



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΝΕΑΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΕΙΚΟΝΩΝ
ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΥΡΥΜΑΤΩΝ**

Διπλωματική Εργασία

Νικόλαος Α. Γιαννακόπουλος

Επιβλέπων Καθηγητής: Κωνσταντίνος Ν. Παπαοδυσσεύς

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2012



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΝΕΑΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΕΙΚΟΝΩΝ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΥΡΥΜΑΤΩΝ

Διπλωματική Εργασία

Νικόλαος Α. Γιαννακόπουλος

Επιβλέπων Καθηγητής: Κωνσταντίνος Ν. Παπαοδυσσεύς

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την Σεπτεμβρίου 2012

.....
Κωνσταντίνος Ν. Παπαοδυσσεύς
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Γεώργιος Καμπουράκης
Επικουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ηλίας Κουκούτσης
Επικουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2012

ΝΙΚΟΛΑΟΣ Α. ΓΙΑΝΝΑΚΟΠΟΥΛΟΣ

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

Copyright © Νικόλαος Α. Γιαννακόπουλος 2012

Copyright © Κωνσταντίνος Παπαοδυσσεύς 2012

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 εκτύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό της 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.

Περίληψη

Η τεχνολογική εξέλιξη στον τομέα της πληροφορικής και των υπολογιστικών συστημάτων, μπορεί να αποτελέσει αρωγό στην προσπάθεια εκσυγχρονισμού των μεθόδων που μέχρι στιγμής χρησιμοποιούνται σε πολλούς τομείς της ανθρώπινης ζωής. Έναν από αυτούς τους τομείς αποτελεί και η αρχαιολογική έρευνα. Με άλλα λόγια, στο παρόν έργο πραγματευόμαστε την εφαρμογή και χρήση πρωτότυπων τεχνικών επεξεργασίας εικόνας και προηγμένων τεχνικών μαθηματικών για την αντιμετώπιση σημαντικών αρχαιολογικών προβλημάτων, αλλά και τη μελέτη σχετικών ευρημάτων.

Η κατάτμηση εικόνων είναι ένα από τα πιο σημαντικά και πιο δύσκολα προβλήματα στον τομέα της εφαρμογής υπολογιστικών συστημάτων σε εικόνες, και γενικότερα στον τομέα της όρασης υπολογιστών. Συνεπώς, στην παρούσα εργασία περιγράφονται διάφορες μέθοδοι κατάτμησης εικόνας, όπως έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία έτη, με την εξέλιξη της τεχνολογίας, καθώς και εναλλακτικές πρωτότυπες αυτοματοποιημένες μέθοδοι κατάτμησης, προσαρμοσμένες για εφαρμογές στην αρχαιολογία. Επίσης, μελετώνται οι παράμετροι που ρυθμίζονται αλλά και οι εξωγενείς παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν είτε θετικά είτε αρνητικά τις διαδικασίες που ακολουθούνται, και κατά συνέπεια τα τελικά επιθυμητά αποτελέσματα.

Με αυτόν τον τρόπο, διευκολύνεται η επίλυση δύσκολων προβλημάτων που μέχρι τώρα αποτελούνταν από διαδικασίες που εκτελούνταν με το χέρι και βάσει της εν γένει εμπειρίας των αρχαιολόγων, αλλά και προκύπτουν πιο αντικειμενικά και ακριβή αποτελέσματα. Εφαρμογές και επεκτάσεις αυτών των μεθόδων με τα υπολογιστικά πληροφοριακά συστήματα

έχουν ιδιαίτερη αξία, όχι μόνο για την αρχαιολογία καθ' εαυτή, αλλά και για την ιστορία, καθώς και για άλλες ανθρωπιστικές επιστήμες που έχουν πεδίο έρευνας στην αρχαία εποχή.

Abstract

Technological development in information and computing systems can help in the modernization of the methods currently used in many fields of human life. One of these fields is also the archaeological research which is defined as the science that deals with ancient inscriptions. In other words, the present work deals with the implementation and use of novel image processing techniques and advanced mathematics to address important archaeological problems, as well as the study of findings relating.

The image segmentation is one of the most important and most difficult problems of Image Analysis and Processing, and generally in the field of computer vision. Thus, the present dissertation describes various methods of image segmentation as developed in the last years where there is rapid technological evolution, and alternative automated segmentation methods, adapted for applications in archeology and especially in ancient inscriptions. Also, we study the parameters that are regulated and exogenous factors affecting the applied procedures either positively or negatively, and therefore the final desired results.

Thereby, it facilitates the solution of difficult problems so far consisted of procedures performed by hand and by the overall experience of archaeologists, but also generates more objective and accurate results. Application and extension of these methods inbeded in computer information systems are of particular value, not just for archeology itself, but also for the history, and other human sciences who have area of research in ancient times.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

- 1.1. Ο προϊστορικός οικισμός του Ακρωτηρίου Θήρας την Ύστερη Εποχή του Χαλκού.
..... σελ. 13
- 1.2. Ευρήματα του Ακρωτηρίου Θήρας σελ. 13
- 1.3. Στόχος της παρούσας διπλωματικής σελ. 22

Κεφάλαιο 2. Γενικά περί κατάτμησης εικόνας.

- 2.1. Μέθοδοι κατάτμησης εικόνας με βάση Διαχωριστικές Τεχνικές (Partitional Techniques)
..... σελ. 25
- 2.2. Ιεραρχικές Τεχνικές (Hierarchical Techniques) σελ. 25
- 2.3. Ειδικές ιεραρχικές μέθοδοισελ. 28
- 2.4. Οι δυσκολίες των ιεραρχικών μεθόδωνσελ. 29
- 2.5. Άλλες μέθοδοι κατάτμησης εικόνων. Οι τεχνικές Watershed και Active Contours
..... σελ. 31

Κεφάλαιο 3. Μια νέα μέθοδος αυτοματοποιημένης κατάτμησης εικόνων

- 3.1. Αρχικές διεργασίες σελ. 33
- 3.2. Λαμβάνοντας μια μη επικαλυπτόμενη κατάτμηση εικόνας
..... σελ. 37

3.3. Μείωση θορύβου λόγω φθοράς και βελτίωση περιγραμμάτων	σελ. 38
3.4. Χωρισμός της εικόνας σε χρωματικές ή θεματικές περιοχές	σελ. 40

Κεφάλαιο 4. Αυτόματη κατάτμηση εικόνων ανασκαφέντων αρχαίων αγγείων και τοιχογραφιών

4.1. Εφαρμογή μορφολογικών φίλτρων πάνω στην προς κατάτμηση εικόνα	σελ. 41
4.2. Ολίσθηση πλαισίου	σελ. 44
4.3. Δημιουργία ιστογράμματος	σελ. 45
4.4. Προσέγγιση του χρωματικού ιστογράμματος κάθε πλαισίου.....	σελ. 47
4.5. Εντοπισμός των σημείων καμπής των δυο κανονικών κατανομών	σελ. 48
4.6. Αρχική εκτίμηση των θεματικών περιοχών και των σημείων ακμής	σελ. 49
4.7. Ομογενοποίηση των θεματικών περιοχών	σελ. 51
4.8. Απόδοση των εικονοστοιχείων που απέμειναν	σελ. 54
4.9. Προσδιορισμός των θεματικών περιοχών του σώματος του αγγείου και του υπόβαθρου	σελ. 55
4.10. Πειραματικές προσεγγίσεις σε τοιχογραφίες	σελ. 60
4.11. Εξαγωγή περιγράμματος	σελ. 65

Συμπεράσματα

.....	σελ. 67
-------	---------

Βιβλιογραφία

.....	σελ. 68
-------	---------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ο προϊστορικός οικισμός του Ακρωτηρίου Θήρας την Ύστερη Εποχή του Χαλκού.

Η περιοχή του Ακρωτηρίου της Θήρας αποτέλεσε ένα από τα σημαντικότερα κέντρα του Αιγαίου στα προϊστορικά χρόνια. Από τα μέσα της 5^{ης} χιλιετίας π.Χ. είχε αναπτυχθεί ένας μεγάλης πολιτιστικής και πνευματικής σημασίας οικισμός ο οποίος θάφτηκε κάτω από ένα παχύ στρώμα τέφρας ,άνω των 15 μέτρων, εξαιτίας της τεράστιας ηφαιστειακής έκρηξης που έλαβε χώρα γύρω στα 1620 π.Χ. στη νήσο. Οι ανασκαφές στην περιοχή μας δίνουν τη δυνατότητα να σχηματίσουμε μια καλή εικόνα της κοινωνίας στο Αιγαίο κατά την περίοδο της Ύστερης Εποχής του Χαλκού. Τα ευρήματα έχουν προκαλέσει το διεθνές ενδιαφέρον πολλών επιστημονικών κλάδων. Τα πιο σημαντικά από αυτά είναι τα περίτεχνα πολυώροφα κτήρια με τον έξοχο τοιχογραφικό διάκοσμο, την πλούσια επίπλωση και οικοσκευή τα οποία μαρτυρούν τη μεγάλη ανάπτυξη του οικισμού.

1.2 Ευρήματα του Ακρωτηρίου Θήρας

Στοιχεία για την κατοίκηση του Ακρωτηρίου της Θήρας κατά την προϊστορική εποχή άρχισαν να έρχονται στο φως από το δεύτερο ήμισυ του 19ου αιώνα. Οι συστηματικές όμως ανασκαφές άρχισαν εκεί το 1967 από τον καθηγητή Σπυρίδωνα Μαρινάτο υπό την αιγίδα της εν Αθήναις Αρχαιολογικής Εταιρείας. Ο Σ. Μαρινάτος αποφάσισε να ανασκάψει στο Ακρωτήρι

ελπίζοντας ότι θα επαληθεύσει μια παλιά του θεωρία που είχε δημοσιεύσει από τη δεκαετία του 1930, ότι η έκρηξη του ηφαιστείου της Θήρας προκάλεσε την κατάρρευση του πολιτισμού της Μινωικής Κρήτης. Μετά το θάνατο του Σ. Μαρινάτου, στα 1974, η ανασκαφή συνεχίζεται υπό την διεύθυνση του καθηγητή Χρίστου Ντούμα.

Οι σχετικές ανασκαφές αποκάλυψαν κτίρια τα οποία είχαν δύο ή τρεις ορόφους και πολλά δωμάτια. Τα πλουσιότερα ήταν κατασκευασμένα από πελεκητές πέτρες, τα οποία, για αυτόν τον λόγο, οι αρχαιολόγοι τα ονομάζουν ξεστές. Τα τμήματα των τοιχογραφιών που πραγματεύεται η εργασία αυτή προέρχονται από τους επάνω ορόφους των κτηρίων του οικισμού. Μερικές φορές το εσωτερικό των δωματίων ήταν ολόκληρο καλυμμένο με τοιχογραφίες, τα θέματα των οποίων ήταν ενταγμένα σε ένα προκαθορισμένο εικονογραφικό μοτίβο. Οι λεγόμενες μικρογραφικές τοιχογραφίες ήταν μακριές παραστάσεις με μορφές μικρού μεγέθους, οι οποίες ήταν τοποθετημένες στο ύψος του ματιού.

Το μεγάλο πλήθος από τοιχογραφίες που βρέθηκε κατά την διάρκεια των ανασκαφών είναι πολύτιμη πηγή πληροφοριών για την καθημερινή ζωή στο Ακρωτήρι, την θρησκεία και την φύση του νησιού. Έχουν φιλοτεχνηθεί κατά βάση με την τεχνική της νωπογραφίας (buon fresco), δηλαδή η απόδοση του έργου γινόταν πάνω στο νωπό ακόμα ασβεστολιθικό κονίαμα. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τα χρώματά τους να παραμένουν ανεξίτηλα. Οι βαφές προέρχονταν από φυτικές και ορυκτές ύλες και τα χρώματά τους περιορίζονταν -όπως και στις μινωικές- στο λευκό, το μαύρο, το κόκκινο, το γαλάζιο και το κίτρινο. Έγιναν γύρω στα 1500 π.Χ. και φανερώνουν έντονη Μινωική επίδραση.

Σε αντίθεση με τις μινωικές τοιχογραφίες, οι περισσότερες από τις οποίες είναι γνωστές από αμφισβητούμενες αποκαταστάσεις, οι τοιχογραφίες της Θήρας βρίσκονται σε πολύ καλή κατάσταση διατήρησης. Έτσι, εκτός από τη μεγάλη καλλιτεχνική τους αξία προσφέρουν και

πολύτιμες πληροφορίες για την καθημερινή ζωή την Ύστερη Εποχή του Χαλκού. Η θεματογραφία περιλαμβάνει διαφορετικούς κύκλους: μεμονωμένες ανθρώπινες μορφές, νεκρές φύσεις, θαλασσινά τοπία και τοποθεσίες με πλούσια βλάστηση. Οι εικονιστικές παραστάσεις πλαισιώνονται από αφηρημένα διακοσμητικά θέματα.

Στα θέματα των παραστάσεων κυριαρχούν οι θρησκευτικές σκηνές. Από τις λατρευτικές στάσεις των ανθρώπινων μορφών και τη συνοδεία θρησκευτικών συμβόλων, συμπεραίνουμε ότι οι παραστάσεις των τοιχογραφιών απεικονίζουν συχνά μέλη του ιερατείου, θεότητες και πρόσωπα που συμμετείχαν σε ιερές τελετουργίες. Η συχνή επανάληψη των θρησκευτικών θεμάτων υποδεικνύει επίσης ότι πολλοί από τους χώρους του Ακρωτηρίου χρησιμοποιούνταν ως ιερά.

Ο οικισμός της Ύστερης Εποχής του Χαλκού του Ακρωτηρίου που έχει έρθει στο φως από την αρχαιολογική σκαπάνη έως σήμερα, περιλαμβάνει μεταξύ των άλλων και τα εξής κτίρια: την Οικία των Γυναικών, την Δυτική Οικία, το Συγκρότημα Δ, το Κτίριο Β, την Ξεστή 3 και την Ξεστή 4. Οι τοιχογραφίες που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία ανήκουν στην Ξεστή 3 και στην Οικία Γυναικών και είναι συγκεκριμένα οι «Κροκοσυλλέκτριες», το «Γυμνό Αγόρι», τα «Γυμνά Αγόρια», η «Αγριόπαπια» από την Ξεστή 3 και τα «Παγκράτια» από την Οικία Γυναικών. Ακολουθεί σύντομη παρουσίαση των τοιχογραφιών αυτών.

1) «Κροκοσυλλέκτριες».



Εικόνα 1.1α

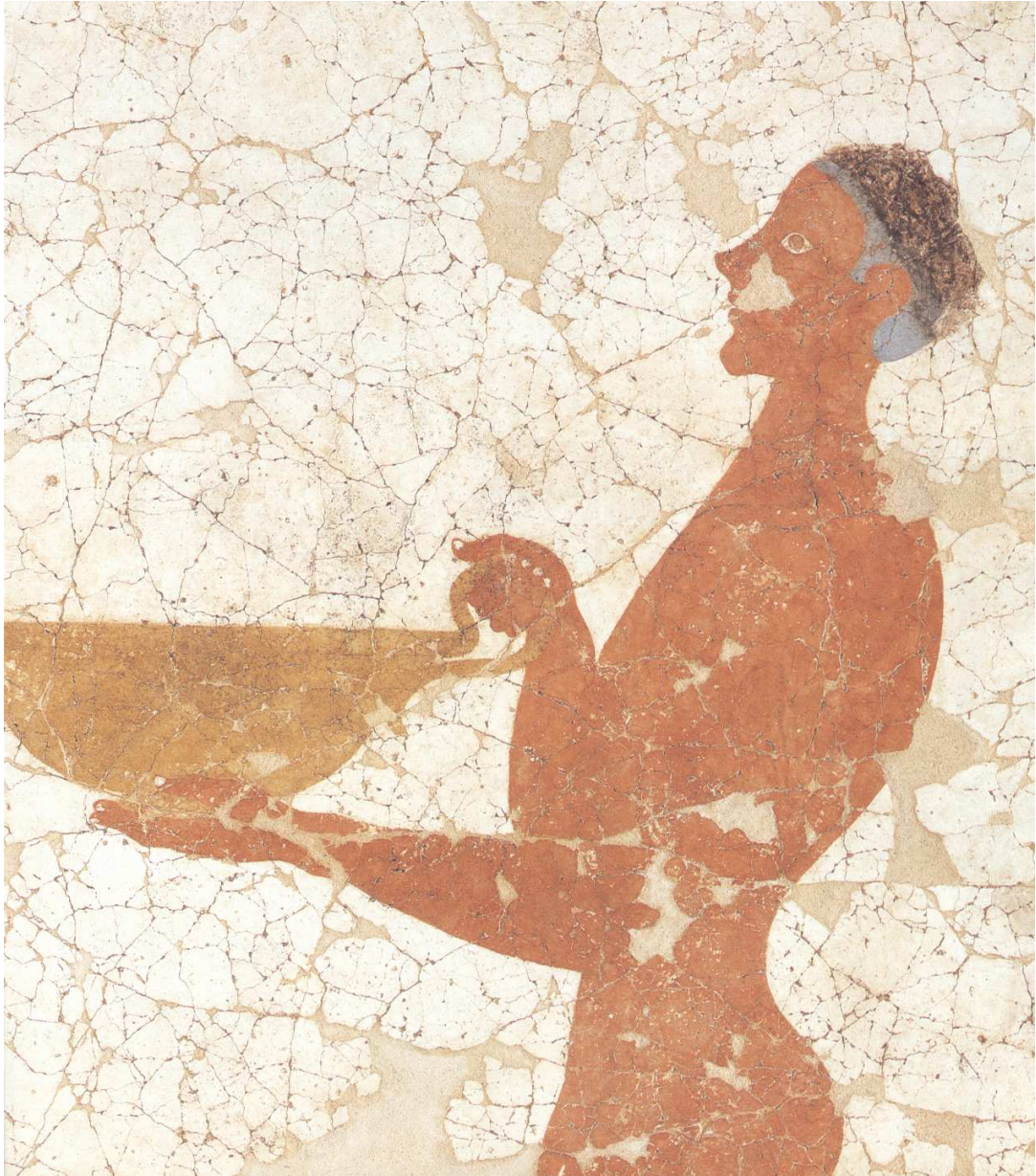
Η συγκεκριμένη τοιχογραφία βρισκόταν στον πρώτο όροφο της Ξεστής 3 στο δωμάτιο «3α». Είναι μια σύνθεση που καταλάμβανε τον ανατολικό τοίχο και παρουσιάζει δύο γυναικείες μορφές που ασχολούνται με τη συλλογή κρόκου, ενός πολύτιμου καρυκεύματος. Οι γυναίκες

Κροκοσυλλέκτριες σε όλη τη σύνθεση βαδίζουν, στρέφουν το κεφάλι τους κατά 180 μοίρες και γενικώς κινούνται με χάρη και ασφάλεια σύμφωνα με τη δράση, προκαλώντας τον θεατή να συμμετάσχει. Τα αραχνοϋφαντα υφάσματα που φορούν διαγράφουν τις λεπτομέρειες του σώματος και οι περίτεχνες κομμώσεις και τα κοσμήματά τους τις αναδεικνύουν. Είναι γεμάτες κίνηση και ζωή.



Εικόνα 1.1β

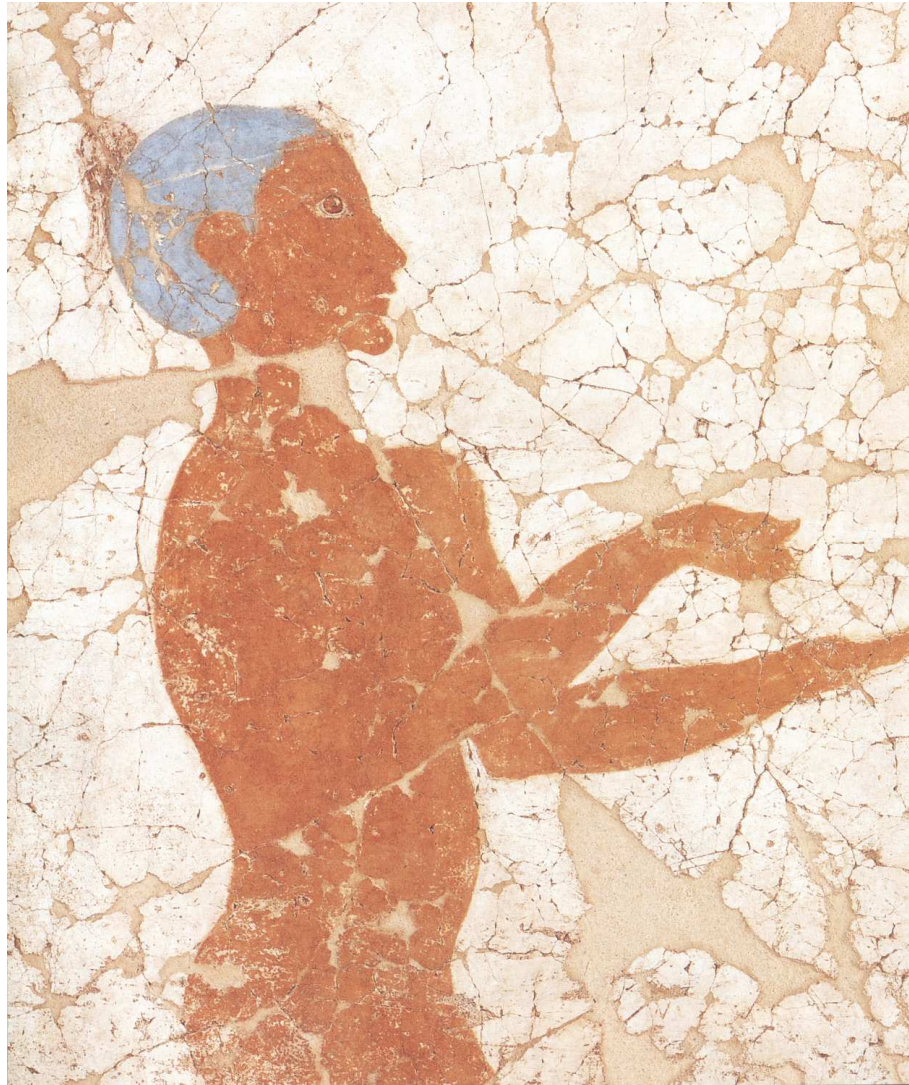
2) «Γυμνό Αγόρι»



Εικόνα 1.2

Τα "Γυμνά αγόρια" είναι τοιχογραφική σύνθεση, η οποία κοσμούσε τον δυτικό τοίχο, καθώς και τον μεσαίο και τον βόρειο διάδρομο του δωματίου 3B της Ξεστής 3 του προϊστορικού οικισμού του Ακρωτηρίου. Στο βόρειο διάδρομο, ένα γυμνό αγόρι, το οποίο φαίνεται να είναι μεγαλύτερο σε ηλικία από τα δύο του μεσαίου διαδρόμου, κατευθύνεται και αυτό προς την αντρική μορφή του δυτικού τοίχου, κρατώντας με τα δυο του χέρια ένα μεγάλο δοχείο (λεκάνη). Το πάνω μέρος του κεφαλιού του έχει κανονική τριχοφυΐα, ενώ το υπόλοιπο είναι ξυρισμένο και απεικονίζεται με μπλε χρώμα.

3) « Γυμνά Αγόρια»



Εικόνα 1.3

Στον τοίχο του μεσαίου διαδρόμου απεικονίζονται δύο γυμνά αγόρια. Έχουν και τα δύο ξυρισμένα κεφάλια, τα οποία απεικονίζονται με μπλε χρώμα. Έχουν μόνο δύο τούφες μαλλιών πάνω στο μέτωπο τους και στο πίσω μέρος του κεφαλιού. Το μεγαλύτερο από τα δύο αγόρια κρατάει με τα δύο του χέρια ένα ύφασμα και στρέφει το κεφάλι του προς τα πίσω. Το μικρότερο, που το ακολουθεί, κοιτάζει προς τα εμπρός και έχει στο εσωτερικό του αριστερού του χεριού ένα μικρό αγγείο - φιάλη, το οποίο σκεπάζει προστατευτικά ή τελετουργικά με το δεξί του χέρι.

4) «Αγριόπαπια»



Εικόνα 1.4

Στον πρώτο όροφο της Ξεστής 3 και στο δωμάτιο 3β βρισκόταν η τοιχογραφία αγριόπαπια. Εδώ το πουλί απεικονίζεται προφίλ, με τα φτερά του να κάμπτονται προς τα πάνω.

5) «Παγκράτια»



Εικόνα 1.5

Είναι μία ζωγραφική σύνθεση η οποία βρισκόταν στην Οικία Γυναικών και πιο συγκεκριμένα στο νότιο τοίχο του δυτικού τμήματος του συγκεκριμένου κτιρίου. Αναπαριστά, σε υπερφυσικό μέγεθος, το φυτό Παγκράτιο που είναι περισσότερο γνωστό με το όνομα «Κρινάκι της θάλασσας». Είναι φυτό που απαντάται ακόμα και σήμερα σε πολλές παραλίες της Θήρας, της Σύρου και άλλων νήσων των Κυκλάδων.

1.3 Στόχος της παρούσας διπλωματικής.

Ο στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι να εφαρμοστούν και να δοκιμαστούν πρωτότυποι αλγόριθμοι αυτόματης κατάτμησης εικόνων στις ψηφιακές φωτογραφίες των φημισμένων τοιχογραφιών που παρουσιάστηκαν νωρίτερα καθώς και σε ψηφιακές φωτογραφίες αγγείων της Ύστερης Εποχής του Χαλκού που έχουν ανασκαφεί στο Ακρωτήρι Θήρας.

Η εφαρμογή αυτή έχει πολλαπλή χρησιμότητα και σκοπό:

1. Θα αποτελέσει μια πρώτη βάση για τη συγκριτική μελέτη διαφόρων, ευρέως χρησιμοποιούμενων, αλγορίθμων κατάτμησης εικόνας. Ειδικότερα θα διαφανεί πως λειτουργούν οι διάφοροι αυτοί αλγόριθμοι σε φωτογραφίες αρχαίων αντικειμένων, η κατάτμηση των οποίων παρουσιάζει σημαντικά ιδιόμορφα προβλήματα.

2. Θα αποτελέσει κριτήριο επίδοσης των πρωτότυπων αλγορίθμων και αν εντοπιστούν κάποιες αδυναμίες, θα αποτελέσει βάση ώστε να αυτές να ξεπεραστούν στο μέλλον.

3. Τα αποτελέσματα της κατάτμησης της παρούσης εργασίας θα βοηθήσουν σημαντικά στην μελέτη που στοχεύει στον εντοπισμό της τεχνοτροπίας των σχετικών φημισμένων τοιχογραφιών.

4. Τα αποτελέσματα της κατάτμησης της παρούσης εργασίας θα βοηθήσουν σημαντικά στην μελέτη που στοχεύει στην ομαδοποίηση των αγγείων ανάλογα με την μορφή τους και τον τρόπο κατασκευής τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ

Η κατάτμηση εικόνας (image segmentation) αποτελεί μια από τις σημαντικότερες εφαρμογές στο χώρο της επεξεργασίας εικόνας. Ο κύριος στόχος της είναι ο διαχωρισμός της εικόνας σε τμήματα, τα οποία έχουν ισχυρό βαθμό συσχέτισης με αντικείμενα του πραγματικού κόσμου τα οποία περιέχονται στην εικόνα.

Η κατάτμηση εικόνας υπάγεται στην κατηγορία της συσταδοποίησης- ομαδοποίησης ενός συνόλου δεδομένων (data clustering) έτσι ώστε τα στοιχεία του συνόλου των δεδομένων που ανήκουν σε μια συστάδα να είναι περισσότερο όμοια μεταξύ τους από ότι είναι με τα στοιχεία άλλων συστάδων. 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.

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. Οι μέθοδοι αυτές μπορούν να χωριστούν σε δύο κυρίαρχες τεχνικές:

α). Τις Διαχωριστικές Τεχνικές ή Τεχνικές Διαμέρισης (Partitional Techniques).

β). Τις Ιεραρχικές Τεχνικές (Hierarchical Techniques).

2.1. Μέθοδοι κατάτμησης εικόνας με βάση Διαχωριστικές Τεχνικές (Partitional Techniques)

Στις τεχνικές αυτές ένα σημείο αποδίδεται σε μια υποπεριοχή, όταν ελαχιστοποιείται μια κατάλληλα επιλεγμένη απόστασή αυτού, π.χ. ευκλείδεια, τετραγωνική, χρωματική, συνδυασμός κλπ. Μία πολύ διαδεδομένη μέθοδος είναι η K-means, η οποία διαλέγει αρχικά τυχαία N περιοχές και στη συνέχεια αποδίδει σε κάθε μία από αυτές τα σημεία της αρχικής εικόνας με βάση την ελάχιστη απόσταση του χρωματικού περιεχομένου του εικονοστοιχείου από την περιοχή στο χώρο RGB. Εάν η εικόνα είναι διαβαθμίσεων του γκρι η απόσταση υπολογίζεται στον αντίστοιχο χώρο.

2.2. Ιεραρχικές Τεχνικές (Hierarchical Techniques)

Οι ιεραρχικές τεχνικές μπορούν συνοπτικά να αναλυθούν στα παρακάτω στάδια:

1. Ορισμός οντοτήτων που μπορεί να είναι και εικονοστοιχεία (pixels).
2. Αρχικοποίηση όλων των οντοτήτων στην εικόνα. Κατά προτίμηση, όλες οι αρχικές οντότητες επιλέγονται να είναι μονομελή σύνολα εικονοστοιχείων, ώστε να συμπεριληφθούν όλα τα εικονοστοιχεία της εικόνας.
3. Ορισμός κριτηρίων συγγένειας ή ομοιότητας, αλλά και διαφοροποιήσεις μεταξύ των οντοτήτων.
4. Εύρεση του βαθμού συγγένειας κάθε οντότητας με όλες τις άλλες. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείτε ένας πίνακας συγγενείας $\sigma_{(i,j)}$. Οι γραμμές και οι στήλες αυτού του πίνακα 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. Πάνω στη μήτρα συγγενείας ορίζετε ένα αποδεκτό κατώφλι συσχέτισης, όσον αφορά το στόχο (π.χ. εάν ο στόχος είναι η κατάτμηση μιας εικόνας σε θεματικές είτε χρωματικές περιοχές, τότε ο βαθμός ομοιότητας πρέπει να εκφράζει την απόσταση του θεματικού ή χρωματικού περιεχομένου των δύο συγκρινομένων περιοχών/οντοτήτων). Όσα στοιχεία της μήτρας έχουν τιμή μικρότερη από ένα κατάλληλα επιλεγμένο κατώφλι μηδενίζονται, θεωρούμε δηλαδή, ότι αυτά δε μπορούν να ανήκουν στην ίδια οντότητα π.χ. δηλαδή στην ίδια θεματική ή χρωματική περιοχή.

6. Όλες τις αρχικές οντότητες θεωρούνται ως κόμβοι ενός γράφου. Αν δύο κόμβοι έχουν τιμή στη μήτρα συγγενείας μεγαλύτερη του μηδενός τότε συνδέουμε τους δύο κόμβους με έναν κλάδο. Σταθμίζετε ο κλάδος, αποδίδοντας σε αυτόν ένα μέτρο του βαθμού συγγενείας των οντοτήτων που συνδέει, όπως υποδεικνύει το αντίστοιχο στοιχείο στη μήτρα συγγενείας.

Αναλυτικότερα, για την περίπτωση αυτόματης κατάτμησης εικόνας :

1. Ορίζετε ένα μέτρο ομοιότητας μεταξύ δύο οντοτήτων, π.χ μεταξύ δύο εικονοστοιχείων. Ένα τέτοιο μέτρο ομοιότητας είναι η χρωματική απόσταση μεταξύ αυτών των εικονοστοιχείων.

2. Συγκρότηση ενός πίνακα ομοιότητας, ρ_{xm} , όλων των οντοτήτων μεταξύ τους. Την πρώτη φορά που δημιουργείται αυτή η μήτρα, τα στοιχεία της είναι η χρωματική απόσταση όλων των εικονοστοιχείων ανά δύο. Αυτή η χρωματική απόσταση μπορεί να οριστεί, και 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 μία από τις παρακάτω σχέσεις :

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

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

$$d_M = x^T M_x x = \left[[(R)_i - R_j], (G_i - G_j), (B_i - B_j) \right]^T$$

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 με την εισαγωγή του μηδενός στα στοιχεία του πίνακα που αντιστοιχούν σε περιοχές που είναι πολύ ανόμοιες, δηλαδή έχουν απόσταση πάνω από ένα κατώφλι. Για το λόγο αυτό η διαδικασία αναπαρίσταται από αραιούς γράφους. Συγκεκριμένα:

1. Κόμβοι του γράφου είναι οι οντότητες (τα δεδομένα).
2. Σταθμισμένες ακμές του γράφου είναι ο εκάστοτε βαθμός ομοιότητας μεταξύ δύο κόμβων.

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 αλλά και των συγχωνευμένων ομάδων, σε κάθε επανάληψη.

2.3 Ειδικές ιεραρχικές μέθοδοι

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

- Ορίζεται σε κάθε cluster ένας αντιπρόσωπος (π.χ. κέντρο βάρους). Στην αρχή κάθε σημείο 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 clusters καθορίζεται από την ομοιότητα του πιο κοντινού ζεύγους στοιχείων που ανήκουν σε διαφορετικά clusters.

- CURE: Η μέθοδος αυτή είναι ουσιαστικά συνδυασμός των δύο προηγούμενων μεθόδων. Εδώ ορίζονται αντιπρόσωποι, αλλά περισσότεροι από έναν 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 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 ομαδοποιεί γύρω απ' το κέντρο βάρους, αντιμετωπίζει καταστάσεις διαφορετικών μεγεθών και σχημάτων

clusters 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 κανονικοποιώντας τις τιμές με μία $n \times m$ μήτρα, όπου n είναι ο αριθμός των δεδομένων στην μία περιοχή και m ο αντίστοιχος στην δεύτερη, για να αντιμετωπίσει το πρόβλημα που προκύπτει όταν τα clusters έχουν διαφορετικό μέγεθος.

- **ROCK**: Ο αλγόριθμος αυτός μοιάζει με αυτόν που ακολουθείται στην μέθοδο group-average, κανονικοποιεί όμως με βάση κατώφλι ορισμένο από τον χρήστη, αντί του πίνακα $n \times m$.

2.4. Δυσκολίες των ιεραρχικών μεθόδων

Αν και οι ιεραρχικές τεχνικές παρουσιάζουν, σε αρκετές περιπτώσεις, καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τις διαχωριστικές, εμφανίζουν και αυτές ορισμένα μειονεκτήματα κυρίως επειδή βασίζονται σε στατικά μοντέλα και δεν λαμβάνουν υπ' όψιν τις ιδιαιτερότητες κάθε cluster.

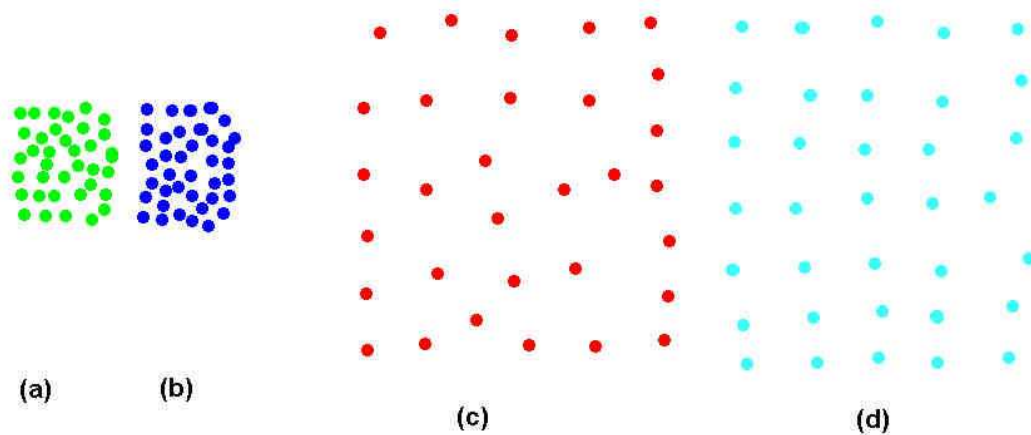
- Ειδικότερα, όταν χρησιμοποιούνται ως αντιπρόσωποι τα κέντρα βάρους των περιοχών, τότε παρουσιάζουν παρόμοιες αστοχίες με τις διαχωριστικές μεθόδους K-means και K-medoids σε καταστάσεις διαφορετικών σχημάτων ή μεγεθών.

- Η SINGLE LINK METHOD αντιμετωπίζει αποτελεσματικά την παραπάνω δυσκολία, αποτυγχάνει όμως όταν υπάρχει θόρυβος, αφού λαμβάνει υπόψιν της όλα τα ζεύγη δεδομένων.

▪ Ο CURE αντίστοιχα δεν δυσκολεύεται όταν καλείται να αποφασίσει για την συγχώνευση clusters ποικίλων μεγεθών και σχημάτων, λαμβάνει υπόψιν του όμως μόνο την ελάχιστη απόσταση μεταξύ των αντιπροσώπων και όχι τη συνολική διασύνδεση μεταξύ των δύο clusters. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε λανθασμένες συγχωνεύσεις σε ειδικές περιπτώσεις.

▪ Ο ROCK από την άλλη λαμβάνει υπόψιν του την συνολική διασύνδεση των clusters, αλλά αδιαφορεί για την τιμή των βαρών των ακμών δια μέσου των clusters, οπότε και αυτός ο αλγόριθμος συνήθως δίνει μη ικανοποιητικές συγχωνεύσεις σε συμπληρωματικές περιπτώσεις από αυτές που αστοχεί ο CURE.

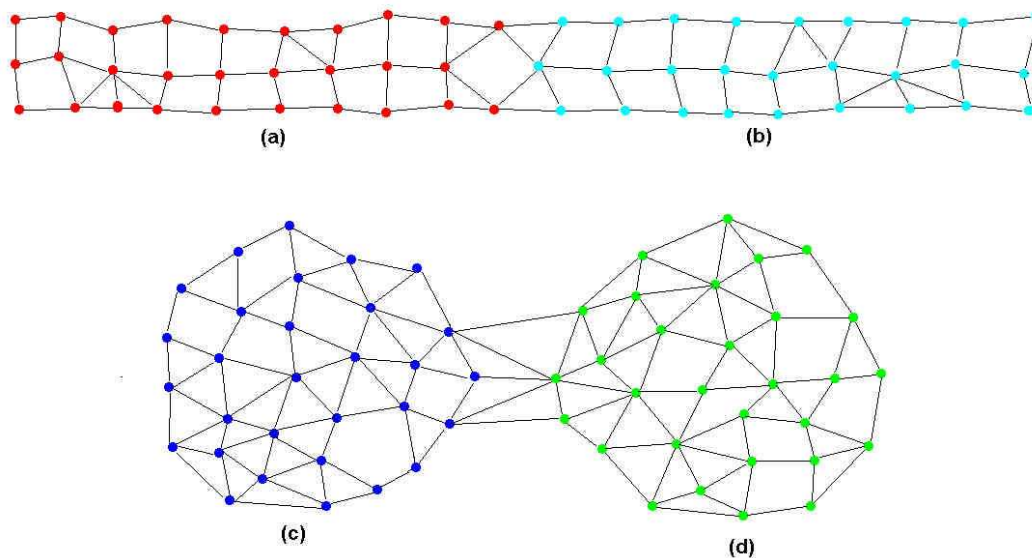
Τέτοιες ειδικές περιπτώσεις όπου οι αλγόριθμοι CURE και ROCK παρουσιάζουν πιθανές αστοχίες κατά την απόφαση για συγχώνευση δύο περιοχών φαίνονται στις Εικόνες 2.1 και 2.2.



Εικόνα 2.1

Cure και single line, θα συγχωνεύσουν τις περιοχές (a), (b) αντί των (c), (d), γιατί υπάρχουν μικρότερες αποστάσεις μεταξύ των αντιπροσώπων των περιοχών αυτών. Όμως οι

αποστάσεις των αντιπροσώπων των περιοχών (c), (d) είναι αντίστοιχης τάξης με τις αποστάσεις των σημείων εντός των περιοχών επομένως η συγχώνευση των συγκεκριμένων περιοχών είναι προτιμότερη.



Εικόνα 2.2

Ο ROCK θα ενώσει τα (c) και (d), καθώς λαμβάνει υπόψιν την διασύνδεση των περιοχών, αντί των (a) και (b) που έχουν μικρότερη απόσταση μεταξύ τους.

2.5. Άλλες μέθοδοι κατάτμησης εικόνας. Οι τεχνικές Watershed και Active Contours.

Αναφέρουμε πολύ συνοπτικά και δύο δημοφιλείς μεθόδους κατάτμησης εικόνας που έχουν αναπτυχθεί την τελευταία δεκαετία:

▪ WATERSHED: Πολύ αφαιρετικά, μπορεί κανείς να περιγράψει αυτή την τεχνική ως εξής:

A) ορίζει μία συνάρτηση πάνω στην εικόνα π.χ. το μέτρο της κλίσης.

B) Θεωρεί γύρω από κάθε τοπικό ελάχιστο αυτής της συνάρτησης το σύνολο των σημείων που σχηματίζουν μία λεκάνη απορροής.

Γ) Στο τοπικό ελάχιστο θεωρεί ότι μια πηγή ύδατος η οποία γεμίζει με νερό την αντίστοιχη λεκάνη απορροής.

Δ) Κάθε γεμάτη λεκάνη απορροής αντιστοιχεί στον ομοιογενή πυρήνα μιας περιοχής ενώ, τα σημεία συνάντησης των υδάτων δημιουργούν τις ακμές.

Για να αποφευχθεί υπερκατάτμηση (oversegmentation) από λεκάνες απορροής που οφείλονται σε θόρυβο, συνήθως πραγματοποιείται απόθορυβοποίηση-ομαδοποίηση της αρχικής εικόνας με χρήση μορφολογικών μετασχηματισμών.

▪ ACTIVE CONTOURS: Βασίζεται στην ελαχιστοποίηση μιας συνάρτησης κόστους ή ενέργειας η οποία υπέχει το ρόλο λαγκρανζιανής. Επομένως, διατυπώνονται οι αντίστοιχες εξισώσεις Euler και Lagrange και επιλύονται οι αντίστοιχες διακριτοποιημένες διαφορικές εξισώσεις. Κατ' αυτόν τον τρόπο εντοπίζονται οι ακμές των διαφόρων χρωματικών περιοχών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΙΑ ΝΕΑ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ

ΕΙΚΟΝΩΝ

Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκε μια πρωτότυπη μέθοδος κατάτμησης εικόνας η οποία έχει παρουσιασθεί στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής του Δρ. Μιχάλη Έξαρχου. Αυτή η μέθοδος κατάτμησης κυρίως στοχεύει στην εξαγωγή όσο το δυνατόν πιο ξεκάθαρων συνόρων μεταξύ περιοχών (περιγραμμάτων) όταν στη φωτογραφία υπάρχει ανομοιογενής εξασθένιση χρωμάτων, ασαφής υφή και στο ίδιο το αντικείμενο ρωγμές είτε φθορά είτε πρόσθετα εξωγενή υλικά.

3.1. Αρχικές διεργασίες

Χρησιμοποιήθηκε μια πρωτότυπη μέθοδος κατάτμησης, η οποία κυρίως στοχεύει στην εξαγωγή όσο το δυνατόν πιο ξεκάθαρων συνόρων μεταξύ περιοχών (περιγράμματα) όταν στη φωτογραφία υπάρχει ανομοιογενής εξασθένιση χρωμάτων, ασαφής υφή, ρωγμές καθώς και πρόσθετα εξωγενή υλικά σε κάθε αρχαιολογικό εύρημα κλπ.

Αρχικά ορίζουμε την έννοια του «θορύβου λόγω φθοράς» (decay noise), έννοια η οποία περιγράφει την τυχαία φθορά χρώματος και υφής που με τον καιρό δημιουργήθηκε σε κάθε μια εκ των ευρημάτων που μελετάμε. Μια απλή μέθοδος προκειμένου να υπολογισθεί αυτή η κατανομή θορύβου (decay noise) λόγω φθοράς, είναι η ακόλουθη: μετατρέπουμε την αρχική έγχρωμη εικόνα σε εικόνα ασπρόμαυρης κλίμακας. Ακολούθως υπολογίζουμε την ένταση της κλίσης (ανάδελτα)

$$G_f(i, j) = |\Delta_x| + |\Delta_y| = |I(i+1) - I(i)| + |I(j+1) - I(j)|$$

σε κάθε εικονοστοιχείο (i, j) της εικόνας.

Κατόπιν υπολογίζουμε την μέση τιμή E_G και την διασπορά R_G της κλίσης $G_f(i, j)$ και ελέγχουμε τον αριθμό των εικονοστοιχείων N_G που κείνται στο διάστημα $(E_G - R_G, E_G + R_G)$.

- Αν ο αριθμός N_G είναι μικρότερος από ένα σημαντικό ποσοστό P_G του συνολικού αριθμού των εικονοστοιχείων της εικόνας μας, N , τότε θεωρούμε ότι υπάρχει μια σημαντική παρουσία θορύβου λόγω φθοράς, οπότε πρέπει να εφαρμοσθεί μια ειδική διαδικασία προκειμένου να εξομαλυνθεί το χρώμα στην εκάστοτε φωτογραφία που επεξεργαζόμαστε. Η διαδικασία αυτή έχει ως εξής.

1. Μεταθέτουμε μια μάσκα σε όλη την έγχρωμη τοιχογραφία μας, έτσι ώστε κάθε φορά ένα εικονοστοιχείο της τοιχογραφίας μας να είναι το κέντρο αυτής της μάσκας.
2. Εν συνεχεία αποδίδουμε την μέση τιμή του κόκκινου, του πράσινου και του μπλε χρώματος όλων των εικονοστοιχείων της μάσκας μας στο κεντρικό εικονοστοιχείο. Κατ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνουμε την χρωματική εξομάλυνση μιας εικόνας.

- Εάν ο N_G είναι μεγαλύτερος ή ίσος του $P_G * N$ τότε αγνοούμε την προαναφερθείσα διαδικασία εξομάλυνσης.

Εν συνεχεία, ορίζουμε ένα κατάλληλο πολυδιάστατο έγχρωμο ιστόγραμμα και εξάγουμε το μέγιστο αυτού σύμφωνα με την παρακάτω διαδικασία:

Υπολογίζουμε την ελάχιστη και μέγιστη τιμή κάθε χρωματικής συνιστώσας R, G, B για όλα τα εικονοστοιχεία της εικόνας μας, έστω σαν, $R_m, R_M, G_m, G_M, B_m, B_M$ και διαιρούμε καθένα από τα διαστήματα $[R_m, R_M], [G_m, G_M], [B_m, B_M]$ σε p υποδιαστήματα $S_X^i, i = 1, 2, \dots, p, X = R, G, B$ μήκους $l_X = (X_M - X_m)/p$. Θεωρούμε το καρτεσιανό γινόμενο όλων αυτών των μονοδιάστατων διαστημάτων και κατ' αυτόν τον τρόπο λαμβάνουμε μια τρισδιάστατη διαμέριση του παραλληλεπιπέδου $[R_m, R_M] \times [G_m, G_M] \times [B_m, B_M]$. Εν συνεχεία, ταξινομούμε όλα τα εικονοστοιχεία της εικόνας μας μέσα σ' αυτά τα τρισδιάστατα διαστήματα με έναν ευθύγραμμο τρόπο: έστω ένα εικονοστοιχείο χρώματος R, G, B , τότε το εικονοστοιχείο αυτό ταξινομείται στο τρισδιάστατο διάστημα $I_{i,j,k}$ αν και μόνον αν $R \in S_R^i$ και $G \in S_G^j$ και $B \in S_B^k$.

Ακολούθως, μετράμε τον αριθμό των εικονοστοιχείων $M_{i,j,k}$ που ανήκουν σε κάθε κυψέλη $I_{i,j,k}$ και εντοπίζουμε το τοπικό μέγιστο του $M_{i,j,k}$, $i, j, k = 1, 2, \dots, p$ που αντιστοιχεί, όμως, σ' ένα αριθμό εικονοστοιχείων μεγαλύτερο από ένα συγκεκριμένο κατώφλι TH_M . Για κάθε τέτοιο τοπικό μέγιστο, έστω το (a, b, c) θεωρούμε την «επεκτεταμένη» κυψέλη

$$E_{C(i,j,k)} = \bigcup_{i=a-1}^{a+1} \bigcup_{j=b-1}^{b+1} \bigcup_{k=c-1}^{c+1} I_{i,j,k}$$

Θεωρούμε ότι το σύνολο των εικονοστοιχείων που ανήκουν σε αυτή την «επεκτεταμένη» κυψέλη είναι μια πρώτη προσέγγιση μιας περιοχής της εικόνας. Παρατηρήσαμε ότι μέσω αυτής

της διαδικασίας μπορούμε να λάβουμε μια κλάση περιοχών $E_{C(i,j,k)}$ που πιθανώς αλληλοεπικαλύπτονται, πλην όμως δεν καλύπτουν ολόκληρη την έγχρωμη εικόνα.

Ακολουθώς, κάνουμε την εύλογη παραδοχή ότι, σε μια μονοχρωματική περιοχή, οι χρωματικές διαβαθμίσεις μπορούν να θεωρηθούν τυχαίες μεταβλητές που ακολουθούν μια κανονική κατανομή. Βασιζόμενοι σ' αυτήν την υπόθεση, μπορούμε να επεκτείνουμε τις περιοχές τις οποίες θεωρήσαμε προηγούμενα μέσω της παρακάτω διαδικασίας:

- Υπολογίζουμε την μέση τιμή μ_X και την διασπορά σ_X , με $X = R, G, B$ των τριών χρωματικών συντεταγμένων R, G, B σε κάθε σύνολο εικονοστοιχείων $E_{C(i,j,k)}$ που έχει οριστεί προηγουμένως.
- Αφού το καθοριστικά μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού μιας κανονικής κατανομής κείται στο τρισδιάστατο διάστημα

$$J = [\mu_R - 3.12\sigma_R, \mu_R + 3.12\sigma_R] \times [\mu_G - 3.12\sigma_G, \mu_G + 3.12\sigma_G] \times [\mu_B - 3.12\sigma_B, \mu_B + 3.12\sigma_B]$$

τότε μπορούμε να θεωρήσουμε ότι αν περισσότερα εικονοστοιχεία από αυτά που ανήκουν στο $E_{C(i,j,k)}$ ανήκουν στην εν λόγω περιοχή, τα εν λόγω εικονοστοιχεία έχουν χρωματικές συντεταγμένες σε ένα αντίστοιχο διάστημα $J_{(i,j,k)}$.

- Με αυτό τον τρόπο, επεκτείνουμε την περιοχή $E_{C(i,j,k)}$, σε μια ευρύτερη, η οποία περιλαμβάνει όλα τα εικονοστοιχεία που έχουν χρωματικές συντεταγμένες στο διάστημα $J_{(i,j,k)}$.
- Η ανωτέρω διαδικασία γεννά μια κλάση ευρύτερων περιοχών $J_{(i,j,k)}$, οι οποίες έχουν ακόμα μεγαλύτερη πιθανότητα αλληλοκάλυψης.

3.2. Λαμβάνοντας μια μη επικαλυπτόμενη κατάτμηση εικόνας

Ο τελικός στόχος είναι να ταξινομήσουμε κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας μας σε μία και μόνη περιοχή. Προκειμένου να το πετύχουμε αυτό, ορίζουμε αρχικά μια απόσταση d ενός εικονοστοιχείου P , με χρωματικές συντεταγμένες R_P, G_P, B_P , από μια τυχαία περιοχή U με μέσες τιμές των χρωματικών συντεταγμένων R, G, B των εικονοστοιχείων, $\mu_X, X = R, G, B$ μέσω της σχέσης:

$$d_{(p,u)} = |(\mu_R - R_P)| + |(\mu_G - G_P)| + |(\mu_B - B_P)|$$

Τώρα, αν ένα εικονοστοιχείο ταξινομείται σε περισσότερες από μια περιοχές, έστω σαν αυτές U_1, U_2, \dots, U_n μέσω της παραπάνω διαδικασίας, τότε κατατάσσουμε το εικονοστοιχείο αυτό στην περιοχή από την οποία έχει την μικρότερη απόσταση, π.χ.

$$d_{(p,U_k)} = \min_{j=1, \dots, n} \{d_{(p,U_j)}\} \Rightarrow P \in U_k.$$

Με την ίδια μέθοδο, αποδίδουμε σε μια ορισμένη περιοχή όλα τα εικονοστοιχεία που δεν έχουν ταξινομηθεί σε κάποια περιοχή κατά την διάρκεια της διαδικασίας της αρχικής εξαγωγής των χρωματικών περιοχών.

Τελικά, σε κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας αποδίδουμε ένα χρωματικό περιεχόμενο ίσο με τις μέσες τιμές $\mu_X, X = R, G, B$ της περιοχής στην οποία ανήκει το εικονοστοιχείο. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνουμε μια «πρώτη προσέγγιση ομογενοποίησης» της εικόνας.

3.3 Μείωση θορύβου λόγω φθοράς και βελτίωση περιγραμμάτων

Αφού χωρίσουμε την εικόνα του ευρήματος και λάβουμε την «ομογενοποιημένη» εικόνα, χρησιμοποιούμε τη διαδικασία που περιγράφεται παρακάτω προκειμένου να μειώσουμε τον θόρυβο λόγω φθοράς.

Μια μάσκα διαστάσεων $m \times n$, όπου m και n περιττοί, ολισθαίνει σε όλη την εικόνα μας έχοντας κάθε φορά ως κέντρο ένα εικονοστοιχείο P αυτής. Σε κάθε θέση της μάσκας μετράμε τον αριθμό των εικονοστοιχείων της περιμέτρου αυτής, τα οποία ανήκουν σε κάθε μια εκ των περιοχών που ορίσαμε προηγουμένως. Έστω U_M η περιοχή με τον μεγαλύτερο αριθμό εικονοστοιχείων 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 όλα τα εικονοστοιχεία αυτής αποδίδονται στην περιοχή U_M . Η προηγούμενη διαδικασία επαναλαμβάνεται συνεχώς, έως ότου δεν χρειάζεται να γίνει απόδοση ενός εικονοστοιχείου σε κάποια περιοχή. Ακολούθως, κάθε μια εκ των διαστάσεων της μάσκας μειώνεται κατά δύο και η όλη διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρις ότου $m = n = 3$.

Η παραπάνω διαδικασία εξαφανίζει τον θόρυβο λόγω φθοράς σε κάθε περιοχή με επιτυχία. Μολαταύτα, κάποιο ποσό θορύβου λόγω φθοράς παραμένει ακόμα στα σύνορα των περιοχών. Προκειμένου να μειώσουμε και αυτό το θόρυβο λόγω φθοράς εφαρμόζουμε την παρακάτω διαδικασία:

Μια μάσκα διαστάσεων $m \times n$, όπου m και n περιττοί, ολισθαίνει σε όλη την εικόνα μας έχοντας κάθε φορά ως κέντρο ένα εικονοστοιχείο P αυτής. Σε κάθε θέση της μάσκας μετράμε τον αριθμό των εικονοστοιχείων 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 εικονοστοιχείων αντίστοιχα, έστω σαν αυτοί οι αριθμοί N_{\max} και N_{\min} . Κατόπιν ελέγχουμε αν ικανοποιούνται οι παρακάτω συνθήκες:

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

Αν ικανοποιούνται οι συνθήκες αυτές, τότε καταχωρούμε το κεντρικό εικονοστοιχείο της μάσκας στην περιοχή U_{\max} . Η προαναφερθείσα διαδικασία επαναλαμβάνεται συνεχώς μέχρις ότου δεν υπάρχει πλέον εικονοστοιχείο προς καταχώρηση.

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 φωτογραφίες που μελετούμε και των κατάλληλων τιμών των κατωφλίων $\Pi_{m,n}$, $\Pi_{\min(m,n)}$ και $\Pi_{\max(m,n)}$.

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

3.4.Χωρισμός της εικόνας σε χρωματικές ή θεματικές περιοχές

Τα διάφορα αρχαιολογικά ευρήματα εκτός από τα κομμάτια στα οποία έχουν διαιρεθεί υποφέρουν και από το πρόβλημα της φθοράς του καλλιτεχνικού τους περιεχομένου. Οι απεικονίσεις των αρχαιολογικών ευρημάτων έχουν αλλοιωθεί από τον χρόνο, τη λάβα, τις ρωγμές, πολλές φορές σε βαθμό τέτοιο ώστε ακόμα και ένα έμπειρο μάτι να μην μπορεί να ξεχωρίσει το περιεχόμενο της απεικόνισης τους. Επιπλέον, η αλλοίωση του περιεχομένου δεν είναι όμοια σε κάθε εικόνα, ούτε ακολουθεί κάποιο κανόνα. Είναι προφανές ότι αυτή εξαρτάται από πολλούς παράγοντες οι οποίοι δεν μπορούν να παραμετροποιηθούν.

Από την άλλη πλευρά, είναι πολύ σημαντικό να ανασυντεθεί το περιεχόμενο της απεικόνισης του αρχαιολογικού ευρήματος έτσι ώστε να ταυτίζεται κατά το δυνατόν με την αρχική απεικόνιση. Η αξία της ανασύνθεσης του περιεχομένου της απεικόνισης είναι μεγάλη, αφού προσθέτει τα κριτήρια της χρωματικής και θεματικής ομοιότητας καθώς και της συνέχειας των ορίων των χρωματικών περιοχών στη συνολική διαδικασία της ανασύνθεσης των ευρημάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΑΝΑΣΚΑΦΕΝΤΩΝ

ΑΡΧΑΙΩΝ ΑΓΓΕΙΩΝ ΚΑΙ ΤΟΙΧΟΓΡΑΦΙΩΝ

Η συγκεκριμένη μέθοδος η οποία παρουσιάστηκε στο διδακτορικό της Δρος. Δήμητρας Ντάφη διαχωρίζει την εικόνα σε δυο θεματικές περιοχές, όπου συνήθως η μια περιοχή περιλαμβάνει την πολύτιμη για μας πληροφορία, το αγγείο, ενώ η άλλη περιοχή είναι το υπόβαθρο. Στις εφαρμογές το υπόβαθρο κατά βάση είναι πιο κοντά στο λευκό ενώ η πληροφορία είναι σαφώς χαμηλότερης εντάσεως.

4.1 Εφαρμογή μορφολογικών φίλτρων πάνω στην προς κατάτμηση εικόνα.

Αν και η μέθοδος που περιγράφεται παρακάτω μπορεί να εφαρμοστεί και σε έγχρωμες εικόνες, στις εφαρμογές που παρουσιάζονται η προς κατάτμηση εικόνα είναι σε αποχρώσεις του γκρι. Για το λόγο αυτό, και επειδή η φωτογράφιση των αγγείων γίνεται με έγχρωμη ψηφιακή φωτογραφική μηχανή υψηλής ευκρίνειας, μετατρέπουμε τις ληφθείσες έγχρωμες φωτογραφίες σε αντίστοιχες διαβάθμισης του γκρι.



Εικόνα 4.1.

Αγγείο 9749. Έγχρωμη εικόνα



Εικόνα 4.2.

Αγγείο 9749 σε αποχρώσεις του γκρι



Εικόνα 4.3.

Αγγείο 8473. Έγχρωμη εικόνα



Εικόνα 4.4.

Αγγείο 8473 σε αποχρώσεις του γκρι

4.2 Ολίσθηση πλαισίου.

Ολισθαίνουμε ένα πλαίσιο καταλλήλων διαστάσεων κατά μήκος όλης της εικόνας. Εντός του κάθε πλαισίου σχηματίζουμε το ιστόγραμμα αποχρώσεων του γκρι όλων των εικονοστοιχείων που ανήκουν στο πλαίσιο.

Ολισθαίνουμε ένα πλαίσιο διαστάσεων $NP \times NP$ να ολισθήσει σε όλη την εικόνα. Η πρώτη θέση του πλαισίου είναι το άνω αριστερά εικονοστοιχείο της εικόνας, στο οποίο κατά κανόνα αποδίδονται οι συντεταγμένες $(1,1)$. Το επόμενο σημείο εκκίνησης του πλαισίου ορίζουμε να είναι τα $(1, 1+\alpha)$, όπου το α είναι ένας ακέραιος αριθμός, τον οποίο συνήθως επιλέγουμε να είναι ένα κατάλληλο ποσοστό του συνολικού αριθμού εικονοστοιχείων της προς κατάτμησης εικόνας.

Η ολίσθηση πραγματοποιείται κατά μήκος της οριζόντιας διάστασης της εικόνας. Στην τελευταία θέση του πλαισίου όπου ισχύει

$$(1+n)xa \leq \text{αριθμό στήλων } v < (1+(n+1)xa)$$

επεκτείνουμε το πλαίσιο ώστε να συμπεριλάβει όλα τα εικονοστοιχεία της εικόνας που έχουν απομείνει κατά την οριζόντια διάσταση αυτής.

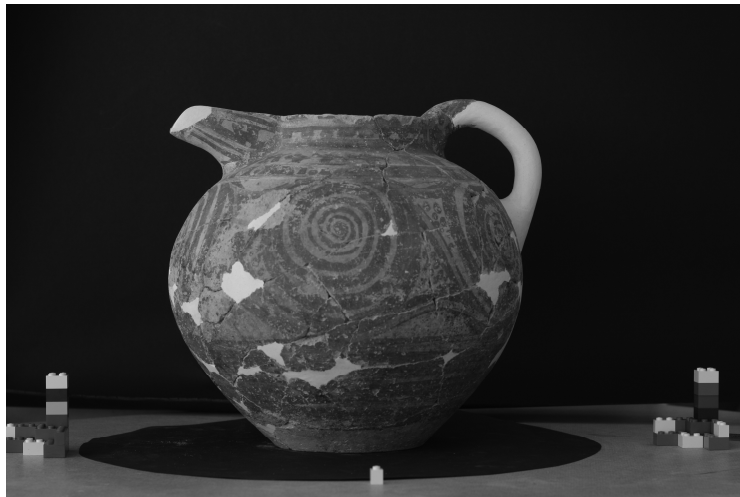
Αφού το πλαίσιο διατρέξει όλη την πρώτη γραμμή της εικόνας, μετατοπίζουμε την αρχή αυτού στο σημείο $(1+\alpha, 1)$ και επαναλαμβάνουμε την παραπάνω διαδικασία. κ.ο.κ. Στην τελευταία κατακόρυφη ολίσθηση για την οποία ισχύει

$$(1+m)xa \leq \text{αριθμός γραμμών } v < (1+(m+1)xa) ,$$

επεκτείνουμε ‘προς τα κάτω’ την εικόνα ‘ώστε να συμπεριληφθούν όλα τα εικονοστοιχεία που έχουν απομείνει κατά την κατακόρυφη διάσταση αυτής.

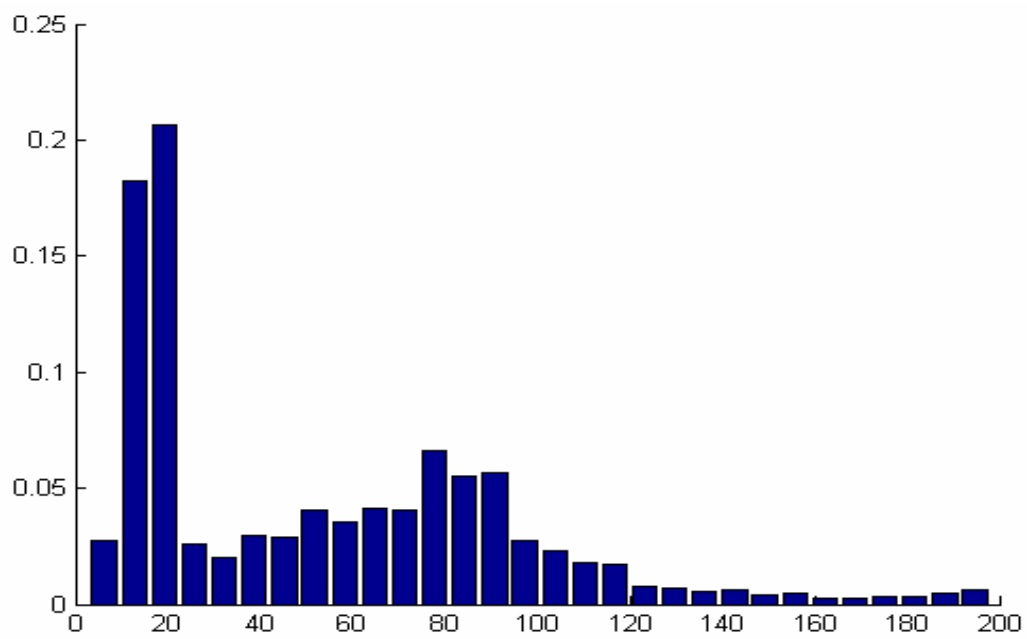
4.3. Δημιουργία ιστογράμματος.

Σε κάθε θέση του πλαισίου έστω την $((1+n)χα, (1+m)χα)$ δημιουργούμε το ιστόγραμμα διαβάθμισης του γκρι όλων των εικονοστοιχείων του πλαισίου. Αφού βρεθεί η μικρότερη τιμή απόχρωσης του γκρι εντός του πλαισίου στη θέση αυτή, έστω G_{\min} , και η αντίστοιχη μέγιστη τιμή, έστω G_{\max} , τότε χωρίζουμε το διάστημα $[G_{\min}, G_{\max}]$ σε N^G ίσα υποδιαστήματα. Σε κάθε υποδιάστημα, αποδίδουμε το πλήθος των εικονοστοιχείων 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 G_{\max} .



Εικόνα 4.4.

Αγγείο 9749.



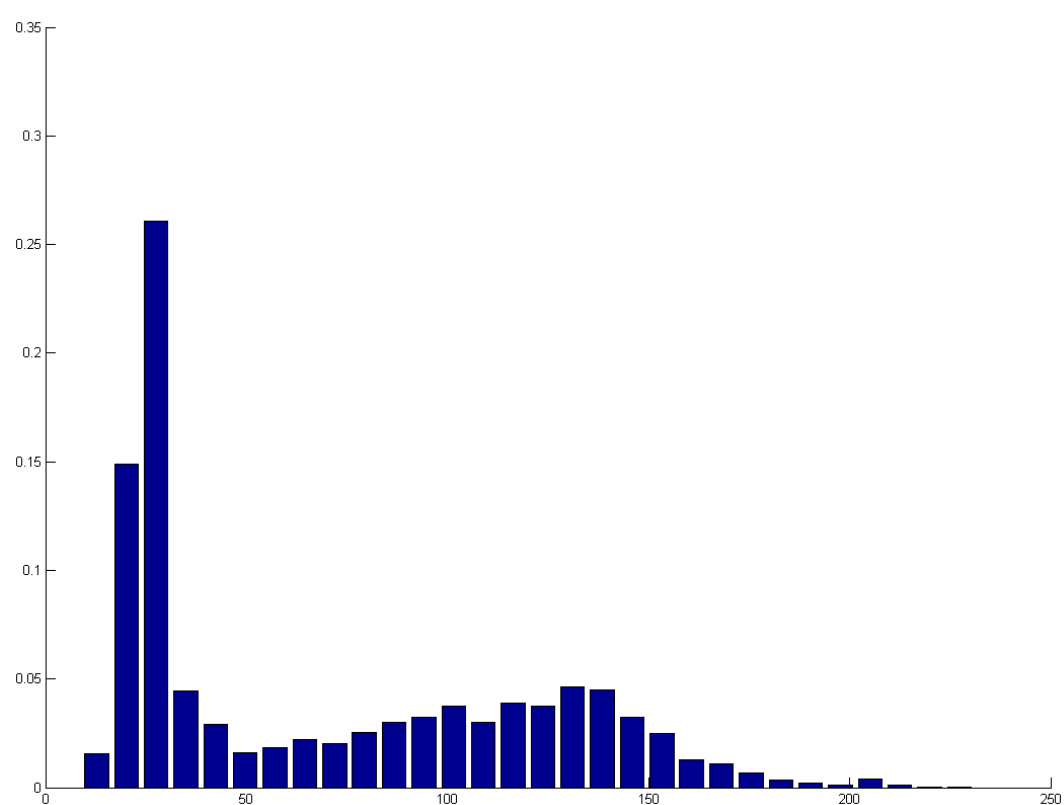
Εικόνα 4.5.

Αγγείο 9749.



Εικόνα 4.6.

Αγγείο 8473

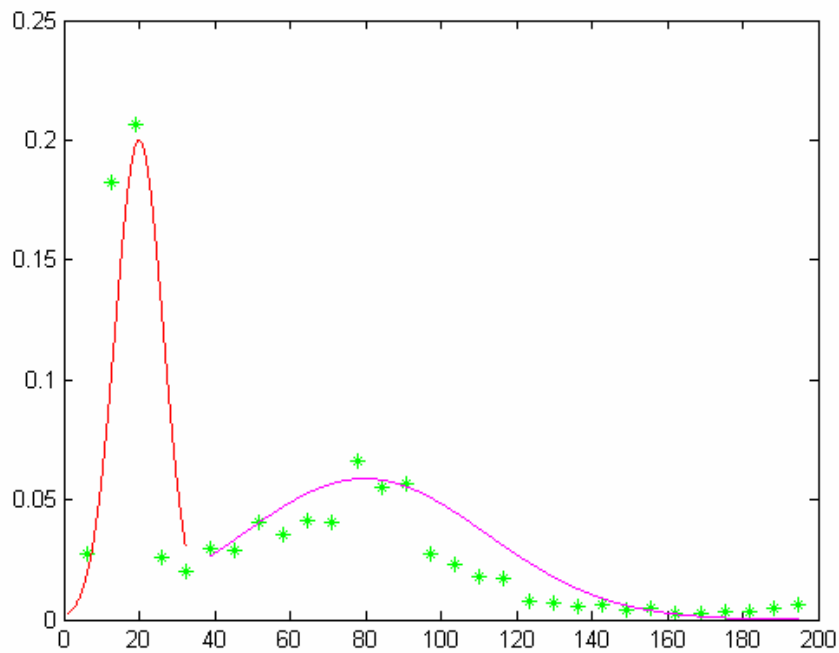


Εικόνα 4.7.

Αγγείο 8473.

4.4. Προσέγγιση του χρωματικού ιστογράμματος κάθε πλαισίου

Προσεγγίζουμε βέλτιστα το χρωματικό ιστόγραμμα κάθε πλαισίου με δυο ανεξάρτητες κανονικές κατανομές.



Εικόνα 4.8.

Προσέγγιση με δύο κατανομές του ιστογράμματος του αγγείου 9749.

4.5 Εντοπισμός των σημείων καμπής των δυο κανονικών κατανομών

Εντοπίζουμε τα σημεία καμπής των δυο κανονικών κατανομών.

Πράγματι για τυχούσα κανονική κατανομή με μέση τιμή μ και τυπική απόκλιση σ ισχύουν τα κάτωθι:

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας είναι:

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

Η πρώτη παράγωγος αυτής είναι

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

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

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

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

4.6. Αρχική εκτίμηση των θεματικών περιοχών και των σημείων ακμής

Είναι γνωστό ότι τα εικονοστοιχεία που το ανθρώπινο μάτι θεωρεί σαν ακμές (edges), είναι εκείνα στα οποία είτε συμβαίνει μέγιστη μεταβολή της απόχρωσης του γκρι είτε του χρωματικού περιεχομένου. Εν προκειμένω, αναφορικά με οποιαδήποτε εικόνα αποχρώσεων του γκρι έστω ότι $H(x, y)$ είναι η τιμή του γκρι στο εικονοστοιχείο με συντεταγμένες (x, y) . Τότε η μεταβολή της απόχρωσης του γκρι στο τυχόν εικονοστοιχείο (x, y) δίνεται από την κλίση ή το ανάδελα της H δηλαδή, από την συνάρτηση $\nabla H(x, y)$. Σύμφωνα με τα ανωτέρω, οι ακμές βρίσκονται εκεί όπου η τιμή του μέτρου του ανάδελα $\nabla I(x, y)$ γίνεται μέγιστη. Αλλά, στα

σημεία που παρουσιάζει τοπικό μέγιστο μια συνάρτηση δύο μεταβλητών το ανάδελτα αυτής είναι μηδέν. Άρα, στα σημεία των ακμών ισχύει

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

Από την άλλη πλευρά, ας υποθεθεί ότι έχουμε τη φωτογραφία ενός αγγείου στο υπόβαθρο. Τότε, είναι απολύτως εύλογο να υποθέσουμε ότι οι δυο κανονικές κατανομές με τις οποίες προσεγγίσαμε το ιστόγραμμα αποχρώσεων του γκρι της φωτογραφίας, αντιστοιχούν στις δύο προαναφερθείσες περιοχές. Δηλαδή, η κανονική κατανομή με μέγιστο κοντινότερο στο μηδεν (το μαύρο) περιλαμβάνει εικονοστοιχεία του αγγείου ενώ η άλλη κορυφή που είναι κοντύτερα στο 255 (λευκό) περιλαμβάνει εικονοστοιχεία του υποβάθρου. Βεβαίως, λόγω της φθοράς αλλά και της ιδιαίτερης υφής του μαρμάρου και του πηλού, είναι λανθασμένο να υποθέσουμε ότι οι δυο περιοχές που προαναφέραμε είναι αμιγείς. Συνεπώς, μόνο πιθανολογικά μπορεί κανείς να θεωρήσει ότι τα εικονοστοιχεία ενός υποδιαστήματος ή κυτίου του ιστογράμματος ανήκουν στη μια ή την άλλη κατανομή. Ωστόσο, είναι πάλι εύλογο να θεωρήσουμε ότι το συντριπτικά μεγαλύτερο μέρος των εικονοστοιχείων του κυτίου που περιλαμβάνει την κορυφή της αριστεράς κανονικής κατανομής ανήκουν στο σώμα του αγγείου, ενώ το μεγαλύτερο τμήμα των εικονοστοιχείων του υποδιαστήματος που εμπεριέχει την λευκότερη κορυφή ανήκει κατά συντριπτικό ποσοστό στο υπόβαθρο της εικόνας.

Επομένως για τον εντοπισμό των δύο θεματικών περιοχών που μας ενδιαφέρουν, πραγματοποιείται η εξής διαδικασία:

- Θεωρούμε όλα τα εικονοστοιχεία που βρίσκονται στο ίδιο κυτίο του ιστογράμματος με την κορυφή της κανονικής κατανομής T^A που είναι πιο κοντά στο λευκό και αποδίδουμε στο υπόβαθρο της εικόνας του αγγείου, θεματική περιοχή που θα συμβολίζουμε με Λ .

- Θεωρούμε όλα τα εικονοστοιχεία που βρίσκονται στο ίδιο κυτίο του ιστογράμματος με την κορυφή της κανονικής κατανομής T^M που είναι πιο κοντά στο μαύρο και αποδίδουμε αυτά στο σώμα του αγγείου, θεματική περιοχή που θα συμβολίζουμε με M .
- Βρίσκουμε το σημείο τομής των δύο κανονικών περιοχών έστω H^T καθώς και το δεξί σημείο καμπής της αριστερής κανονικής κατανομής H^K . Επιλέγουμε εκ των H^T και H^K εκείνο, το οποίο είναι πλησιέστερο προς το μέγιστο της αριστερής κανονικής κατανομής έστω H^H .
- Από τις δύο κορυφές που επελέγησαν κινούμεθα εκατέρωθεν των κορυφών, συμπεριλαμβάνοντας σε αυτές τα εικονοστοιχεία του ιστογράμματος, έως ότου φτάσουμε σε μια τιμή αποχρώσεως του γκρι που είναι στο

$$H^C = H(H^H) + 0.20(I(I(T^M)) - H(H^H)).$$

4.7. Ομογενοποίηση των θεματικών περιοχών

Κατά αυτόν τον τρόπο έχουμε δημιουργήσει δύο περιοχές, μια με απόχρωση γύρω από την τιμή $H(T^M)$ και μέχρι την τιμή H^C εκατέρωθεν αυτής και μια δεύτερη περιοχή γύρω από την $H(T^A)$ και μέχρι το ίδιο κατώφλι. Θα προσπαθήσουμε να εξαλείψουμε το 'θόρυβο' δηλαδή να ομογενοποιήσουμε κατά το δυνατόν τις περιοχές, με χρήση των παρακάτω μορφολογικών διαδικασιών.

Αρχικά ορίζεται ως 'θόρυβος λόγω φθοράς' ή 'decay noise' η τυχαία φθορά χρώματος και υφής που με τον καιρό δημιουργήθηκε σε κάθε ένα τα αγγεία που μελετώνται. Για να υπολογισθεί αυτή η κατανομή θορύβου (decay noise) λόγω φθοράς μετατρέπεται η αρχική

έγχρωμη εικόνα του αγγείου σε εικόνα αποχρώσεων του γκρι και υπολογίζεται η ένταση της κλίσης (ανάδελτα)

$$G_f(i, j) = |\Delta_x| + |\Delta_y| = |H(i+1) - H(i)| + |H(j+1) - H(j)|$$

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

Στη συνέχεια υπολογίζουμε την μέση τιμή E_G και την διασπορά R_G της κλίσης $G_f(i, j)$ και ελέγχουμε τον αριθμό των εικονοστοιχείων N_G που κείνται στο διάστημα $(E_G - R_G, E_G + R_G)$. Αν ο αριθμός N_G είναι μικρότερος από ένα σημαντικό ποσοστό P_G του συνολικού αριθμού των εικονοστοιχείων της εικόνας μας, N , τότε θεωρούμε ότι υπάρχει μια σημαντική παρουσία θορύβου λόγω φθοράς, οπότε πρέπει να εφαρμοσθεί η ακόλουθη διαδικασία προκειμένου να εξομαλυνθεί η απόχρωση του γκρι στο εκάστοτε αγγείο που επεξεργαζόμαστε. Μεταθέτουμε μια περιοχή διαστάσεων $\Pi^x \times \Pi^x$ εικονοστοιχείων όπου Π^x κατάλληλα επιλεγμένος μικρός περιττός φυσικός, σε όλη την εικόνα του αγγείου, έτσι ώστε κάθε φορά ένα εικονοστοιχείο του αγγείου να είναι το κέντρο αυτής της περιοχής και αποδίδουμε τη μέση τιμή της απόχρωσης του γκρι όλων των εικονοστοιχείων της περιοχής μας στο κεντρικό εικονοστοιχείο. Κατ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνουμε την χρωματική εξομάλυνση μιας φωτογραφίας. Εάν ο N_G είναι μεγαλύτερος ή ίσος του $P_G * N$ τότε αγνοούμε την προαναφερθείσα διαδικασία εξομάλυνσης.

Αφού χωρίσουμε την εικόνα του αγγείου και λάβουμε την «ομογενοποιημένη» εικόνα, χρησιμοποιούμε τη διαδικασία που περιγράφεται παρακάτω προκειμένου να μειώσουμε τον θόρυβο λόγω φθοράς.

Με κέντρο ένα εικονοστοιχείο P της εικόνας του αγγείου ολισθαίνουμε μια μάσκα διαστάσεων $m \times n$, όπου m και n περιττοί. Σε κάθε θέση της μάσκας μετράμε τον αριθμό των

εικονοστοιχείων της περιμέτρου αυτής, τα οποία ανήκουν σε κάθε μια εκ των περιοχών που ορίσαμε προηγουμένως. Έστω U_M η περιοχή με τον μεγαλύτερο αριθμό εικονοστοιχείων 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 εικονοστοιχείων αυτής αποδίδεται στην περιοχή U_M . Η προηγούμενη διαδικασία επαναλαμβάνεται συνεχώς, έως ότου δεν χρειάζεται να τροποποιηθεί 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 $m = n = 3$.

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

Με κέντρο ένα εικονοστοιχείο P της εικόνας του αγγείου ολισθαίνουμε μια μάσκα διαστάσεων $m \times n$, όπου m και n περιττοί. Σε κάθε θέση της μάσκας μετράμε τον αριθμό των εικονοστοιχείων 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 εικονοστοιχείων αντίστοιχα, και οι αριθμοί N_{\max} και N_{\min} αντίστοιχα.

Κατόπιν ελέγχουμε αν ικανοποιούνται οι παρακάτω συνθήκες:

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

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

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

Κατ' αυτόν τον τρόπο λαμβάνουμε την «τελικώς ομογενοποιημένη» εικόνα του αγγείου. Αν θέλουμε να πάρουμε μια ακόμα πιο ομογενοποιημένη κατάτμηση μπορούμε να επαναλάβουμε τη διαδικασία εξομάλυνσης η οποία αναφέρεται παραπάνω, σε καθεμία από τις ληφθείσες περιοχές ξεχωριστά, όπου όμως χρησιμοποιείται το αρχικό περιεχόμενο του χρώματος που είχαν τα εικονοστοιχεία της περιοχής που εξετάζουμε. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας υποβάλλεται εκ νέου στην προαναφερθείσα διαδικασία κατάτμησης.

4.8. Απόδοση των εικονοστοιχείων που απέμειναν

Αφού δημιουργήσαμε τις κατά το δυνατόν ομογενοποιημένες περιοχές A^0 που αντιστοιχεί σε ένα ομογενοποιημένο τμήμα του σώματος του αγγείου και την B^0 αντιστοιχεί σε ομογενοποιημένο τμήμα του υποβάθρου, θα αποδώσουμε τα εναπομείνοντα εικονοστοιχεία στις περιοχές αυτές ως εξής:

Έστω $H_{\mu}^{A^0}, H_{\mu}^{B^0}$ ο μέσος όρος των αποχρώσεων του γκρι των εικονοστοιχείων των περιοχών A^0 και B^0 αντιστοίχως και έστω H^X , η απόχρωση του γκρι τυχόντος εικονοστοιχείου της εικόνας που δεν έχει καταταγεί στις A^0 και B^0 . Για κάθε τέτοιο μη ενταγμένο εικονοστοιχείο αποχρώσεως H^X , ορίζουμε ένα μέτρο απόστασης αποχρώσεως από τις A^0 και

B^0 μέσω της σχέσεως Μέτρο απόστασης αποχρώσεως

$$d(H^X, A^0) = (\text{απόσταση } H^X \text{ από } H_\mu^{A^0}) +$$

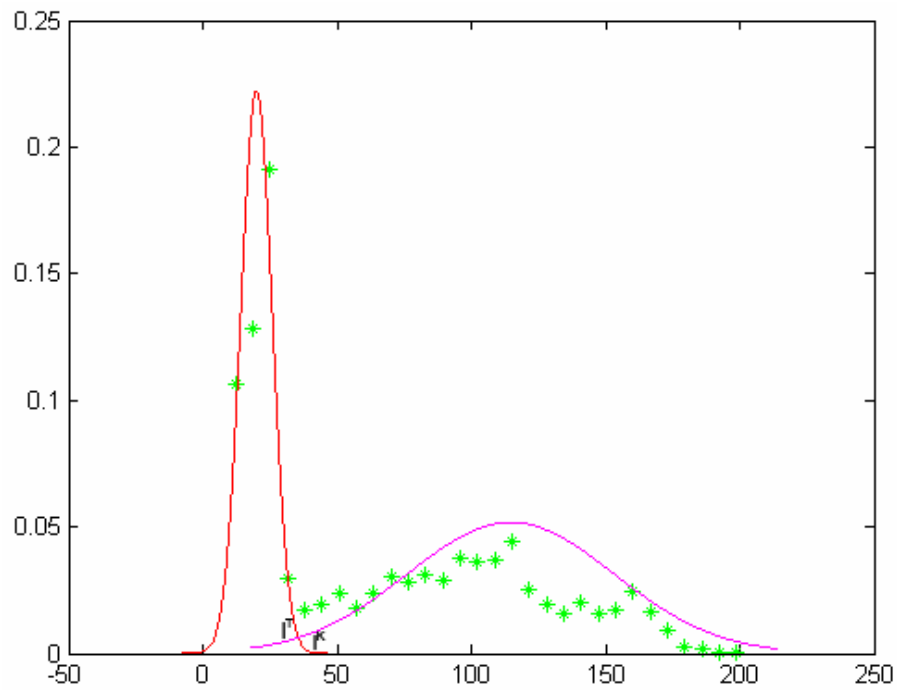
ελαχιστη απόσταση I^X από σύνολο αποχρώσεων των εικονοστοιχείων της A^0).

Αντίστοιχο μέτρο απόστασης $d(H^X, B^0)$ ορίζουμε για την B^0 .

Εν συνεχεία διατάσσουμε τις ποσότητες $d(H^X, A^0) - d(H^X, B^0)$ και το εικονοστοιχείο με τη μικρότερη τιμή αυτής της διαφοράς το αποδίδουμε στο A^0 ενώ αυτό με τη μεγαλύτερη τιμή διαφοράς την αποδίδουμε στο B^0 . Κατ' αυτόν τον τρόπο επανορίζουμε τις περιοχές A^0 και B^0 , επανυπολογίζουμε τα $H_\mu^{A^0}, H_\mu^{B^0}$ και αποδίδουμε τα μη καταταγμένα εικονοστοιχεία επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία.

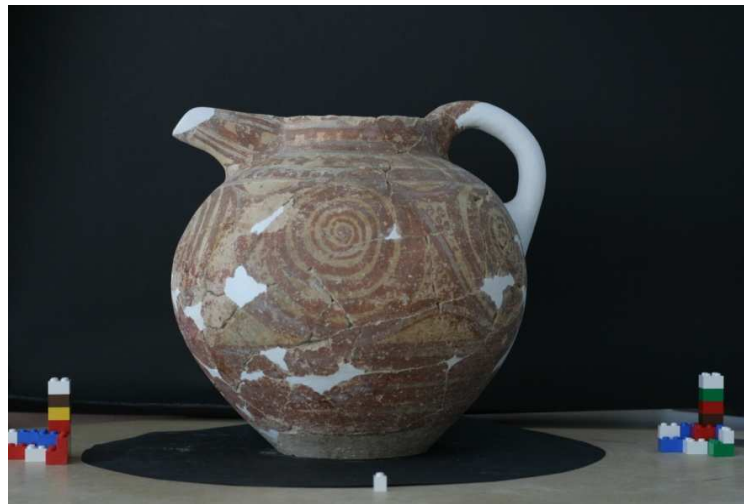
4.9. Προσδιορισμός των θεματικών περιοχών του σώματος του αγγείου και του υποβάθρου.

Ομογενοποιούμε τις A^0 και B^0 που τελικά ελήφθησαν στο βήμα 8, με χρήση των μορφολογικών διαδικασιών που περιγράφησαν στο βήμα 7, οπότε και λαμβάνουμε τις τελικές εκδόσεις των δύο περιοχών τόσο του σώματος του αγγείου όσο και του υποβάθρου.



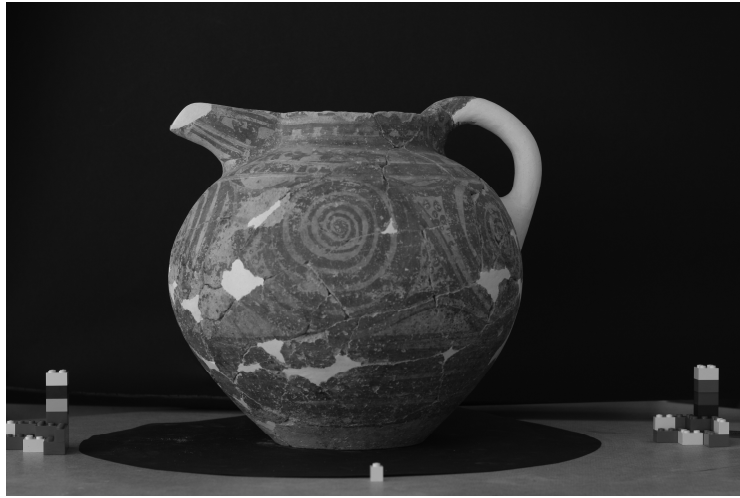
Εικόνα 4.9.

Τομή δύο κανονικών κατανομών.



Εικόνα 4.10.

Αγγείο 9749. Έγχρωμη εικόνα



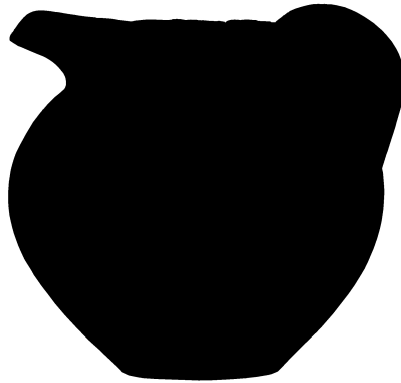
Εικόνα 4.11.

Αγγείο 9749 σε αποχρώσεις του γκρι



Εικόνα 4,12.

Ομογενοποιημένη μορφή του αγγείου



Εικόνα 4.13.

Αντιστροφή της εικόνας. Τελική δυαδική μορφή



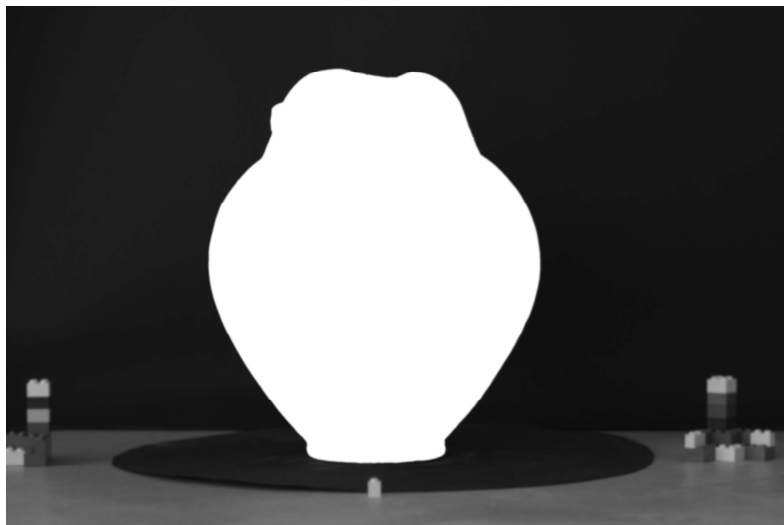
Εικόνα 4.14.

Αγγείο 8473. Έγχρωμη εικόνα



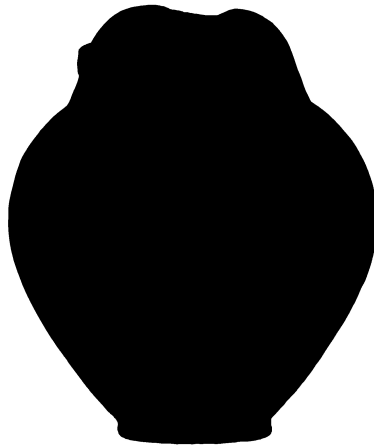
Εικόνα 4.15.

Αγγείο 8473 σε αποχρώσεις του γκρι



Εικόνα 4.16.

Ομογενοποιημένη μορφή του αγγείου

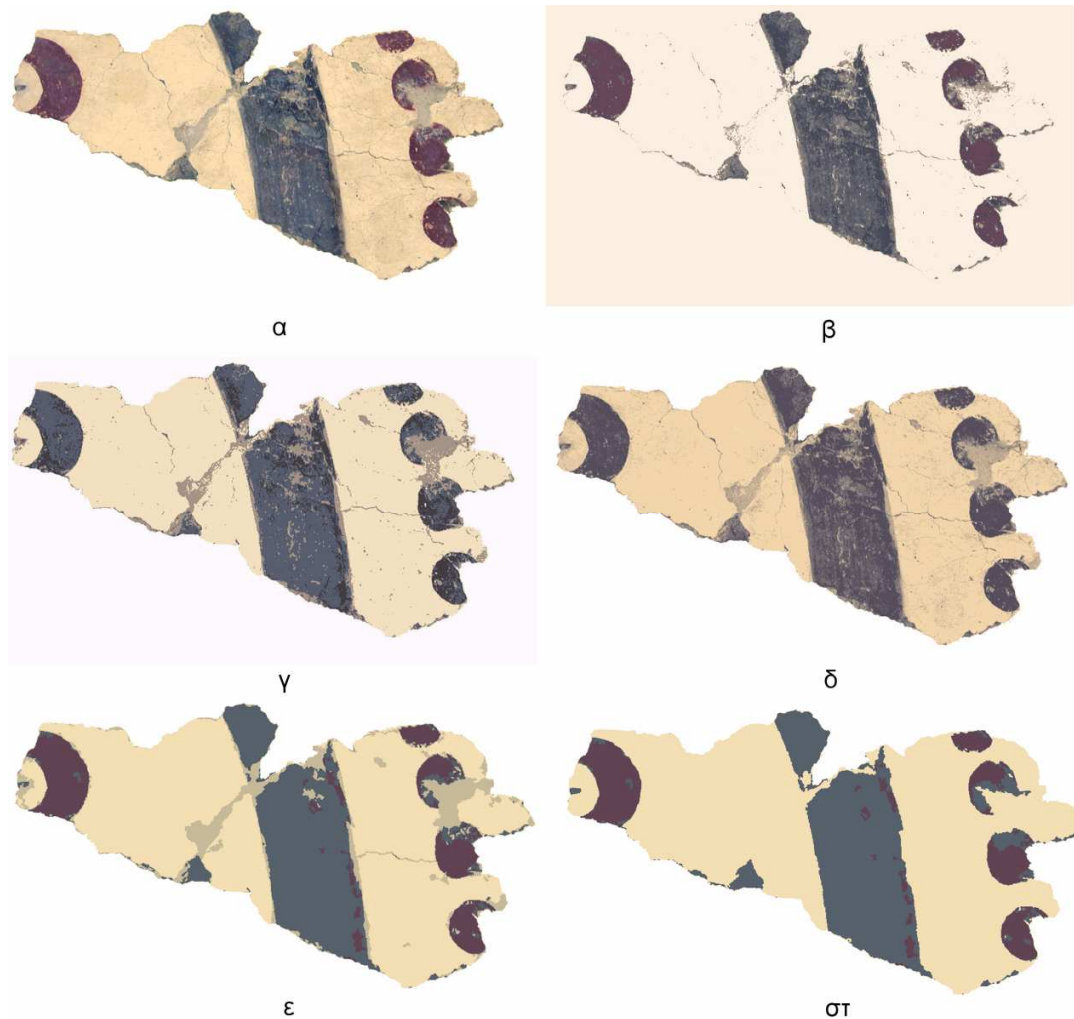


Εικόνα 4.17.

Αντιστροφή της εικόνας. Τελική δυαδική μορφή

4.10. Πειραματικές προσεγγίσεις σε τοιχογραφίες

Πρέπει αρχικά να τονιστεί ότι το σύνολο της διαδικασίας χρωματικής κατάτμησης έχει ως βασικό στόχο την εξαγωγή συμπαγών χρωματικών περιοχών για την εξαγωγή καθαρών ορίων ανάμεσά τους, τα οποία στη συνέχεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το ταίριασμα ευρημάτων με βάση την επαπτομενική συνέχειά τους και το είδος της απεικόνισης. Επιπλέον, οι χρωματικές περιοχές θα χρησιμοποιηθούν για την εξασφάλιση χρωματικής συνέχειας μεταξύ γειτονικών ευρημάτων.



Εικόνα 4.18.

α) Αρχική φωτογραφία. β), γ), δ) Τυπικά αποτελέσματα κατάτμησης με τη χρήση εμπορικών εφαρμογών και τεχνικών κατάτμησης. ε) Κατάτμηση με χρήση του πρωτότυπου αλγορίθμου στ) Κατάτμηση με χρήση του πρωτότυπου αλγορίθμου και αυτόματη επανεκτίμηση κατωφλίου, καθαρισμό και καθαρισμό ακμών.

Δοκιμάστηκαν αρχικά αρκετές από τις προαναφερθείσες τεχνικές κατάτμησης εικόνας οι οποίες όμως δεν απέδωσαν ικανοποιητικά. Τα αποτελέσματα ήταν μέτρια καθώς οι υλοποιήσεις αυτές αποτύγχαναν στην σωστή εκτίμηση του πλήθους των περιοχών, την εύρεση συμπαγών

περιοχών με σαφή και ορθά όρια καθώς και την πιστή απόδοση του χρώματος. Τυπικά αποτελέσματα των εφαρμογών αυτών βρίσκονται στην Εικόνα μαζί με το αποτέλεσμα της εξαγωγής ακμών απ' αυτές (Εικόνα).

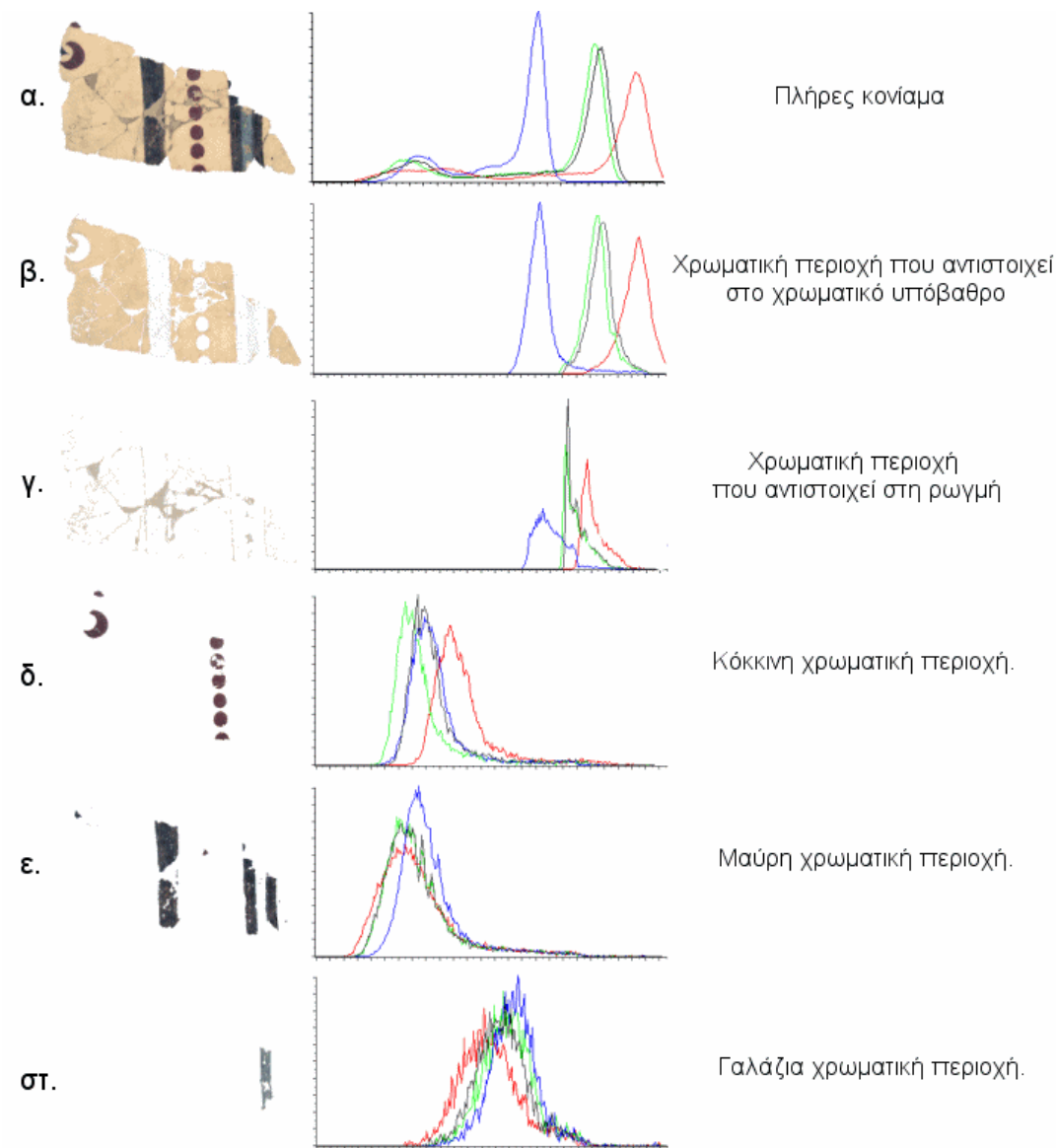


Εικόνα 4.19.

Το αποτέλεσμα της εξαγωγής ακμών στην Εικόνα

Στις δύο παραπάνω εικόνες, 4.18. και 4.19., είναι, και οπτικά, σαφές ότι η νέα μέθοδος προσφέρει το καλύτερο αποτέλεσμα τόσο στην κατάτμηση όσο και στην εξαγωγή χρωματικών ακμών στο κονίαμα.

Τα κατώτερα αποτελέσματα των υπολοίπων μεθόδων οφείλονται στην περιορισμένη δυνατότητα των τεχνικών αυτών να λάβουν υπ' όψη τους τις ειδικές συνθήκες φθοράς και καταπόνησης από το χρόνο και τις φυσικές καταστροφές. Τα ιστογράμματα της κάθε περιοχής χωριστά παρουσιάζουν κατανομή που θα μπορούσε να θεωρηθεί κανονική σε μερικές μόνο περιπτώσεις (β, δ, ε, στ). Η παρουσία όμως της χρωματικής περιοχής που αντιστοιχεί στην ρωγμή (γ) της οποίας το ιστόγραμμα δεν ακολουθεί κανονική κατανομή, επηρεάζει τη σωστή επιλογή των παραμέτρων της κανονικής κατανομής για τις υπόλοιπες περιοχές. Επίσης, τα ιστογράμματα των περιοχών δ και ε διαφοροποιούνται μόνο στην κόκκινη χρωματική συνιστώσα τους με αποτέλεσμα τη δύσκολη διάκρισή τους. Επιπλέον, η χρωματική περιοχή εξ' αιτίας του μικρού πλήθους των στοιχείων της εικόνας που ανήκουν σ' αυτή αλλά και της μεγάλης διασποράς των γειτονικών περιοχών λόγω θορύβου είναι εξαιρετικά δύσκολο να διακριθεί.



Εικόνα 1. 20

Η τοιχογραφία που απεικονίζεται στην εικόνα με το ιστόγραμμα κάθε μίας από τις συνιστώσες RGBI για κάθε μία από τις χρωματικές περιοχές. Όπως φαίνεται στο πρώτο ιστόγραμμα η κάθε χρωματική συνιστώσα παρουσιάζει δύο τοπικά μέγιστα εκτός από την κόκκινη που παρουσιάζει

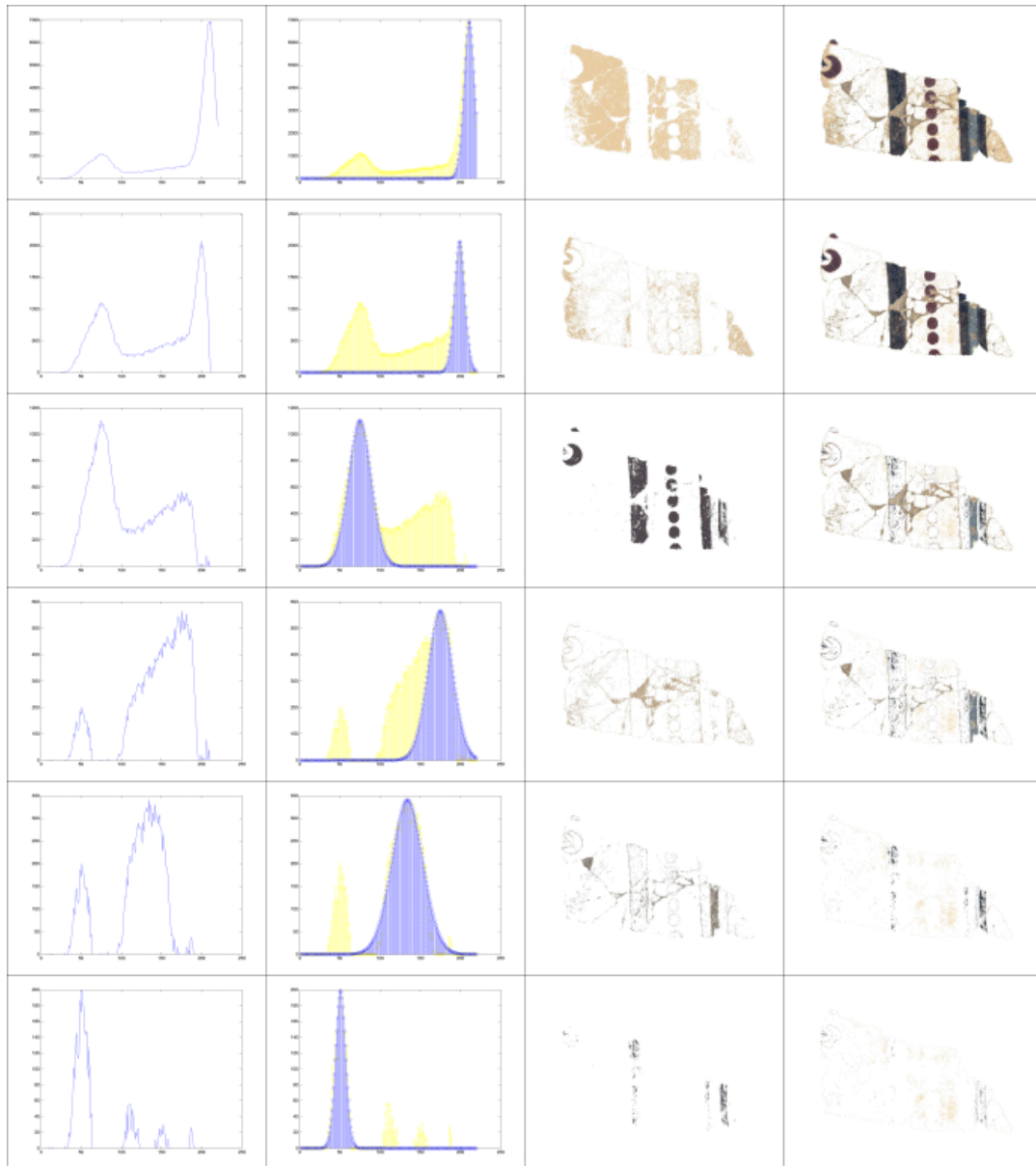
3. Με χρήση μεθόδου κατάτμησης βασισμένη σε αυτά τα ιστογράμματα λαμβάνονται είτε λιγότερες είτε πολύ περισσότερες από τις πραγματικές χρωματικές περιοχές.

Ενδεικτική εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου φαίνεται στην Εικόνα . Η χρωματική περιοχή β όπως φαίνεται στην Εικόνα 1 χωρίζεται σε δύο περιοχές, οι περιοχές β και δ αποδίδονται σε μία και η $\sigma\tau$ συγχωνεύεται με μέρος της γ . Η εφαρμογή λοιπόν αυτής της μεθόδου έδινε είτε λιγότερες από τις πραγματικές περιοχές είτε "παρήγαγε" μη υπάρχουσες περιοχές χωρίζοντας μία χρωματική περιοχή σε περισσότερες. Τονίζεται ξανά ότι λόγω της μεγάλης διασποράς και της φύσης του θορύβου δεν είναι δυνατή η κατάτμηση σε μεγάλο πλήθος περιοχών και η επιλογή συγχώνευσης. Έτσι αποφασίστηκε η ανάπτυξη ειδικής μεθοδολογίας, η οποία ακολουθεί παρακάτω.

4.11. Εξαγωγή περιεχομένου

Η εξαγωγή του περιεχόμενου ενός κονιάματος χωρίζεται στα εξής στάδια:

- Υπολογισμός της 'καταπόνησης' του χρωματικού περιεχομένου της τοιχογραφίας και ενδεχόμενη εξομάλυνσή της.
- Εύρεση του χρωματικού περιεχομένου της απεικόνισης.
- Χωρισμός του σε χρωματικές περιοχές περιορισμένου πλήθους.
- Βελτίωση της ομοιογένειας των περιοχών με καθαρισμό θορύβου ρωγμών κ.λ.π.
- Βελτίωση των ορίων των χρωματικών περιοχών.
- Σε περίπτωση μη ικανοποιητικού αποτελέσματος γίνεται εξομάλυνση ανά χρωματική περιοχή και επανάληψη της διαδικασίας.



Εικόνα 4.21.

Η διαδικασία εξαγωγής χρωματικών περιοχών με την παραδοχή ότι το ιστόγραμμα κάθε μιας παρουσιάζει κανονική κατανομή. Σε κάθε σειρά παρουσιάζονται διαδοχικά το ιστόγραμμα της εικόνας του κονιάματος, το τμήμα του που αντιστοιχεί σε μία χρωματική περιοχή, η χρωματική περιοχή και το τμήμα του κονιάματος το οποίο δεν έχει αποδοθεί σε καμία χρωματική περιοχή.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εφαρμόστηκε ένας νέος αλγόριθμος κατάτμησης εικόνων. Το πεδίο εφαρμογής ήταν κυρίως οι εικόνες αρχαιολογικών ευρημάτων, τα οποία κατά κανόνα παρουσιάζουν σημαντική φθορά, σημαντική τροποποίηση του αρχικού χρωματικού τους περιεχομένου, μεγάλες μεταβολές στην υφή ως και ενδεχομένως, ρωγμές ή επιπρόσθετα υλικά. Διαπιστώθηκε ότι οι προαναφερθέντες παράγοντες καθιστούν την κατάτμηση της εικόνας τέτοιων αρχαιολογικών ευρημάτων ένα ιδιαίτερος δύσκολο έργο. Ειδικότερα, επιβεβαιώθηκε ότι οι προϋπάρχοντες αλγόριθμοι κατάτμησης εικόνας αντιμετωπίζουν σημαντικές δυσκολίες στον ορθό προσδιορισμό των θεματικών περιοχών του ευρήματος. Αντιθέτως ο νέος αλγόριθμος ο οποίος εξετάστηκε έδωσε κατά κανόνα την αναμενόμενη («ορθή») κατάτμηση της εικόνας του αρχαιολογικού ευρήματος, προσφέροντας ταυτόχρονα σαφή καθορισμό των περιγραμμάτων των περιοχών αυτών. Η εύρεση σαφών περιγραμμάτων των περιοχών είναι πολύ σημαντική για διάφορες εφαρμογές της Αναγνώρισης Προτύπων, της ανάλυσης εικόνας και γενικά της Επιστήμης του Μηχανικού Υπολογιστών στην Αρχαιομετρία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] “Ψηφιακή επεξεργασία, προτυποποίηση (modeling) και εικονική ανακατασκευή σημαντικών αρχαιολογικών ευρημάτων”, Διδακτορική διατριβή, Δήμητρα Ντάφη, 2010
- [2] “Ταυτοποίηση χαρακτών αρχαίων επιγραφών και εντοπισμός τεχνοτροπίας αρχαιολογικών ευρημάτων με χρήση πρωτότυπων αλγορίθμων αναγνώρισης προτύπων και επεξεργασίας εικόνας”, Διδακτορική διατριβή, Παναγόπουλος Μιχάλης, Ιούλιος 2008
- [3] “Ανάπτυξη προηγμένων μεθόδων αναγνώρισης προτύπων και μαθηματική θεμελίωση για τον εντοπισμό του τρόπου δημιουργίας και της ταυτότητας του δημιουργού σημαντικών αρχαιολογικών”, Διδακτορική διατριβή, Παναγιώτη Χ. Ρουσόπουλου, Σεπτέμβριος 2010
- [4] “Συγκριτική Μελέτη Μεθόδων Κατάτμησης και Επεξεργασίας Εικόνας με Εφαρμογή σε Αρχαίες Επιγραφές”, Διπλωματική Εργασία, Ευδοκία Π. Κάλφα, Φεβρουάριος 2012
- [5] “Πρωτότυποι αλγόριθμοι ψηφιακής επεξεργασίας σημάτων με εφαρμογή στην αυτόματη ανασύνθεση τοιχογραφιών και την αυτόματη διάκριση μουσικού οργάνου”, Διδακτορική διατριβή, Μιχάλης Έξαρχος, Μάρτιος 2004
- [6] “Image and Pattern Analysis of 1650B.C. Wall Paintings and Reconstruction”, Constantin Papaodysseus, Mihalis Exarhos, Constantin Triantafillou, Thanasis Panagopoulos, IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN AND CYBERNETICS – PART A : SYSTEMS AND HUMANS, VOL. 38, JULY 2008
- [7] www.wikipedia.com
- [8] “Όραση Υπολογιστών”, Πέτρος Μαραγκός, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2005

