατάτμησης παρουσιάζεται στην εικόνα 4.3.5. Όπως παρατηρούμε το αποτέλεσμα της κατάτμησης δεν είναι το καλύτερο δυνατό καθώς η καμπύλη δεν διαγράφει όλο το περίγραμμα του αντικειμένου, δηλαδή του γράμματος.



Εικόνα 4.3.5

Εφ'όσον το αποτέλεσμα δεν ικανοποιητικό αυξάνουμε τον αριθμό των επαναλήψεων στις 900 διατηρώντας την ίδια αρχική καμπύλη και παίρνουμε την κατάτμηση που παρουσιάζεται στην εικόνα 4.3.6. Το αποτέλεσμα δεν είναι ούτε αυτή τη φορά ικανοποιητικό και για αυτό το λόγο επιλέγουμε αυτή τη φορά την καμπύλη «large» και αυξάνουμε τον αριθμό των επαναλήψεων στις 1200 και παίρνουμε την κατάτμηση που παρουσιάζεται στην εικόνα 4.3.7. Η κατάτμηση αυτή φαίνεται αρκετά ικανοποιητική συγκρινόμενη με την αρχική εικόνα του γράμματος. Παρ'όλα αυτά κάνουμε μία ακόμη δοκιμή αυξάνοντας τις επαναλήψεις του αλγορίθμου στις 3000 για να ελέγξουμε αν υπάρχει επιπλέον βελτίωση στην κατάτμηση της εικόνας. Το αποτέλεσμα της τελευταίας δοκιμής παρουσιάζεται στην εικόνα 4.3.8.



Εικόνα 4.3.6



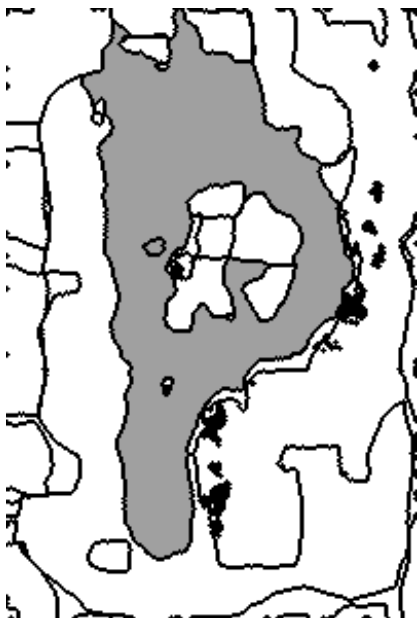
Εικόνα 4.3.7



Εικόνα 4.3.8

Όπως είναι φανερό η τελευταία κατάτμηση δεν παρουσιάζει αισθητή βελτίωση σε σχέση με το αποτέλεσμα που προέκυψε από τις 1200 επαναλήψεις του αλγορίθμου. Με βάση λοιπόν όλα τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρούμε ότι η πιο αποδοτική κατάτμηση της αρχικής εικόνας είναι αυτή που παρουσιάζεται στην εικόνα 4.3.7.

Στη συνέχεια δοκιμάζουμε την κατάτμηση της εικόνας 4.3.4 χρησιμοποιώντας τις αρχικές καμπύλες «whole» και «whole and small» και εκτελώντας 400 επαναλήψεις του αλγορίθμου και για τις δύο καμπύλες. Τα αποτελέσματα της κατάτμησης για την καμπύλη «whole» παρουσιάζεται στην εικόνα 4.3.9 και για την καμπύλη «whole and small» στην εικόνα 4.3.10. Με γκρι χρώμα παρουσιάζεται το γράμμα για να είναι πιο ευκρινές το αποτέλεσμα της κατάτμησης. Το γκρι χρώμα θα χρησιμοποιείται και παρακάτω για όποιο αποτέλεσμα κατάτμησης κρίνεται απαραίτητο.



Εικόνα 4.3.9



Εικόνα 4.3.10

Όπως είναι φανερό τα αποτελέσματα και για τις δύο καμπύλες είναι σχετικά ικανοποιητικά και επιτυγχάνονται σε μικρότερο χρόνο καθώς απαιτούνται λιγότερες επαναλήψεις. Παρ'όλα αυτά το αποτέλεσμα της κατάτμησης με την καμπύλη «large» είναι το βέλτιστο καθώς παρατηρείται λιγότερος θόρυβος στο υπόβαθρο και απαιτείται λιγότερη επεξεργασία της εικόνας για το τελικό αποτέλεσμα.

Μετά την ολοκλήρωση της κατάτμησης της εικόνας μέσω του αλγορίθμου ακολουθεί, όπως και προηγουμένως, η αφαίρεση του «θορύβου» γύρω από το γράμμα μας, με τη βοήθεια κάποιου

προγράμματος επεξεργασίας εικόνας. Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία έχουμε το τελικό αποτέλεσμα της κατάτμησης της εικόνας το οποίο παρουσιάζεται στην εικόνα 4.3.11.



Εικόνα 4.3.11

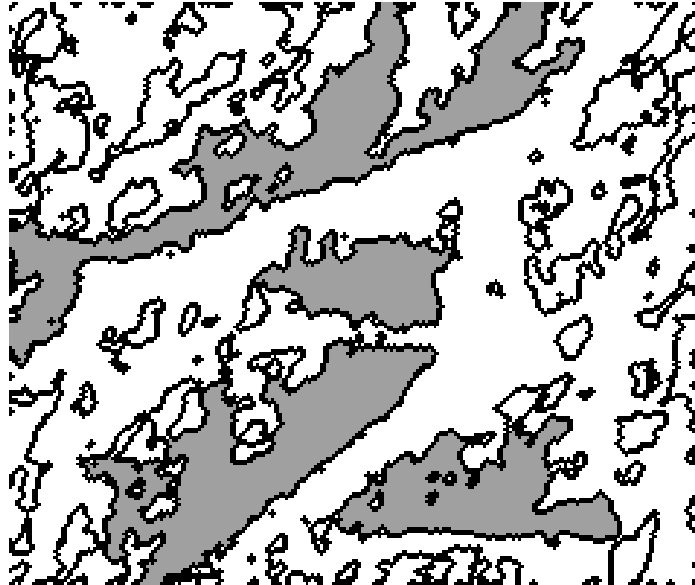
Παράδειγμα 2^ο

Υποθέτοντας λοιπόν ότι ακολουθήθηκε παρόμοια διαδικασία με το πρώτο παράδειγμα παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα για την παρακάτω εικόνα.



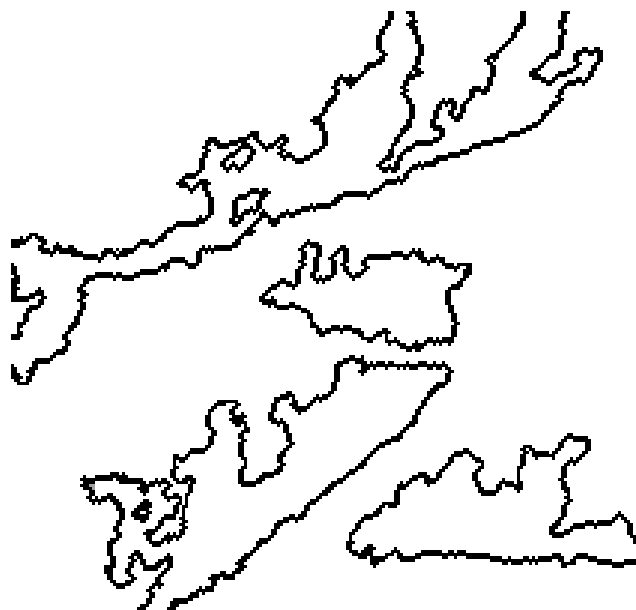
Εικόνα 4.3.12

Για την κατάτμηση της εικόνας μέσω του αλγορίθμου επιλέχθηκε η καμπύλη «whole and small» και πραγματοποιήθηκαν 400 επαναλήψεις. Η τελική κατάτμηση που προκύπτει παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 4.3.13

Αφού γίνει επεξεργασία του αποτελέσματος της κατάτμησης (Εικόνα 4.3.12) ώστε να εξαλειφθεί ο «θόρυβος» που υπάρχει στο υπόβαθρο του μαρμάρου, παίρνουμε την εξής εικόνα.



Εικόνα 4.3.14

Παράδειγμα 3^ο

Αφού ακολουθήθηκε και πάλι παρόμοια διαδικασία με αυτήν που περιγράψαμε στο πρώτο παράδειγμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της κατάτμησης για το παρακάτω γράμμα.



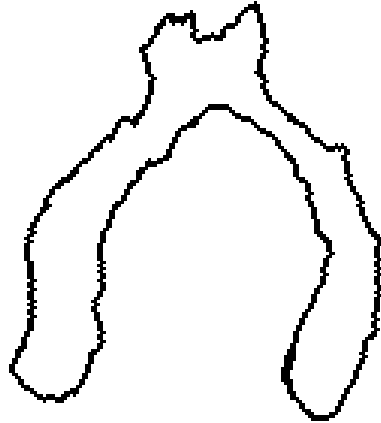
Εικόνα 4.3.15

Το τελικό αποτέλεσμα της κατάτμησης παρουσιάζεται παρακάτω (Εικόνα 4.3.16). Έχει γίνει επιλογή της καμπύλης «large» και εκτελέστηκαν 900 επαναλήψεις του αλγορίθμου.



Εικόνα 4.3.16

Μετά την επεξεργασία του αποτελέσματος της κατάτμησης (Εικόνα 4.3.16) με σκοπό την εξάλειψη του θορύβου που υπάρχει στο υπόβαθρο του μαρμάρου, παίρνουμε την παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 4.3.17

Παράδειγμα 4^ο

Αφού ακολουθήθηκε και πάλι η διαδικασία που περιγράφηκε στο πρώτο παράδειγμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της κατάτμησης για το παρακάτω γράμμα.



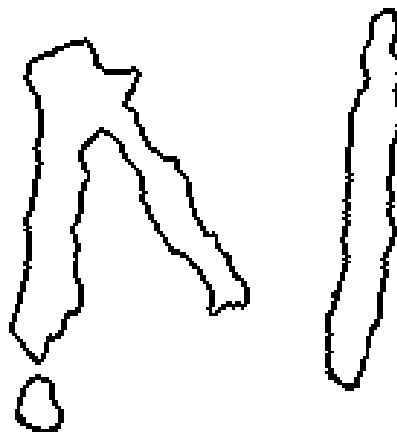
Εικόνα 4.3.18

Το τελικό αποτέλεσμα της κατάτμησης παρουσιάζεται παρακάτω (Εικόνα 4.3.19). Έχει γίνει επιλογή της καμπύλης «whole» και εκτελέστηκαν 800 επαναλήψεις του αλγορίθμου.



Εικόνα 4.3.19

Μετά την επεξεργασία του αποτελέσματος της κατάτμησης (Εικόνα 4.3.18) με σκοπό την εξάλειψη του θορύβου που υπάρχει στο υπόβαθρο του μαρμάρου, παίρνουμε την παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 4.3.20

Παράδειγμα 5^ο

Αφού ακολουθήθηκε και πάλι παρόμοια διαδικασία με αυτήν που περιγράψαμε στο πρώτο παράδειγμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της κατάτμησης για το παρακάτω γράμμα.



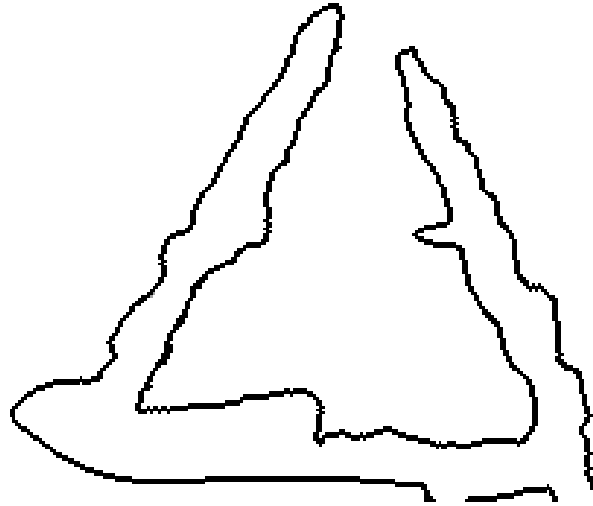
Εικόνα 4.3.21

Για την κατάτμηση της εικόνας μέσω του αλγορίθμου επιλέχθηκε η καμπύλη «whole and small» και πραγματοποιήθηκαν 200 επαναλήψεις. Η τελική κατάτμηση που προκύπτει παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 4.3.22

Αφού γίνει επεξεργασία του αποτελέσματος της κατάτμησης (Εικόνα 4.3.22) ώστε να εξαλειφθεί ο «θόρυβος» που υπάρχει στο υπόβαθρο του μαρμάρου, παίρνουμε την εξής εικόνα.



Εικόνα 4.3.23

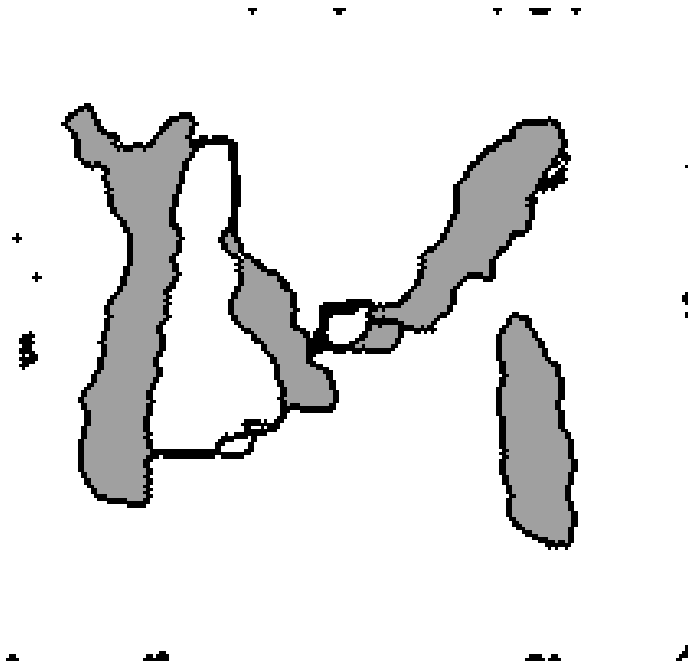
Παράδειγμα 6^ο

Υποθέτοντας και πάλι ότι ακολουθήθηκε παρόμοια διαδικασία με το πρώτο παράδειγμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το παρακάτω γράμμα.



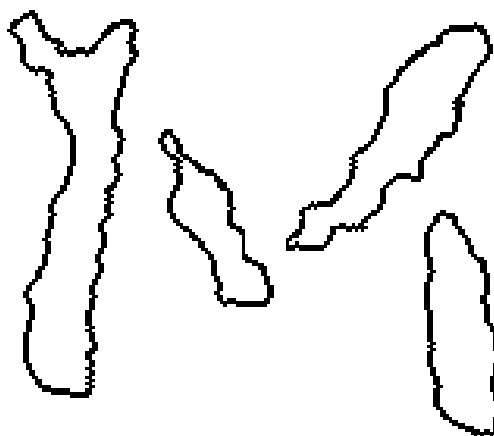
Εικόνα 4.3.24

Το τελικό αποτέλεσμα της κατάτμησης παρουσιάζεται παρακάτω (Εικόνα 4.3.25). Έχει γίνει επιλογή της καμπύλης «large» και εκτελέστηκαν 900 επαναλήψεις του αλγορίθμου.



Εικόνα 4.3.25

Κατόπιν ακολουθεί η επεξεργασία του αποτελέσματος της κατάτμησης (Εικόνα 4.3.18) ώστε να εξαλειφθεί ο «θόρυβος» που υπάρχει στο υπόβαθρο του μαρμάρου και παίρνουμε την παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 4.3.26

Παράδειγμα 7^ο

Αφού ακολουθήθηκε για ακόμη μία φορά η γνωστή διαδικασία προσδιορισμού των παραμέτρων παρουσιάζονται τα αποτελέσματα κατάτμησης που προέκυψαν για το παρακάτω γράμμα.



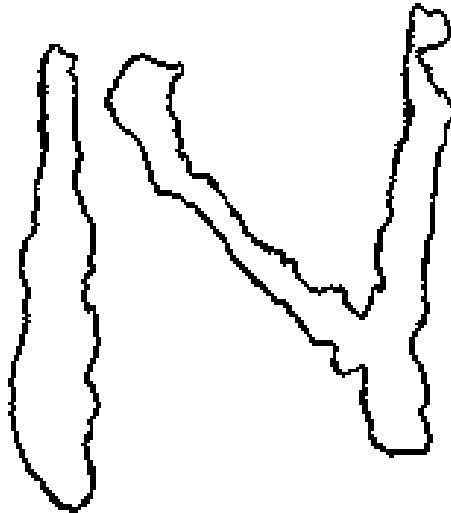
Εικόνα 4.3.27

Για την κατάτμηση της εικόνας μέσω του αλγορίθμου επιλέχθηκε η καμπύλη «whole» και πραγματοποιήθηκαν 400 επαναλήψεις. Η τελική κατάτμηση που προκύπτει παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 4.3.28

Μετά την επεξεργασία του αποτελέσματος της κατάτμησης (Εικόνα 4.3.28) με σκοπό την εξάλειψη του θορύβου που υπάρχει στο υπόβαθρο του μαρμάρου, παίρνουμε την παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 4.3.29

Παράδειγμα 8^ο

Αφού ακολουθήθηκε και πάλι παρόμοια διαδικασία με αυτήν που περιγράψαμε στο πρώτο παράδειγμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της κατάτμησης για το παρακάτω γράμμα.



Εικόνα 4.3.30

Το τελικό αποτέλεσμα της κατάτμησης παρουσιάζεται παρακάτω (Εικόνα 4.3.31). Έχει γίνει επιλογή της καμπύλης «large» και εκτελέστηκαν 900 επαναλήψεις του αλγορίθμου.



Εικόνα 4.3.31

Αφού γίνει επεξεργασία του αποτελέσματος της κατάτμησης (Εικόνα 4.3.31) ώστε να εξαλειφθεί ο «θόρυβος» που υπάρχει στο υπόβαθρο του μαρμάρου, παίρνουμε την εξής εικόνα.



Εικόνα 4.3.32

Παράδειγμα 9^ο

Αφού ακολουθήθηκε για ακόμη μία φορά η γνωστή διαδικασία προσδιορισμού των παραμέτρων παρουσιάζονται τα αποτελέσματα κατάτμησης που προέκυψαν για το παρακάτω γράμμα.



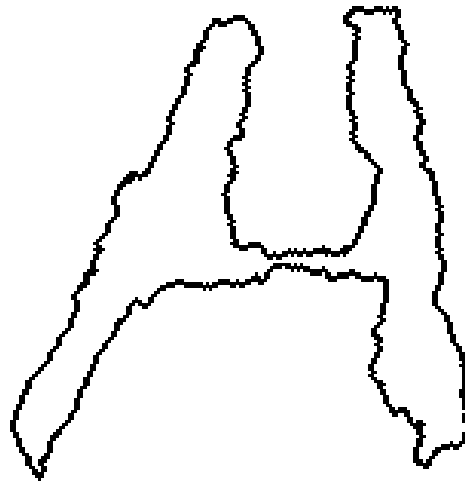
Εικόνα 4.3.33

Για την κατάτμηση της εικόνας μέσω του αλγορίθμου επιλέχθηκε η καμπύλη «small» και πραγματοποιήθηκαν 600 επαναλήψεις. Η τελική κατάτμηση που προκύπτει παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 4.3.34

Κατόπιν ακολουθεί η επεξεργασία του αποτελέσματος της κατάτμησης (Εικόνα 4.3.34) ώστε να εξαλειφθεί ο «θόρυβος» που υπάρχει στο υπόβαθρο του μαρμάρου και παίρνουμε την παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 4.3.35

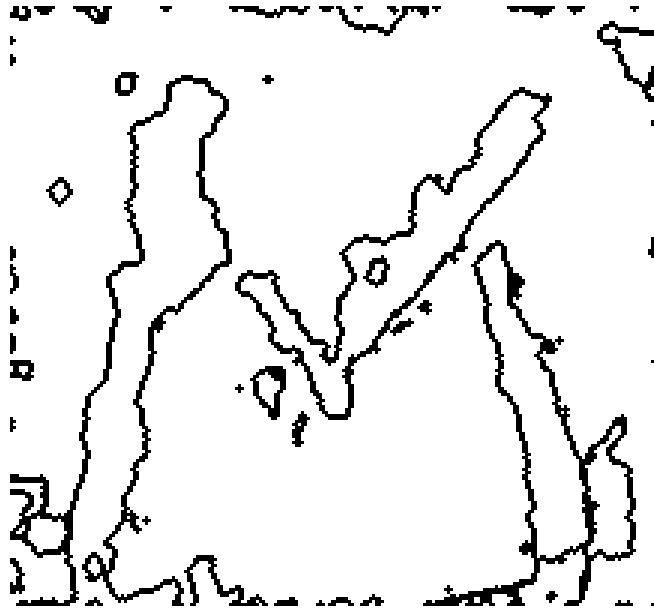
Παράδειγμα 10^ο

Υποθέτοντας ότι ακολουθήθηκε για μία ακόμη φορά η γνωστή διαδικασία προσδιορισμού των παραμέτρων που παρουσιάστηκε στο πρώτο παράδειγμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το παρακάτω γράμμα.



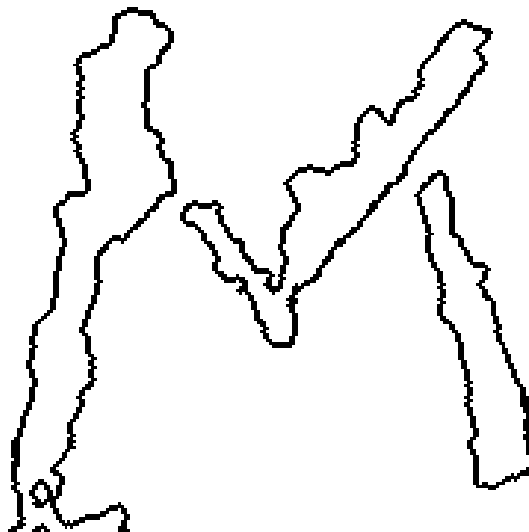
Εικόνα 4.3.36

Το τελικό αποτέλεσμα της κατάτμησης παρουσιάζεται παρακάτω (Εικόνα 4.3.37). Έχει γίνει επιλογή της καμπύλης «whole and small» και εκτελέστηκαν 800 επαναλήψεις του αλγορίθμου.



Εικόνα 4.3.37

Μετά την επεξεργασία του αποτελέσματος της κατάτμησης (Εικόνα 4.3.37) με σκοπό την εξάλειψη του θορύβου που υπάρχει στο υπόβαθρο του μαρμάρου, παίρνουμε την παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 4.3.38

4.4 Εφαρμογή της νέας μεθόδου στην κατάτμηση εικόνων αρχαίων επιγραφών

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται κάποια παραδείγματα εφαρμογών της μεθόδου που περιγράψαμε στο κεφάλαιο 3. Ο αλγόριθμος εφαρμόστηκε σε περιβάλλον αριθμητικής υπολογιστικής και προγραμματισμού MATLAB. Σκοπός είναι να γίνει κατανοητός ο τρόπος εφαρμογή του αλγορίθμου καθώς και ο τρόπος ρύθμισης των παραμέτρων για την αποτελεσματικότερη εξαγωγή του επιθυμητού αποτελέσματος, χρησιμοποιώντας όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις επιγραφών.

Σημαντικό ρόλο στην εφαρμογή της μεθόδου διαδραματίζει η ρύθμιση των παραμέτρων, οι σημαντικότερες εκ των οποίων είναι οι εξής:

- Η βασικότερη παράμετρος που ρυθμίζουμε είναι ο βαθμός πολυωνυμικής προσαρμογής, δηλαδή ο βαθμός του πολυωνύμου με το οποίο προσεγγίζουμε το ιστόγραμμα της εικόνας του γράμματος που έχει προκύψει, με στόχο τον όσο μικρότερο βαθμό πολυωνύμου αλλά ταυτόχρονα και την βέλτιστη κατάτμηση της εικόνας. Ως εκ τούτου, ζητούμενο είναι η ελάχιστη τάξη πολυωνυμικής προσαρμογής για την οποία έχουμε ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα κατάτμησης του εξεταζόμενου γράμματος.
- Μία ακόμη σημαντική παράμετρος είναι εκείνη μέσω της οποίας ορίζεται η περιοχή η οποία θέλουμε να διακρίνεται από την εικόνα μας, δηλαδή εν προκειμένω το χαραγμένο γράμμα. Η παράμετρος αυτή μπορεί να οριστεί είτε ακριβώς, είτε ως άνω ή κάτω φράγμα συνόλου περιοχών. Διαπιστώνουμε κατόπιν πειραματισμών ότι καθορίζεται κυρίως από το πόσο επιφανειακά χαραγμένο είναι το εξεταζόμενο γράμμα στην επιγραφή μας. Με άλλα λόγια, η παράμετρος αυτή ρυθμίζεται κατάλληλα ώστε να μας δίνει όσο πιο αποδοτικά και ξεκάθαρα γίνεται την περιοχή στην οποία ανήκει το χαραγμένο γράμμα.[4]

4.4.1 Μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα

Παράδειγμα 1^ο

Στο πρώτο παράδειγμα περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία που εφαρμόστηκε πειραματικά καθώς και τα κριτήρια σύμφωνα με τα οποία πραγματοποιήθηκε η ρύθμιση των παραμέτρων, ώστε να γίνει κατανοητή η διαδικασία του αλγόριθμου και κατόπιν στα υπόλοιπα παραδείγματα θα παραθέσουμε μόνο τα αποτελέσματα.

Η πρώτη εικόνα προς κατάτμηση είναι η παρακάτω:

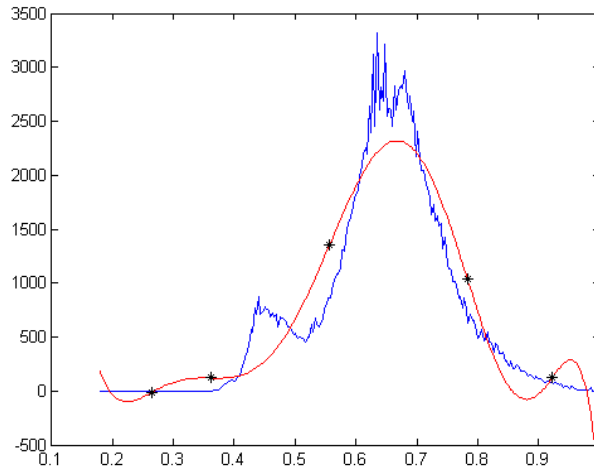


Εικόνα 4.4.1

Η παραπάνω εικόνα εισήχθη στον αλγόριθμο δοκιμάζοντας μία αρχική προσέγγιση αυτής με ένα πολυώνυμο 8^{ης} τάξης και επιλέγοντας ως επιθυμητή περιοχή την περιοχή «0», προκύπτει το αποτέλεσμα που φαίνεται στην επόμενη εικόνα (Εικόνα 4.4.2) με το αντίστοιχο ιστόγραμμα με την πολυωνυμική προσέγγιση (Εικόνα 4.4.3).



Εικόνα 4.4.2

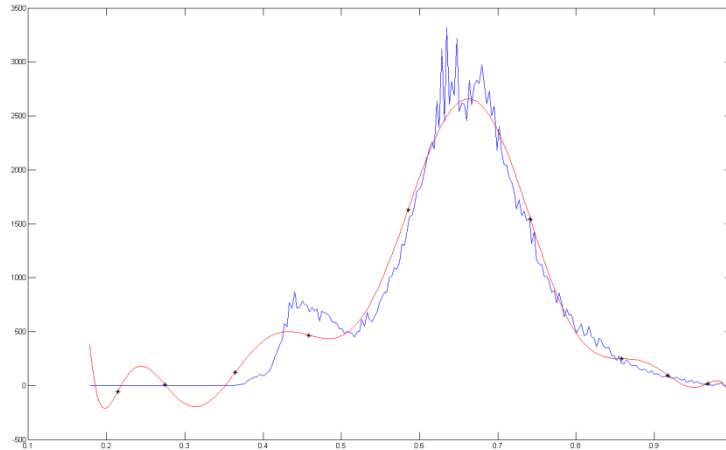


Εικόνα 4.4.3

Από τα παραπάνω αποτελέσματα γίνεται αντιληπτό ότι απαιτείται μεγαλύτερης τάξης πολυώνυμο αλλά και επιλογή άλλης περιοχής στην οποία ανήκει το χαραγμένο γράμμα. Αυξάνοντας το βαθμό του πολυωνύμου σταδιακά, και επιλέγοντας την περιοχή «1» ως επιθυμητή, καταλήγουμε τελικά σε μία πολύ καλή κατάτμηση με μία πολυωνυμική προσαρμογή 11^{ης} τάξης. Το αποτέλεσμα που προκύπτει φαίνεται στις παρακάτω εικόνες όπου απεικονίζεται το γράμμα μας όπως προκύπτει (Εικόνα 4.4.4) αλλά και το αντίστοιχο ιστόγραμμα με την πολυωνυμική προσέγγιση (Εικόνα 4.4.5).



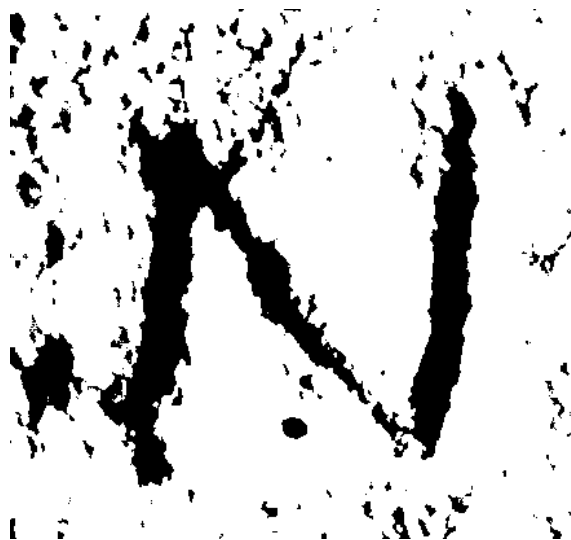
Εικόνα 4.4.4



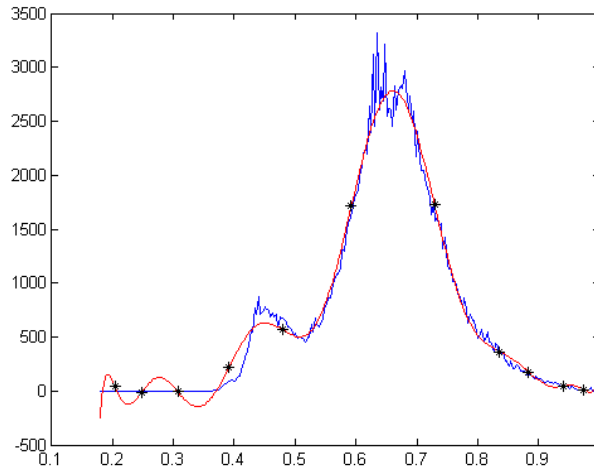
Εικόνα 4.4.5

Παρατηρείται ότι με τις νέες παραμέτρους έχουμε πολύ καλή κατάτμηση του γράμματός μας και διαχωρισμό από το υπόβαθρο και τις οποιεσδήποτε φθορές και «θόρυβο» που υπάρχει έξω από το χαραγμένο γράμμα.

Αυξάνοντας την τάξη της πολυωνμικής προσαρμογής και επιχειρώντας μία προσέγγιση με ένα πολυώνυμο 13^ο βαθμού και επιλέγοντας την περιοχή «2» ως επιθυμητή προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα.



Εικόνα 4.4.6



Εικόνα 4.4.7

Κατόπιν σύγκρισης με τα αποτελέσματα της πολωνυμικής προσαρμογής 11^{ου} βαθμού και επιλογής ομάδας pixel «1», διαπιστώνουμε ότι δεν υπάρχει μεγάλη βελτίωση. Μάλιστα στο αποτέλεσμα της κατάτμησης της εικόνας 4.4.6 μπορούμε να παρατηρήσουμε περισσότερο έντονο «θόρυβο» από φθορές στο μάρμαρο γύρω από την περιοχή του γράμματος, που φυσικά είναι ανεπιθύμητο. Αλλά και στην προσέγγιση του ιστογράμματος (Εικόνα 4.4.7), παρατηρούνται επίσης μικρές βελτιώσεις, αμελητέες για το τελικό αποτέλεσμα.

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω αποτελέσματα κρίνουμε επαρκή και από θέμα πολυπλοκότητας, η οποία θέλουμε να διατηρείται σε χαμηλά υπολογιστικά επίπεδα, αλλά και από θέμα αποδοτικότητας και αποτελεσματικότητας, ότι είναι επαρκής, και μάλιστα σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό, πολωνυμική προσαρμογή 11^{ου} βαθμού και επιλογή ομάδας pixel «1».

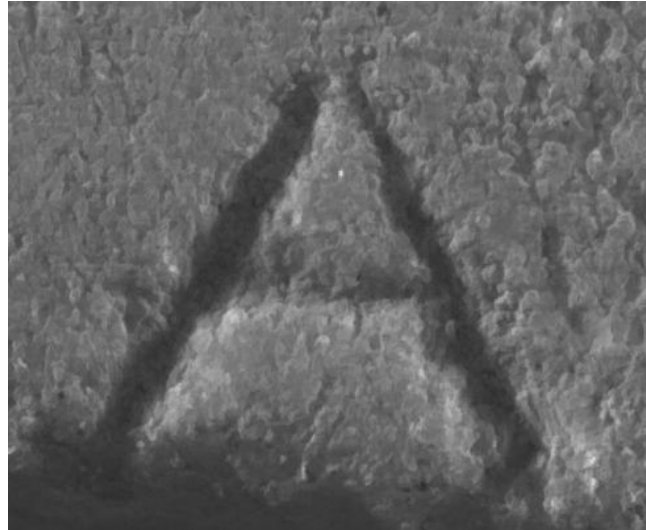
Μετά την ολοκλήρωση της κατάτμησης της εικόνας μέσω του αλγορίθμου ακολουθεί η αφαίρεση του «θορύβου» από τις φθορές του μαρμάρου γύρω από το γράμμα μας, με τη βοήθεια κάποιου προγράμματος επεξεργασίας εικόνας, όπως έγινε και κατά την εφαρμογή και των δύο προηγούμενων μεθόδων. Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία έχουμε το τελικό αποτέλεσμα της κατάτμησης της εικόνας το οποίο παρουσιάζεται δίπλα.



Εικόνα 4.4.8

Παράδειγμα 2^ο

Υποθέτοντας λοιπόν ότι ακολουθήθηκε παρόμοια διαδικασία με το πρώτο παράδειγμα παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα για την παρακάτω εικόνα.

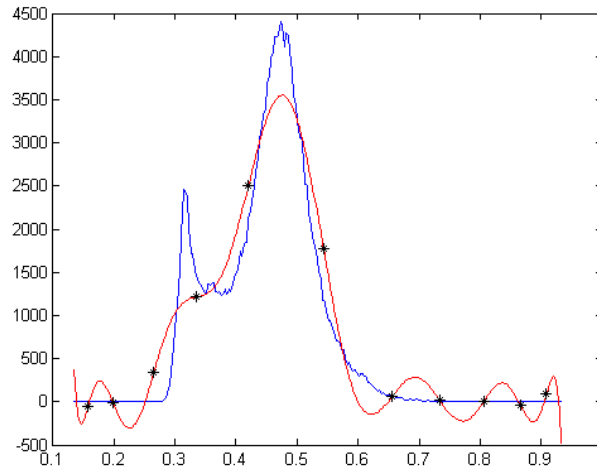


Εικόνα 4.4.9

Η τελική κατάτμηση που προκύπτει φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 4.4.10) με το αντίστοιχο ιστόγραμμα και την πολυωνυμική προσέγγιση (Εικόνα 4.4.11). Εφαρμόστηκε πολυωνυμική προσαρμογή 13^{ης} τάξης και επιλέχθηκε η περιοχή «1» ως επιθυμητή.



Εικόνα 4.4.10



Εικόνα 4.4.11

Το τελικό αποτέλεσμα είναι αυτό που προκύπτει αφού γίνει η επεξεργασία της εικόνας ώστε να εξαλειφθεί ο θόρυβος και παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 4.4.12

Παράδειγμα 3^ο

Υποθέτοντας και πάλι ότι ακολουθήθηκε παρόμοια διαδικασία με το πρώτο παράδειγμα παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα για το παρακάτω γράμμα.

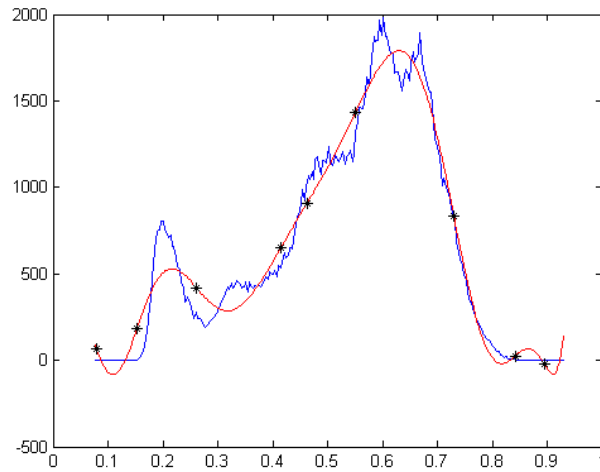


Εικόνα 4.4.13

Για την κατάτμηση της εικόνας μέσω του αλγορίθμου εφαρμόστηκε πολυωνυμική προσαρμογή 11^{ης} τάξης και έγινε επιλογή της περιοχής «0» ως επιθυμητής. Η τελική κατάτμηση που προκύπτει με το αντίστοιχο ιστόγραμμα και την πολυωνυμική προσέγγιση παρουσιάζονται παρακάτω.



Εικόνα 4.4.14



Εικόνα 4.4.15

Μετά την επεξεργασία του αποτελέσματος της κατάτμησης (Εικόνα 4.4.14) με σκοπό την εξάλειψη του θορύβου που υπάρχει στο υπόβαθρο του μαρμάρου, παίρνουμε την εξής εικόνα.



Εικόνα 4.4.16

Παράδειγμα 4^ο

Αφού ακολουθήθηκε και πάλι παρόμοια διαδικασία με αυτήν που περιγράψαμε στο πρώτο παράδειγμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της κατάτμησης για το παρακάτω γράμμα.

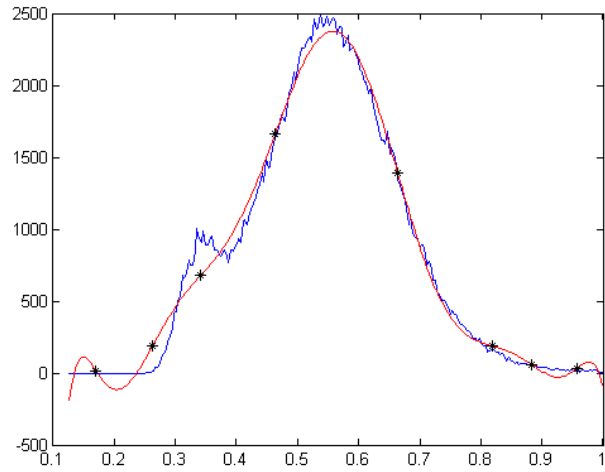


Εικόνα 4.4.17

Για την κατάτμηση της εικόνας μέσω του αλγορίθμου εφαρμόστηκε πολυωνυμική προσαρμογή 10^{15} τάξης και έγινε επιλογή της περιοχής «0» ως επιθυμητής. Η τελική κατάτμηση που προκύπτει με το αντίστοιχο ιστόγραμμα και την πολυωνυμική προσέγγιση παρουσιάζονται παρακάτω.



Εικόνα 4.4.18



Εικόνα 4.4.19

Το τελικό αποτέλεσμα που προκύπτει αφού γίνει η επεξεργασία της εικόνας 4.4.18 ώστε να εξαλειφθεί ο θόρυβος παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 4.4.20

Παράδειγμα 5^ο

Αφού ακολουθήθηκε για ακόμη μία φορά η γνωστή διαδικασία προσδιορισμού των παραμέτρων παρουσιάζονται τα αποτελέσματα κατάτμησης που προέκυψαν για το παρακάτω γράμμα.

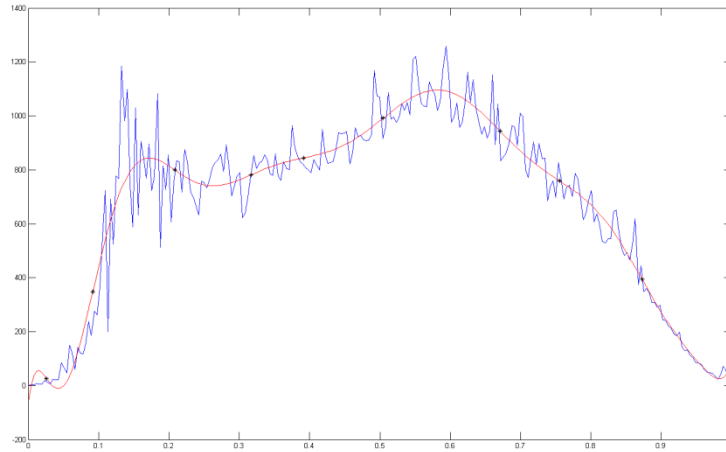


Εικόνα 4.4.21

Για την κατάτμηση της εικόνας μέσω του αλγορίθμου εφαρμόστηκε πολυωνυμική προσαρμογή 14^{ης} τάξης και έγινε επιλογή της περιοχής «2» ως επιθυμητής. Η τελική κατάτμηση που προκύπτει με το αντίστοιχο ιστόγραμμα και την πολυωνυμική προσέγγιση παρουσιάζονται παρακάτω.



Εικόνα 4.4.22



Εικόνα 4.4.23

Το τελικό αποτέλεσμα που προκύπτει αφού γίνει η επεξεργασία της εικόνας 4.4.22 ώστε να εξαλειφθεί ο θόρυβος παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 4.4.24

Παράδειγμα 6^ο

Υποθέτοντας και πάλι ότι ακολουθήθηκε παρόμοια διαδικασία με το πρώτο παράδειγμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το παρακάτω γράμμα.

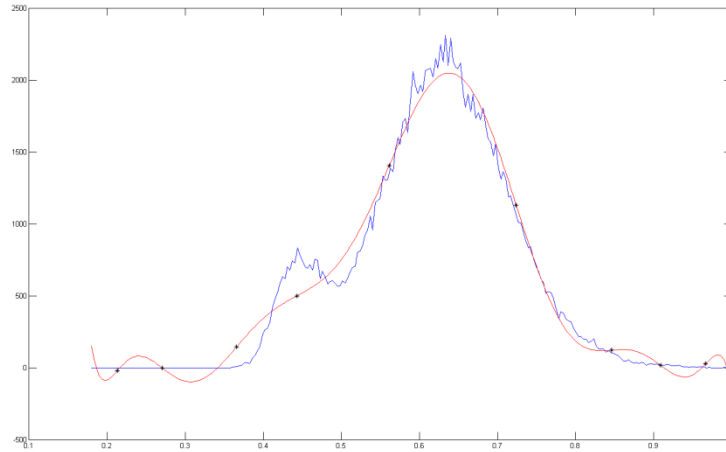


Εικόνα 4.4.25

Για την κατάτμηση της εικόνας μέσω του αλγορίθμου εφαρμόστηκε πολυωνυμική προσαρμογή 14^{ης} τάξης και έγινε επιλογή της περιοχής «2» ως επιθυμητής. Η τελική κατάτμηση που προκύπτει με το αντίστοιχο ιστόγραμμα και την πολυωνυμική προσέγγιση παρουσιάζονται παρακάτω.



Εικόνα 4.4.26



Εικόνα 4.4.27

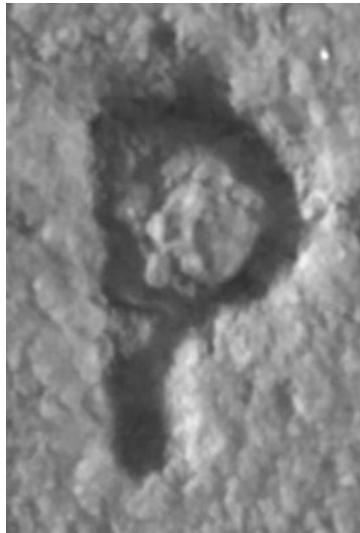
Μετά την επεξεργασία του αποτελέσματος της κατάτμησης (Εικόνα 4.4.26) με σκοπό την εξάλειψη του θορύβου που υπάρχει στο υπόβαθρο του μαρμάρου, παίρνουμε την εξής εικόνα.



Εικόνα 4.4.28

Παράδειγμα 7^ο

Αφού ακολουθήθηκε για ακόμη μία φορά η γνωστή διαδικασία προσδιορισμού των παραμέτρων παρουσιάζονται τα αποτελέσματα κατάτμησης που προέκυψαν για το παρακάτω γράμμα.

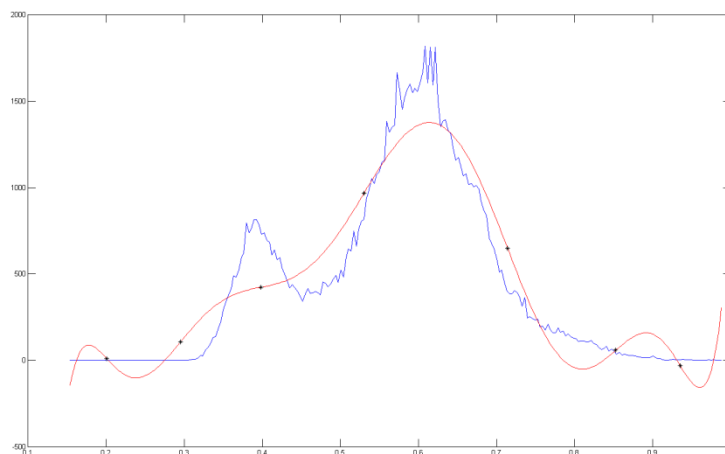


Εικόνα 4.4.29

Για την κατάτμηση της εικόνας μέσω του αλγορίθμου εφαρμόστηκε πολυωνυμική προσαρμογή 9^{ης} τάξης και έγινε επιλογή της περιοχής «0» ως επιθυμητής. Η τελική κατάτμηση που προκύπτει με το αντίστοιχο ιστόγραμμα και την πολυωνυμική προσέγγιση παρουσιάζονται παρακάτω.



Εικόνα 4.4.30



Εικόνα 4.4.31

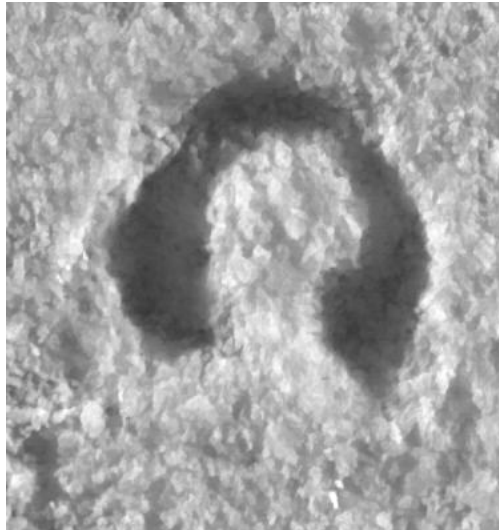
Το τελικό αποτέλεσμα που προκύπτει αφού γίνει η επεξεργασία της εικόνας 4.4.30 ώστε να εξαλειφθεί ο θόρυβος παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 4.4.32

Παράδειγμα 8^ο

Υποθέτοντας και πάλι ότι ακολουθήθηκε παρόμοια διαδικασία με το πρώτο παράδειγμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το παρακάτω γράμμα.

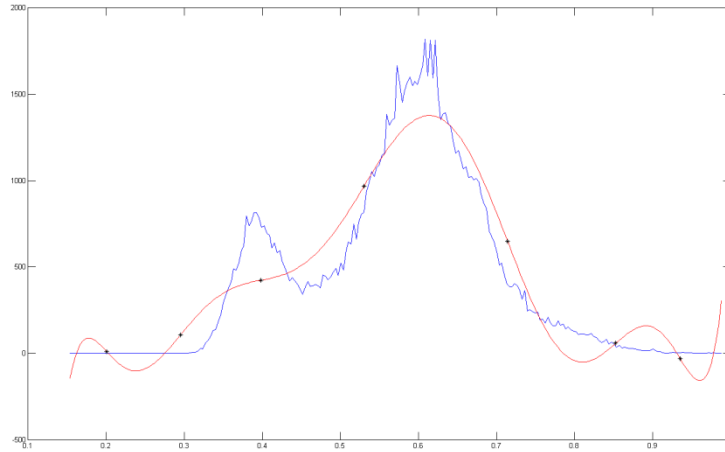


Εικόνα 4.4.33

Για την κατάτμηση της εικόνας μέσω του αλγορίθμου εφαρμόστηκε πολυωνυμική προσαρμογή 9^{ης} τάξης και έγινε επιλογή της περιοχής «0» ως επιθυμητής. Η τελική κατάτμηση που προκύπτει με το αντίστοιχο ιστόγραμμα και την πολυωνυμική προσέγγιση παρουσιάζονται παρακάτω.



Εικόνα 4.4.34



Εικόνα 4.4.35

Το τελικό αποτέλεσμα που προκύπτει αφού γίνει η επεξεργασία της εικόνας 4.4.34 ώστε να εξαλειφθεί ο θόρυβος παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 4.4.36

Παράδειγμα 9^ο

Αφού ακολουθήθηκε για ακόμη μία φορά η γνωστή διαδικασία προσδιορισμού των παραμέτρων παρουσιάζονται τα αποτελέσματα κατάτμησης που προέκυψαν για το παρακάτω γράμμα.

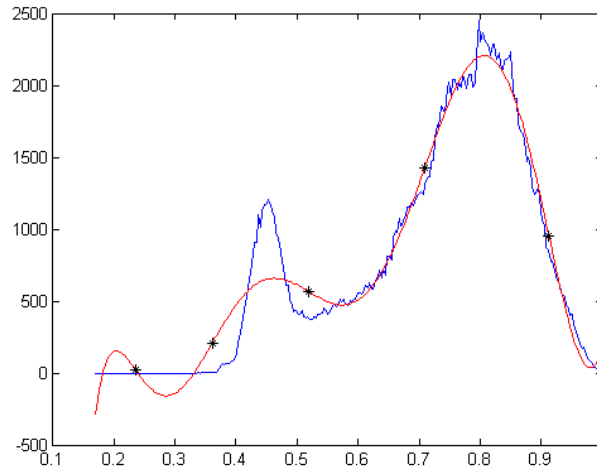


Εικόνα 4.4.37

Για την κατάτμηση της εικόνας μέσω του αλγορίθμου εφαρμόστηκε πολυωνυμική προσαρμογή 8^{ης} τάξης και έγινε επιλογή της περιοχής «0» ως επιθυμητής. Η τελική κατάτμηση που προκύπτει με το αντίστοιχο ιστόγραμμα και την πολυωνυμική προσέγγιση παρουσιάζονται παρακάτω.



Εικόνα 4.4.38



Εικόνα 4.4.39

Μετά την επεξεργασία του αποτελέσματος της κατάτμησης (Εικόνα 4.4.38) με σκοπό την εξάλειψη του θορύβου που υπάρχει στο υπόβαθρο του μαρμάρου, παίρνουμε την εξής εικόνα.



Εικόνα 4.4.40

Παράδειγμα 10^ο

Υποθέτοντας και πάλι ότι ακολουθήθηκε παρόμοια διαδικασία με το πρώτο παράδειγμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το παρακάτω γράμμα.

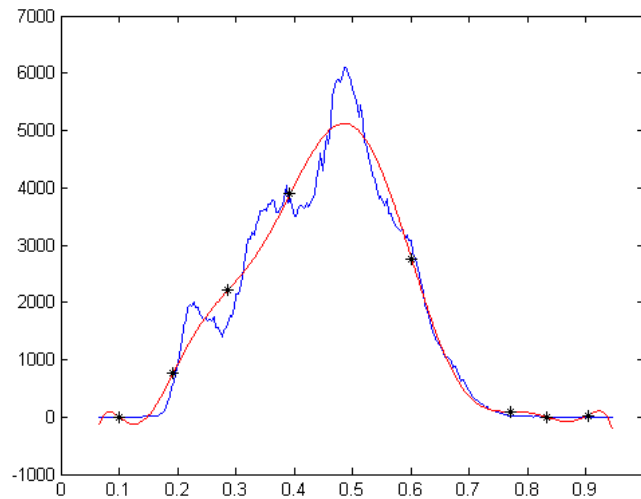


Εικόνα 4.4.41

Για την κατάτμηση της εικόνας μέσω του αλγορίθμου εφαρμόστηκε πολυωνυμική προσαρμογή 8^{ης} τάξης και έγινε επιλογή της περιοχής «0» ως επιθυμητής. Η τελική κατάτμηση που προκύπτει με το αντίστοιχο ιστόγραμμα και την πολυωνυμική προσέγγιση παρουσιάζονται παρακάτω.

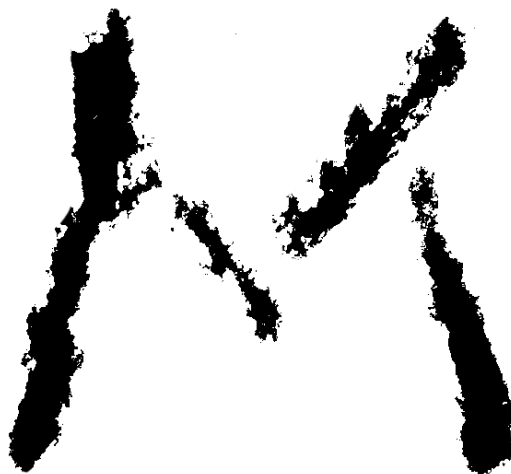


Εικόνα 4.4.42



Εικόνα 4.4.43

Μετά την επεξεργασία του αποτελέσματος της κατάτμησης (Εικόνα 4.4.42) με σκοπό την εξάλειψη του θορύβου που υπάρχει στο υπόβαθρο του μαρμάρου, παίρνουμε την εξής εικόνα.



Εικόνα 4.4.44

5.ΜΕΡΙΚΑ ΠΡΩΤΑ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ **ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει μια σύγκριση μεταξύ των μεθόδων κατάτμησης εικόνας, ώστε να ελεγχθεί ποια είναι η πιο αποτελεσματική στην κατάτμηση εικόνων. Τα αποτελέσματα των τριών μεθόδων θα συγκριθούν με το αποτέλεσμα της κατάτμησης «με το χέρι», τα οποία θα χρησιμοποιηθούν ως εικόνες αναφοράς. Η πιο αποτελεσματική μέθοδος αυτόματης κατάτμησης θεωρείται αυτή που είναι πλησιέστερη στην κατάτμηση που έγινε «με το χέρι». Η διαδικασία αυτή θα γίνει με τη βοήθεια ενός αλγορίθμου σύγκρισης μεταξύ των κατατετμημένων εικόνων. Η διαδικασία έχει ως εξής:

Αρχικά εισάγεται στον αλγόριθμο η εικόνα που προκύπτει από την κατάτμηση «με το χέρι» καθώς και το αποτέλεσμα που προέκυψε υπολογιστικά μέσω μιας μεθόδου αυτόματης κατάτμησης ώστε να γίνει η μεταξύ τους σύγκριση. Η εφαρμογή του αλγορίθμου σύγκρισης, προσφέρει μία εικόνα στην οποία παρουσιάζεται η επικάλυψη του αποτελέσματος που προέκυψε από τον αλγόριθμο κατάτμησης σε σχέση με τη δοσμένη εικόνα του κατετμημένου γράμματος που παρήχθη με το χέρι. Στις επόμενες εικόνες θα απεικονίζεται

- με μαύρο χρώμα η πλήρης επικάλυψη των δύο εικόνων
- με σκούρο γκρι, η περιοχή που προέκυψε υπολογιστικά μέσω μιας μεθόδου αυτόματης κατάτμησης και δεν υπάρχει στη δοσμένη εικόνα και
- με πιο ανοιχτό γκρι, η περιοχή όπου δεν υπάρχει επικάλυψη από την κατάτμηση που προέκυψε σε σχέση με το δοσμένο αποτέλεσμα.

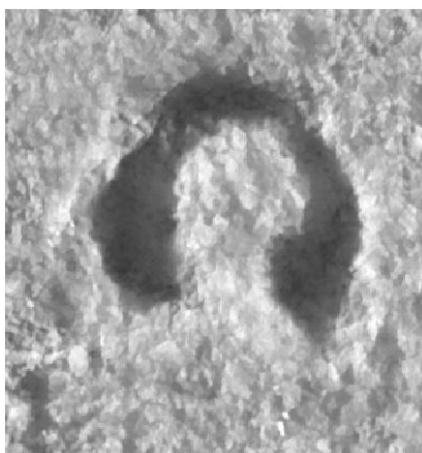
Τέλος, ως αποτέλεσμα του αλγορίθμου σύγκρισης λαμβάνουμε το ποσοστό επικάλυψης των δύο εικόνων, το οποίο θέλουμε να είναι όσο το δυνατόν πλησιέστερο στο 100%, ώστε ο αλγόριθμος κατάτμησης να θεωρείται επιτυχής.

Παρακάτω θα γίνει αναλυτικά η σύγκριση των αποτελεσμάτων κατάτμησης ώστε να γίνει μια πρώτη εκτίμηση για την αποτελεσματικότητα των μεθόδων που αναλύθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν παραπάνω.

5.1 Μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα

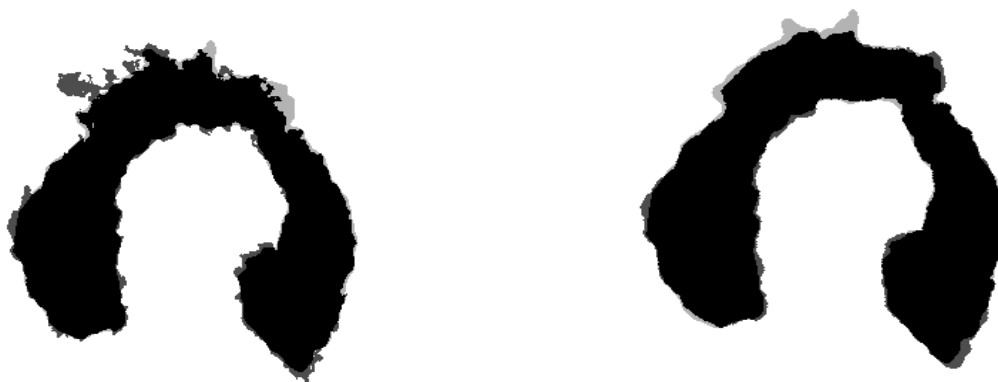
Παράδειγμα 1^ο

Θα γίνει αρχικά σύγκριση των αποτελεσμάτων κατάτμησης για το παρακάτω γράμμα:



Εικόνα 5.1

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα κατάτμησης συγκρινόμενα με την κατάτμηση «με το χέρι». Στην εικόνα 5.2 παρουσιάζεται η σύγκριση του αποτελέσματος που προέκυψε από την εφαρμογή της μεθόδου Chan-Vese η οποία παρουσίασε ποσοστό επικάλυψης 88,69%. Στην εικόνα 5.3 έχουμε το αποτέλεσμα για τη σύγκριση με την κατάτμηση που προέκυψε από την εφαρμογή της μεθόδου multiphase, η οποία παρουσιάζει ποσοστό επικάλυψης 91.54%. τέλος στην εικόνα 5.4 έχουμε το αποτέλεσμα της σύγκρισης με την κατάτμηση που προέκυψε από την νέα μέθοδο, η οποία παρουσιάζει ποσοστό επικάλυψης 89.86%.



Εικόνα 5.2

Εικόνα 5.3



Εικόνα 5.4

Παρατηρούμε ότι για τη συγκεκριμένη εικόνα γράμματος και οι τρεις μέθοδοι παρουσιάζουν πολύ καλές κατατμήσεις με τη μέθοδο multiphase να παρουσιάζει ένα ελαφρώς καλύτερο αποτέλεσμα.

Παράδειγμα 2^ο

Τώρα θα κάνουμε σύγκριση στα αποτελέσματα κατάτμησης του παρακάτω γράμματος:

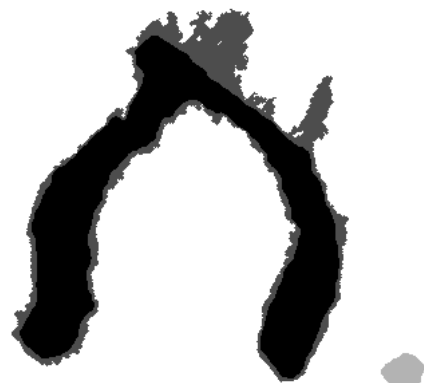


Εικόνα 5.5

Στις εικόνες 5.6, 5.7 και 5.8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σύγκρισης για τις μεθόδους Chan-Vese, multiphase και νέας μεθόδου αντιστοίχως. Τα αντίστοιχα ποσοστά επικάλυψης είναι 75,32%, 66.8% και 90,4%.



Εικόνα 5.6



Εικόνα 5.7



Εικόνα 5.8

Σε αυτό το παράδειγμα η νέα μέθοδος παράγει πολύ καλύτερα αποτελέσματα από τις άλλες δύο ως προς την κατάτμηση του γράμματος.

Παράδειγμα 3^ο

Σε αυτό το παράδειγμα θα γίνει σύγκριση στα αποτελέσματα κατάτμησης του παρακάτω γράμματος:



Εικόνα 5.9

Στις εικόνες 5.10, 5.11 και 5.12 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σύγκρισης για τις μεθόδους Chan-Vese, multiphase και νέας μεθόδου αντιστοίχως. Τα αντίστοιχα ποσοστά επικάλυψης είναι 69,96%, 54,1% και 78,78%.



Εικόνα 5.10



Εικόνα 5.11



Εικόνα 5.12

Σε αυτή την περίπτωση είναι εμφανές ότι η νέα μέθοδος παράγει πολύ καλύτερα αποτελέσματα από τις άλλες δύο ως προς την κατάτμηση του γράμματος.

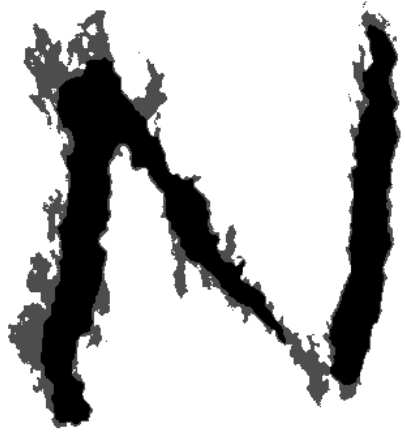
Παράδειγμα 4^ο

Σε αυτό το παράδειγμα θα γίνει σύγκριση στα αποτελέσματα κατάτμησης του παρακάτω γράμματος:



Εικόνα 5.13

Στις εικόνες 5.14, 5.15 και 5.16 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σύγκρισης για τις μεθόδους Chan-Vese, multiphase και νέας μεθόδου αντιστοίχως. Τα αντίστοιχα ποσοστά επικάλυψης είναι 66,11%, 65,76% και 94,99%.



Εικόνα 5.14



Εικόνα 5.15



Εικόνα 5.16

Παρατηρείται πως και σε αυτή την περίπτωση η νέα μέθοδος παράγει πολύ καλύτερα αποτελέσματα από τις άλλες δύο ως προς την κατάτμηση του γράμματος.

Παράδειγμα 5^ο

Σε αυτό το παράδειγμα θα γίνει σύγκριση στα αποτελέσματα κατάτμησης του παρακάτω γράμματος:

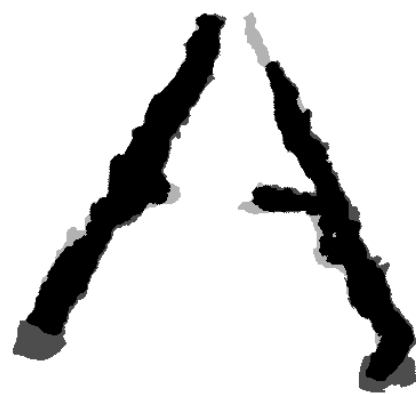


Εικόνα 5.17

Στις εικόνες 5.18, 5.19 και 5.20 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σύγκρισης για τις μεθόδους Chan-Vese, multiphase και νέας μεθόδου αντιστοίχως. Τα αντίστοιχα ποσοστά επικάλυψης είναι 75,71%, 78,01% και 89,56%.



Εικόνα 5.18



Εικόνα 5.19



Εικόνα 5.20

Και σε αυτό το παράδειγμα παρατηρούμε πως το αποτέλεσμα της κατάτμησης με την νέα μέθοδο είναι βελτιωμένο ως προς τα αποτελέσματα των άλλων δύο μεθόδων

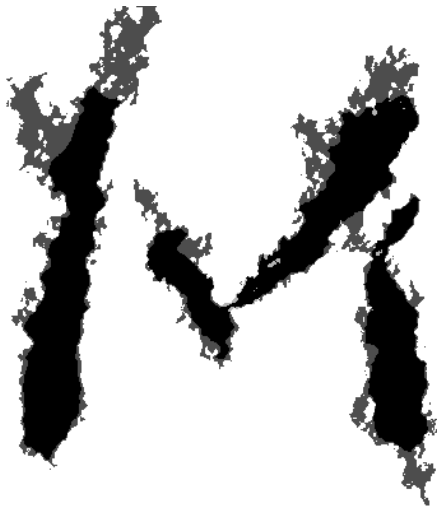
Παράδειγμα 6^ο

Σε αυτό το παράδειγμα θα γίνει σύγκριση στα αποτελέσματα κατάτμησης του παρακάτω γράμματος:



Εικόνα 5.21

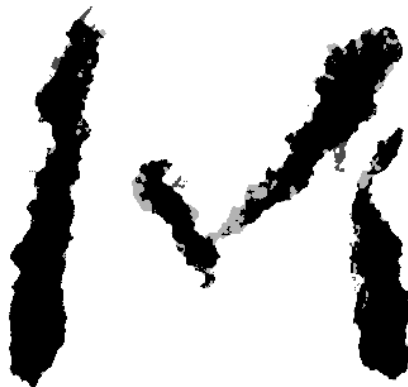
Στις εικόνες 5.22, 5.23 και 5.24 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σύγκρισης για τις μεθόδους Chan-Vese, multiphase και νέας μεθόδου αντιστοίχως. Τα αντίστοιχα ποσοστά επικάλυψης είναι 65,42%, 40.63% και 90.2%.



Εικόνα 5.22



Εικόνα 5.23



Εικόνα 5.24

Παρατηρείται πως και σε αυτό το παράδειγμα κατάτμησης η νέα μέθοδος παρουσιάζει πολύ καλύτερα αποτελέσματα από τις άλλες δύο μεθόδους. Συγκεκριμένα, η μέθοδος multiphase όπως παρατηρείται αποτυγχάνει να δώσει μία ικανοποιητική κατάτμηση της εικόνας του γράμματος.

Παράδειγμα 7^ο

Σε αυτό το παράδειγμα θα γίνει σύγκριση στα αποτελέσματα κατάτμησης του παρακάτω γράμματος:

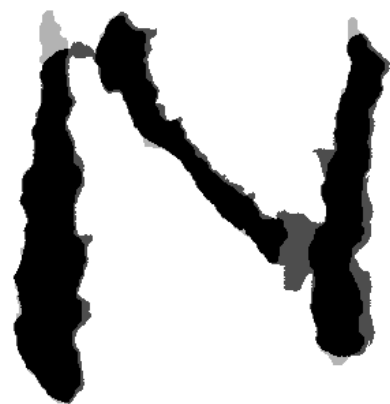


Εικόνα 5.25

Στις εικόνες 5.26, 5.27 και 5.28 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σύγκρισης για τις μεθόδους Chan-Vese, multiphase και νέας μεθόδου αντιστοίχως. Τα αντίστοιχα ποσοστά επικάλυψης είναι 86,3%, 79.32% και 94.11%.



Εικόνα 5.26



Εικόνα 5.27



Εικόνα 5.28

Η κατάτμηση αυτής της εικόνας, όπως παρατηρείται, είναι ικανοποιητική και με τις τρεις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν. Παρατηρείται όμως πως και σε αυτή την περίπτωση η νέα μέθοδος παρουσιάζει βελτιωμένο αποτέλεσμα σε σχέση με τις άλλες δύο μεθόδους.

Παράδειγμα 8^ο

Σε αυτό το παράδειγμα θα γίνει σύγκριση στα αποτελέσματα κατάτμησης του παρακάτω γράμματος:



Εικόνα 5.29

Στις εικόνες 5.30, 5.31 και 5.32 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σύγκρισης για τις μεθόδους Chan-Vese, multiphase και νέας μεθόδου αντιστοίχως. Τα αντίστοιχα ποσοστά επικάλυψης είναι 91.84%, 94,03% και 94.67%.



Εικόνα 5.30



Εικόνα 5.31



Εικόνα 5.32

Σε αυτή την περίπτωση τα αποτελέσματα της κατάτμησης που προέκυψαν από την εφαρμογή των τριών μεθόδων είναι εξίσου ικανοποιητικά.

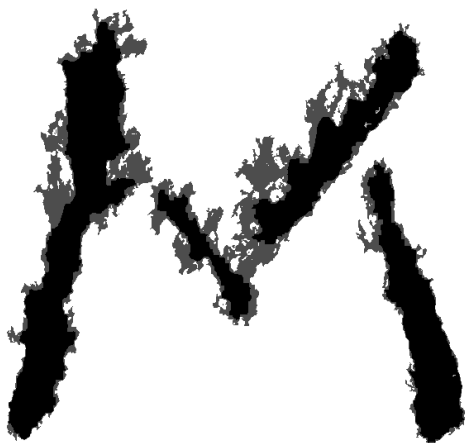
Παράδειγμα 9^ο

Σε αυτό το παράδειγμα θα γίνει σύγκριση στα αποτελέσματα κατάτμησης του παρακάτω γράμματος:

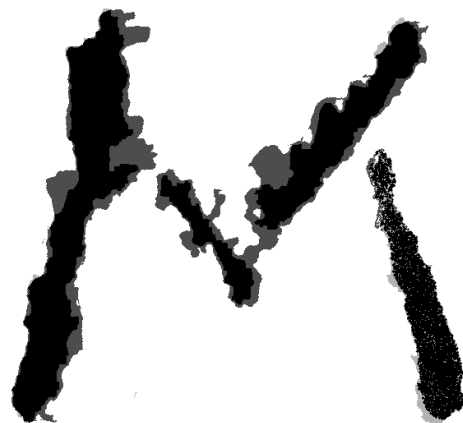


Εικόνα 5.33

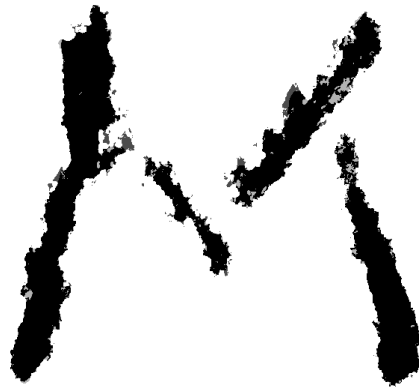
Στις εικόνες 5.34, 5.35 και 5.36 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σύγκρισης για τις μεθόδους Chan-Vese, multiphase και νέας μεθόδου αντίστοιχα. Τα αντίστοιχα ποσοστά επικάλυψης είναι 66.42%, 70.75% και 88.85%.



Εικόνα 5.34



Εικόνα 5.35



Εικόνα 5.36

Σε αυτό το τελευταίο παράδειγμα που παραθέσαμε παρατηρείται ότι η νέα μέθοδος κατάτμησης εικόνων αρχαίων επιγραφών παρουσιάζει καλύτερο αποτέλεσμα κατάτμησης σε σχέση με τις άλλες δύο μεθόδους που εφαρμόσαμε.

5.2 Συμπεράσματα

Στα περισσότερα παραδείγματα που δόθηκαν προηγουμένως, παρατηρείται ότι η νέα μέθοδος κατάτμησης εικόνων αρχαιολογικών ευρημάτων, η οποία παρουσιάστηκε αναλυτικά στο κεφάλαιο 3, εμφανίζει καλύτερα αποτελέσματα στην κατάτμηση εικόνων συγκρινόμενα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή των μεθόδων Chan-Vese και multiphase active contours. Τα ποσοστά επικάλυψης που παρουσιάζει η νέα μέθοδος κινούνται κατά μέσο όρο κοντά στο 90% σε αντίθεση με τα ποσοστά των άλλων μεθόδων που είναι κατά μέσο όρο κοντά στο 76% για την μέθοδο Chan-Vese και στο 71% για την μέθοδο multiphase active contours. Επιπλέον παρατηρούμε ότι η νέα μέθοδος παρουσιάζει πολύ βελτιωμένα αποτελέσματα όταν οι άλλες μέθοδοι αποτυγχάνουν να παρουσιάσουν ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Από την άλλη, στις περιπτώσεις που κάποια άλλη μέθοδος παρουσιάζει καλύτερη κατάτμηση της εικόνας παρατηρούμε ότι η νέα μέθοδος παράγει αποτελέσματα τα οποία δεν υστερούν σημαντικά σε σχέση με το βέλτιστο από τα αποτελέσματα που προκύπτουν. Ως εκ τούτου μπορούμε να συμπεράνουμε με βάση τα παραπάνω συγκριτικά αποτελέσματα ότι η νέα μέθοδος κατάτμησης

που παρουσιάστηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι πιο αποτελεσματική στο πεδίο της κατάτμησης εικόνων αρχαιολογικών ευρημάτων και κυρίως όσον αφορά στην κατάτμηση εικόνων γραμμάτων αρχαίων επιγραφών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] “Automatic Writer Identification of Ancient Greek Inscription”, Panagopoulos M., Papaodysseus C., Rousopoulos P., Dafi D., Tracy S., IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2009

[2] “Image and Pattern Analysis of 1850 B.C. Wall Paintings and Reconstruction”, Papaodysseus C., Exarhos M., Panagopoulos M., Rousopoulos P., Triantafillou C., Panagopoulos T., IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 2008

[3] “Ψηφιακή επεξεργασία, προτυποποίηση (modeling), και εικονική ανακατασκευή σημαντικών αρχαιολογικών ευρημάτων, Διδακτορική διατριβή, Ντάφη Δήμητρα, 2010

[4] “Algorithms for Clustering Data”, A.K. Jain and R. C. Dubes, Prentice Hall, 1988.

[5] “Geodesic Active Contours”, Casselles V., Kimml R., Sapiro G., International Journal of Computer Vision, 1997

[6] “Active Contours Without Edges”, Chan Tony, Vese Luminita, IEEE Transactions on Image Processing, 2001

[7] “Use of Watersheds in Contour Detection”, Beucher Serge, Lantuéjoul Christian, International Workshop on Image Processing, Real-time Edge and Motion Detection, 1979

[8] www.wikipedia.org

[9] “ Ανάπτυξη προηγμένων μεθόδων αναγνώρισης προτύπων και μαθηματική θεμελίωση για τον εντοπισμό του τρόπου δημιουργίας και της ταυτότητας του δημιουργού σημαντικών αρχαιολογικών ευρημάτων», Διδακτορική διατριβή, Ρουσόπουλος Παναγιώτης, 2010

[10] “Ταυτοποίηση χαρακτών αρχαίων επιγραφών και εντοπισμός τεχνοτροπίας αρχαιολογικών ευρημάτων με χρήση πρωτότυπων αλγορίθμων αναγνώρισης προτύπων και επεξεργασίας εικόνας”, Διδακτορική διατριβή, Παναγόπουλος Μιχάλης, 2008

