

**ΠΡΟΤΑΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΓΩΓΗ ΚΑΙ
ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΡΩΓΜΑΤΩΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ
ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΗΣ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ
ΕΙΚΟΝΑΣ ΣΕ ΖΩΓΡΑΦΙΚΑ ΕΡΓΑ.**

Λέξεις κλειδιά: δίκτυο
ρωγματώσεων, ζωγραφικά
έργα, ανίχνευση,
αναγνώριση, μαθηματική
επεξεργασία εικόνας,
υπέρυθρη
ανακλαστογραφία.

Αλεξοπούλου Αθηνά¹, Κουτσουνής Αναστάσιος², Παναγόπουλος
Αθανάσιος³, Γερακάρη Κατερίνα⁴.

¹ Δρ. Φυσικοχημείας Ε.Μ.Π., Καθηγήτρια

² Συντηρητής Έργων Τέχνης, Καθηγητής Εφαρμογών

³ Μηχανικός Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, Επιστημονικός Συνεργάτης

⁴ Συντηρήτρια Έργων Τέχνης, Εργαστηριακός Συνεργάτης

ΤΕΙ Αθήνας, Τμήμα Συντήρησης Αρχαιοτήτων & Έργων Τέχνης

e-mail: athfrt@teiath.gr

1. Εισαγωγή

Η χρήση της μαθηματικής επεξεργασίας εικόνας δίνει νέες διαστάσεις στις υπολογιστικές εφαρμογές που αφορούν την ποιοτική αξιολόγηση [1], την ανάλυση [2], την διαχείριση [3], την ανάκτηση [4], την εικονική βελτίωση και την ψηφιακή αποκατάσταση των έργων τέχνης [5].

Ως εργαλεία στον τομέα της διατήρησης της πολιτιστικής κληρονομιάς, οι τεχνικές επεξεργασίας εικόνας εξυπηρετούν γενικά δύο κύριους σκοπούς. Αφενός μεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον τομέα της αποκατάστασης του έργου τέχνης είτε ως οδηγός για την πραγματική αποκατάσταση (φυσική αποκατάσταση) ή με άλλα λόγια, για μια υπολογιστικά-καθοδηγούμενη (computer-guided) αποκατάσταση, είτε ως εργαλεία για να παράγουν μια ψηφιακά αποκατεστημένη εκδοχή του αρχικού φυσικού έργου τέχνης (εικονική αποκατάσταση). Αφετέρου οι διαδικασίες ανάλυσης και επεξεργασίας της εικονιστικής πληροφορίας είναι δυνατόν να συμβάλλουν

ΠΡΟΤΑΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ
ΡΩΓΜΑΤΩΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΗΣ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΣΕ
ΖΩΓΡΑΦΙΚΑ ΕΡΓΑ.

Αλεξοπούλου Αθηνά, Κουτσουνής Αναστάσιος, Παναγόπουλος Αθανάσιος, Γερακάρη Κατερίνα.

αποτελεσματικά στην ανάκτηση και αξιοποίηση χρήσιμης πληροφορίας με σκοπό τη μελέτη των υλικών και των μηχανισμών φθοράς του έργου τέχνης.

Είναι λοιπόν εμφανές ότι οι εφαρμογές που αφορούν την αυτόματη ανάκτηση και την ανάλυση της πληροφορίας από ψηφιακές εικόνες αποτελούν ένα απαραίτητο διαγνωστικό μέσο στον τομέα της συντήρησης. Μία τέτοια εφαρμογή είναι η ημιαυτόματη ανίχνευση και ταξινόμηση του δικτύου ρωγματοώσεων των ζωγραφικών έργων τέχνης με βάση τη μορφολογία του δικτύου που καταγράφεται σε διάφορα επίπεδα της στρωματογραφικής δομής του έργου, τόσο στο ορατό όσο και στην υπέρυθρη και υπεριώδη περιοχή του φάσματος.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η πρόταση μιας μεθοδολογίας για την ανίχνευση και εξαγωγή του δικτύου ρωγματοώσεων που παρουσιάζουν τα ζωγραφικά στρώματα με τη βοήθεια μορφολογικών τελεστών και ψηφιακών φίλτρων.

Συγχρόνως, επιχειρείται ο καθορισμός των ειδικών χαρακτηριστικών κάθε τύπου ρωγματοώσεων και εφαρμογή μαθηματικών αλγορίθμων για την εξαγωγή και μέτρηση συγκεκριμένων μαθηματικών παραμέτρων (μορφολογικών και γεωμετρικών χαρακτηριστικών) στις ψηφιακές εικόνες που λαμβάνονται στην ορατή και υπέρυθρη περιοχή, έτσι ώστε να μπορεί να γίνεται αυτόματα ο διαχωρισμός και η κατηγοριοποίηση των διαφορετικών τύπων.

Απώτερος στόχος είναι η ανάπτυξη του κατάλληλου μαθηματικού μοντέλου για την αυτόματη κατάταξη των ζωγραφικών έργων σύμφωνα με τη μορφολογία του δικτύου ρωγματοώσεων που παρουσιάζουν.

Η μεθοδολογία έρευνας που ακολουθήθηκε στη μελέτη αυτή περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

1. τον καθορισμό του τύπου των ρωγμών και των ειδικών μορφολογικών χαρακτηριστικών τους
2. την ανίχνευση του δικτύου ρωγματοώσεων,
3. την εξαγωγή των επιλεγμένων ποσοτικοποιημένων μορφολογικών και γεωμετρικών χαρακτηριστικών του και
4. την κατάταξη των ζωγραφικών έργων σύμφωνα με τη μορφολογία του

ΠΡΟΤΑΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΡΩΓΜΑΤΩΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΗΣ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΣΕ ΖΩΓΡΑΦΙΚΑ ΕΡΓΑ.

Αλεξοπούλου Αθηνά, Κουτσουνής Αναστάσιος, Παναγόπουλος Αθανάσιος, Γερακάρη Κατερίνα.

δικτύου.

2. Η ανάπτυξη και η μορφολογία των ρωγμών

Η ανάπτυξη και η μορφολογία των ρωγμών, που εκδηλώνονται στην επιφάνεια των ζωγραφικών έργων τέχνης, έχει απασχολήσει κατά περιόδους πολλούς ειδικούς ερευνητές [6], καθώς είναι βέβαιο ότι η μελέτη τους μπορεί να παρέχει πολύτιμα στοιχεία, τα οποία συνδέονται με ιστορικούς, κοινωνικούς, οικονομικούς και τεχνικούς παράγοντες. Τα είδη των ρωγμών έχουν άμεση σχέση με την παλαιότητα, με τα υλικά και τις τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν από το δημιουργό, τις ειδικές συνθήκες ανάθεσης και εκτέλεσης, τις περιβαλλοντικές παραμέτρους, καθώς και με τις συνθήκες διατήρησης του έργου μέσα στο χρόνο (έκθεση, μεταφορά, αποθήκευση). Έτσι, με βάση την περιγραφική ορολογία, που αφορά στο σχήμα και στην οργάνωση των ρωγμών, σήμερα είμαστε σε θέση να διακρίνουμε αυτές που προκλήθηκαν από τη γήρανση, την έλλειψη σχετικής υγρασίας, τις εντάσεις που οφείλονται στις αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στο υποστήριγμα και στο υπόστρωμα, τις μηχανικές καταπονήσεις, τη χρήση συγκεκριμένων χρωστικών ουσιών και οργανικών μέσων κ.ο.κ. Διακρίνοντας τις διαφορετικές μορφές των ρωγμών, και συνδυάζοντας αυτές με τα πιθανά αίτια δημιουργίας τους, ένας ειδικός μελετητής μπορεί να τις αντιστοιχίσει με αναγνωρισμένες ιστορικές και τεχνοτροπικές κατηγορίες [7], [8] ή να προσδιορίσει τους στόχους περαιτέρω εξειδικευμένων ερευνητικών διαδικασιών.

Μέχρι σήμερα οι περισσότερες έρευνες στην ανίχνευση και καταγραφή του δικτύου ρωγματώσεων έχουν ακολουθήσει μεθοδολογίες που είτε χρησιμοποιούν στατιστικά μοντέλα και προσεγγίσεις σε ένα ευρύ δείγμα τύπου ρωγματώσεων προκειμένου να καθοριστούν τα κριτήρια ταξινόμησης, [7] είτε χρησιμοποιούν μαθηματικά μοντέλα ψηφιακής επεξεργασίας που βασίζονται σε κατάταξη των διαφορετικών συστημάτων ρωγμών σε δύο γενικές κατηγορίες σύμφωνα με τους παράγοντες γήρανσης και ξήρανσης ή ακόμα σύμφωνα με το στάδιο εκδήλωσής τους (aging cracks & drying cracks) [8].

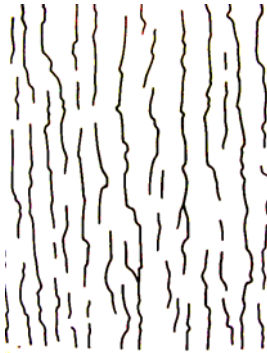
Όμως η προσέγγιση αυτή, δηλαδή η μελέτη των σύνθετων παραγόντων ως μεμονωμένων μονάδων στη διαμόρφωση του δικτύου

ρωγματώσεων, περιορίζει την κατανόηση των ειδικών συνθηκών και των αιτίων πρόκλησης του φαινομένου και δεν αποτελεί πάντα έναν αξιόπιστο οδηγό για την αξιολόγηση του συνόλου.

Τα ζωγραφικά έργα τέχνης, ως προϊόντα της πνευματικής έκφρασης του ανθρώπου, που εκδηλώνεται με σύνθετες τεχνικές εφαρμογές, αφενός, και το υλικό περιβάλλον με τις ίδιες αλληλεπιδράσεις του αφετέρου, συνθέτουν ένα πολύπλοκο σύστημα παραγόντων οι οποίοι είναι απαραίτητο να μελετηθούν σε βάθος και συμπληρωματικά μέσα από συνδυαστικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις.

Έτσι, μέσα από την προοπτική μιας διεπιστημονικής συνεργασίας για τη δημιουργία ενός αξιόπιστου συστήματος αξιολόγησης, η έρευνα αυτή προτίθεται να καλύψει ακριβώς αυτή την έλλειψη, αποσαφηνίζοντας και ερμηνεύοντας ειδικά θέματα σχετικά με το φαινόμενο των ρωγμών σε ζωγραφικά έργα τέχνης με σκοπό την πληρέστερη κατανόηση και ερμηνεία των παραγόντων που τις προκαλούν. Στην έρευνα αυτή επιχειρείται δε για πρώτη φορά η αξιοποίηση της πληροφορίας που προέρχεται από το δίκτυο ρωγματώσεων που αναπτύσσεται στα εσωτερικά χρωματικά στρώματα ή την προετοιμασία και ανιχνεύεται με τη βοήθεια της υπέρυθρης ανακλαστογραφίας. Πρέπει να σημειωθεί εδώ, ότι σε πολλές περιπτώσεις ζωγραφικών έργων, το δίκτυο ρωγματώσεων αναπτύσσεται από την προετοιμασία προς τα χρωματικά στρώματα και την εξωτερική επιφάνεια. Έτσι η ανίχνευση αυτού στα πρώτα στάδια της δημιουργίας του με τη βοήθεια της υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι σημαντικό στοιχείο που υποστηρίζει τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την αυθεντικότητα, τα υλικά και τις τεχνικές κατασκευής ενός έργου τέχνης.

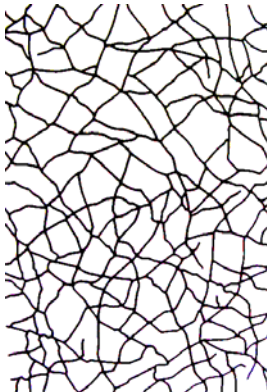
Δεδομένου ότι μέχρι σήμερα τα κριτήρια κατάταξης και ομαδοποίησης των ρωγμών, που παρουσιάζονται στη διεθνή βιβλιογραφία [6,8] δεν βοηθούν στο συσχετισμό της ανάπτυξης του δικτύου ρωγματώσεων με τους χημικούς, τεχνικούς και τους φυσικούς ή μηχανικούς μηχανισμούς που αναπτύσσονται στο σύστημα υλικών, που αντιπροσωπεύει ένα ζωγραφικό έργο, κρίθηκε αναγκαία η αποδοχή των παραγόντων αυτών ως κριτηρίων ταξινόμησης των ρωγμών σε κατηγορίες. Έτσι, στην παρούσα έρευνα υιοθετούνται δυο βασικά κριτήρια ταξινόμησης φθορών που είναι:



Σχήμα 1: Παράλληλες ρωγμές



Σχήμα 2: Πλεγματοειδείς ρωγμές



Σχήμα 3: Δικτυωτές ρωγμές

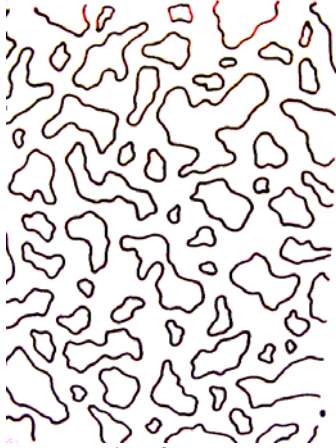
- **οι ενδογενείς παράγοντες** στους οποίους συμπεριλαμβάνονται οι χημικοί και οι τεχνικοί παράγοντες, δηλαδή εκείνοι που σχετίζονται με τη χημική σύσταση των υλικών κατασκευής και την τεχνική κατασκευής του έργου και
- **οι εξωγενείς παράγοντες** στους οποίους συμπεριλαμβάνονται οι φυσικοί και οι μηχανικοί παράγοντες, δηλαδή εκείνοι που σχετίζονται με την επίδραση φυσικών φαινομένων και μηχανικών καταπονήσεων στο έργο.

Η υιοθέτηση της κατηγοριοποίησης των ρωγμών σύμφωνα με τους ενδογενείς (χημικοί και τεχνικοί) και εξωγενείς (φυσικοί και μηχανικοί) παράγοντες διευκολύνει την κατανόηση της σχέσης των ρωγμών με την υλική υπόσταση του έργου παράλληλα με την κατάσταση διατήρησής του, δεδομένου ότι οι παράγοντες αυτοί συχνά αλληλεπικαλύπτονται. Λαμβάνοντας δε υπόψη τα ειδικότερα χαρακτηριστικά των ρωγμών, όπως ενδεικτικά αναφέρεται το σχήμα, το μήκος, το πάχος, τη συχνότητα, τη διάταξη, την κατεύθυνση και τον προσανατολισμό, τότε είναι δυνατόν να προταθεί η παρακάτω κατάταξη των ρωγμών ανάλογα με την οργάνωση και τη μορφολογία των δικτύων:

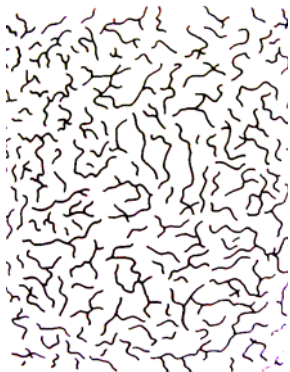
1. **Παράλληλες ρωγμές (Parallel cracks):** Ισόμορφες, γραμμικές, ή οδοντωτές ρωγμές που αναπτύσσονται παράλληλα με το στημόνι του υφασμάτινου υποστηρίγματος ή τη δομή του ξύλου. Ενίοτε αναπτύσσονται παράλληλα και ανεξάρτητα από άλλα είδη ρωγματώσεων (Σχήμα 1).

2. **Διαγώνιες ρωγμές (Diagonal cracks):** Ισόμορφες, γραμμικές, ή οδοντωτές ρωγμές που αναπτύσσουν σχεδόν παράλληλη σχέση μεταξύ τους, αλλά διαγώνια διάταξη προς τον κεντρικό άξονα του πίνακα. Οι ρωγμές αυτές μπορούν να θεωρηθούν, από μαθηματική άποψη, ως υποκατηγορία των παραλλήλων ρωγμών.

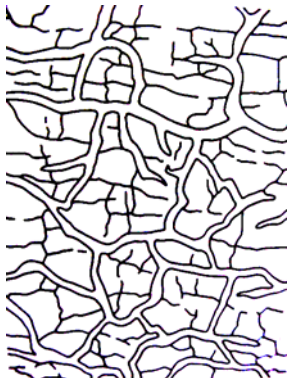
3. **Πλεγματοειδείς ρωγμές (Grid cracks):** Σύστημα ρωγμών με γωνιακή σύνδεση, σχεδόν παράλληλη σχέση μεταξύ τους και διαγώνια κατεύθυνση προς τους κύριους άξονες του πίνακα (Σχήμα 2).



Σχήμα 4: Φλοιώδεις ρωγμές



Σχήμα 5: Φοινικοειδείς ρωγμές



Σχήμα 6: Ακανθώδεις ρωγμές

4. **Δικτυωτές ρωγμές** (Net cracks): Σύστημα ρωγμών με γωνιακή σύνδεση, παράλληλη σχέση μεταξύ τους και διαγώνια κατεύθυνση προς τους κύριους άξονες του πίνακα (Σχήμα 3).

5. **Φλοιώδεις ρωγμές** (Alligator cracks): Μικρής έκτασης ακαθόριστες ρωγμές με μεγάλο πάχος και ασυνεχή γωνιακή σχέση. Περιορίζονται στη ζωγραφική στρώση, αποκαλύπτοντας το υπόστρωμα (προετοιμασία), και δημιουργούν μικρές νησίδες χρώματος σχήματος αντίστοιχου με το δέρμα του αλιγάτορα (Σχήμα 4).

6. **Φοινικοειδείς ρωγμές**: Μικρής έκτασης ακαθόριστες ρωγμές με σχετικά μικρό ή μεσαίο πάχος. Η γωνιακή τους σχέση είναι ασυνεχής και ενίοτε περιορίζονται στη ζωγραφική στρώση αποκαλύπτοντας το υπόστρωμα (προετοιμασία), που εμφανίζεται σε μικρές νησίδες σχήματος αντίστοιχου με το φλοιό του φοινικόδεντρου (Σχήμα 5).

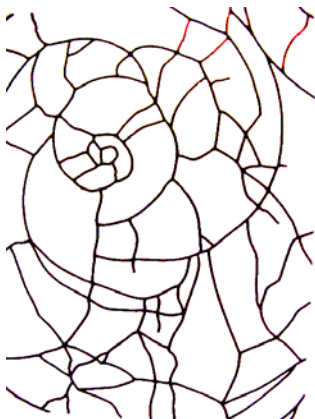
7. **Ακανθώδεις ρωγμές**: Σύστημα ρωγμών στο οποίο η κύριες ρωγμές ακολουθούν μια οριστική κατεύθυνση σε σχέση με τους άξονες του πίνακα και οι δευτερεύουσες αναπτύσσονται σε ακανόνιστες διακλαδώσεις, ανάλογες των ακανθόφυλλων φυτών (Σχήμα 6).

8. **Σπειροειδείς ρωγμές** (Spiral cracks): Κύριες ρωγμές, που αναπτύσσουν σπειροειδή εξέλιξη γύρω από ένα κεντρικό σημείο. Οφείλονται κυρίως στη μεγάλη περιεκτικότητα της προετοιμασίας σε συνδετικό μέσο (Σχήμα 7).

9. **Ακτινωτές ή αραχνοειδείς ρωγμές** (Spoke cracks): Σύστημα δικτύου κατά το οποίο οι κύριες ρωγμές αναπτύσσονται σε ομόκεντρους κύκλους και οι δευτερεύουσες σε μορφή ακτινών. Τα συνήθη αίτια προσδιορίζονται σε μηχανικές πιέσεις που ασκούνται στην πρόσθια ή πίσω όψη του έργου (Σχήμα 8).

10. **Στεφανιαίες ή περιμετρικές ρωγμές** (Garland or stretcher cracks): Μεγάλου μήκους ρωγμές, που εμφανίζονται κυρίως στις εξωτερικές περιοχές ή στις γωνίες του έργου και οφείλονται στην ένταση του εφελκυσμού ή την καταπόνηση του υφασμάτινου υποστηρίγματος από την επαφή του με την εσωτερική ακμή του

τελάρου. Παρουσιάζουν άτακτη γωνιαία σχέση μεταξύ τους και κατεύθυνση ανάλογη με τους παράγοντες που τις προκαλούν (Σχήμα 9).



Σχήμα 7: Σπειροειδείς ρωγμές



Σχήμα 8: Ακτινωτές ή αραχνοειδείς ρωγμές



Σχήμα 9: Στεφανιαίες ρωγμές

11. **Ρωγμές σχήματος ταξιανθίας σταχυού** (Corn ear cracks): Το σχήμα τους μοιάζει με τον τρόπο διάταξης των ανθέων στο στέλεχος του φυτού του σιταριού (στάχυ). Παρατηρούνται κυρίως σε έργα ζωγραφισμένα σε υφασμάτινα υποστηρίγματα και οφείλονται σε μηχανικές καταπονήσεις όπως π.χ. πιέσεις στην πρόσθια ή στην πίσω όψη του έργου. Σπανίως συναντώνται σε έργα πάνω σε ξύλινο υποστήριγμα, ενώ το σχήμα τους σ' αυτή την περίπτωση είναι σαφώς περισσότερο συμπυκνωμένο.

12. **Φλογώδεις ρωγμές** (Flame cracks): Μικρής έκτασης ρωγμές της ζωγραφικής στρώσης στο στάδιο της ξήρανσης.

13. **Τεχνοτροπικές ρωγμές** (Brushstroke cracks): Ρωγμές οι οποίες δημιουργούνται στο στάδιο ξήρανσης της ζωγραφικής επιφάνειας και ακολουθούν τη φορά του χρωστήρα ή της ζωγραφικής εφαρμογής αναλόγως, ενώ στη διάρκεια του χρόνου εξελίσσονται σε ρωγμές γήρανσης.

Στο σύνολό τους τα προαναφερόμενα είδη δικτύων ρωγμών παρουσιάζουν κοινά χαρακτηριστικά και διαφορές ως προς την ανάπτυξή τους σε συγκεκριμένα επίπεδα και περιοχές, ή στο σύνολο της στρωματογραφικής δομής του έργου. Σε γενικές γραμμές θα μπορούσε κανείς να συνοψίσει ότι οι ρωγμές οι οποίες οφείλονται σε περιβαλλοντικούς παραμέτρους ή την πάροδο του χρόνου παρουσιάζουν οξείες αιχμές με λεπτές καταλήξεις, ομοιόμορφη ή συμμετρική κατανομή των χωρίων, ενώ διαπερνούν την προετοιμασία, το σύνολο των ζωγραφικών στρώσεων και του παλαιού βερνικιού. Αντίθετα, αυτές των οποίων τα αίτια δημιουργίας τους ανταποκρίνονται σε ενδογενείς παράγοντες (χημικούς ή τεχνικούς) εμφανίζονται περισσότερο διευρυμένες, με στρογγυλεμένα άκρα και ανιχνεύονται αποκλειστικά στη ζωγραφική στρώση, χωρίς δηλαδή να επεκτείνονται στην προετοιμασία. Το προτεινόμενο σύστημα αναγνώρισης και αξιολόγησης των ρωγμών προβλέπει την αντιστοιχία των διαφορετικών δικτύων με την πιθανή παθολογία του

αντικειμένου, όπως μέχρι σήμερα έχει καταγραφεί από τη συσσωρευμένη εμπειρία των συντηρητών έργων τέχνης και τις εξειδικευμένες μελέτες των ειδικών επιστημόνων στον τομέα της διάγνωσης.

3. Μαθηματική μεθοδολογία

Στο πρώτο αυτό στάδιο της έρευνας επελέγησαν εννέα αντιπροσωπευτικοί τύποι ρωγματώσεων (Σχήματα 1 - 9) από τους το σύνολο των δεκατριών κατηγοριών που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο στους οποίους εφαρμόστηκαν μορφολογικοί τελεστές και ψηφιακά φίλτρα με σκοπό τον έλεγχο της μαθηματικής διαδικασίας για την ανίχνευση του δικτύου ρωγματώσεων από πραγματικές εικόνες έργων τέχνης.

Στην εικόνα 1 παρουσιάζεται ένα τυπικό παράδειγμα ρωγμών σε έργα ζωγραφικής. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό το δίκτυο ρωγματώσεων είναι σαφώς ορατό και μπορεί να προσδιοριστεί εύκολα από το ανθρώπινο σύστημα όρασης: το δίκτυο ρωγματώσεων απεικονίζεται με τα σκούρα εικονοστοιχεία (pixels) ενώ το φόντο με τα φωτεινότερα. Προφανώς, όσο αφορά το ανθρώπινο οπτικό σύστημα, ο προσδιορισμός των περιοχών του δικτύου ρωγματώσεων δεν είναι ιδιαίτερα δύσκολο πρόβλημα εφ' όσον η εικόνα δεν είναι ιδιαίτερα διαστρεβλωμένη από το θόρυβο. Η αυτόματη εξαγωγή του δικτύου ρωγματώσεων από τον υπολογιστή με ανεκτό περιθώριο λάθους είναι αρκετά δύσκολη διαδικασία, ειδικά όταν εξετάζεται μεγάλη συλλογή εικόνων, οι οποίες έχουν διαφορετικά επίπεδα φωτισμού, αντίθεσης, θορύβου και έντασης.

Η αυτόματη εξαγωγή του δικτύου ρωγματώσεων από τις ψηφιακές εικόνες των έργων τέχνης είναι, λοιπόν, ένα δύσκολο προς επίλυση ζήτημα το οποίο συνδέεται άμεσα και με άλλα παρόμοια προβλήματα που αντιμετωπίζονται από την ψηφιακή επεξεργασία εικόνων όπως δακτυλικά αποτυπώματα, ιατρικές εικόνες με ιστούς και αρτηρίες, φωτογραφίες από δορυφόρους με ποτάμια και δρόμους [9,10,11,12 και 13].

Το δεύτερο στάδιο, που και αυτό αποτελεί πρόκληση για τον ερευνητή και ακολουθεί το στάδιο ανίχνευσης του δικτύου ρωγματώσεων είναι εξίσου δύσκολο με το πρώτο στάδιο και αφορά στην εξαγωγή ποσοτικοποιημένων χαρακτηριστικών, δηλαδή μορφολογικών και γεωμετρικών γνωρισμάτων, τα οποία θα

λειτουργήσουν ως κριτήρια ταξινόμησης. Τα ποσοτικά γνωρίσματα πρέπει να είναι τέτοια που να επιτρέπουν την διάκριση του ενός τύπου ρωγματώσεων από τον άλλο τύπο ανάλογα με το ειδικό ενδιαφέρον και τους στόχους της προσέγγισης.

Συμπερασματικά, όλη η μαθηματική διαδικασία απαρτίζεται από τα παρακάτω στάδια [14]:

1. την ανίχνευση του δικτύου ρωγματώσεων,
2. την εξαγωγή των επιλεγμένων ποσοτικοποιημένων μορφολογικών και γεωμετρικών χαρακτηριστικών του και
3. την κατάταξη των ζωγραφικών έργων σύμφωνα με τη μορφολογία του δικτύου.

4. Εξαγωγή του δικτύου ρωγματώσεων

Οι ρωγματώσεις μπορούν να ανιχνευθούν σε μία ψηφιακή εικόνα με την εφαρμογή ενός πολύ χρήσιμου μορφολογικού φίλτρου που είναι γνωστό στη διεθνή βιβλιογραφία και ως μετασχηματισμός «top-hat» [15]. Με την χρήση του συγκεκριμένου μετασχηματισμού είναι δυνατό να τονιστούν οι σκούρες λεπτομέρειες σε μία ψηφιακή εικόνα με φωτεινότερο φόντο ή και το αντίθετο. Οι ψηφιακές φωτογραφίες των έργων τέχνης που μελετώνται στη παρούσα έρευνα έχουν συνήθως φωτεινό φόντο ενώ το δίκτυο ρωγματώσεων εμφανίζεται σε αυτές με σκούρους τόνους. Πρέπει εδώ να τονιστεί ότι η επιλογή των περιοχών με ρωγματώσεις στις οποίες εφαρμόζεται το μορφολογικό φίλτρο γίνεται προσεκτικά, έτσι ώστε η ψηφιακή φωτογραφία της περιοχής του δικτύου να έχει όσο το δυνατό ενιαίο τόνο και να μη περιέχει θεματικές λεπτομέρειες οι οποίες μπορεί να εκληφθούν ως ρωγματώσεις.

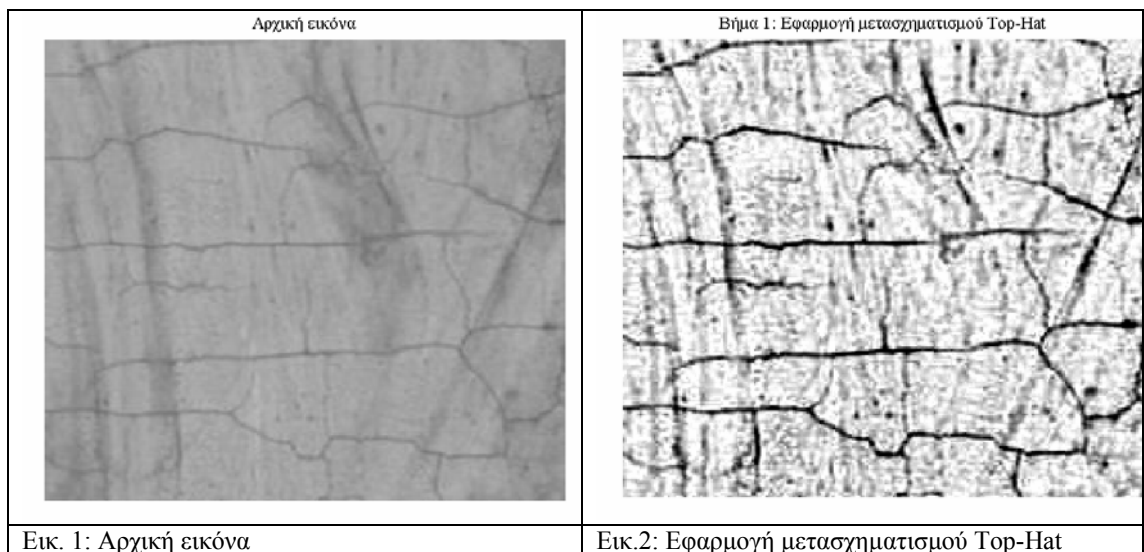
Ο τελεστής «top-hat» είναι δυνατό να ρυθμιστεί για την ανίχνευση των ρωγματώσεων αλλάζοντας δύο σημαντικές παραμέτρους:

- το σχήμα και το μέγεθος του δομικού στοιχείου που χρησιμοποιεί ανάλογα με το πάχος των ρωγμών που πρέπει να εντοπιστούν και
- τον αριθμό των επαναλήψεων εφαρμογής του φίλτρου στη ψηφιακή εικόνα.

Το αποτέλεσμα της εφαρμογής του παραπάνω τελεστή σε μία ψηφιακή εικόνα με ένα δίκτυο ρωγματώσεων έχει ως έξοδο μία ψηφιακή εικόνα σε τόνους του γκριζου (grayscale image) στην οποία έχουν τονιστεί οι περιοχές ενδιαφέροντος δηλαδή το δίκτυο ρωγματώσεων σε σχέση με το φόντο (Εικ. 2). Το επόμενο βήμα είναι η μετατροπή αυτής της ψηφιακής εικόνας σε δυαδική (εικόνα της οποίας τα pixels έχουν μόνο δύο πιθανές τιμές 0 ή 1) με την χρήση του κατάλληλου κατωφλίου (thesholding).

Η τεχνική κατωφλίωσης σε ψηφιακές εικόνες επιπέδων του γκριζου αφορά στην επιλογή μίας τιμής φωτεινότητας (κατώφλι) για την οποία όλα τα εικονοστοιχεία που έχουν φωτεινότητα μικρότερη από το επιλεγμένο κατώφλι θεωρούνται ως φόντο (τιμή 0) ενώ αυτά με φωτεινότητα μεγαλύτερη από το επιλεγέν κατώφλι αποτελούν το δίκτυο ρωγματώσεων που μας ενδιαφέρει (τιμή 1). Η επιλογή μίας τιμής κατωφλίου για ολόκληρη την προς επεξεργασία ψηφιακή εικόνα δεν είναι καλή στρατηγική για την εξαγωγή του δικτύου ρωγματώσεων ιδιαίτερα στη περίπτωση μεγάλων εικόνων λόγω διαφορών φωτεινότητας μεταξύ των περιοχών της εικόνας. Προκειμένου να ξεπεραστεί αυτή η δυσκολία εφαρμόστηκε μια μαθηματική επεξεργασία γνωστή ως variable thresholding [16] με την οποία σε διαφορετικές περιοχές της εικόνας μπορούν να εφαρμοστούν διαφορετικά κατώφλια τα οποία υπολογίζονται με χρήση του αλγόριθμου Otsu [17] (Εικ. 3), σε συνδυασμό με την εφαρμογή φίλτρων απομάκρυνσης θορύβου (Εικ. 4).

Ο κύριος στόχος στο επόμενο στάδιο είναι η εύρεση ενός



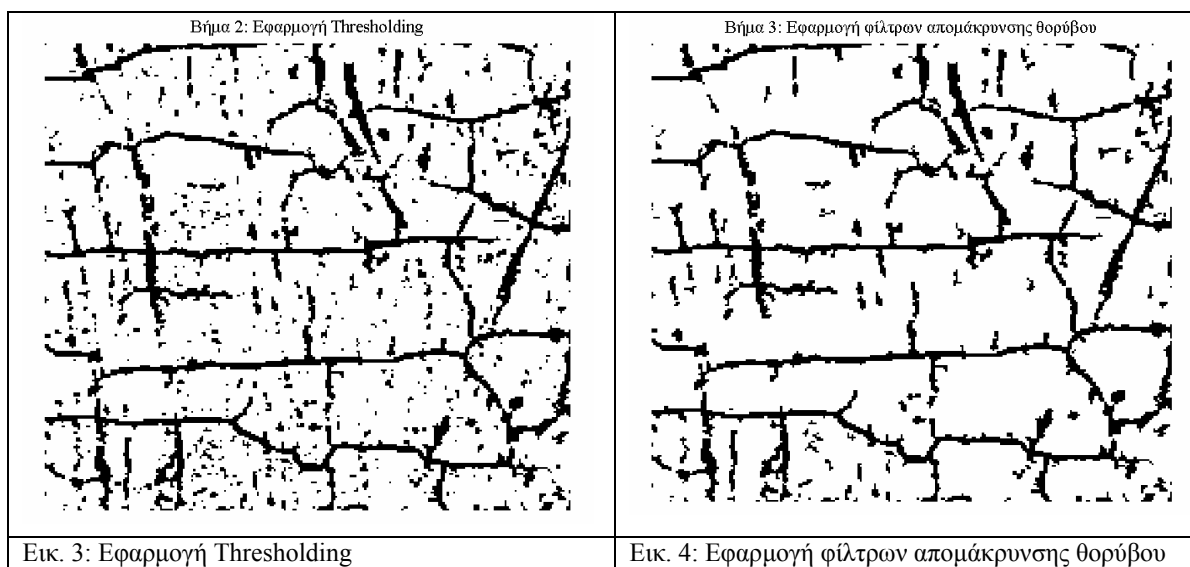
ΠΡΟΤΑΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΡΩΓΜΑΤΩΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΗΣ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΣΕ ΖΩΓΡΑΦΙΚΑ ΕΡΓΑ.

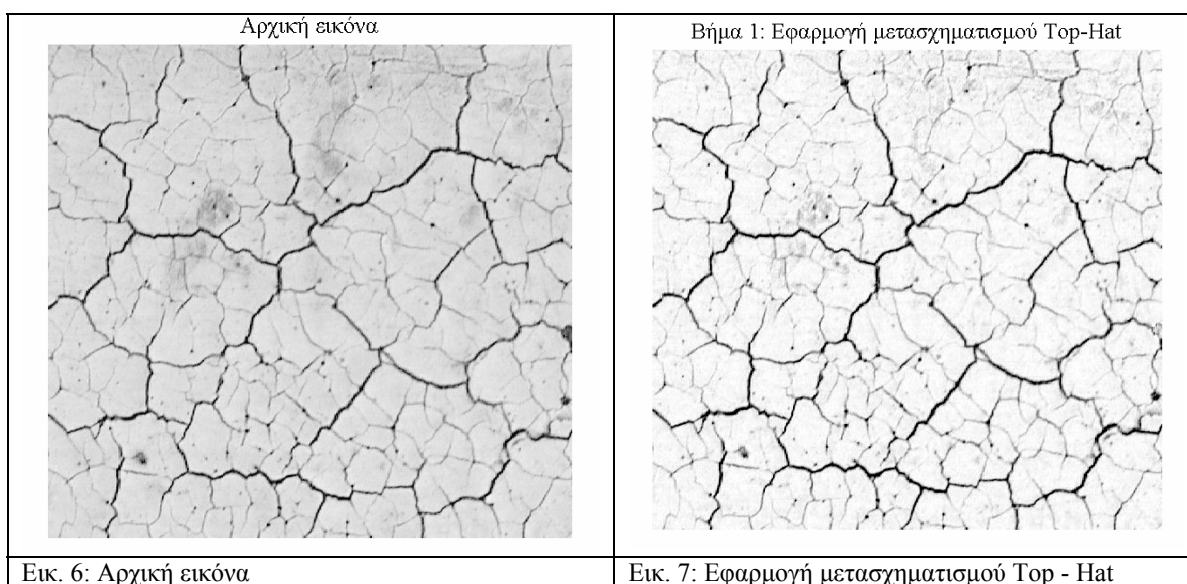
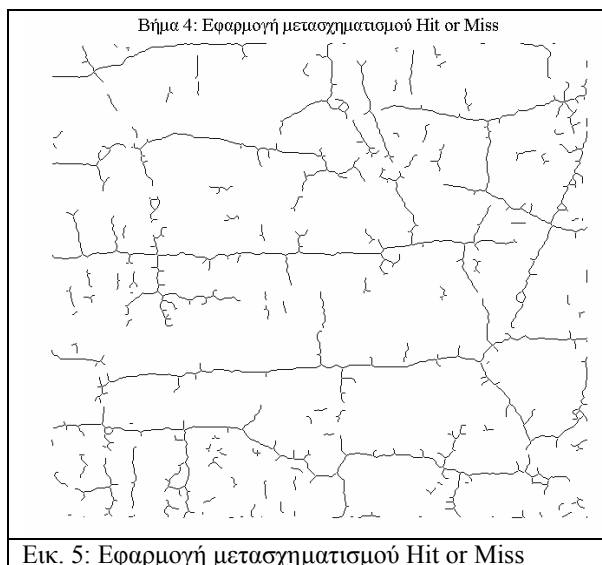
Αλεξοπούλου Αθηνά, Κουτσουνής Αναστάσιος, Παναγόπουλος Αθανάσιος, Γερακάρη Κατερίνα.

τρόπου να περιγραφούν αριθμητικά τα δίκτυα ρωγματώσεων. Η διαδικασία αυτή διευκολύνεται εάν οι προς επεξεργασία ρωγμές έχουν πλάτος ένα pixel. Παρόλο που το πλάτος των ρωγμών μπορεί να θεωρηθεί σημαντικό για το χαρακτηρισμό του δικτύου ρωγματώσεων, είναι αναγκαίο αυτό να αγνοηθεί, ώστε να διευκολυνθεί η περαιτέρω επεξεργασία. Η υπόθεση αυτή δεν θεωρούμε ότι επιφέρει σφάλμα στην εφαρμογή της μεθοδολογίας δεδομένου ότι ο χαρακτηρισμός του δικτύου βασίζεται σε άλλα χαρακτηριστικά. Οι ρωγμές λοιπόν «λεπταίνουν» με την χρήση του αλγορίθμου ψηφιακής επεξεργασίας δυαδικών εικόνων «hit-or-miss» [18] (Εικ. 5). Με την χρήση κατάλληλων απλών φίλτρων στις προκύπτουσες δυαδικές εικόνες είναι δυνατή η περαιτέρω εξάλειψη του θορύβου.

Στις εικόνες 6 - 10 παρουσιάζεται η ίδια διαδικασία εφαρμογής της παραπάνω μεθοδολογίας για έναν άλλο τύπο δικτύου ρωγματώσεων.

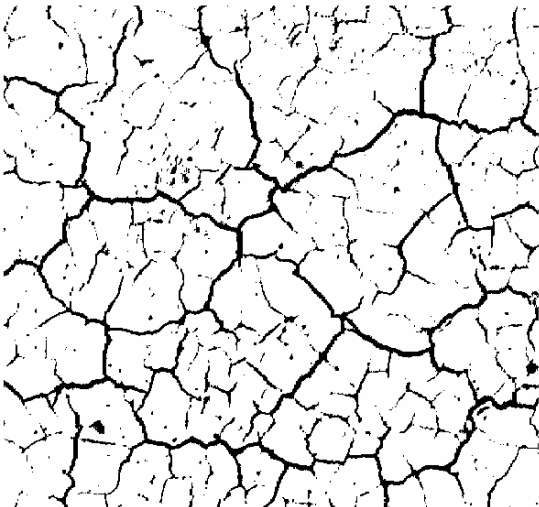
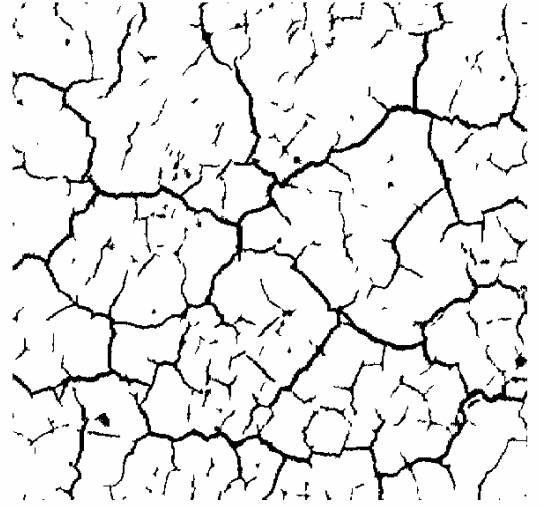
Είναι εξαιρετικά δύσκολο να επιτευχθεί υψηλή ακρίβεια στην εξαγωγή των δικτύων ρωγματώσεων. Παρόλα αυτά εξαιτίας του γεγονότος ότι επιτυγχάνεται η ανίχνευση μεγάλου ποσοστού των ρωγμών σε σχέση με τον θόρυβο το αποτέλεσμα αυτού του σταδίου θεωρείται γενικά αποδεκτό για την περαιτέρω επεξεργασία.





ΠΡΟΤΑΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΡΩΓΜΑΤΩΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΗΣ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΣΕ ΖΩΓΡΑΦΙΚΑ ΕΡΓΑ.

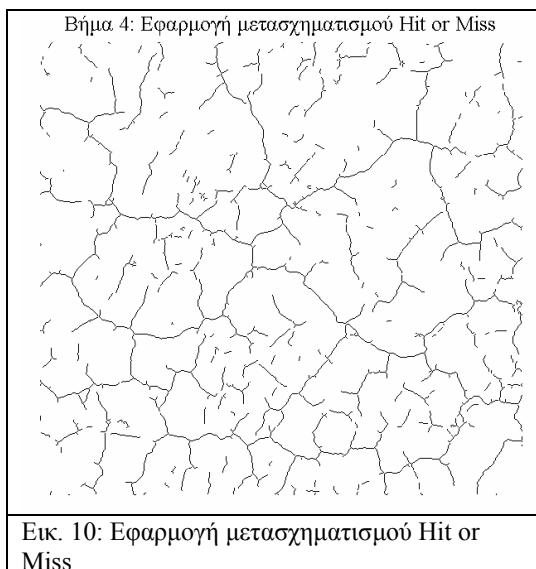
Αλεξοπούλου Αθηνά, Κουτσουνής Αναστάσιος, Παναγόπουλος Αθανάσιος, Γερακάρη Κατερίνα.

<p>Βήμα 2: Εφαρμογή Thresholding</p> 	<p>Βήμα 3: Εφαρμογή φίλτρων απομάκρυνσης θορύβου</p> 
<p>Εικ. 8: Εφαρμογή Thresholding</p>	<p>Εικ. 9: Εφαρμογή φίλτρων απομάκρυνσης θορύβου</p>

5. Εξαγωγή γεωμετρικών και μορφολογικών χαρακτηριστικών

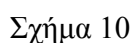
Από τη στιγμή που έχει επιτευχθεί η διάκριση του δικτύου ρωγματώσεων από το φόντο, η περαιτέρω ανάλυση αυτού απαιτεί τη αναπαράσταση των ρωγμών με ποσοτικούς όρους. Ο κύριος στόχος λοιπόν, στο στάδιο αυτό είναι η εύρεση του κατάλληλου τρόπου ώστε να περιγραφούν αριθμητικά τα δίκτυα ρωγματώσεων.

Στην προσέγγιση που υιοθετήθηκε στην παρούσα μελέτη θεωρήθηκε ότι τα δίκτυα ρωγματώσεων χαρακτηρίζονται από συνεχή τμήματα τα οποία ή διασταυρώνονται μεταξύ τους ή έχουν δύο καταληκτικά σημεία, (Σχήμα 10).



ΠΡΟΤΑΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΡΩΓΜΑΤΩΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΗΣ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΣΕ ΖΩΓΡΑΦΙΚΑ ΕΡΓΑ.

Αλεξοπούλου Αθηνά, Κουτσουνής Αναστάσιος, Παναγόπουλος Αθανάσιος, Γερακάρη Κατερίνα.



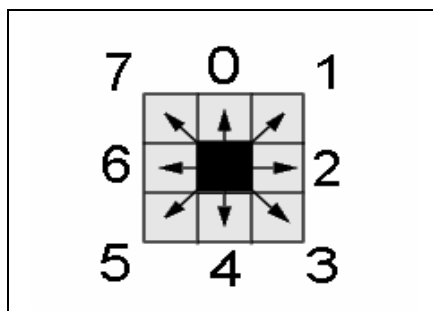
Λεπτομέρεια από δίκτυο ρωγματούσεων. Με κόκκινο είναι οι διασταυρώσεις ενώ με πράσινο τα καταληκτικά σημεία των τμημάτων που το αποτελούν.

Παρατηρώντας τα σχήματα 1-9 που αντιπροσωπεύουν τους διαφορετικούς τύπους δικτύων είναι φανερό ότι αφενός ο προσανατολισμός και η καμπυλότητα των τμημάτων που αποτελούν το δίκτυο και αφετέρου το μήκος των τμημάτων αυτού είναι χαρακτηριστικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατάταξη ενός δικτύου ρωγματούσεων. Προκειμένου να εξαχθούν τόσο τα προαναφερθέντα αλλά και επιπλέον χαρακτηριστικά των δικτύων χρησιμοποιήθηκε μία απλή τεχνική που περιλαμβάνει την εφαρμογή ενός αλγόριθμου «παρακολούθησης» του δικτύου στις εικόνες που προέκυψαν από το προηγούμενο στάδιο. Τα βασικά βήματα συνοψίζονται ως εξής:

1. Όλα τα σημαντικά σημεία του δικτύου όπως διασταυρώσεις και καταληκτικά σημεία υπολογίζονται με την χρήση κατάλληλων αλγορίθμων και σημειώνονται.
2. Επιλέγεται μία διασταύρωση ή ένα καταληκτικό σημείο.
3. Ο αλγόριθμος ξεκινά από αυτό το σημείο και «τρέχει» πάνω στη ρογή μέχρι να συναντήσει μία καινούργια διασταύρωση ή καταληκτικό σημείο.
4. Η διαδρομή που «διανύθηκε» θεωρείται ένα τμήμα του δικτύου. Για την κωδικοποίηση της κατεύθυνσης του κάθε pixel αυτού του τμήματος χρησιμοποιήθηκε ο κωδικός αλυσίδας Freeman [19], (Σχήμα 11).

ΠΡΟΤΑΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ
ΡΩΜΑΤΩΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΗΣ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΣΕ
ΖΩΓΡΑΦΙΚΑ ΕΡΓΑ.

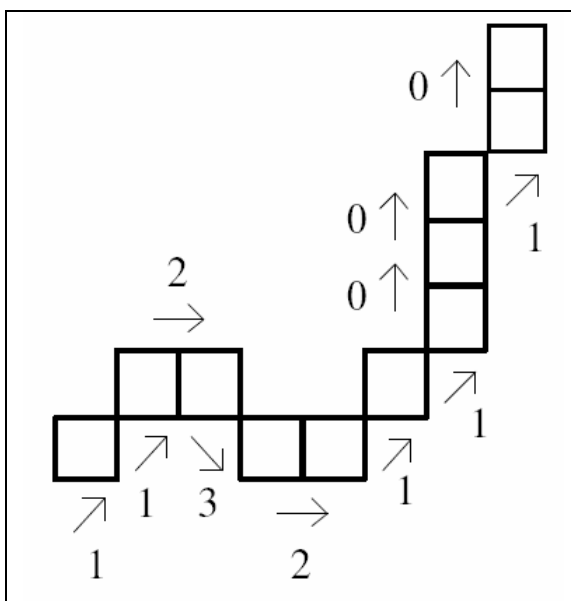
Αλεξοπούλου Αθηνά, Κουτσουρής Αναστάσιος, Παναγόπουλος Αθανάσιος, Γερακάρη Κατερίνα.



Σχήμα 11

Κωδικοποίηση Freeman. Αν θεωρήσουμε ότι ο αλγόριθμος «παρακολούθησης» του δικτύου ρωγμάτων βρίσκεται στο κεντρικό pixel η κατεύθυνση του επόμενου pixel είναι μία από τις 0,1,2,3,4,5,6 ή 7.

5. Ο αλγόριθμος επιστρέφει στο βήμα 2 όπου επιλέγεται μία νέα διασταύρωση ή καταληκτικό σημείο.
6. Ο αλγόριθμος τερματίζει όταν εξαντληθούν όλα τα pixel του δικτύου ρωγματώσεων, (Σχήμα 12).



Σχήμα 12

Κωδικοποίηση της κατεύθυνσης του κάθε pixel αυτού του τμήματος με χρήση της κωδικοποίησης Freeman. Το συγκεκριμένο τμήμα αντιστοιχεί στην αλληλουχία 1 1 2 3 2 1 1 0 0 1 0.

Τα ποσοτικά δεδομένα που αφορούν στην μορφολογία του δικτύου και συλλέγονται καθώς ο παραπάνω αλγόριθμος «τρέχει» πάνω στα τμήματα που αποτελούν το εκάστοτε δίκτυο ρωγματούσεων είναι [14]:

ΠΡΟΤΑΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ
ΡΩΓΜΑΤΩΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΗΣ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΣΕ
ΖΩΓΡΑΦΙΚΑ ΕΡΓΑ.

Αλεξοπούλου Αθηνά, Κουτσουρήs Αναστάσιος, Παναγόπουλος Αθανάσιος, Γερακάρη Κατερίνα.

1. Συνολικός αριθμός διασταυρώσεων
2. Συνολικός αριθμός τμημάτων
3. Μήκος τμημάτων (Υπολογισμός μέσου μήκους και διασποράς των τμημάτων)
4. Προσανατολισμός τμημάτων (Χρησιμοποίηση των κωδικών αλυσίδας Freeman που έχουν υπολογιστεί για το κάθε τμήμα προκειμένου να κατασκευασθούν αντίστοιχα ιστογράμματα τα οποία παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τον κυρίαρχο προσανατολισμό των τμημάτων του δικτύου πχ κάθετος, οριζόντιος, διαγώνιος, κυκλικός, συνδυασμός κάποιων από τα προηγούμενα)
5. Συνολικό μήκος δικτύου
6. Βαθμός σημαντικότητας του κάθε τμήματος (λόγος του μήκους κάθε τμήματος προς το συνολικό μήκος του δικτύου)
7. Λόγος μήκους ευθείας γραμμής προς πραγματικό μήκος τμήματος για το κάθε τμήμα, που εκφράζει τον λόγο του μήκους της ευθείας που ενώνει την αρχή και το τέλος του τμήματος ως προς το πραγματικό μήκος του τμήματος. Πρόκειται για ένα χαρακτηριστικό που μας δείχνει πόσο «ευθύ» είναι ένα τμήμα του δικτύου. Μικρή τιμή δείχνει ότι το τμήμα είναι αρκετά «καμπύλο» ή με «πριονωτή» μορφή.

Η εφαρμογή της μαθηματικής μεθοδολογίας που παρουσιάστηκε παραπάνω στις εννέα αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις δικτύου ρωγματούσεων μπορεί να οδηγήσει στην διαμόρφωση ορισμένων κριτηρίων για την κατάταξη ενός δικτύου ρωγμάτωσης στις προαναφερθείσες κατηγορίες. Τα κριτήρια αυτά είναι:

1. **Η διασπορά του μήκους των τμημάτων που αποτελούν το δίκτυο ρωγματούσεων.** Πράγματι όπως φαίνεται στο σχήμα 13 τα δίκτυα με τιμή κοντά στο 1 (βλ. αντίστοιχα σχήματα 1,4 και 9) είναι αυτά στα οποία τα μήκη των τμημάτων που τα αποτελούν παρουσιάζουν την μεγαλύτερη διασπορά.
2. **Ο προσανατολισμός του δικτύου ρωγματούσεων.** Όπως φαίνεται στο σχήμα 14 τα δίκτυα με τιμή κοντά στο 1 (βλ. αντίστοιχα σχήματα 1,2 και 9) είναι αυτά στα οποία η

συντριπτική πλειοψηφία των τμημάτων που τα αποτελούν παρουσιάζουν παρόμοιο προσανατολισμό (κάθετο στο 1, οριζόντιο στο 2, διαγώνιο στο 9).

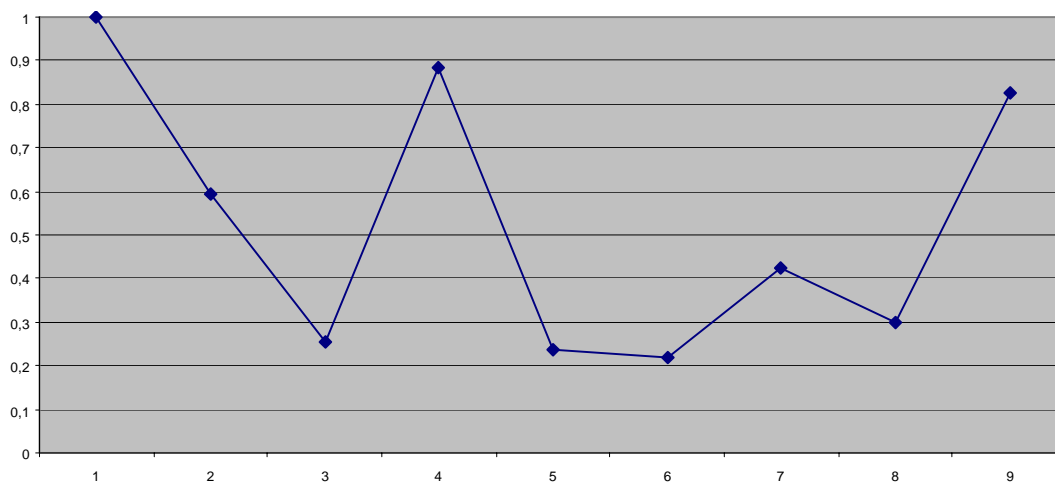
3. **Ο αριθμός διασταυρώσεων ανά τετραγωνική ρίζα μήκους του δικτύου ρωγματώσεων.** Τα δίκτυα με τις μεγαλύτερες τιμές (βλ. αντίστοιχα σχήματα 3,6 και 8) είναι αυτά στα οποία παρουσιάζονται οι περισσότερες διασταυρώσεις μεταξύ των τμημάτων που τα αποτελούν, (Σχήμα 15).
4. **Ο αριθμός τμημάτων ανά τετραγωνική ρίζα μήκους του δικτύου ρωγματώσεων.** Τα δίκτυα με τις μεγαλύτερες τιμές (βλ. αντίστοιχα σχήματα 3,5 και 6) είναι αυτά στα οποία παρουσιάζονται τα περισσότερα τμήματα σε σχέση με το συνολικό μήκος τους, (Σχήμα 16).
5. **Δείκτης «κυκλικότητας».** Όπως φαίνεται στο σχήμα 17 τα δίκτυα με τις μεγαλύτερες τιμές (βλ. αντίστοιχα σχήματα 3,4,5,7 και 8) είναι αυτά στα οποία τα τμήματα που τα αποτελούν είναι τοποθετημένα προς όλες τις κατευθύνσεις.
6. **Δείκτης ορθογωνιότητας.** Το δίκτυο με την μεγαλύτερη τιμή (βλ. αντίστοιχο σχήμα 2) είναι αυτό στο οποίο τα τμήματα που το αποτελούν είναι κυρίως τοποθετημένα προς δύο κατευθύνσεις κάθετες μεταξύ τους, (Σχήμα 18).
7. **Δείκτης «ομοιοκατευθυντικότητας».** Όπως φαίνεται στο σχήμα 19 το δίκτυο με την μεγαλύτερη τιμή (βλ. αντίστοιχο σχήμα 1) είναι αυτό στο οποίο τα τμήματα που το αποτελούν είναι κυρίως τοποθετημένα προς μία κατεύθυνση.

6. Κατάταξη των δικτύων ρωγματώσεων

Απώτερος στόχος της παρούσας μελέτης είναι η κατάταξη ενός δικτύου ρωγματώσεων σε κάποια από τις κατηγορίες που περιγράφονται. Τα στάδια της μεθοδολογίας που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους αφορούν στην εξαγωγή της κατάλληλης πληροφορίας και τελικά η προσοχή στρέφεται στη κατάταξη και στη διάκριση χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα ποσοτικά μεγέθη. Προκειμένου να γίνει επιτυχώς αυτό πρέπει να επιλεγούν εκείνα τα ποσοτικά χαρακτηριστικά που οδηγούν στην όσο το δυνατό πιο ασφαλή διαφοροποίηση των κατηγοριών.

Επομένως, τα μελλοντικά στάδια αυτής της μελέτης αφορούν την διεξαγωγή εξαντλητικών δοκιμών και συγκέντρωση αποτελεσμάτων πάνω σε μεγάλο αριθμό διαφορετικών δικτύων ρωγματώσεων που θα οδηγήσουν στην εύρεση και επιλογή των κατάλληλων γεωμετρικών χαρακτηριστικών βάσει των οποίων θα επιτυγχάνεται η κατάταξη.

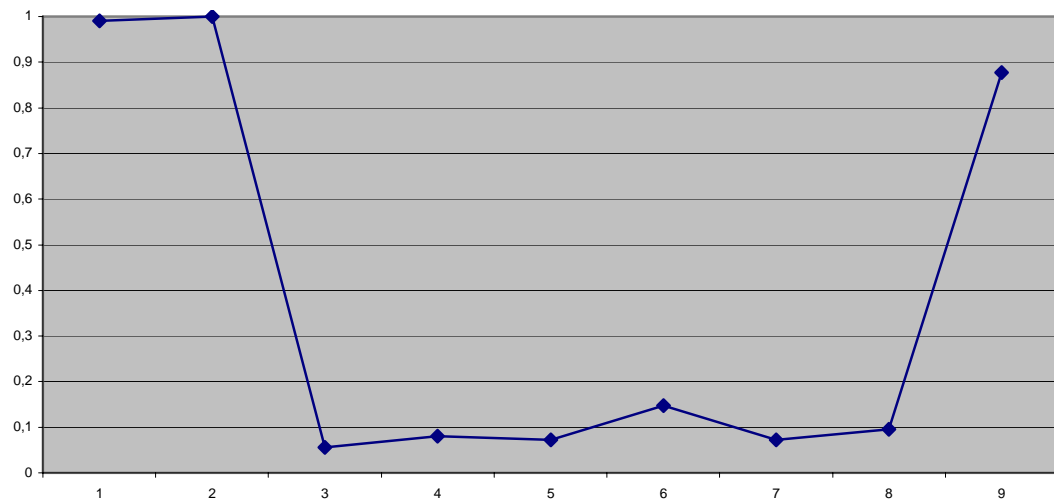
Διασπορά του μήκους των τμημάτων που αποτελούν το δίκτυα ρωγματώσεων



Σχήμα 13

Τα δίκτυα με τιμή κοντά στο 1 (βλ. αντίστοιχα σχήματα 1,4 και 9) είναι αυτά στα οποία τα μήκη των τμημάτων που τα αποτελούν παρουσιάζουν την μεγαλύτερη διασπορά.

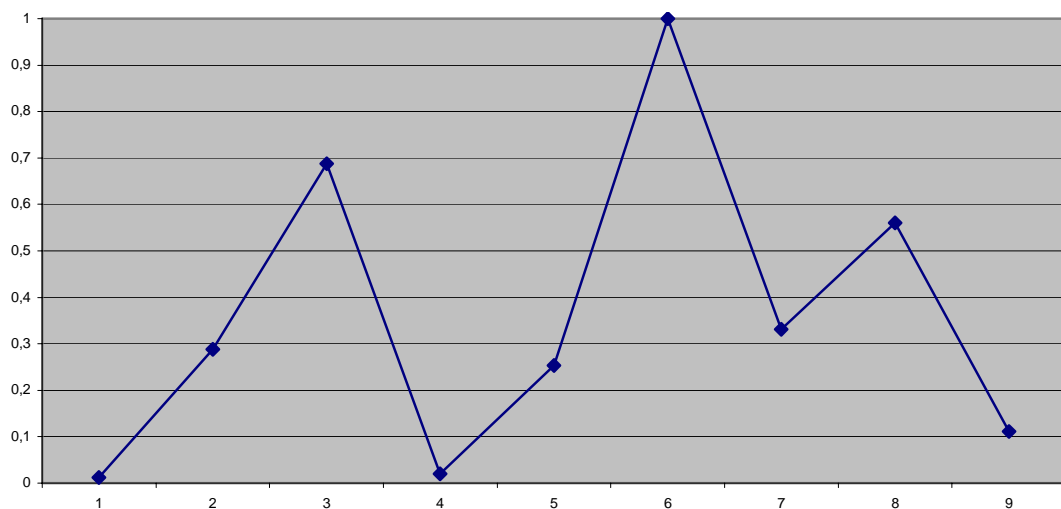
Προσανατολισμός των δικτύων ρωγματώσεων



Σχήμα 14

Τα δίκτυα με τιμή κοντά στο 1 (βλ. αντίστοιχα σχήματα 1,2 και 9) είναι αυτά στα οποία η συντριπτική πλειοψηφία των τμημάτων που τα αποτελούν παρουσιάζουν παρόμοιο προσανατολισμό (κάθετο στο 1, οριζόντιο στο 2, διαγώνιο στο 9).

Αριθμός διασταυρώσεων ανά τετραγωνική ρίζα μήκους του δικτύου ρωγματώσεων



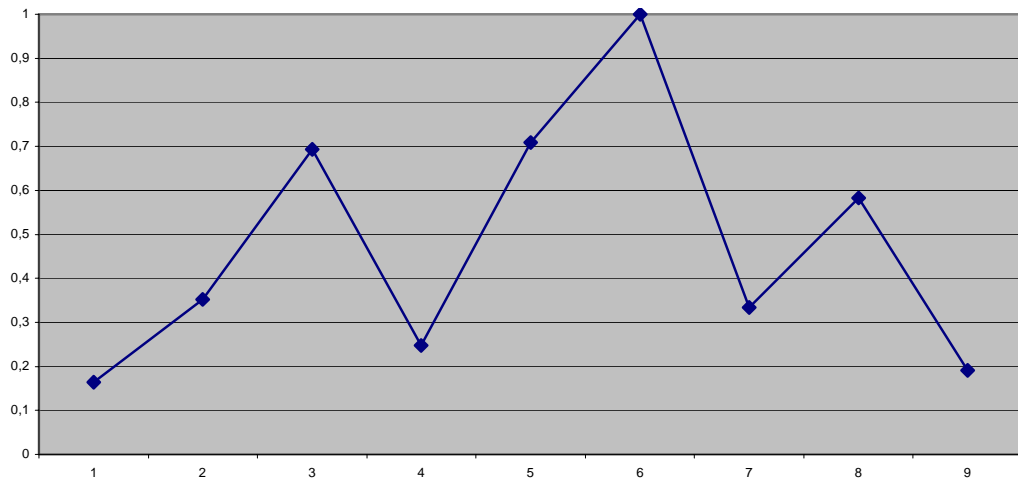
Σχήμα 15

Τα δίκτυα με τις μεγαλύτερες τιμές (βλ. αντίστοιχα σχήματα 3,6 και 8) είναι αυτά στα οποία παρουσιάζονται οι περισσότερες διασταυρώσεις μεταξύ των τμημάτων που τα αποτελούν.

ΠΡΟΤΑΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΡΩΓΜΑΤΩΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΗΣ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΣΕ ΖΩΓΡΑΦΙΚΑ ΕΡΓΑ.

Αλεξοπούλου Αθηνά, Κουτσουνής Αναστάσιος, Παναγόπουλος Αθανάσιος, Γερακάρη Κατερίνα.

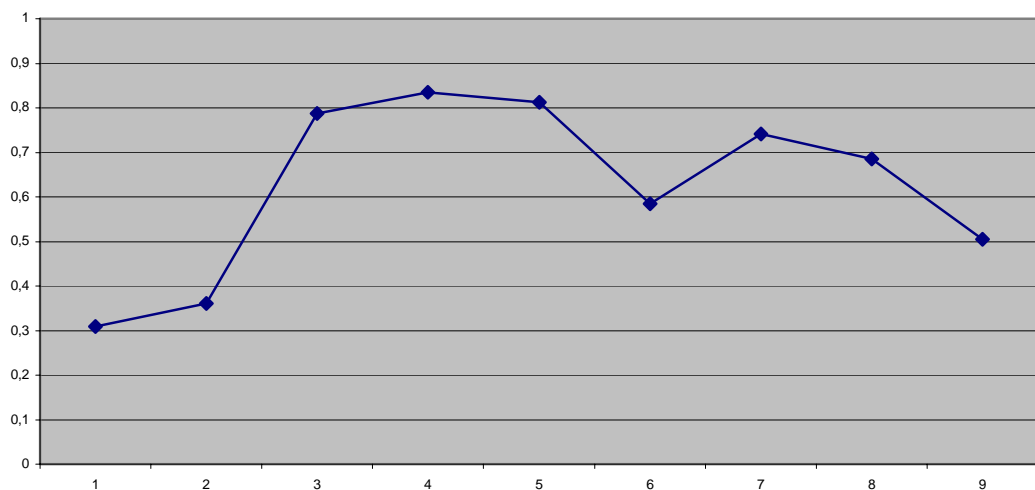
Αριθμός τμημάτων ανά τετραγωνική ρίζα μήκους του δικτύου ρωγματώσεων



Σχήμα 16

Τα δίκτυα με τις μεγαλύτερες τιμές (βλ. αντίστοιχα σχήματα 3,5 και 6) είναι αυτά στα οποία παρουσιάζονται τα περισσότερα τμήματα σε σχέση με το συνολικό μήκος τους.

Δείκτης "κυκλικότητας" δικτύου ρωγματώσεων



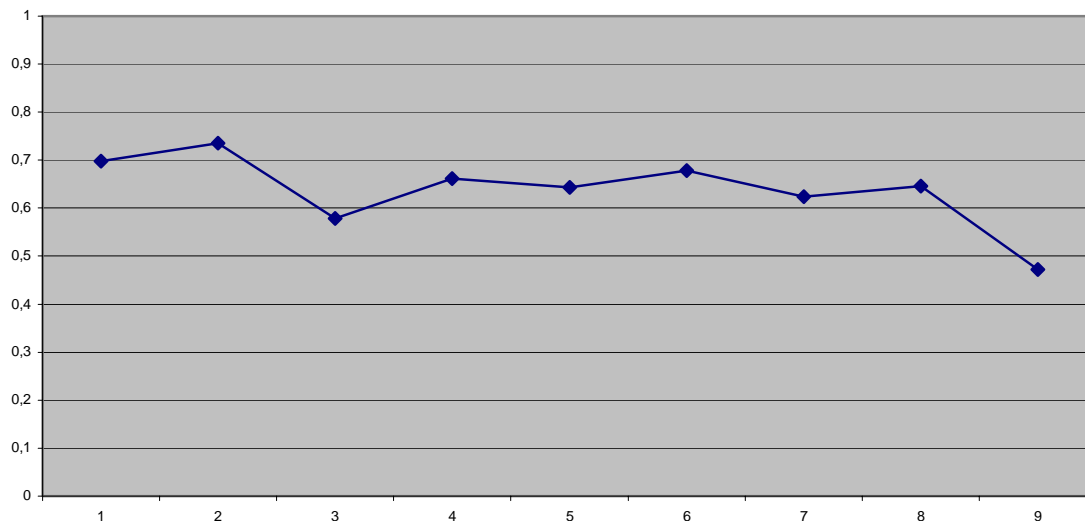
Σχήμα 17

Τα δίκτυα με τις μεγαλύτερες τιμές (βλ. αντίστοιχα σχήματα 3,4,5,7 και 8) είναι αυτά στα οποία τα τμήματα που τα αποτελούν είναι τοποθετημένα προς όλες τις κατευθύνσεις.

ΠΡΟΤΑΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΡΩΓΜΑΤΩΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΗΣ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΣΕ ΖΩΓΡΑΦΙΚΑ ΕΡΓΑ.

Αλεξοπούλου Αθηνά, Κουτσουνής Αναστάσιος, Παναγόπουλος Αθανάσιος, Γερακάρη Κατερίνα.

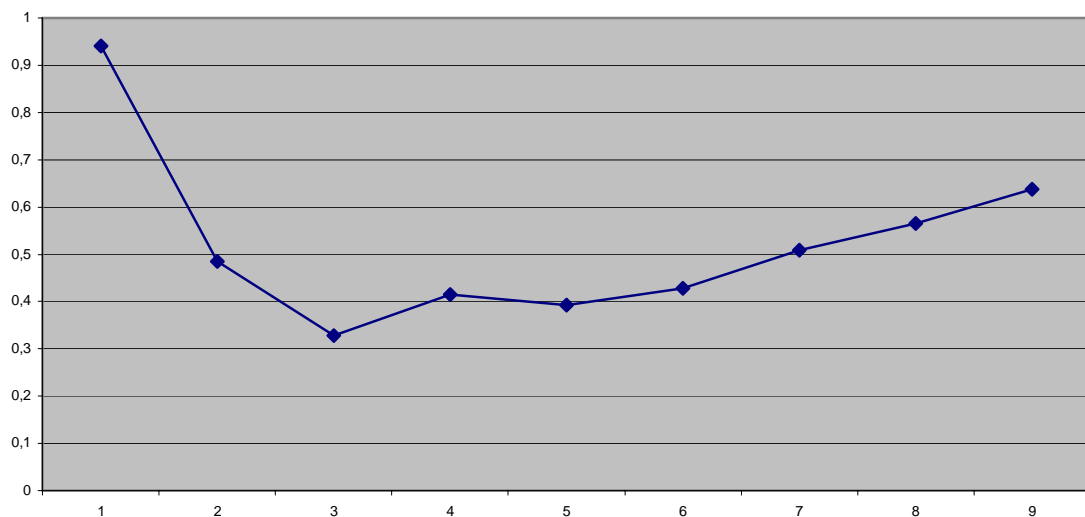
Δείκτης "ορθογωνιότητας" δικτύου ρωγματώσεων



Σχήμα 18

Τα δίκτυο με την μεγαλύτερη τιμή (βλ. αντίστοιχο σχήμα 2) είναι αυτό στο οποίο τα τμήματα που το αποτελούν είναι κυρίως τοποθετημένα προς δύο κατευθύνσεις κάθετες μεταξύ τους.

Δείκτης "ομοιοκατευθυντικότητας" δικτύου ρωγματώσεων



Σχήμα 19

Τα δίκτυο με την μεγαλύτερη τιμή (βλ. αντίστοιχο σχήμα 1) είναι αυτό στο οποίο τα τμήματα που το αποτελούν είναι κυρίως τοποθετημένα προς μία κατεύθυνση.

ΠΡΟΤΑΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΡΩΓΜΑΤΩΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΗΣ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΣΕ ΖΩΓΡΑΦΙΚΑ ΕΡΓΑ.

Αλεξοπούλου Αθηνά, Κουτσουνής Αναστάσιος, Παναγόπουλος Αθανάσιος, Γερακάρη Κατερίνα.

7. Βιβλιογραφικές Αναφορές

- [1] M. Barni, F. Bartolini, A. De Rosa, “HVS Modelling for Quality Evaluation of Art Images”, in *14th International Conference on Digital Signal Processing*, (Santorini, Greece), July 2002.
- [2] A.M. Bonacchi, V. Cappellini, M. Corsini, A. De Rosa, «Art shop: A Tool for Art Image Processing », in *14th International Conference on Digital Signal Processing*, (Santorini, Greece), July 2002.
- [3] M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini, «Image Processing for Visual Restoration of Artworks”, *IEEE Multimedia* 7, pp. 34 37, April – June 2000.
- [4] J.M. Corrodoni, A. Del Bimbo, S. De. Magistris, E. Vicario, “A Visual Language for Color-Based Painting Retrieval”, in *IEEE Symposium on Visual Languages*, pp. 68 – 75, 3-6 September 1996.
- [5] F. S. Abas, K. Martinez, “Craquelure Analysis for Content-based Retrieval”, in *14th International Conference on Digital Signal Processing*, (Santorini, Greece), July 2002.
- [6] S. Bucklow, “The Description of Craquelure Patterns”, *Studies in Conservation* 42, 1997.
- [7] S. Bucklow, “A Stylometric Analysis of Craquelure”, *Computers and the Humanities* 31, pp. 503 – 521, 1998.
- [8] S. Bucklow, “Consensus in the classification of Craquelure” Fitzwilliam Museum, Cambridge, Vol. 3, pp. 61-73, 2000.
- [9] D. Elberly, R. Gardner, B. Morse, S. Pizer, C. Scharlach, “Ridges for Image Analysis,” *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, vol. 4, no. 4, pp. 353–373, December 1994.
- [10] A.M. Lopez, F. Lumbreras, “Evaluation of Methods for Ridge and Valley Detection,” *IEEE Transactions on Pattern and Machine Intelligence*, vol. 21, no. 4, pp. 327–335, April 1999.
- [11] A.K. Jain, S. Prabhakar, L. Hong, “A Multichannel Approach to Fingerprint Classification,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 21, no. 4, pp. 348–359, April 1999.
- [12] F. Zana, J.C. Klein, “Segmentation of Vessel-Like Patterns Using Mathematical Morphology and Curvature Evaluation,” *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 10, no. 7, pp. 1010–1019, July 2001.
- [13] C. Kirbas, F. Quek, “A Review of Vessel Extraction Techniques and Algorithms,” in *ACM Computing Surveys*, 2004.
- [14] F. S. Abas, “Analysis of Craquelure Patterns for Content-Based Retrieval”, PhD Thesis, 2004.
- [15] F. Meyer, “Iterative Image Transformations for an Automatic Screening of Cervical Smears,” *J.Histoch. Cytochem*, vol. 27, 1979.
- [16] A. Rosenfeld, A. Kak, *Digital Picture Processing*, Academic Press, New York, 1982.
- [17] N. Otsu, “A Threshold Selection Method from Gray-level Histogram,” *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 8, 1978.

ΠΡΟΤΑΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΡΩΓΜΑΤΩΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΗΣ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΣΕ ΖΩΓΡΑΦΙΚΑ ΕΡΓΑ.

Αλεξοπούλου Αθηνά, Κουτσουνής Αναστάσιος, Παναγόπουλος Αθανάσιος, Γερακάρη Κατερίνα.

International Meeting, Athens 12/2006
ICONS: APPROACHES TO RESEARCH, CONSERVATION AND ETHICAL ISSUES

[18] J. Serra, "Image Analysis and Mathematical Morphology," in Academic Press, London, 1982.

[19] H. Freeman, "Boundary Encoding and Processing," Picture Processing and Psychopictories, Academic Press, 1970.

ΠΡΟΤΑΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ
ΡΩΓΜΑΤΩΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΗΣ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΣΕ
ΖΩΓΡΑΦΙΚΑ ΕΡΓΑ.

Αλεξοπούλου Αθηνά, Κουτσουνής Αναστάσιος, Παναγόπουλος Αθανάσιος, Γερακάρη Κατερίνα.