



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Σύγχρονες Τεχνικές Κατάτμησης Εικόνας με Εφαρμογή
στην Αυτόματη Αναγνώριση Γραφεία**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μυρτώ Βλαχιά

Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Παπαοδυσσεύς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2019



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

Σύγχρονες Τεχνικές Κατάτμησης Εικόνας με Εφαρμογή στην Αυτόματη Αναγνώριση Γραφεία

ΔΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μυρτώ Βλαχιά

Επιβλέπων : Κωνσταντίνος Παπαοδυσσεύς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 13^η Σεπτεμβρίου 2019.

.....
Κωνσταντίνος Παπαοδυσσεύς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

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

.....
Αθανάσιος Παναγόπουλος
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2019

.....
Μυρτώ Βλαχιά

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

Copyright © Μυρτώ Βλαχιά, 2019

Copyright © Κωνσταντίνος Παπαοδυσσεύς, 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. – All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν την 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 χρησιμοποιούνται για την εξέλιξη της αρχαιολογικής και ιστορικής έρευνας.

Στην παρούσα εργασία, πραγματοποιείται εφαρμογή πρωτότυπων τεχνικών επεξεργασίας εικόνας και προηγμένων μαθηματικών αλγορίθμων για την αντιμετώπιση σημαντικών ιστορικών προβλημάτων.

Η Κατάτμηση Εικόνας αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα στα επιστημονικά πεδία της Επεξεργασίας Εικόνας, της Όρασης Υπολογιστών και της Τεχνητής Νοημοσύνης. Η ανάπτυξη σύγχρονων μεθόδων Αυτόματης Κατάτμησης Εικόνας καθιστά δυνατή την ομαδοποίηση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, ενώ έχει σαν αποτέλεσμα την εξαγωγή πληροφορίας για τον πραγματικό κόσμο, και άρα την έγκαιρη και ενημερωμένη λήψη αποφάσεων.

Η Ταυτοποίηση Γραφέα αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα το οποίο μελετά πληθώρα επιστημονικών κλάδων από διαφορετικές σκοπιές. Η ταυτοποίηση του γραφέα ενός αρχαίου αλλά και Μεσαιωνικού και Νεοελληνικού κειμένου σε έγγραφο μεγάλης ιστορικής σημασίας μπορεί συμβάλλει στην χρονολόγηση αυτού, με αποτέλεσμα την εξακρίβωση ή αμφισβήτηση ιστορικών γεγονότων, την ενημέρωση των υποθέσεων και πιθανώς την απάντηση των ερωτηματικών που έχει αφήσει η έρευνα στον ρου της ιστορίας.

Στην παρούσα εργασία, γίνεται περιγραφή διαφόρων μεθόδων Κατάτμησης Εικόνας αλλά και διεξοδική μελέτη και αναλυτική παρουσίαση μίας νέας μεθόδου Κατάτμησης Εικόνας και μίας νέας μεθόδου Αυτόματης Ταυτοποίησης Γραφέα, οι οποίες δημοσιεύθηκαν πρώτη φορά στα [9] και [10], [11] αντίστοιχα. Πραγματοποιείται εφαρμογή των μεθόδων αυτών, στο Χειρόγραφο των Κυθήρων του Συντάγματος του Ρήγα Βελεστινλή, με σκοπό τον έλεγχο της υπόθεσης της γραφής αυτού από τον ίδιο τον Ρήγα.

Η επίδοση των μεθόδων ήταν ιδιαιτέρως ικανοποιητική, τόσο όσον αφορά την κατάτμηση εικόνων των μεμονωμένων γραμμάτων, την εξαγωγή των περιγραμμάτων των γραμμάτων αυτών, αλλά και όσον αφορά τα πρώτα ενδεικτικά συμπεράσματα περί της ταυτότητας του γραφέα των κειμένων που εξετάστηκαν.

Η χρήση των μεθόδων που παρουσιάστηκαν, διευκολύνει την επίλυση προβλημάτων που μέχρι τώρα βασιζόταν στην εμπειρία παλαιογράφων και ιστορικών, καθώς η προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, προσφέρει σαφώς πιο αντικειμενικά και ακριβή αποτελέσματα. Η εφαρμογή και επέκταση αυτών με τα Υπολογιστικά Συστήματα Πληροφορικής έχει ιδιαίτερη αξία, καθώς οι πληροφορίες που εξάγονται μπορούν να προσφέρουν απάντηση σε ιστορικά ερωτήματα και είναι σημαντικές για την Ιστορία, καθώς και για άλλες ανθρωπιστικές επιστήμες, που έχουν πεδίο έρευνας στην αρχαία ή νεοελληνική εποχή.

Λέξεις – Κλειδιά: Κατάτμηση Εικόνας, Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας, Καμπυλότητα, Αναγνώριση Προτύπων, Αναγνώριση Γραφέα.

Abstract

Technological advances in Information Science and Computing Systems can help in the modernization of the methods currently used for the advancement of archaeological and historical research. This work is focused on the implementation and use of novel Image Processing methods and the application of advanced mathematical algorithms in an effort to address significant historical problems.

Image Segmentation is one of the most important problems in the fields of Image Processing, Computer Vision and Artificial Intelligence. The development of modern methods of Automatic Image Segmentation makes it possible to group data in real time, which results in turning data into information and thus making an informed decision.

Writer Identification is an important problem studied in many scientific fields from different points of view. Identifying the writer of an Ancient, Medieval or Modern Greek text found in documents of great historical significance, can contribute in dating the text, resulting in verifying or casting doubt over a series of historical events, as well as updating hypotheses and finding answers for questions that remained open in the course of history.

In this dissertation, several Image Segmentation methods are discussed. A thorough study and analytical presentation of a novel Image Segmentation method as well as a Writer Identification method follows, both of which were first published in [9] and [10], [11], respectively. These methods were applied to the manuscript of Kythera, containing the text of the Constitution of Greece by Rigas Velestinlis, with the intention of testing the hypothesis of Rigas having written it himself.

The performance of the system implementing the above methods, was particularly good, as far as the Image Segmentation of images of isolated letters and the extraction of the contours of the letters goes, as well as the first indicative results of the Writer Identification process that was applied in the texts that were examined.

The use of the methods being presented in this work, contributes in the solution of problems that so far depended heavily on the experience of palaeographers and historians, since the approach being used offers significantly more objective and exact results. The implementation and extension of those methods imbedded in Computing Systems is of particular value, as the derived information may offer the answer to historical questions and is of great significance to History itself, as well as to the human sciences that study the Ancient and Modern Greek times.

Key Words: Image Segmentation, Digital Signal Processing, Curvature, Pattern Recognition, Writer Identification.

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, κλείνει ο κύκλος των προπτυχιακών σπουδών μου στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου, κ. Κωνσταντίνο Παπαοδυσσέα, για την ανάθεση και την επίβλεψη της διπλωματικής εργασίας. Τον ευχαριστώ για την εμπειρία που μου προσέφερε η καθοδήγηση και η συνεργασία μαζί του, κατά την εκπόνηση της εργασίας αυτής.

Ακόμα, ευχαριστώ όλα τα μέλη του εργαστηρίου για την συνεργασία και την προθυμία να μου παρέχουν καθοδήγηση, όποτε αυτή χρειάστηκε.

Ευχαριστώ τους συμφοιτητές μου, που έγιναν συνοδοιπόροι και φίλοι, ειδικά, τον Νικηφόρο και τον Νίκο, που με υπομονή με ακούν να αναλύω τα προβλήματα που παρουσιάζονται, ακόμα και σήμερα.

Ευχαριστώ τον Κώστα Βλαχιά για την βοήθειά του σε κάθε απορία στα μαθηματικά που έχει οδηγήσει σε ώρες συζήτησης, αλλά και για την παράγραφο που με βοήθησε να συντάξω στην παρούσα εργασία, κλείνοντας με την φράση 'αυτή είναι η αλήθεια'.

Ευχαριστώ την οικογένειά μου, τους γονείς και τα αδέρφια μου, για την κάθε είδους στήριξη που μου προσέφεραν, για την υπομονή και την κατανόηση, καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου. Κάθε εργασία, μέχρι σήμερα, και στο μέλλον, είναι ένα ευχαριστώ προς αυτούς.

Πίνακας περιεχομένων

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Εισαγωγή | 15 |
| 1.1 | Η σημασία της Αυτόματης Κατάτμησης Εικόνας..... | 15 |
| 1.2 | Η σημασία της Ταυτοποίησης Γραφέα..... | 16 |
| 1.3 | Αντικείμενο διπλωματικής εργασίας..... | 16 |
| 1.4 | Οργάνωση κειμένου | 18 |
| | | |
| 2 | Ιστορικά στοιχεία και σημασία της Ταυτοποίησης Γραφέα στο χειρόγραφο του Συντάγματος του Ρήγα..... | 21 |
| 2.1 | Βιογραφικά στοιχεία του Ρήγα Βελεστινλή..... | 22 |
| 2.2 | Το Σύνταγμα και ο Θούριος του Ρήγα..... | 23 |
| 2.2.1 | <i>Το ανεύρετο έντυπο της Βιέννης</i> | <i>23</i> |
| 2.2.2 | <i>Η χειρόγραφη παράδοση των δύο κειμένων.....</i> | <i>25</i> |
| 2.2.2.1 | <i>Το κείμενο του Συντάγματος στο Χειρόγραφο της Ζακύνθου (Z).....</i> | <i>26</i> |
| 2.2.2.2 | <i>Το κείμενο του Συντάγματος στον ελληνικό κώδικα 928 της Βιβλιοθήκης του Βουκουρεστίου (B¹).....</i> | <i>26</i> |
| 2.2.2.3 | <i>Το χειρόγραφο των Κυθήρων (K).....</i> | <i>27</i> |
| 2.2.2.4 | <i>Το κείμενο του Θουρίου στον ελληνικό κώδικα 3078 της Βιβλιοθήκης του Βουκουρεστίου (B²).....</i> | <i>27</i> |
| 2.2.3 | <i>Ιδιαιτερότητες των Χειρογράφων Z, B¹, K, B².....</i> | <i>28</i> |
| 2.2.3.1 | <i>Το Χειρόγραφο Z.....</i> | <i>28</i> |
| 2.2.3.2 | <i>Το Χειρόγραφο B¹ στην Βιβλιοθήκη της Ρουμανικής Ακαδημίας.....</i> | <i>28</i> |
| 2.2.3.3 | <i>Το χειρόγραφο K.....</i> | <i>29</i> |
| 2.2.3.4 | <i>Το Χειρόγραφο B² στην Βιβλιοθήκη της Ρουμανικής Ακαδημίας.....</i> | <i>29</i> |
| 2.3 | Η σημασία της Ταυτοποίησης Γραφέα του Συντάγματος του Ρήγα | 30 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3 | Κατάτμηση Εικόνας..... | 33 |
| 3.1 | Το πρόβλημα της Κατάτμησης | 33 |
| 3.2 | Μέθοδοι Κατάτμησης Εικόνας με βάση Διαχωριστικές Τεχνικές..... | 34 |
| 3.3 | Μέθοδοι Κατάτμησης Εικόνας με βάση Ιεραρχικές Τεχνικές..... | 36 |
| 3.3.1 | <i>Στάδια μεθοδολογίας Κατάτμησης Εικόνας με βάση Ιεραρχικές Τεχνικές</i> 36 | |
| 3.3.2 | <i>Ειδικές Ιεραρχικές Τεχνικές και Μειονεκτήματα.....</i> | 38 |
| 3.4 | Μορφολογικές Μέθοδοι Κατάτμησης..... | 40 |
| 3.4.1 | <i>Κατάτμηση Watershed</i> | 40 |
| 3.4.1.1 | <i>Watershed με πλημμυρισμό.....</i> | 41 |
| 3.4.1.2 | <i>Watershed Κατάτμηση Ελεγχόμενη από Δείκτες.....</i> | 43 |
| 3.5 | Μέθοδοι Λογισμού Μεταβολών | 43 |
| 3.5.1 | <i>Ενεργές Καμπύλες.....</i> | 44 |
| 3.5.2 | <i>Γεωδαιτικές Ενεργές Καμπύλες</i> | 45 |
| 4 | Περιγραφή και Εφαρμογή μίας νέας μεθόδου Κατάτμησης Εικόνας και Εξαγωγής Περιγραμμάτων | 47 |
| 4.1 | Δημιουργία δεδομένων εικόνων κατάτμησης..... | 47 |
| 4.2 | Περιγραφή και Εφαρμογή μίας νέας μεθόδου Κατάτμησης Εικόνας | 49 |
| 4.2.1 | <i>Προεπεξεργασία Εικόνων.....</i> | 50 |
| 4.2.2 | <i>Ιστόγραμμα γκριζων εικόνων.....</i> | 51 |
| 4.2.3 | <i>Ομαλοποιημένο Ιστόγραμμα γκριζων εικόνων.....</i> | 53 |
| 4.2.4 | <i>Εύρεση αρχικής κατάτμησης γκριζας εικόνας.....</i> | 53 |
| 4.2.4.1 | <i>Ακρότατα και Καμπή.....</i> | 54 |
| 4.2.5 | <i>Τελική κατάτμηση γκριζας εικόνας.....</i> | 57 |
| 4.2.6 | <i>Διερεύνηση αποτελέσματος κατάτμησης εικόνας για διάφορες τιμές των παραμέτρων του αλγορίθμου κατάτμησης.....</i> | 59 |
| 4.2.6.1 | <i>Παράμετρος βαθμού πολωνόμου που προσεγγίζει το Ιστόγραμμα της γκριζας εικόνας.....</i> | 59 |
| 4.2.6.2 | <i>Παράμετρος διαμέρισης του Ιστογράμματος της γκριζας εικόνας.....</i> | 63 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 4.2.6.3 | Παράμετρος εύρους των διαστημάτων φωτεινότητας..... | 67 |
| 4.3 | Εξαγωγή Περιγράμματος..... | 71 |
| 4.3.1 | Απαλοιφή συστοιχίας εικονοστοιχείων στην εικόνα κατάτμησης γράμματος... | |
| 4.3.2 | Απαλοιφή μεμονωμένων εικονοστοιχείων στην εικόνα κατάτμησης γράμματος..... | 72 |
| 4.3.3 | Εύρεση Περιγράμματος..... | 73 |
| 4.3.3.1 | Αρχική Προσέγγιση Περιγράμματος..... | 73 |
| 4.3.3.2 | Απαλοιφή ορθών γωνιών από το Περίγραμμα..... | 73 |
| 4.3.3.3 | Εξαγωγή Τελικού Περιγράμματος..... | 74 |
| 4.3.4 | Βελτίωση Τελικού Περιγράμματος..... | 75 |
| 4.4 | Αποτελέσματα εφαρμογής της νέας μεθόδου Κατάτμησης Εικόνας και της Εξαγωγής περιγράμματος..... | 77 |
| 5 | Περιγραφή μιάς νέας μεθόδου Ταυτοποίησης Γραφέα..... | 87 |
| 5.1 | Υπολογισμός καμπυλότητας και σύγκριση των καμπυλοτήτων των περιγραμμάτων δύο διαφορετικών υλοποιήσεων του ίδιου συμβόλου..... | 87 |
| 5.2 | Υπολογισμός καμπυλότητας για την περίπτωση περιγράμματος που αποτελείται από μία απλή συνεκτική καμπύλη..... | 88 |
| 5.2.1 | Βέλτιστο Ταίριασμα δύο ακολουθιών καμπυλότητας για την περίπτωση δύο απλών συνεκτικών εξωτερικών περιγραμμάτων..... | 90 |
| 5.3 | Υπολογισμός καμπυλότητας ενός περιγράμματος που αποτελείται από συνεκτικές κλειστές καμπύλες..... | 91 |
| 5.4 | Μία πρώτη εκτίμηση της βέλτιστης θέσης προσαρμογής των περιγραμμάτων δύο γραμμάτων..... | 93 |
| 5.5 | Βέλτιστο Ταίριασμα δύο υλοποιήσεων του ίδιου γράμματος με βάση το κριτήριο τομή δια ένωση..... | 98 |
| 5.5.1 | Το κριτήριο ομοιότητας μεταξύ δύο απλά συνεκτικών εμφανίσεων του ίδιου γράμματος σε χειρόγραφα..... | 98 |
| 5.5.2 | Το κριτήριο ομοιότητας στην περίπτωση που τα περιγράμματα αποτελούνται από κλειστές καμπύλες..... | 99 |

| | | |
|----------|-------------------------------|------------|
| 6 | Επίλογος..... | 101 |
| 6.1 | Σύνοψη και Συμπεράσματα | 101 |
| 7 | Βιβλιογραφία | 103 |

1

Εισαγωγή

1.1 Η σημασία της Αυτόματης Κατάτμησης Εικόνας

Η Κατάτμηση Εικόνας αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα στα επιστημονικά πεδία της Επεξεργασίας Εικόνας, της Όρασης Υπολογιστών και της Τεχνητής Νοημοσύνης. Επιλύοντας το πρόβλημα του διαχωρισμού της εικόνας σε τμήματα που παρουσιάζουν ομοιότητα, μπορεί κανείς να εξάγει πληροφορία για την εικόνα και άρα για τον πραγματικό κόσμο.

Η εξόρυξη και ομαδοποίηση δεδομένων που παρουσιάζουν ποικιλομορφία, γίνονται διαθέσιμα σε μεγάλη ταχύτητα και αποτελούν έναν μεγάλο όγκο δεδομένων, με σκοπό την διαχείριση αυτών σε πραγματικό χρόνο, αποτελεί ένα από τα κύρια θέματα με τα οποία ασχολείται ο κλάδος της Επιστήμης των Υπολογιστών.

Η ανάπτυξη σύγχρονων μεθόδων Αυτόματης Κατάτμησης Εικόνας καθιστά δυνατή την ομαδοποίηση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, ενώ έχει σαν αποτέλεσμα την εξαγωγή πληροφορίας από τα δεδομένα εικόνων, και άρα την έγκαιρη και ενημερωμένη λήψη αποφάσεων.

1.2 Η σημασία της Ταυτοποίησης Γραφέα

Η Ταυτοποίηση Γραφέα αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα το οποίο μελετά πληθώρα επιστημονικών κλάδων από διαφορετικές σκοπιές, και το οποίο επιλύεται με την συνεργασία και ανταλλαγή συμπερασμάτων και κριτικών απόψεων μεταξύ των ερευνητικών ομάδων.

Οι επιστήμες της Ιστορίας, Αρχαιολογίας, Επιγραφολογίας και Γλωσσολογίας έχουν ως αντικείμενο την χρονολόγηση και μελέτη αρχαίων κειμένων που βρίσκονται σε παπύρους και αρχαίες επιγραφές, αλλά και Μεσαιωνικών και Νεοελληνικών κειμένων σε έγγραφα μεγάλης ιστορικής σημασίας.

Η ταυτοποίηση του γραφέα ενός τέτοιου κειμένου μπορεί συμβάλλει στην χρονολόγηση αυτού, με αποτέλεσμα την εξακρίβωση ή αμφισβήτηση ιστορικών γεγονότων, την ενημέρωση των υποθέσεων και πιθανώς την απάντηση των ερωτηματικών που έχει αφήσει η έρευνα στον ρου της ιστορίας.

1.3 Αντικείμενο διπλωματικής εργασίας

Θεωρώντας το πρόβλημα της ταυτοποίησης γραφέα ως ένα πρόβλημα αναγνώρισης προτύπων στον γραφικό χαρακτήρα αυτού, από την σκοπιά που το μελετά ο κλάδος της Πληροφορικής και των Υπολογιστικών Συστημάτων, γίνεται προσπάθεια επίλυσης, διατυπώνοντας ορθολογικούς ισχυρισμούς χωρίς λογικά άλματα, εφαρμόζοντας στατιστικά κριτήρια και υλοποιώντας ένα υπολογιστικό σύστημα που θα επιχειρήσει να δώσει συγκεκριμένη απάντηση στο πρόβλημα.

Η απάντηση αυτή μπορεί και πρέπει να ενημερώνεται από τις εξελίξεις στο θέμα της ταυτοποίησης γραφέα συγκεκριμένων κειμένων, που προκύπτουν από την έρευνα ομάδων που δραστηριοποιούνται σε άλλους επιστημονικούς κλάδους.

Γίνεται υλοποίηση ενός συστήματος αυτόματης κατάτμησης εικόνας και εξαγωγής περιγράμματος γραμμμάτων της αλφαβήτου της ελληνικής γλώσσας στο κείμενο «Νέα Πολιτική Διοίκησης των κατοίκων της Ρούμελης, της Μικράς ασίας, των Μεσογείων

νήσων και της Βλαχομπογδανιάς», έργο του Ρήγα Βελεστινλή που χρονολογείται στην Βιέννη του 1797, το οποίο περιλαμβάνει τέσσερα τμήματα:

Επαναστατική Προκήρυξις Υπέρ των νόμων και της πατρίδος

Τα Δίκαια του ανθρώπου σε 35 άρθρα

Το Σύνταγμα της Ελληνικής Δημοκρατίας, σε 124 άρθρα

Θούριος.

Έχοντας ως σκοπό την ανάπτυξη συστήματος αυτόματης αναγνώρισης γραφέα και την εκπαίδευση του συστήματος χρησιμοποιώντας ως σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης το αποτέλεσμα κατάτμησης και το περίγραμμα γράμματος όπως αυτά προκύπτουν από το υλοποιούμενο σύστημα, γίνεται η σκέψη της επιλογής γραμμάτων της αλφαβήτου με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά γραφής αλλά και με ομοιογένεια στον τρόπο με τον οποίον εμφανίζονται σε μία σελίδα, αλλά και στο πέρας των σελίδων του κειμένου που επιλέγονται.

Μία απλή παρατήρηση στις εικόνες του κειμένου όπως αυτές έχουν σκαναριστεί στην Βουλή των Ελλήνων μπορεί να καταστήσει σαφή την σημασία της ανάλυσης της εικόνας, των συνθηκών δημιουργίας των δεδομένων εικόνας, του φωτισμού και του θορύβου ενός εγγράφου όπως αυτό διασώζεται από τον 18ο αιώνα, και έχει γραφεί με χρήση πένα και μελάνης η οποία αφήνει αποτύπωμα στην οπίσθια όψη κάθε σελίδας.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας πραγματοποιείται η εκτέλεση των πρώτων σταδίων της επίλυσης του προβλήματος ταυτοποίησης γραφέα ενός από τα χειρόγραφα κείμενα του Συντάγματος της Ελλάδος, όπως το συνέθεσε ο Ρήγας Βελεστινλής το 1797. Αυτά είναι:

1^ο στάδιο Δημιουργία δεδομένων εικόνων γράμματος μετά την επιλογή των γραμμάτων προς μελέτη και των υλοποιήσεων αυτού σε ορισμένο αριθμό σελίδων του εγγράφου

2^ο στάδιο Περιγραφή και Εφαρμογή νέας μεθόδου Αυτόματης Κατάτμησης Εικόνας στο σύνολο δεδομένων εικόνων γράμματος και απομόνωση του σώματος γράμματος, όπως αυτή δημοσιεύθηκε στην εργασία [9].

3^ο στάδιο Εφαρμογή Αυτόματης Εξαγωγής Περιγράμματος κάθε γράμματος

4^ο στάδιο Περιγραφή νέας μεθόδου Ταυτοποίησης Γραφέα που θα εφαρμοστεί στα περιγράμματα των γραμμάτων, όπως αυτή δημοσιεύθηκε στις εργασίες [10].

Κάθε επιλογή και απόφαση που λαμβάνεται κατά την διαδικασία αυτή, μπορεί να συνδεθεί άμεσα με την ισχύ των υποθέσεων που έγιναν για την μορφή του κειμένου και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των γραμμάτων όπως αυτά χαράχθηκαν από τον άγνωστο γραφέα, αλλά και με τον τρόπο με τον οποίον αντιμετωπίστηκαν οι δυσκολίες που θέτει το πρόβλημα της κατάτμησης γράμματος και ταυτοποίησης γραφέα, όπως είναι ο θόρυβος, οι αλλαγές φωτισμού, ο χειρισμός των γραμμάτων που έχουν γραφεί με διαδοχικές συνεχόμενες πινελιές κλπ.

Αυτές οι αποφάσεις έχουν άμεσο αντίκτυπο στην απάντηση που θα δοθεί στο ερώτημα της ταυτότητας του γραφέα του χειρογράφου που μελετάται, μετά την εφαρμογή Σύγχρονων Μεθόδων Ταυτοποίησης Γραφέα ως το επόμενο στάδιο στο σύστημα αυτόματης αναγνώρισης γραφέα.

1.4 Οργάνωση κειμένου

Μετά την εισαγωγή στο αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας που πραγματοποιείται στο παρόν κεφάλαιο, ακολουθεί στο κεφάλαιο 2, η παράθεση ιστορικών στοιχείων για τον Ρήγα Βελεστινλή, συγγραφέα του πρώτου Συντάγματος της Ελλάδος, για το κείμενο του Συντάγματος αλλά και για τα χειρόγραφα έγγραφα στα οποία εμφανίζεται αυτό. Επιπλέον, παρουσιάζεται το πρόβλημα της αποκατάστασης του αυθεντικού κειμένου αλλά και της σημασίας της ταυτοποίησης του γραφέα του χειρόγραφου εγγράφου.

Μετά την παρουσίαση σύγχρονων Μεθόδων Κατάτμησης Εικόνας που αναφέρονται σε διάφορα πλαίσια εργασίας στο Κεφάλαιο 3, ακολουθεί η περιγραφή και εφαρμογή μίας νέας μεθόδου Κατάτμησης Εικόνας στο κεφάλαιο 4. Επιπλέον, γίνεται περιγραφή και εφαρμογή της μεθόδου αυτόματης εξαγωγής περιγραμμάτων.

Στο Κεφάλαιο 5 γίνεται μελέτη μίας νέας Μεθόδου Ταυτοποίησης Γραφέα που μπορεί να εφαρμοστεί στα αποτελέσματα κατάτμησης και στα περιγράμματα που εξάχθηκαν από αυτά.

Ακολουθεί περιγραφή των συμπερασμάτων και των μελλοντικών επεκτάσεων στο Κεφάλαιο 6, ενώ στο κεφάλαιο 7, η βιβλιογραφία περιλαμβάνει όλες τις εργασίες στις οποίες γίνεται αναφορά στην διπλωματική εργασία.

2

Ιστορικά στοιχεία και σημασία της Ταυτοποίησης Γραφέα στο χειρόγραφο του Συντάγματος του Ρήγα

Μετά από μελέτη των κριτικών εκδόσεων των έργων του Ρήγα, όπως αυτές συντάχθηκαν από τους μελετητές του έργου του, και ειδικότερα για το Σύνταγμα και τον Θούριο του Ρήγα, γίνεται εμφανής η αναγκαιότητα να ακολουθήσει κανείς το Σύνταγμα του Ρήγα ως κείμενο και ως έγγραφο στον χρόνο, από την στιγμή της συγγραφής του από τον Ρήγα Βελεστινλή μέχρι σήμερα.

Η ταυτοποίηση του γραφέα του χειρογράφου του Συντάγματος όπως αυτό βρίσκεται στην Βουλή των Ελλήνων, σχετίζεται άμεσα με την γνώση της ιστορίας του εγγράφου και την συγκριτική μελέτη των απόψεων των ερευνητών του έργου του Ρήγα, ως προς το περιεχόμενο, την μορφολογία αλλά και την ταυτότητα των γραφών των εκδόσεων του κειμένου στο πέρασμα του χρόνου.

2.1 Βιογραφικά στοιχεία του Ρήγα

Ο Ρήγας Βελεστινλής, γεννήθηκε στο Βελεστίνο της Θεσσαλίας το 1757 με το πραγματικό όνομα Αντώνης Κυριαζής. Το Βελεστίνο βρίσκεται κοντά στην αρχαία πόλη Φεραί, εξ' ου και η επωνυμία που αποτελεί δημιούργημα μεταγενέστερων λογίων. Πολλά από την ζωή και την δράση του παραμένουν ακόμα άγνωστα, αλλά και τα λίγα που είναι γνωστά δεν είναι όλα πλήρως εξακριβωμένα. Με τον μαρτυρικό του θάνατο το 1798, ο Ρήγας πέρασε στην περιοχή του θρύλου.

Ήταν γιος γνωστού ευπόρου εμπόρου που ονομαζόταν Κυριαζής ή Κυρίτσης. Έφηβος αναγκάστηκε να φύγει από το Βελεστίνο, λόγω προστριβών με τους εκεί Τούρκους. Αρχικά κατέφυγε στον Όλυμπο, και κατόπιν έμεινε για ένα διάστημα στον Άθω. Από εκεί πήγε στην Κωνσταντινούπολη, όπου συμπλήρωσε την μόρφωσή του, μαθαίνοντας ξένες γλώσσες, γαλλικά, ιταλικά και γερμανικά.

Ευφυής, γλωσσομαθής και φιλόπονος, ο Ρήγας ξεκίνησε την επαγγελματική του σταδιοδρομία ως γραμματικός στην υπηρεσία του Αλέξανδρου Υψηλάντη (1782-1785). Κατά την περίοδο 1786 – 1790 εργάστηκε στο Βουκουρέστι ως γραμματικός στην υπηρεσία ηγεμόνων και τοπικών αρχόντων. Το 1790 ταξίδεψε στην Βιέννη για πρώτη φορά, όπου τύπωσε τα πρώτα του έργα «Σχολείον των ντελικάτων εραστών» και «Φυσικής Απάνθισμα». Με τις εκδόσεις αυτές αρχίζει η συμβολή του Ρήγα στην μεγάλη προσπάθεια των λογίων για τον διαφωτισμό του γένους.

Από το 1791 έως το 1794, έμεινε στο μεγάλο κτήμα του κοντά στο Βουκουρέστι και εργάστηκε μεθοδικά για την προετοιμασία του μεγάλου ξεσηκωμού. Την 1^η Αυγούστου 1796 έκανε την μετάβασή του στην Βιέννη, όπου συνέχισε την προγραμματισμένη και ταγμένη στους σκοπούς του, εκδοτική του δραστηριότητα.

Το επόμενο έτος εξέδωσε τα βιβλία «Νέος Ανάχαρσις» και «Ηθικός Τρίπους», ενώ είδαν το φως και οι χάρτες του «Νέα Χάρτα της Βλαχίας», η «Γενική Χάρτα της Μολδαβίας» και η μεγάλη «Χάρτα της Ελλάδος» με 9 επιπεδογραφίες περίφημων πόλεων και τόπων, με απεικονίσεις ελληνικών νομισμάτων και με πλήθος ιστορικών επεξηγήσεων.

Τελευταία τυπώθηκαν, ανώνυμα όμως και παράνομα αυτή την φορά, τα δύο σημαντικότερα – από πολιτική άποψη – έργα του: το Σύνταγμα της «Ελληνικής Δημοκρατίας» («Νέα Πολιτική Διοικήσεις») και το άσμα «Θούριος».

Φεύγοντας από την Βιέννη, άφησε στο τυπογραφείο των συνεργατών του, αδερφών Πούλιου, ένα ακόμη έργο του με το γενικό τίτλο «Εγκόλπιον» και «Δημοκρατική κατήχηση» με ένθετα σε αυτήν δύο ακόμη επαναστατικά άσματα. Πριν εγκαταλείψει οριστικά την αυστριακή πρωτεύουσα, ο Ρήγας φρόντισε να σταλούν στην Τεργέστη, τρία κιβώτια μέσα στα οποία υπήρχαν μαζί με άλλα δημοσιεύματά του, όλα σχεδόν τα αντίτυπα της πρώτης έκδοσης του Συντάγματος και του Θουρίου. Το γράμμα που απευθυνόταν σε έμπιστο φίλο του στην Τεργέστη με την οδηγία να παραλάβει τα κιβώτια, έπεσε στα χέρια ενός εμπόρου που τον κατέδωσε στις αυστριακές αρχές. Μετά την σύλληψη του Ρήγα στην Τεργέστη, το έργο αυτό κατασχέθηκε και καταστράφηκε πριν κυκλοφορήσει.

«Φθονερή μοίρα και η επαίσχυντη ιδιοτέλεια» ενός προδότη ματαίωσαν τα σχέδια του Βελεστινλή. Στις 24 Ιουνίου 1798, την ώρα που ήταν έτοιμος να ξεκινήσει τον ένοπλο αγώνα για την πολιτική αναγέννηση του Ελληνισμού, χάθηκε άδικα ο ίδιος και μαζί με αυτόν, το μεγάλο του όραμα. Ως πρωτομάρτυρας της πολιτικής Αναγέννησης του Ελληνισμού, υπήρξε αναμφισβήτητα ένας διορατικός και δραστήριος πολιτικός, ο οποίος αγάπησε με πάθος την ελευθερία και την Ελλάδα.

2.2 Το Σύνταγμα και ο Θούριος του Ρήγα

2.2.1 Το ανεύρετο έντυπο της Βιέννης

Τέλη Νοεμβρίου του 1797, ο Ρήγας τύπωσε μυστικά στην Βιέννη τον καταστατικό Χάρτη της μελλοντικής Ελληνικής Δημοκρατίας, του μεγάλου δηλαδή και πολυεθνικού Κράτους, που οραματιζόταν ότι έμελλε να προκύψει μετά την επιτυχή γενική εξέγερση των Βαλκανικών λαών και την προσδοκώμενη κατάρρευση της Οθωμανικής Αυτοκρατορίας.

Η «Νέα Πολιτική Διοικήσεις», όπως επιγράφει το έργο του ο Ρήγας, τυπώθηκε κρυφά και βιαστικά στο τυπογραφείο των αδερφών Πούλιου. Αν και δεν έχει βρεθεί μέχρι τώρα κανένα από τα 3000 αντίτυπα του παράνομου αυτού εντύπου, είναι γνωστό ότι μαζί με το Σύνταγμα είχε τυπωθεί και ο «Θούριος» του Ρήγα, άσμα υπέρ της ελευθερίας, που απέκτησε τεράστια απήχηση. Στο έντυπο αυτό ο «Θούριος» ακολουθούσε το κείμενο του Συντάγματος, χωρισμένο – πάντα κατά το γαλλικό πρότυπο, καθώς το πρώτο Ελληνικό Σύνταγμα βασίζεται ακριβώς στο πρώτο Σύνταγμα της Γαλλικής Δημοκρατίας του 1793 – σε τρία μέρη. Τα μέρη αυτά είναι το Προοίμιο, στο οποίο ο Ρήγας έδωσε μορφή επαναστατικού μανιφέστου, η Διακήρυξη των Δικαιωμάτων του Ανθρώπου και το κυρίως Σύνταγμα. Σε αυτό προστέθηκε ένα σύντομο Παράρτημα στο οποίο καθοριζόταν η σημαία και τα άλλα διακριτικά της Ελληνικής Δημοκρατίας και των πολιτών της.

Σχετικά με την μορφή του εντύπου της Βιέννης υπάρχουν αντιφατικές πληροφορίες και έχουν διατυπωθεί διάφορες υποθέσεις. Η τύπωση έγινε σε μεγάλη κόλλα χαρτί που κατά πάσα πιθανότητα δεν διπλώθηκε και δεν πήρε μορφή φυλλαδίου, αλλά έμοιαζε εξωτερικά με προκήρυξη. Αναφέρεται συχνά σε ανακριτικά έντυπα αλλά και από συγγραφείς ως «Επαναστατική Προκήρυξις». Δεν είναι γνωστό αν στο έντυπο της Βιέννης αναγραφόταν τόπος και έτος έκδοσης.

Στην Τεργέστη κατασχέθηκαν, καταμετρημένα από την αστυνομία, 2785 αντίτυπα, ενώ τα υπόλοιπα είχαν ήδη κυκλοφορήσει κρυφά στην Βιέννη, στο Βουκουρέστι, στο Ιάσιο, στην Πέστη και άλλα μέρη, τόσο στην κυρίως Ελλάδα όσο και έξω από αυτήν. Τα περισσότερα από τα αντίτυπα που πρόλαβαν να κυκλοφορήσουν πρέπει να τα κατέστρεψαν οι ίδιοι οι κάτοχοί τους από φόβο μετά την ανακάλυψη της συνωμοσίας του Ρήγα. Την ίδια τύχη πρέπει να είχαν και τα χειρόγραφα αντίγραφα του παράνομου εντύπου. Είναι ωστόσο πολύ πιθανό ότι, όπως βρέθηκε ένα τουλάχιστον χειρόγραφο αντίγραφο του ανεύρετου ως σήμερα εντύπου, έτσι θα πρέπει κάποια μερα να βρεθεί και ένα τουλάχιστον αντίτυπό του από αυτά που διέφυγαν την κατάσχεση και την καταστροφή. Αυτό το χειρόγραφο αντίγραφο είναι γνωστό ως χειρόγραφο των Κυθήρων, για το οποίο γίνεται εκτενής αναφορά παρακάτω.

Μία σειρά από αναφορές σε ανακριτικά έγγραφα και επιστολές για ανατύπωση εντύπων με ανατρεπτικό περιεχόμενο, αποτελεί ένδειξη για την ανατύπωση του Συντάγματος από τους Έλληνες της Λειψίας. Στα εν λόγω παράνομα έντυπα της Λειψίας θα πρέπει να συμπεριληφθεί και η ανατύπωση του εντύπου της Βιέννης, εκτός βέβαια αν πρόκειται αποκλειστικά για αυτήν. Αλλά και αλλού, ενδεχομένως να έγιναν ανατυπώσεις του Συντάγματος και του Θουρίου, μαζί ή χωριστά, μετά αλλά και πριν την σύλληψη του Ρήγα.

Τον Ιούνιο του 1798 έγινε ανατύπωση του Θουρίου στην Κέρκυρα από τον Χριστόφορο Περραιβό, της οποίας το κείμενο ακολουθεί φυσικά εκείνο του εντύπου της Βιέννης, στο οποίο όμως έγιναν μικρές γραμματικές διορθώσεις. Πρόκειται για τον Θεσσαλό Χρυσάφη Χατζηβασίλη, έμπιστο φίλο και συνεργάτη του Ρήγα. Από την ανατύπωση αυτήν, διασώθηκε ένα τουλάχιστον αντίτυπο, που αναδημοσιεύθηκε εκατό χρόνια αργότερα. Πρόκειται για ένα τετρασέλιδο που διασώζεται σήμερα στο Αρχείο του Κέντρου Μεσαιωνικών και Νεοελληνικών ερευνών της Ακαδημίας Αθηνών.

Το κενό από την μη ανεύρεση, έστω και ενός αντιτύπου, της πρωτότυπης έκδοσης της «Νέας Πολιτικής Διοίκησης» και του «Θουρίου», καλύπτεται ως ένα σημείο από τις δύο ξενόγλωσσες μεταφράσεις του παράνομου αυτού εντύπου που διασώθηκαν, γερμανική και ρώσικη, που έγιναν με σκοπό την άμεση ενημέρωση κυβερνήσεων. Η μεγάλη σπουδαιότητα των μεταφράσεων αυτών έγκειται στο ότι μας επιτρέπουν να κρίνουμε αν τα χειρόγραφα αντίγραφα της «Νέας Πολιτικής Διοίκησης» και του «Θουρίου», που υπάρχουν σήμερα, συνδέονται άμεσα με το έντυπο της Βιέννης. Το «εύρημα της Μόσχας» όπως χαρακτηρίστηκε εύστοχα η ρώσικη μετάφραση, είναι πραγματικά ανεκτίμητο. Πρόκειται για μία πλήρη και πολύ προσεγμένη μετάφραση του εντύπου της Βιέννης, με ορισμένες παρανοήσεις, χάρη στην οποία έγινε δυνατή η ασφαλής γνώση των περιεχομένων του ανεύρετου εντύπου της Βιέννης.

2.2.2 Η χειρόγραφη παράδοση των δύο κειμένων

Αν και στο έντυπο της Βιέννης συνδέθηκαν, το Σύνταγμα και ο Θούριος του Ρήγα, η χειρόγραφη παράδοση των δύο αυτών κειμένων ήταν εξ' αρχής χωριστή. Τόσο ο «Θούριος» που προηγήθηκε, όσο και η «Νέα Πολιτική Διοίκησης» που ακολούθησε,

πρωτοκυκλοφόρησαν και διαδόθηκαν χειρογραμμένα και χωριστά, ως την στιγμή που τυπώθηκαν για πρώτη φορά μαζί, από τον ίδιο τον Ρήγα. Η πρώτη αυτή έκδοση έδωσε φυσικά την δυνατότητα παραγωγής και νέων χειρόγραφων αντιγράφων, που και αυτά, με την σειρά τους, έδιναν νέα, περισσότερο ή λιγότερο πιστά, απόγραφα. Ωστόσο, οι απ'ευθείας ή μη, αντιγραφείς του εντύπου δεν έμεναν πάντοτε πιστοί στην σύνδεση των δύο αυτών κειμένων κατά το πρότυπο της Βιέννης.

Τυπωμένος ή χειρόγραφος, ο «Θούριος» έλαβε τόσο μεγάλη διάδοση, ώστε να εξομοιωθεί σχεδόν με τα δημοτικά τραγούδια και να διασωθεί σε πολλές παραλλαγές, ανάλογα με τις περιστάσεις ή τα κίνητρα του αντιγραφέα ή του εκδότη του. Η χειρόγραφη παράδοση του Συντάγματος είναι πολύ μικρότερη, αλλά παρουσιάζει μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Κάθε ένα από τα τρία ως τώρα γνωστά χειρόγραφα με το κείμενο της «Νέας Πολιτικής Διοικήσεως» καταθέτει την δική του μοναδική μαρτυρία.

2.2.2.1 Το κείμενο του Συντάγματος στο Χειρόγραφο της Ζακύνθου (Z)

Το κείμενο της «Νέας Πολιτικής Διοικήσεως» έγινε για πρώτη φορά γνωστό από το χειρόγραφο που ανακάλυψε στην Ζάκυνθο και δημοσίευσε στο περιοδικό «Παρθενών» το 1871, ο ιστορικός συγγραφέας Παναγιώτης Χιώτης. Το χειρόγραφο αυτό, του οποίου αγνοείται σήμερα η τύχη, βρισκόταν στο ιδιωτικό αρχείο του νομικού και καθηγητή Νικολάου Μανιάκη. Στο ίδιο αρχείο υπήρχε χωριστά αντιγραμμένος ο «Θούριος», ο οποίος όμως δεν δημοσιεύθηκε στο περιοδικό. Μέχρι το 1996, Οι ερευνητές του Ρήγα συνέδεαν το χειρόγραφο της Ζακύνθου με το έντυπο της Βιέννης ως απ'ευθείας αντίγραφο αυτού, παρόλο που υπήρχαν στοιχεία για το αντίθετο.

2.2.2.2 Το κείμενο του Συντάγματος στον ελληνικό κώδικα 928 της

Βιβλιοθήκης του Βουκουρεστίου (B¹)

Το 1950, ο Ρουμάνος καθηγητής Αλέξανδρος Elian ανακάλυψε στο Βουκουρέστι ένα ακόμη χειρόγραφο με το κείμενο της «Νέας Πολιτικής Διοικήσεως» και του

«Θουρίου». Το Σύνταγμα του Ρήγα συνθεμένο από τον Νικόλαο Παρπαρίγο, περιέχεται σε ένα «Χρησμολόγιον διαφόρων χρησμοδότων», που βρίσκεται στην βιβλιοθήκη της Ρουμανικής Ακαδημίας ως ελληνικός κώδικας υπ' αριθμόν 928. Πριν και ανεξάρτητα από το κείμενο του Συντάγματος, περιέχεται το κείμενο του «Θούριου» που δεν συμπίπτει καθ' όλα με την ανατύπωση της Κέρκυρας από τον Περραιβό.

2.2.2.3 Το Χειρόγραφο των Κυθήρων (Κ): ένα πιστό αντίγραφο του εντύπου της Βιέννης

Τον Μάρτιο του 1967, ο φιλόλογος και συγγραφέας Εμμανουήλ Σ. Στάθης ανακάλυψε ένα ακόμη χειρόγραφο με το Σύνταγμα και τον «Θούριο» του Ρήγα στο ιδιωτικό αρχείο του πατέρα του Σπύρου Στάθη στα Κύθηρα. Το κείμενο του «Θούριου» είναι αντιγραμμένο αμέσως μετά το κείμενο του Συντάγματος, κατά το πρότυπο της Βιέννης. Πρόκειται για ένα απροσδόκητο εύρημα, που επιπλέον είναι και μοναδικό, καθώς μέχρι σήμερα δεν υπαρχει κανένα άλλο πιστό αντίγραφο του χαμένου εντύπου της Βιέννης. Την πιστότητα της αντιγραφής αποδεικνύει κατά κύριο λόγο η ρώσικη μετάφραση του εντύπου της Βιέννης.

2.2.2.4 Το κείμενο του Θουρίου στον ελληνικό κώδικα 3078 της Βιβλιοθήκης του Βουκουρεστίου (B²)

Ο Ρουμάνος καθηγητής Αλέξανδρος Elian ανακάλυψε στο Βουκουρέστι ένα ακόμη χειρόγραφο με το κείμενο του «Θουρίου». Το χειρόγραφο περιέχεται σε 83 φύλλα με λαϊκά ρουμάνικα αφηγήματα και μπαλάντες, στα οποία είχαν προστεθεί μερικά φύλλα με στιχουργήματα στην ελληνική γλώσσα. Αυτή η συλλογή βρίσκεται στην βιβλιοθήκη της Ρουμανικής Ακαδημίας ως ρουμανικός κώδικας υπ' αριθμόν 3078. Το πρόσθετο ελληνικό χειρόγραφο οφείλεται στον ερασιτέχνη αντιγραφέα Δημήτριο Αναγνώστη, χρονολογημένο τον Ιούλιο του 1809, χωρίς αναφορά στον στιχουργό ή στον τίτλο του στιχουργήματος. Μετά το τέλος της αντιγραφής του «Θουρίου», υπάρχει η σημείωση «τέλος των στοίχων, οι δε νόμοι ην πολλοί και εβαρύνθην να τους γράψω», γεγονός που σε συνδυασμό με το ότι το κείμενο παρουσιάζεται

μερικώς διορθωμένο επί το λογιότερον, μπορεί να σημαίνει ότι έκανε αντιγραφή από χειρόγραφο αντίγραφο του εντύπου της Βιέννης, πιθανόν διορθωμένο.

2.2.3 Ιδιαιτερότητες των Χειρογράφων Z, B¹, K, B²

2.2.3.1 Το Χειρόγραφο Z

Η τύχη του χειρόγραφου της Ζακύνθου δεν είναι σήμερα γνωστή, επομένως δεν μπορεί να πει κανείς αν οι περιορισμένες αποκλίσεις του χειρόγραφου από το έντυπο της Βιέννης είναι αυθεντικές ή οφείλονται σε σιωπηρές παρεμβάσεις του εκδότη του, για να λάβει το κείμενο λογιότερη μορφή, σε πρωτοβουλία κάποιου αντιγραφέα ή στην ύπαρξη διαφορετικού προτύπου.

Το Σύνταγμα του Ρήγα στο χειρόγραφο της Ζακύνθου παρουσιάζει τις εξής ιδιαιτερότητες: προσθήκη με το όνομα του συγγραφέα, προσθήκη με προμετωπίδα από τον «Θούριο», αντικατάσταση τούρκικων λέξεων με άλλες ελληνικές που αποδίδουν το ίδιο νόημα, και άλλα αντιγραφικά σφάλματα.

Είναι φανερό πως το κείμενο του Συντάγματος που παρέχει το χειρόγραφο Z προέρχεται από το κείμενο του εντύπου της Βιέννης, αλλά δεν αντιγράφει απ'ευθείας το ανεύρετο έντυπο της Βιέννης, αλλά πιθανότατα μία ελαφρώς αναθεωρημένη (γλωσσικά) ανατύπωση που έγινε στην Λειψία το 1798.

2.2.3.2 Το Χειρόγραφο B¹ στην Βιβλιοθήκη της Ρουμανικής Ακαδημίας,

Βουκουρέστι

Ο ερασιτέχνης αντιγραφέας Νικόλαος Παρπαρίγος φιλοπόνησε το χειρόγραφο αυτό στο Ιάσιο της Μολδαβίας. Παρουσιάζονται οι διαφορές του κειμένου της «Νέας Πολιτικής Διοικήσεως» στο χειρόγραφο αυτό σε σχέση με το αντίστοιχο κείμενο στο χειρόγραφο Z. Αυτές είναι: παράλειψη εθνοσήμου μετά την επικεφαλίδα αλλά εμφάνιση αυτού στο τέλος του Παραρτήματος, παράλειψη συνθήματος «Υπέρ των νόμων και της πατρίδος», διαφορετική αριθμηση άρθρων, διαφορετική σύνταξη σε διάφορα χωρία, σημαντικά διαφορετική διατύπωση σε ορισμένα σημεία του κειμένου,

παραλείψεις που δεν ανάγονται σε κατανοητά αντιγραφικά σφάλματα και τέλος, προσθήκες που δεν μπορεί να οφείλονται σε πρωτοβουλία του αντιγραφέα.

Τα κείμενα του Συντάγματος και του «Θουρίου» του χειρόγραφου B¹ είναι αδύνατον να προέρχονται από το έντυπο της Βιέννης. Το χειρόγραφο αυτό δεν μπορεί παρά να διασώζει την πρώτη μορφή των δύο επαναστατικών έργων του Ρήγα, αυτήν δηλαδή της αρχικής, χωριστής και αποκλειστικά χειρόγραφης κυκλοφορίας.

2.2.3.3 Το Χειρόγραφο K

Το χειρόγραφο των Κυθήρων αποτελείται από 6 κόλλες χαρτί διπλωμένες στα δύο και πιασμένες με κλωστή, έτσι ώστε να σχηματίζεται ένα φυλλάδιο με 12 φύλλα, δηλαδή 24 σελίδες.

Στο άνω δεξιό μέρος της εξωτερικής σελίδας, έχει γραφεί με ψιλά γράμματα και πιθανώς από άλλο χέρι η ένδειξη «Πολιτική διοικήσεις». Αμέσως μετά από την επικεφαλίδα, υπάρχει ακριβώς όπως και στο έντυπο της Βιέννης, το εθνόσημο της υπό σύσταση Ελληνικής Δημοκρατίας, σχεδιασμένο δύο φορές, καθώς η πρώτη απόδοση δεν ικανοποίησε τον αντιγραφέα. Οι σελίδες δεν αριθμούνται ενώ στο κάτω δεξιά άκρο της καθεμίας υπάρχει πάντα η παραπεμπτική λέξη. Δεν αναγράφεται το όνομα του αντιγραφέα, ούτε η χρονολογία της αντιγραφής. Ο άγνωστος αντιγραφέας δεν είναι καλλιγράφος, ωστόσο γράφει ευανάγνωστα και προσεκτικά, ενώ τα αντιγραφικά του σφάλματα είναι ευάριθμα.

Το χειρόγραφο τοποθετείται χρονολογικά κοντά στο έντυπο της Βιέννης του 1797, του οποίου αποτελεί ένα πιστό και πιθανότατα ένα απ'ευθείας αντίγραφο. Ο Εμμανουήλ Σ. Στάθης πιθανολόγησε ότι το χειρόγραφο αυτό είναι αντίγραφο του εντύπου της Βιέννης, που έγινε με την φροντίδα και για λογαριασμό του Κυθηρίου λογίου Εμμανουήλ Καλούτση (1755-1833) για τα δημοκρατικά του φρονήματα.

2.2.3.4 Το Χειρόγραφο B² στην Βιβλιοθήκη της Ρουμανικής Ακαδημίας,

Βουκουρέστι

Με το κείμενο του «Θουρίου» αρχίζει η μικρή συλλογή στιχουργημάτων σε ελληνική γλώσσα, που βρίσκεται προσαρτημένη στον ρουμανικό κώδικα 3078. Το κείμενο

αυτό παρουσιάζει μικρές μόνο αποκλίσεις από εκείνο της ανατύπωσης της Κέρκυρας, οι οποίες μπορούν να αποδοθούν σε διαδοχικά αντιγραφικά σφάλματα. Οι ηθελημένες γραμματικές διορθώσεις επί το λογιότερον στο κείμενο μπορεί να οφείλονται στον αντιγραφέα Δημήτριο Αναγνώστη ή σε άλλους ανώνυμους ενδιάμεσους αντιγραφείς. Η σημαντικότερη ιδιαιτερότητα του χειρογράφου αυτού είναι η πιθανώς παραπλανητική αλλαγή του τίτλου του ποιήματος του Ρήγα.

Συμπερασματικά, το χειρόγραφο B² παρά τις κάποιες ιδιαιτερότητες, προέρχεται χωρίς αμφιβολία, αν και όχι άμεσα, από το ανεύρετο έντυπο της Βιέννης.

2.3 Η σημασία της Ταυτοποίησης Γραφέα του Συντάγματος του Ρήγα

Από την παρουσίαση των ιστορικών στοιχείων του Συντάγματος του Ρήγα ως κειμένου και ως εγγράφου, αλλά και από την συγκριτική μελέτη των χειρόγραφων αντίγραφων αυτού ως προς την μορφολογία και το περιεχόμενο, προκύπτει άμεσα ότι οι 22 εικόνες του Συντάγματος της Ελλάδος που μελετώνται στην παρούσα εργασία ανήκουν στο 24-σέλιδο χειρόγραφο των Κυθήρων, όπως αυτό βρέθηκε από τον Εμμανουήλ Σ. Στάθη. Προκύπτει επίσης ότι το χειρόγραφο αποτελεί το μόνο πιστό και πιθανότατα απ'ευθείας αντίγραφο του ανεύρετου εντύπου που συνέταξε και εξέδωσε στην Βιέννη το 1797 ο Ρήγας.

Η πορεία του Συντάγματος του Ρήγα στον χρόνο ξεκινά την στιγμή που ο Ρήγας έδωσε το διορθωμένο πρωτότυπο χειρόγραφό του στον συνεργάτη του Χριστόφορο Περραιβό, για να το καθαρογράψει πριν παραδοθεί στο τυπογραφείο της Βιέννης, όπου εκδόθηκε η «Επαναστατική Προκήρυξη». Ακολουθεί το χειρογραμμένο πλήρες διορθώσεων έγγραφο που βρέθηκε πάνω του κατά την σύλληψή του και τον καταδίκασε ως συγγραφέα του πρωτότυπου του παράνομου αυτού εγγράφου. Συνεχίζει ακολουθώντας τα χειρόγραφα αντίγραφα και τις ανατυπώσεις της πρώτης έκδοσης, που καταστράφηκαν, αλλά και πάλι διαδόθηκαν στις μεγάλες πόλεις των Βαλκανίων. Φθάνει στην ανεύρεση ενός χειρογράφου στα Κύθηρα, που φαίνεται να ακολουθεί πιστά το περιεχόμενο και την μορφή του εντύπου που τύπωσε ο Ρήγας.

Η σημασία της ταυτοποίησης του γραφέα του Συντάγματος του Ρήγα συνδέεται με την μάλλον απίθανη ιδέα να είναι ο ίδιος ο Ρήγας γραφέας του χειρόγραφου των Κυθήρων, αλλά και με την σημασία της ταυτοποίησης του αντιγραφέα του έργου αυτού.

Στην περίπτωση που το χειρόγραφο που διασώζεται και φέρει την μεγαλύτερη ομοιότητα με το αρχικό κείμενο του Ρήγα, όπως αυτός αποφάσισε να το εκδώσει το 1797, αποδειχθεί πως είναι γραμμένο από το χέρι του συγγραφέα, τότε δίνεται οριστική λύση στο πρόβλημα της αποκατάστασης του αυθεντικού κειμένου, αλλά και στην αναζήτηση του ανεύρετου εντύπου της Βιέννης.

Στην περίπτωση που αποδειχθεί ότι το χειρόγραφο αυτό είναι γραμμένο από άλλο χέρι, έχει ιδιαίτερη αξία η ταυτοποίηση του αντιγραφέα με άλλους αντιγραφείς του έργου του Ρήγα, όπως ήταν ο συνεργάτης του Χριστόφορος Περραιβός.

3

Κατάτμηση Εικόνας

3.1 Το πρόβλημα της Κατάτμησης

Η κατάτμηση εικόνας αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα στα επιστημονικά πεδία της Επεξεργασίας Εικόνας, της Όρασης Υπολογιστών και της Τεχνητής Νοημοσύνης. Επιλύοντας το πρόβλημα του διαχωρισμού της εικόνας σε σύνολα που παρουσιάζουν ισχυρό βαθμό συσχέτισης με βάση οριζόμενα κριτήρια ομοιότητας, μπορεί κανείς να εξάγει πληροφορία για την εικόνα ή κατ' επέκταση για τον χώρο, αν τα δεδομένα βρίσκονται στον 3Δ χώρο, η οποία αφορά την σκηνή του πραγματικού κόσμου.

Η αναζήτηση, εξαγωγή και συσταδοποίηση δεδομένων που παρουσιάζουν ποικιλομορφία, γίνονται διαθέσιμα σε μεγάλη ταχύτητα και αποτελούν έναν μεγάλο όγκο δεδομένων, με σκοπό την διαχείριση αυτών σε πραγματικό χρόνο, αποτελεί ένα από τα κύρια θέματα με τα οποία ασχολείται ο κλάδος της Επιστήμης των Υπολογιστών. Η ανάπτυξη και εφαρμογή αλγορίθμων Μηχανικής Μάθησης που αποτελούν εργαλεία της Επιστήμης των Δεδομένων, βασίζεται σε έννοιες και μεθόδους ομαδοποίησης δεδομένων, καθώς η έννοια του διαχωρισμού δεδομένων σε ομάδες με βάση κάποιο κριτήριο ομοιότητας βρίσκεται στην καρδιά του προβλήματος της αποτελεσματικής διαχείρισης των δεδομένων.

Η ομαδοποίηση δεδομένων αποτελεί βασικό βήμα κατά την διαδικασία κατάτμησης εικόνας, αλλά επίσης δίνει λύση σε καθημερινά θέματα όπως είναι η αναζήτηση σε

μία βάση δεδομένων. Παρουσιάζονται ορισμένες μέθοδοι ομαδοποίησης δεδομένων, για κάθε μία από τις βασικές τεχνικές ομαδοποίησης, δηλαδή τις Διαχωριστικές Τεχνικές και τις Ιεραρχικές Τεχνικές.

Οι ερευνητές Όρασης Υπολογιστών έχουν χρησιμοποιήσει διαφορετικές μεθοδολογίες για να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα της Κατάτμησης Εικόνας. Οι μέθοδοι ταξινομούνται σε κατηγορίες σύμφωνα με την μαθηματική μεθοδολογία που χρησιμοποιούν. Αυτές είναι οι Μέθοδοι Λογισμού Μεταβολών, οι Στατιστικές Μέθοδοι, οι Μέθοδοι που βασίζονται σε Γράφους και οι Μορφολογικές Μέθοδοι. Ακολουθεί παρουσίαση ορισμένων αλγορίθμων από διάφορες κατηγορίες μεθόδων Κατάτμησης που βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή και χρησιμότητα.

3.2 Μέθοδοι κατάτμησης εικόνας με βάση Διαχωριστικές

Τεχνικές (Partitional Techniques)

Η βασική ιδέα των Διαχωριστικών Τεχνικών Κατάτμησης είναι η ανάθεση ενός σημείου του συνόλου δεδομένων σε υποσύνολα, ή ισοδύναμα υποπεριοχές του χώρου, κάνοντας ελαχιστοποίηση ενός κριτηρίου απόστασης μεταξύ αυτού και των θεωρούμενων σημείων – εκπροσώπων του κάθε υποσυνόλου στον χώρο. Τα υποσύνολα εικόνας, 3D, ή πολυδιάστατου χώρου αποτελούν τις κλάσεις στις οποίες διαχωρίζονται τα διανύσματα του συνόλου δεδομένων.

Για λόγους απλότητας και συσχέτισης με το θέμα που αντιμετωπίζεται στην παρούσα εργασία, ακολουθεί περιγραφή ενός γενικού αλγορίθμου ομαδοποίησης σημείων σε μία εικόνα για το πρόβλημα της κατάτμησης σε δύο κλάσεις ‘γράμμα’, ‘όχι γράμμα’.

Ορίζοντας ένα γνωστό αριθμό υποπεριοχών σε μία εικόνα, έστω K , και ένα κριτήριο απόστασης μεταξύ της φωτεινότητας του σημείου στην γκριζα εικόνα και της μέσης τιμής φωτεινότητας των σημείων που ανήκουν σε μία υποπεριοχή, δηλαδή ενός εκπροσώπου που βρίσκεται στο κέντρο βάρους της υποπεριοχής, γίνεται

αρχικοποίηση των δύο υποπεριοχών ‘γράμμα’, ‘όχι γράμμα’ που εκπροσωπούνται από την μέγιστη και την ελάχιστη τιμή του ιστογράμματος της εικόνας.

Κάθε σημείο της εικόνας ανατίθεται στην υποπεριοχή που εκπροσωπείται από μία μέση τιμή φωτεινότητας πιο κοντά στην τιμή φωτεινότητας στο σημείο αυτό, όπου η μέση τιμή φωτεινότητας είναι αυτή των σημείων που ανήκουν στην κλάση αυτή στο τρέχον βήμα του αλγορίθμου. Οι εκπρόσωποι των K περιοχών, που στην περίπτωση αυτή είναι οι περιοχές που ορίζουν τα γράμματα της αλφαβήτου και το υπόβαθρο της εικόνας, ανανεώνονται ως αριθμητικοί μέσοι των τιμών φωτεινότητας των μελών της περιοχής πριν ακολουθήσει εκ νέου ανάθεση. Ο αλγόριθμος συγκλίνει όταν κανένα μέλος δεν αλλάζει ομάδα, δηλαδή η κατάτμηση σε υποπεριοχές ‘γράμμα’, ‘όχι γράμμα’ είναι οριστική. Σημειώνεται πως στην γενική του μορφή, ο αλγόριθμος επηρεάζεται σημαντικά από την αρχικοποίηση των εκπροσώπων των κλάσεων και από την σειρά ανάθεσης των σημείων στις επιμέρους κλάσεις.

Η χρήση διαφορετικού ορισμού για τον εκπρόσωπο κάθε κλάσης, όπως είναι το σημείο με φωτεινότητα ίση με την διάμεσο των φωτεινότητων των μελών της κλάσης, παρατηρείται σε αρκετές περιπτώσεις να δίνει καλύτερο αποτέλεσμα κατάτμησης, ενώ οι αλγόριθμοι που βασίζονται σε τέτοιους εκπροσώπους κλάσεων δίνουν πιο αξιόπιστα αποτελέσματα σε σχέση με την κατάτμηση που δίνει ο K -means με αριθμητικό μέσο. Ειδικότερα, οι αλγόριθμοι αυτοί επηρεάζονται λιγότερο από τον θόρυβο, λειτουργούν όμως καλύτερα, όπως και οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούν το κέντρο βάρους των κλάσεων, όταν οι υποπεριοχές έχουν κυκλικά σχήματα και παραπλήσια μεγέθη. Δεν αποφεύγουν την αποτυχία στο πρόβλημα κατάτμησης σε υποπεριοχές που διαφέρουν σημαντικά ως προς το μέγεθος, αλλά και σε αυτές που έχουν κυρτά σχήματα.

3.3 Μέθοδοι κατάτμησης εικόνας με βάση Ιεραρχικές

Τεχνικές (Hierarchical Techniques)

3.3.1 Στάδια μεθοδολογίας Κατάτμησης Εικόνας με βάση Ιεραρχικές

Τεχνικές

Οι μέθοδοι κατάτμησης εικόνας που βασίζονται σε ιεραρχικές τεχνικές ακολουθούν τα παρακάτω κύρια βήματα:

Βήμα 1^ο Ορισμός οντοτήτων που μπορεί να είναι και εικονοστοιχεία

Βήμα 2^ο : Αρχικοποίηση των οντοτήτων στην εικόνα ως μεμονωμένα εικονοστοιχεία, ώστε να συμπεριλαμβάνονται όλα τα εικονοστοιχεία της εικόνας

Βήμα 3^ο: Ορισμός κριτηρίων συγγένειας αλλά και διαφοροποιήσεων μεταξύ οντοτήτων

Βήμα 4^ο: Υπολογισμός βαθμού συγγένειας κάθε οντότητας με όλες τις άλλες. Ορισμός πίνακα συγγένειας όπου κάθε στοιχείο εκφράζει τον βαθμό ομοιότητας μεταξύ των οντοτήτων της αντίστοιχης γραμμής και στήλης

Βήμα 5^ο: Κατωφλιοποίηση του πίνακα συγγένειας με χρήση κατωφλίου συσχέτισης που εκφράζει το πρόβλημα κατάτμησης. Για παράδειγμα, αν το πρόβλημα προς επίλυση είναι η κατάτμηση εικόνας σε θεματικές ή χρωματικές περιοχές, τότε ο βαθμός ομοιότητας πρέπει να εκφράζει την απόσταση του θεματικού ή χρωματικού περιεχομένου των δύο συγκρινόμενων περιοχών/οντοτήτων. Τα στοιχεία του πίνακα με τιμή μικρότερη από ένα κατάλληλα επιλεγμένο κατώφλι μηδενίζονται, θεωρείται δηλαδή ότι αυτά δε μπορούν να ανήκουν στην ίδια οντότητα, δηλαδή στην ίδια θεματική ή χρωματική περιοχή.

Βήμα 6^ο: Θεώρηση αρχικών οντοτήτων ως κόμβων γράφου. Υπάρχει ακμή μεταξύ δύο κόμβων του γράφου αν ο βαθμός συγγένειας, δηλαδή η τιμή στην γραμμή και στήλη του πίνακα συγγένειας είναι μεγαλύτερη του μηδενός, η οποία παίρνει σαν βάρος την τιμή του βαθμού συγγένειας των οντοτήτων.

Βήμα 7^ο: Διαδικασία Ομαδοποίησης κόμβων με ακμές υψηλού βάρους, επομένως μεγάλο βαθμό συγγένειας. Οι κόμβοι ομαδοποιούνται και σχηματίζουν οντότητες, θεωρώντας πως ανά δύο ενώνονται και δημιουργούν νέο κόμβο στην θέση των

προηγούμενων. Ο νέος κόμβος ενώνεται με ακμές ορισμένου βάρους με τους κόμβους του γράφου, οι οποίες ορίζονται ξανά δυναμικά. Η διαδικασία συγκλίνει όταν όλοι οι κόμβοι που έχουν ομαδοποιηθεί σε οντότητες έχουν βαθμό συγγένειας μεγαλύτερο από ένα κατώφλι.

Ειδικότερα για το πρόβλημα της αυτόματης κατάτμησης εικόνας, τα επιμέρους στάδια είναι τα ακόλουθα:

Βήμα 1^ο: Ορισμός οντοτήτων ως εικονοστοιχείων της εικόνας

Βήμα 2^ο: Αρχικοποίηση των οντοτήτων στην εικόνα ως μεμονωμένων εικονοστοιχείων

Βήμα 3^ο: Ορισμός της χρωματικής απόστασης ως μέτρου ομοιότητας μεταξύ δύο εικονοστοιχείων

Έστω εικονοστοιχεία p_i, p_j με χρωματικό περιεχόμενο $(R_i, G_i, B_i), (R_j, G_j, B_j)$, τότε η χρωματική απόσταση ορίζεται ως $d_n = \|(R_i, G_i, B_i) - (R_j, G_j, B_j)\|_n, n=1,2,\infty$

Βήμα 4^ο: Υπολογισμός βαθμού συγγένειας κάθε οντότητας με όλες τις άλλες. Ορισμός πίνακα ομοιότητας που αρχικά τα στοιχεία του είναι η χρωματική απόσταση όλων των εικονοστοιχείων ανά δύο.

Βήμα 5^ο: Κατωφλιοποίηση του πίνακα συγγένειας με χρήση κατωφλίου συσχέτισης όπου μηδενίζονται τα στοιχεία με χρωματική απόσταση μεταξύ οντοτήτων μικρότερη από ένα χρησιμοποιούμενο κατώφλι.

Βήμα 6^ο: Θεώρηση αρχικών οντοτήτων ως κόμβων γράφου. Υπάρχει ακμή μεταξύ δύο κόμβων του γράφου αν ο βαθμός συγγένειας, δηλαδή η τιμή στην γραμμή και στήλη του πίνακα συγγένειας είναι μεγαλύτερη του μηδενός, η οποία παίρνει σαν βάρος την τιμή του βαθμού συγγένειας των οντοτήτων. Ο αραιός πίνακας συγγένειας έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία ενός αραιού γράφου.

Βήμα 7^ο: Διαδικασία Ομαδοποίησης κόμβων με ακμές υψηλού βάρους, επομένως μεγάλο βαθμό συγγένειας. Σύγκλιση της διαδικασίας όταν όλοι οι κόμβοι που έχουν ομαδοποιηθεί σε οντότητες έχουν βαθμό συγγένειας μεγαλύτερο από ένα κατώφλι.

Οι μέθοδοι που ακολουθούν τα παραπάνω βήματα είναι γνωστές ως Συσσωρευτικές Μέθοδοι Ιεραρχικής Συσταδοποίησης, ενώ το κυρίαρχο στοιχείο το οποίο τις

διαφοροποιεί μεταξύ τους είναι ο τρόπος υπολογισμού του βαθμού ομοιότητας μεταξύ των υπαρχόντων αλλά και των συγχωνευμένων ομάδων, σε κάθε επανάληψη της διαδικασίας.

3.3.2 Ειδικές Ιεραρχικές Τεχνικές και Μειονεκτήματα

Το χρησιμοποιούμενο κριτήριο συγγένειας ή ομοιότητας μεταξύ των υπαρχόντων και των συγχωνευμένων ομάδων, σε κάθε επανάληψη της διαδικασίας ορίζει μερικές παραλλαγές των Ιεραρχικών Τεχνικών. Αν και οι Ιεραρχικές Τεχνικές έχουν 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 συστάδας. Πιο συγκεκριμένα:

Μέθοδος με έναν αντιπρόσωπο για κάθε συστάδα: Ορίζεται ένας αντιπρόσωπος για κάθε συστάδα. Αρχικά κάθε εικονοστοιχείο είναι και ο αντιπρόσωπος του εαυτού του. Ακολουθεί υπολογισμός κριτηρίου ομοιότητας μεταξύ των αντιπροσώπων κάθε συστάδας και κατωφλιοποίηση. Η απόφαση συγχώνευσης δύο συστάδων γίνεται με βάση τον κατωφλιοποιημένο πίνακα συγγένειας ή ομοιότητας.

Στην περίπτωση ορισμού των αντιπροσώπων ως τα κέντρα βάρους των περιοχών, η μέθοδος παρουσιάζει παρόμοιες αστοχίες με τις Διαχωριστικές μεθόδους K-means, στην περίπτωση όπου η μία υποπεριοχή αντιστοιχεί σε σύνολο πολύ διαφορετικού σχήματος και μεγέθους σε σχέση με αυτό της άλλης υποπεριοχής.

Single Link Method: Κάθε συστάδα αντιπροσωπεύεται από όλα τα στοιχεία που ανήκουν σε αυτήν, ενώ η ομοιότητα μεταξύ δύο συστάδων ορίζεται ως η ομοιότητα του πιο κοντινού ζεύγους στοιχείων που ανήκουν σε αυτές.

Η μέθοδος αντιμετωπίζει αποτελεσματικά την περίπτωση κατάτμησης εικόνας με διαφορετικού μεγέθους και σχήματος υποπεριοχές, ενώ αποτυγχάνει όταν υπάρχει θόρυβος, αφού λαμβάνει υπ' όψιν της όλα τα ζεύγη δεδομένων.

CURE Method: Ορίζεται ένας αριθμός αντιπροσώπων για κάθε συστάδα, ενώ το κριτήριο ομοιότητας μετράται μεταξύ των ζευγών των αντιπροσώπων των συστάδων.

Το κριτήριο συνένωσης δύο περιοχών εξαρτάται από τον βαθμό ομοιότητας των ζευγών που ανήκουν στις διαφορετικές συστάδες συνολικά, ενώ σε κάθε συγχώνευση συστάδων, ορίζονται δυναμικά οι νέοι αντιπρόσωποι για την συγχωνευμένη συστάδα.

Ο αριθμός των αντιπροσώπων εξαρτάται από το μέγεθος, το σχήμα αλλά και την παρουσία θορύβου σε κάθε συστάδα. Με τον ορισμό πολλών αντιπροσώπων για κάθε περιοχή, αλλά και επειδή αυτοί συρρικνώνονται προς το κέντρο βάρους, η μέθοδος αντιμετωπίζει με μεγαλύτερη επιτυχία την περίπτωση ποικίλων μεγεθών και σχημάτων για τις υποπεριοχές της εικόνας. Η απόφαση για συγχώνευση συσταδων διαφορετικών μεγεθών και σχημάτων είναι εύκολη, καθώς λαμβάνεται υπ' όψιν μόνο η ελάχιστη απόσταση μεταξύ αντιπροσώπων και όχι η συνολική διασύνδεση μεταξύ των δύο συστάδων. Πρέπει να σημειωθεί πως σε ειδικές περιπτώσεις, η μέθοδος οδηγείται σε λανθασμένες συγχωνεύσεις περιοχών.

Group Average Method: Διασύνδεση όλων των στοιχείων των συστάδων και υπολογισμός όλων των αποστάσεων μεταξύ τους. Γίνεται κανονικοποίηση των αποστάσεων του πίνακα συγγένειας όπου ο αριθμός γραμμών αντιστοιχεί στο πλήθος των στοιχείων της πρώτης περιοχής και ο αριθμός στηλών στο πλήθος των στοιχείων της δεύτερης υποπεριοχής, ώστε να αντιμετωπίζεται η περίπτωση των ποικίλων μεγεθών των συστάδων.

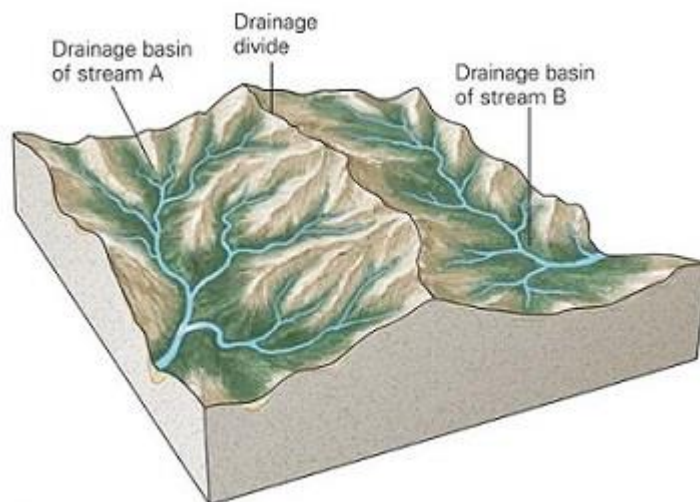
ROCK Method : Η μέθοδος είναι παρόμοια με αυτήν της Group Average Method, η κανονικοποίηση όμως γίνεται με κατώφλι ορισμένο από τον χρήστη.

Η απόφαση για συγχώνευση συστάδων λαμβάνεται με βάση την συνολική διασύνδεση των συστάδων και όχι τα βάρη των ακμών που συνδέουν τις συστάδες, με αποτέλεσμα η μέθοδος να δίνει μη ικανοποιητικές συγχωνεύσεις σε συμπληρωματικές περιπτώσεις από αυτές στις οποίες αποτυγχάνει η CURE μέθοδος.

3.4 Μορφολογικές Μέθοδοι Κατάτμησης

3.4.1 Κατάτμηση Watershed

Με τον όρο ‘watershed’ στην επιστήμη της γεωλογίας γίνεται αναφορά σε ένα υπερυψωμένο τμήμα γης που διαχωρίζει γειτονικές λεκάνες απορροής, περιοχές όπου διοχετεύονται ρεύματα από υγρές μάζες και σχηματίζουν ένα μοναδικό ρεύμα ή ένα σύνολο από ρεύματα. Το όριο των λεκάνων απορροής μπορεί να εμφανίζεται κατά μήκος τοπογραφικών κορυφογραμμών, σε μία σειρά από βουνά που χωρίζουν τις πεδιάδες, ή να είναι πιο δύσκολο να καθοριστεί.



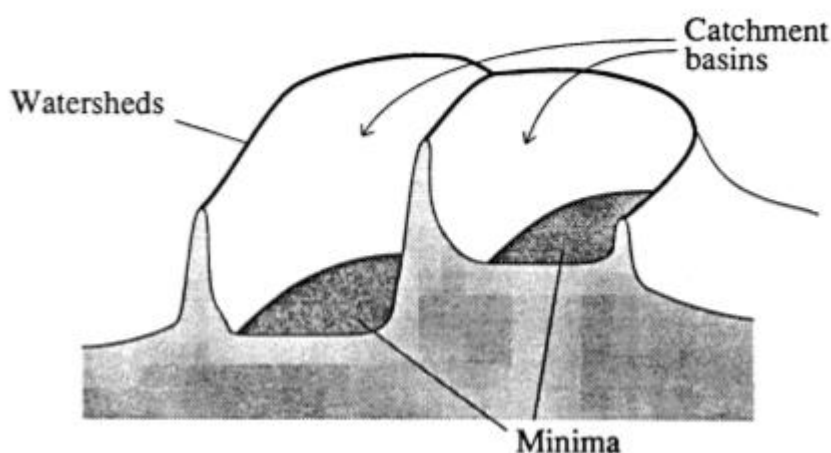
Ο μετασχηματισμός Watershed έχει ονομαστεί με τον γεωλογικό όρο καθώς βασίζεται στην ιδέα του διαχωριστικού ορίου μεταξύ λεκανών απορροής. Εφαρμόζεται σε γκρίζες εικόνες, όπου βλέπει την εικόνα στην οποία επενεργεί ως τοπογραφικό χάρτη, στον οποίον κάθε σημείο αντιπροσωπεύεται από το ύψος της φωτεινότητάς του στην εικόνα, και βρίσκει τις γραμμές που διατρέχουν τις κορυφογραμμές μεταξύ περιοχών.

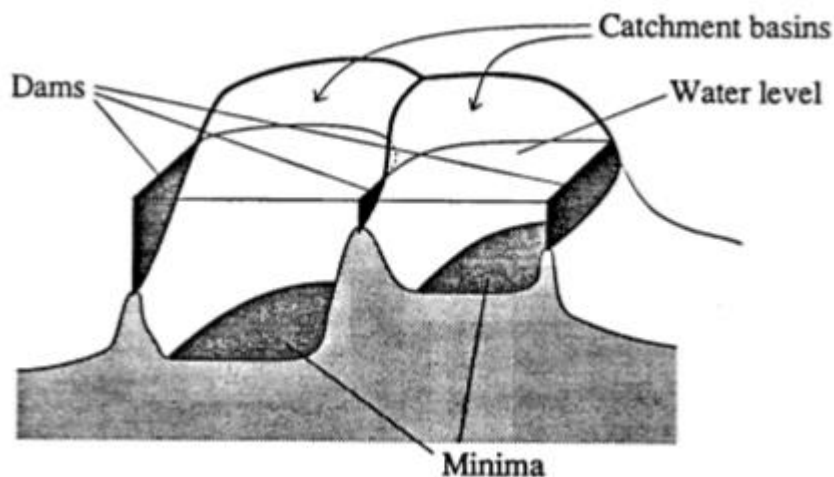
Ο μετασχηματισμός Watershed είναι μία μορφολογική τεχνική κατάτμησης που βασίζεται στην κλίση της εικόνας (gradient-based), η οποία συνδυάζει τις δύο προσεγγίσεις του προβλήματος της κατάτμησης, δηλαδή την ανίχνευση ορίων μεταξύ υποπεριοχών και την ανίχνευση των υποπεριοχών.

3.4.1.1 Watershed με πλημμυρισμό

Πιο συγκεκριμένα, θεωρώντας την εικόνα ως ανάγλυφο διαφορετικών διαβαθμίσεων, όπου η φωτεινότητα κάθε εικονοστοιχείου αντιστοιχεί στο ύψος του ανάγλυφου, γίνεται υπόθεση συνθηκών βροχής. Μία σταγόνα νερού που πέφτει σε ένα σημείο της εικόνας, κυλά κατά μήκος του μονοπατιού της πιο απότομης πλαγιάς μέχρι να παγιδευτεί στην περιοχή ενός ελαχίστου. Το σύνολο των σημείων του ανάγλυφου στα οποία η σταγόνα βροχής πέφτει και καταλήγει στο ελάχιστο αυτό, αποτελεί την λεκάνη συγκέντρωσης που αντιστοιχεί στο ελάχιστο. Το σύνολο των ορίων των διαφορετικών λεκανών συγκέντρωσης μίας εικόνας αποτελεί την γραμμή watershed. Οι κλειστές ακμές που είναι στοιχεία της γραμμής αυτής βρίσκονται στις κορυφογραμμές της εικόνας και την διαχωρίζουν σε υποπεριοχές που αντιστοιχούν σε διαφορετικά ελάχιστα.

Μία διαισθητική διαδικασία εύρεσης της γραμμής watershed, είναι αυτή του πλημμυρισμού των λεκανών συγκέντρωσης, ή πεδιάδων ή περιοχών με χαμηλότερες τιμές φωτεινότητας, με ομοιόμορφο τρόπο και ταχύτητα, τοποθετώντας πηγές στα σημεία ελαχίστων. Η στάθμη που ανεβαίνει, δεν επιτρέπεται να υπερχειλίσει προς τις γειτονικές λεκάνες, κάτι που επιτυγχάνεται με την δημιουργία φραγμάτων. Ο πλημμυρισμός σταματά όταν η στάθμη φτάνει το υψηλότερο σημείο του τοπογραφικού ανάγλυφου, δηλαδή την υψηλότερη τιμή φωτεινότητας. Οι κορυφογραμμές που απομένουν και οι ακμές των φραγμάτων αποτελούν όρια κατάτμησης της εικόνας σε υποπεριοχές.





Η βασική ιδέα της Κατάτμησης Watershed αφορά την εφαρμογή της διαδικασίας πλημμυρίσματος σε τοπικά ελάχιστα στην εικόνα κλίσης της εικόνας προς κατάτμηση. Ένας απλός ορισμός της κλίσης είναι η αλγεβρική διαφορά της διαστολής και της συστολής του συνόλου της εικόνας με χρήση μικρού δομικού στοιχείου, όπως είναι το τετράγωνο ή ο δίσκος. Γίνεται εφαρμογή του μετασχηματισμού Watershed στην εικόνα κλίσης της αρχικής, με αποτέλεσμα τις υποπεριοχές που συνιστούν την εικόνα προς κατάτμηση.

Παρατηρείται ότι στην περίπτωση μεγάλου πλήθους τοπικών ελαχίστων της εικόνας, που ισοδυναμεί με μεγάλο πλήθος λεκανών συγκέντρωσης, η εφαρμογή της κατάτμησης Watershed οδηγεί στο φαινόμενο της υπερκατάτμησης της εικόνας, όπου πολλές υποπεριοχές συνιστούν τις ευρύτερες υποπεριοχές της ορθής κατάτμησης. Πρέπει να γίνει προεπεξεργασία των θορυβωδών εικόνων ή των εικόνων κλίσης, ή συγχώνευση υποπεριοχών με βάση ένα κριτήριο ομοιότητας ώστε να προσεγγιστεί μία καλή κατάτμηση της εικόνας σε υποπεριοχές. Ωστόσο, ακόμα και ένα έντονο φιλτράρισμα μπορεί να μην βελτιώσει το αποτέλεσμα κατάτμησης.

Η έννοια της καλής κατάτμησης σχετίζεται, όχι μόνο με πρότερη γνώση της κατάτμησης της εικόνας σε τμήματα ή σημασιολογική αναγνώριση των αντικειμένων που αντιστοιχούν στα τμήματα αυτά, αλλά και με ένα αναμενόμενο αποτέλεσμα όπως ορίζεται από το είδος των δεδομένων εικόνας, όπως είναι οι εικόνες βιοϊατρικού περιεχομένου.

3.4.1.2 Watershed Κατάτμηση Ελεγχόμενη από δείκτες

Το φαινόμενο της υπερκατάτμησης εικόνων μπορεί να αντιμετωπιστεί με την χρήση δεικτών για κάθε περιοχή προς ανίχνευση. Ως δείκτης δεδομένης περιοχής ορίζεται ένα συνεκτικό υποσύνολο σημείων στο εσωτερικό της περιοχής. Μετά την εξαγωγή των δεικτών, ακολουθεί διαδικασία που χρησιμοποιεί το γκριζο μορφολογικό φίλτρο του κλεισίματος, η οποία επιτρέπει την επιβολή των δεικτών ως ελάχιστα της εικόνας κλίσης, και την διατήρηση των κορυφογραμμών της εικόνας κλίσης που διαχωρίζουν την εικόνα σε υποπεριοχές που αντιστοιχούν στους δείκτες. Ο μετασχηματισμός Watershed εφαρμόζεται στην τροποποιημένη εικόνα κλίσης και δίνει τις καλύτερες δυνατές γραμμές που διαχωρίζουν τις υποπεριοχές της εικόνας για το δεδομένο σύνολο δεικτών και την δεδομένη εικόνα κλίσης.

Επομένως, η ποιότητα της κατάτμησης με χρήση δεικτών σχετίζεται άμεσα με την αρχική επιλογή δεικτών και την εικόνα κλίσης.

Η επιλογή αξιόπιστων δεικτών των περιοχών της εικόνας βασίζεται σε κριτήρια που αφορούν την αντίθεση, δηλαδή απότομη διαφορά του επιπέδου φωτεινότητας και σε κριτήρια που αφορούν το μέγεθος των περιοχών. Η εξαγωγή γενικευμένων μεγίστων και ελαχίστων οδηγεί στην εύρεση δεικτών που βασίζονται σε κριτήρια αντίθεσης.

3.5 Μέθοδοι Λογισμού Μεταβολών

Θεωρώντας ότι ένα αντικείμενο διαχωρίζεται σε σχέση με το υπόβαθρό του στην εικόνα, εκεί όπου υπάρχει μία απότομη μεταβολή στο επίπεδο φωτεινότητας ή στο χρώμα, μπορεί κανείς να αναφέρεται σε μία συνοριακή γραμμή ή καμπύλη που προσεγγίζει το σχήμα του αντικειμένου προς ανίχνευση. Στο πλαίσιο του Λογισμού Μεταβολών, το πρόβλημα Κατάτμησης αντιμετωπίζεται με την επίλυση προβλήματος ελαχιστοποίησης συναρτησιακού ενέργειας J που ορίζεται στις διαμερίσεις $R = R_1, \dots, R_N$ του συνόλου εικόνας, δηλαδή γίνεται εύρεση της βέλτιστης διαμέρισης που δίνει την ελάχιστη τιμή κόστους.

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

Όπου f ποσοτικοποιεί την ομοιογένεια των χαρακτηριστικών σε μία θέση και των χαρακτηριστικών στην περιοχή R_i και g είναι μία φθίνουσα συνάρτηση της δύναμης της ακμής.

3.5.1 Ενεργές Καμπύλες

Με δεδομένη μία κλειστή καμπύλη ή ένα σύνολο καμπυλών που περιέχουν αρχικές περιοχές, ακολουθεί διαδικασία τροποποίησης αυτών μέχρι να προσεγγίσουν τις καμπύλες των αντικειμένων της εικόνας, και επομένως την κατάτμηση της εικόνας σε υποπεριοχές.

Το πρόβλημα της ελαχιστοποίησης του συναρτησιακού ενέργειας επιλύεται εξελίσσοντας την καμπύλη στην κατεύθυνση της πιο απότομης κλίσης καθόδου του συναρτησιακού ενέργειας προς ελαχιστοποίηση, και έπειτα θεωρώντας ως λύση του προβλήματος την καμπύλη που δεν μεταβάλλεται πλέον στον χρόνο.

Η μερική διαφορική εξίσωση σύμφωνα με την οποία εξελίσσεται η καμπύλη στον χρόνο, προκύπτει από τις εξισώσεις Euler-Lagrange για την ελαχιστοποίηση του συναρτησιακού ενέργειας, ενώ ισορροπεί όταν η καμπύλη έχει προσεγγίσει βέλτιστα το περίγραμμα του αντικειμένου προς ανίχνευση, χωρίζοντας το σύνολο της εικόνας σε δύο υποσύνολα ‘αντικείμενο’, ‘όχι αντικείμενο’.

Η παραπάνω προσέγγιση χρησιμοποιήθηκε αρχικά στο μοντέλο Snakes, όπου η εξελισσόμενη καμπύλη δίνεται σε παραμετρική μορφή. Το αποτέλεσμα ανίχνευσης αντικειμένων, δηλαδή κατάτμησης της εικόνας, της μεθόδου Ενεργών Καμπυλών εξαρτάται από την επιλογή του σημείου εκκίνησης της κατάτμησης, ενώ το μοντέλο δεν μπορεί απ’ευθείας να διαιρέσει ή να συγχωνεύσει τις εξελισσόμενες καμπύλες.

3.5.2 Γεωδαιτικές Ενεργές Καμπύλες

Η επαναθεμελίωση του μοντέλου Snakes ως υπολογισμού γεωδαιτικών καμπυλών ή καμπυλών ελάχιστης απόστασης ως προς ένα μετρικό που ορίζεται χρησιμοποιώντας την εικόνα, είχε σαν αποτέλεσμα το Μοντέλο Γεωδαιτικών Ενεργών Καμπύλων.

Το μοντέλο αυτό δεν έχει παραμετρική μορφή, ενώ ο υπολογισμός της γεωδαιτικής καμπύλης ανάγεται στην αριθμητική λύση μίας γεωμετρικής ροής με χρήση μεθόδων επιπεδοσυνόλων, όπου η καμπύλη και άρα το περίγραμμα αναπαρίσταται ως το επιπεδοσύνολο μηδενικού επιπέδου μίας 3Δ συνάρτησης.

Οι εξελισσόμενες καμπύλες διαιρούνται και συγχωνεύονται, επιτρέποντας την ταυτόχρονη ανίχνευση αντικειμένων στην εικόνα. Τονίζεται πως χρειάζεται βήμα αρχικοποίησης όπου η αρχική καμπύλη βρίσκεται εξ' ολοκλήρου εξωτερικά ή εσωτερικά των ορίων των αντικειμένων.

4

Περιγραφή και Εφαρμογή μίας νέας μεθόδου Κατάτμησης Εικόνας και Εξαγωγής Περιγραμμάτων

Γίνεται υλοποίηση ενός συστήματος αυτόματης κατάτμησης και εξαγωγής περιγράμματος γραμμάτων της αλφαβήτου της ελληνικής γλώσσας στο κείμενο ‘Νέα Πολιτική Διοίκησης των κατοίκων της Ρούμελης, της Μικράς ασίας, των Μεσογείων νήσων και της Βλαχομπογδανίας’, έργο του Ρήγα Βελεστινλή που χρονολογείται στην Βιέννη του 1797, το οποίο περιλαμβάνει τέσσερα τμήματα:

Επαναστατική Προκήρυξις Υπέρ των νόμων και της πατρίδος

Τα Δίκαια του ανθρώπου σε 35 άρθρα

Το Σύνταγμα της Ελληνικής Δημοκρατίας, σε 124 άρθρα

Θούριος.

4.1 Δημιουργία δεδομένων εικόνων προς κατάτμηση

Έχοντας ως σκοπό την ανάπτυξη συστήματος αυτόματης αναγνώρισης γραφέα και την εκπαίδευση του συστήματος χρησιμοποιώντας ως σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης το αποτέλεσμα κατάτμησης και το περίγραμμα γράμματος όπως αυτά προκύπτουν από το υλοποιούμενο σύστημα, γίνεται η σκέψη της επιλογής γραμμάτων

της αλφαβήτου με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά γραφής αλλά και με ομοιογένεια στον τρόπο με τον οποίον εμφανίζονται σε μία σελίδα, αλλά και στο πέρας των σελίδων του κειμένου που επιλέγονται.

Με την σκέψη της πιθανής συγγραφής του κειμένου από τον γράφοντα ανά έναν μικρό αριθμό σελίδων, με τυχόν ενδιάμεσες διακοπές, αυτή η υπόθεση της ομοιογένειας των εμφανίσεων ενός γράμματος ανά σελίδα αλλά όσο είναι δυνατόν και κατά το σύνολο των επιλεγόμενων σελίδων από το έργο του Συντάγματος, παρουσιάζεται ως εύλογη.

Μία απλή παρατήρηση στις εικόνες του κειμένου όπως αυτές έχουν σκαναριστεί στην Βουλή των Ελλήνων μπορεί να καταστήσει σαφή την σημασία της ανάλυσης της εικόνας, των συνθηκών δημιουργίας των δεδομένων εικόνας, του φωτισμού καθώς και του θορύβου ενός εγγράφου όπως αυτό διασώζεται από τον 18^ο αιώνα, και έχει γραφεί με χρήση πένας και μελάνης, η οποία αφήνει αποτύπωμα στην οπίσθια όψη κάθε σελίδας.

Κάνοντας μία ανάλυση των διαστάσεων του προβλήματος προς επίλυση και των χαρακτηριστικών του συνόλου δεδομένων εικόνων κειμένου, κρίνεται σκόπιμη μία τυχαία επιλογή 7 σελίδων από το σύνολο των 22 σελίδων, σε κάθε μία από τις οποίες επιλέγονται 30 εμφανίσεις για κάθε μελετούμενο γράμμα.

Απομονώνεται τετραγωνική περιοχή γύρω από το επιλεγόμενο γράμμα, ώστε το κέντρο βάρους του γράμματος να συμπίπτει με το κέντρο του τετραγώνου επιλογής και να υπάρχει περιθώριο ασφαλείας από το γράμμα τουλάχιστον 6 εικονοστοιχείων. Η διάσταση της τετραγωνικής περιοχής εξαρτάται από το μέγεθος του γράμματος αυτού καθ'αυτού – κύρια διαφορά γραφής φωνηέντων και συμφώνων της αλφαβήτου.

Η περιοχή του επιλεγόμενου γράμματος δεν περιέχει έντονο θόρυβο, όπως αυτός δημιουργείται από την πίεση της πένας στην σελίδα και άρα απόθεση έντονης μελάνης στο σημείο αυτό, από αλλαγές φωτισμού ή πινελιές από γειτονικές γραμμές. Το επιλεγόμενο γράμμα έχει γραφεί με συνεχόμενες πινελιές και μπορεί να αγγίζει τα

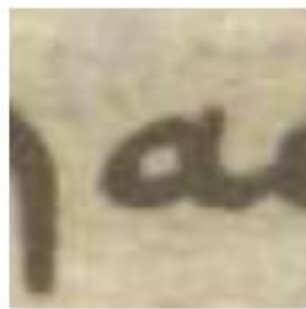
γειτονικά αυτού στην λέξη που έχει γραφεί, με τρόπο τέτοιο ώστε να μπορεί να διαχωριστεί με ευχέρεια.

Σημειώνεται ότι η επιλογή των εμφανίσεων κάθε μελετούμενου γράμματος της αλφαβήτου γίνεται βρίσκοντας την πιο εύκολη και συνηθισμένη μορφή γραφής για το γράμμα, αλλά και μία ισορροπία μεταξύ ποικιλίας και ομοιομορφίας ως προς τον τρόπο γραφής, τέτοια ώστε να μπορεί κανείς να αναφέρεται σε ένα μέσο πρότυπο που προκύπτει από τις εμφανίσεις αυτές ανά σελίδα, αλλά και στην δυνατότητα μετάβασης από κάθε εμφάνιση γράμματος στο μέσο πρότυπο αυτού μέσω αφινικού μετασχηματισμού.

4.2 Περιγραφή και Εφαρμογή μίας νέας μεθόδου Κατάτμησης

Εικόνας

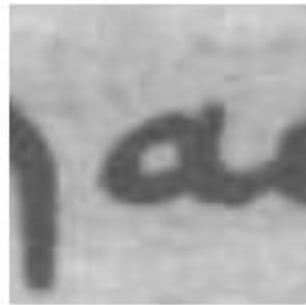
Γίνεται περιγραφή μίας νέας μεθόδου Κατάτμησης Εικόνας όπως δημοσιεύθηκε στην εργασία [9]. Η μέθοδος εφαρμόζεται στις εικόνες προς κατάτμηση, διάστασης από 100 έως 150 εικονοστοιχείων, ανάλογα με το μελετούμενο γράμμα που έχει απομονωθεί σε κάθε εικόνα, ενώ παρουσιάζεται η εφαρμογή κάθε σταδίου του αλγορίθμου κατάτμησης στην δεύτερη επιλεγόμενη εμφάνιση του γράμματος ‘α’ (άλφα) της σελίδας 3, που είναι σελίδα υψηλής ανάλυσης του κειμένου του Συντάγματος της Ελλάδος.



Εικόνα ‘synt_003_a_002.tif’, 2^ο επιλεγόμενο άλφα στην σελίδα 3 του συνόλου δεδομένων.

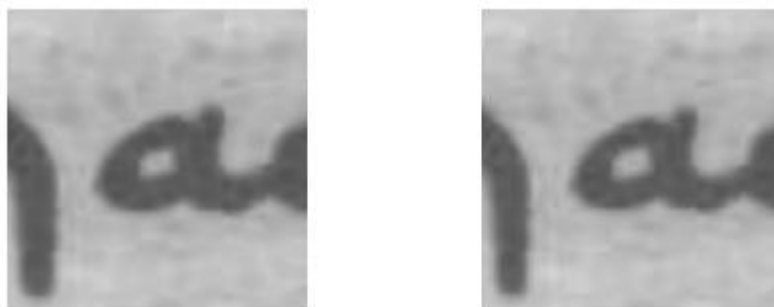
4.2.1 Προεπεξεργασία εικόνων

Η εικόνα μετατρέπεται σε γκρίζα με κανονικοποιημένες τιμές φωτεινότητας στο πεδίο $[0,1]$, όπου η ελάχιστη τιμή 0 αντιστοιχεί στην απόχρωση του μαύρου και η μέγιστη τιμή 1 αντιστοιχεί στην απόχρωση του λευκού.

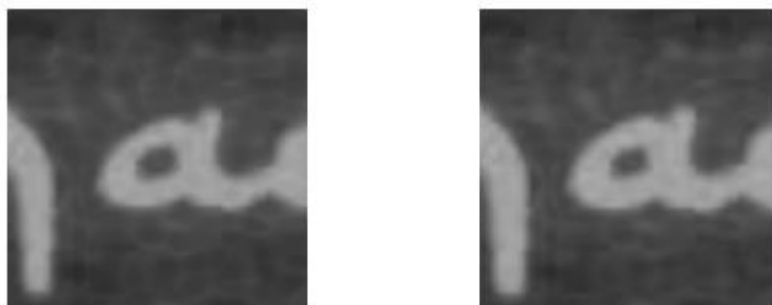


Γκρίζα εικόνα 'synt_003_a_002.tif'

Ακολουθεί εξομάλυνση της εικόνας με χρήση ακολουθίας μορφολογικών φίλτρων. Εφαρμόζεται φίλτρο συστολής με δομικό στοιχείο επίπεδο δίσκο ακτίνας 1 και γίνεται ανακατασκευή της φιλτραρισμένης εικόνας μέχρι να προσεγγίσει βέλτιστα την αρχική, ή ισοδύναμα αν τα δει κανείς σαν σύνολα, μέχρι να πέσει η ανακατασκευασμένη εικόνα πάνω στην αρχική. Εφαρμόζεται η ίδια διαδοχή μορφολογικών φίλτρων στην αφαίρεση της ανακατασκευασμένης εικόνας από το 1.



Αποτέλεσμα φίλτρου συστολής με δίσκο ακτίνας 1 και ανακατασκευή αυτού μέχρι να πέσει πάνω στην αρχική γκρίζα εικόνα. Παρατηρείται πως η συστολή βοήθησε στην εξάλειψη θορύβου διάστασης του δομικού στοιχείου αλλά άπλωσε το σχήμα του γράμματος που είναι σε χαμηλές φωτεινότητες κοντά στο 0, οπότε αυτό έπρεπε να γυρίσει πίσω στο αρχικό σύνολο.



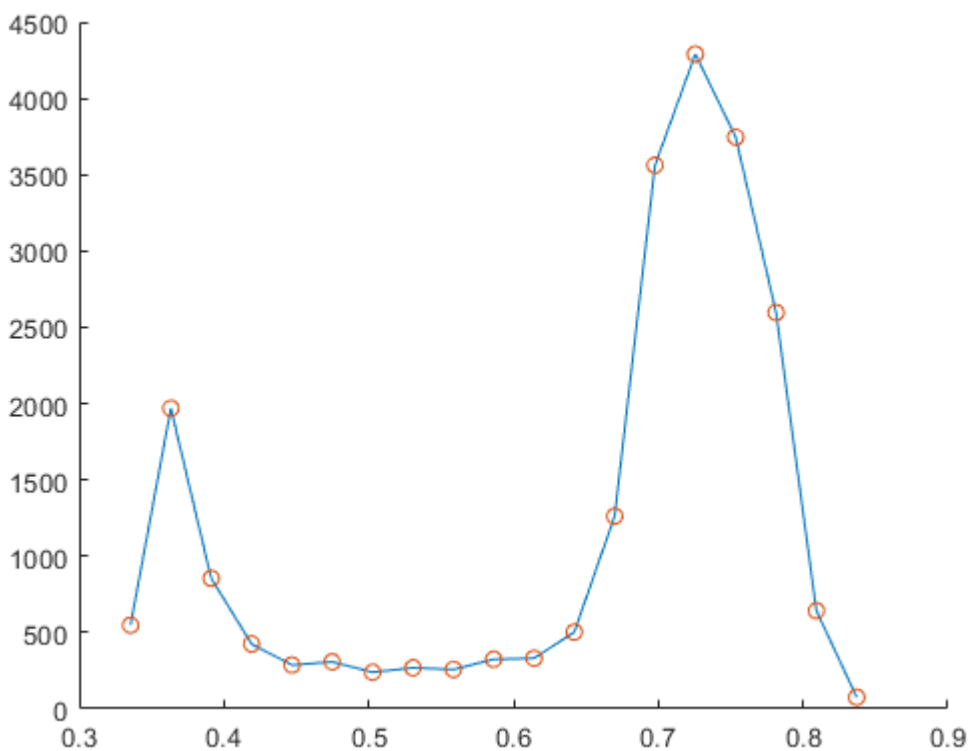
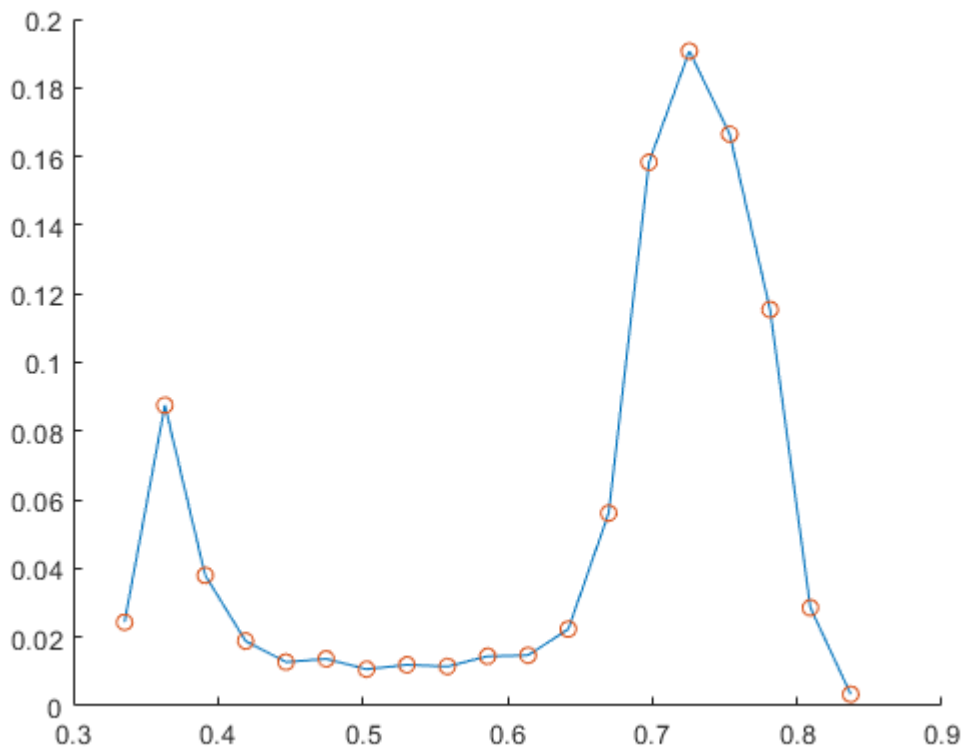
Αποτέλεσμα φίλτρου συστολής με δίσκο ακτίνας 1 στην αφαίρεση της ανακατασκευασμένης εικόνας από την μέγιστη τιμή 1, και ανακατασκευή αυτού μέχρι να πέσει πάνω στην αρχική.

Παρατηρείται πως η συστολή βοήθησε στην εξάλειψη θορύβου διάστασης ίσης με του δομικού στοιχείου, αλλά μίκρυνε το σχήμα του γράμματος που είναι σε υψηλές φωτεινότητες κοντά στο 1, οπότε αυτό έπρεπε να απλωθεί μέχρι να πέσει στο αρχικό σύνολο.

Με αφαίρεση της φιλτραρισμένης εικόνας από την μέγιστη τιμή γκριζών φωτεινοτήτων 1 που αντιστοιχεί στο 255, για εικόνες των 8 bits, προκύπτει η τελική εξομαλυμένη γκριζα εικόνα όπου έχει γίνει εξάλειψη θορύβου μαύρων και άσπρων κόκκων.

4.2.2 Ιστόγραμμα γκριζών εικόνων

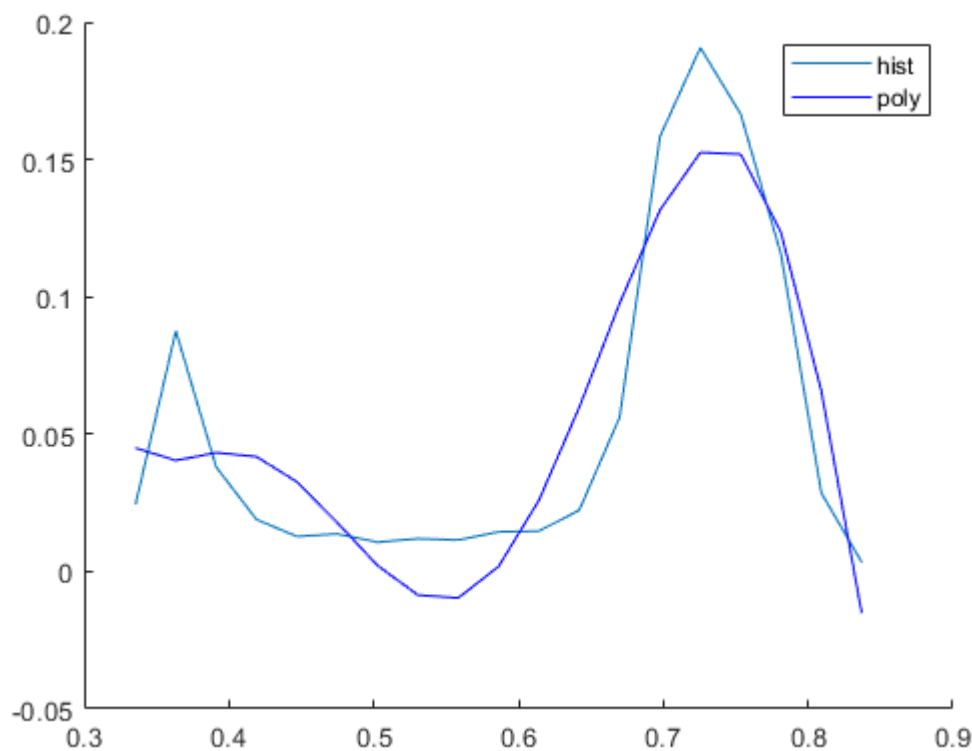
Γίνεται ιστόγραμμα των επιπέδων φωτεινότητας των εικονοστοιχείων κάθε γκριζας εικόνας όπου έχει απομονωθεί ένα γράμμα προς μελέτη, δηλαδή μία κατανομή συχνοτήτων των κανονικοποιημένων φωτεινοτήτων σε κάθε σημείο της εικόνας στο δισδιάστατο επίπεδο, σε έναν αριθμό ίσων διαστημάτων στον άξονα τιμών που ορίζουν η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή φωτεινότητας. Κάθε διάστημα τιμών εκπροσωπείται από την κεντρική τιμή φωτεινότητας αυτού και αντιστοιχείται στο πλήθος των εικονοστοιχείων με φωτεινότητα που ανήκει στο διάστημα αυτό, δηλαδή την συχνότητα. Ο αριθμός των ίσων διαστημάτων στον άξονα τιμών φωτεινότητας λέγεται διαμέριση και αποτελεί παράμετρο του αλγορίθμου κατάτμησης.



Ιστόγραμμα με πραγματικές και κανονικοποιημένες συχνότητες αντίστοιχων τιμών φωτεινότητας στην γκριζα εξομαλυμένη εικόνα, όπου ορίζεται η διαμέριση ίση με 19, δηλαδή 19 διαστήματα τιμών στο ιστόγραμμα.

4.2.3 Ομαλοποιημένο ιστόγραμμα γκριζών εικόνων

Ορίζεται πολυώνυμο κατάλληλα μεγάλου βαθμού το οποίο με πεδίο ορισμού τις κεντρικές τιμές φωτεινότητας των διαστημάτων του ιστογράμματος της εξομαλυμένης γκριζας εικόνας, προσεγγίζει βέλτιστα, με την έννοια των ελαχίστων τετραγώνων, το ιστόγραμμα συχνοτήτων των φωτεινότητων σε όλα τα σημεία της εικόνας αυτής. Ο βαθμός του ομαλού πολυωνύμου που ταιριάζει στα δεδομένα ζεύγη κανονικοποιημένων συχνοτήτων και κεντρικών τιμών φωτεινότητας με τον καλύτερο τρόπο, αποτελεί παράμετρο του χρησιμοποιούμενου αλγορίθμου κατάτμησης.



Ιστόγραμμα με κανονικοποιημένες συχνότητες αντίστοιχων τιμών φωτεινότητας στην γκριζα εξομαλυμένη εικόνα, όπου ορίζεται η διαμέριση ίση με 19, και το ομαλό πολυώνυμο 6^{ου} βαθμού που το προσεγγίζει βέλτιστα.

4.2.4 Εύρεση αρχικής κατάτμησης γκριζας εικόνας

Γίνεται εύρεση των σημείων καμπής του ομαλού πολυωνύμου που προσεγγίζει το ιστόγραμμα της γκριζας εικόνας, ισοδύναμα των σημείων αλλαγής προσήμου της δεύτερης παραγώγου του πολυωνύμου.

4.2.4.1 Ακρότατα και Καμπή

Ορισμός. Έστω σημείο x_0 εσωτερικό σημείο διαστήματος (α, β) , f συνεχής στο x_0 . Αν υπάρχει εφαπτομένη στο $(x_0, f(x_0))$, f κυρτή στο διάστημα (α, x_0) και κοίλη στο (x_0, β) , ή αντίστροφα, τότε το σημείο αυτό ονομάζεται σημείο καμπής της f .

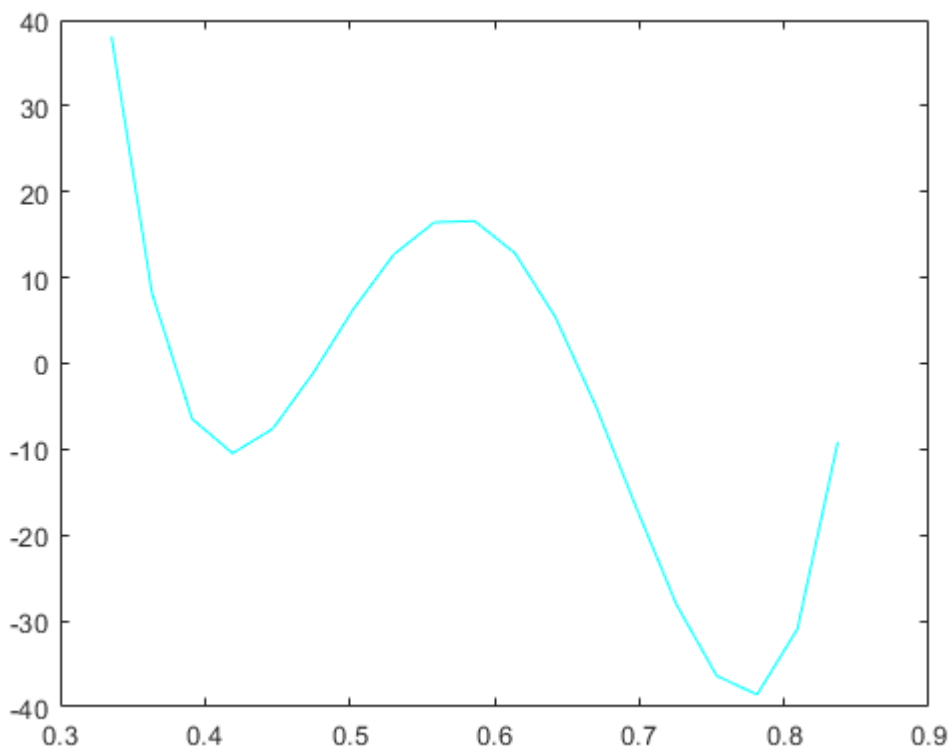
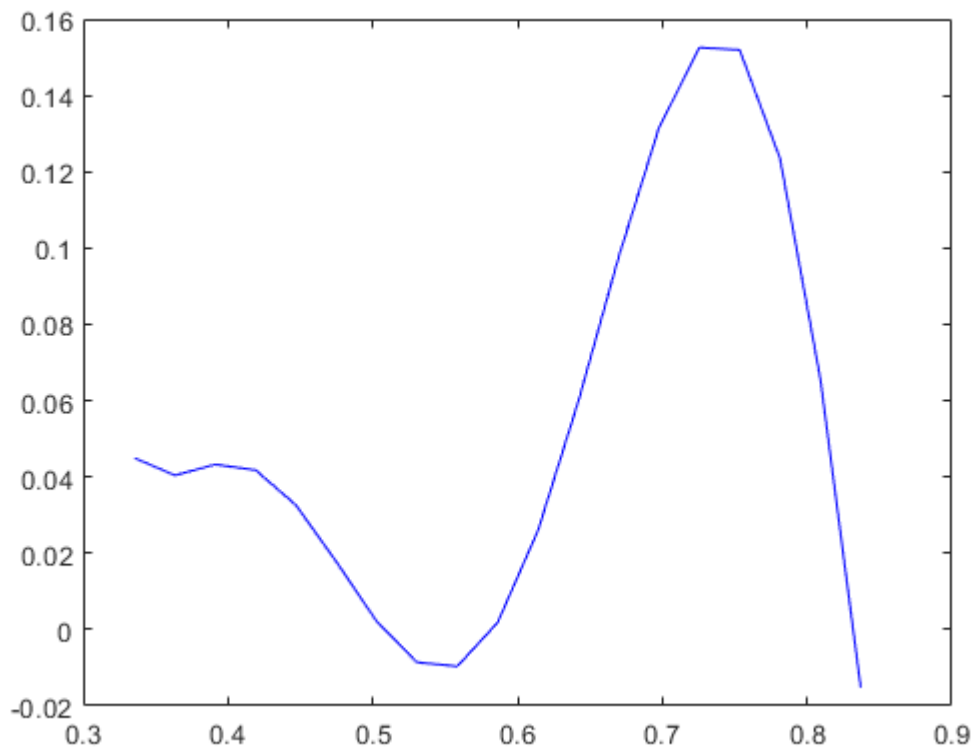
Θεώρημα Fermat. Έστω σημείο x_0 εσωτερικό και έστω ότι η f έχει τοπικό ακρότατο x_0 . Αν υπάρχει η $f'(x_0)$, τότε $f'(x_0) = 0$.

Παρατηρήσεις: Αν $f'(x_0) = 0$, τότε η f μπορεί να έχει ακρότατο στο x_0 , μπορεί και όχι. Αν $f'(x_0) \neq 0$, τότε η f δεν μπορεί να έχει ακρότατο στο x_0 , γιατί αν ήταν ακρότατο, τότε θα ήταν $f'(x_0) = 0$. Σίγουρα η f έχει ακρότατο στο x_0 , όταν η f' αλλάζει πρόσημο αριστερά και δεξιά από το σημείο. Μπορεί η f να έχει ακρότατο στο x_0 αλλά να μην υπάρχει η $f'(x_0)$. Άρα, αν η f έχει ακρότατο στο x_0 , η $f'(x_0)$ ή μηδενίζεται ή δεν υπάρχει.

Θεώρημα. Έστω σημείο x_0 εσωτερικό και σημείο καμπής της f . Αν υπάρχει η $f''(x_0)$, τότε $f''(x_0) = 0$.

Παρατηρήσεις: Αν $f''(x_0) = 0$, τότε η f μπορεί να έχει καμπή στο x_0 , μπορεί και όχι. Αν $f''(x_0) \neq 0$, τότε η f δεν μπορεί να έχει καμπή στο x_0 , γιατί αν ήταν σημείο καμπής, τότε θα ήταν $f''(x_0) = 0$. Σίγουρα η f έχει καμπή στο x_0 , όταν η f'' αλλάζει πρόσημο αριστερά και δεξιά από το σημείο. Μπορεί η f να έχει καμπή στο x_0 αλλά να μην υπάρχει η $f''(x_0)$. Άρα, αν η f έχει καμπή στο x_0 , η $f''(x_0)$ ή μηδενίζεται ή δεν υπάρχει.

Γενικό Κριτήριο. Έστω f συνεχώς παραγωγίσιμη και έστω ότι $f'(x_0) = f''(x_0) = \dots = f^{(n)}(x_0) = 0$ και $f^{(n+1)}(x_0) \neq 0$. Αν n μονός, τότε η f έχει ακρότατο στο x_0 . Αν n ζυγός, τότε η f έχει καμπή στο x_0 . Και η εφαπτομένη στο σημείο αυτό παράλληλη του x' .



Ομαλό πολυώνυμο 6^{ου} βαθμού που προσεγγίζει το ιστόγραμμα και 2^η παράγωγος αυτού. Τα σημεία αλλαγής προσήμου της 2^{ης} παραγώγου αντιστοιχούν σε αλλαγή κοίλων.

Η ιδέα είναι ότι στα σημεία καμπής γίνεται μετάβαση από σώμα γράμματος σε υπόβαθρο εικόνας.

Ορίζονται διαστήματα τιμών φωτεινότητας γύρω από τα σημεία αλλαγής προσήμου της 2^{ης} παραγώγου του πολωνύμου που προσεγγίζει το ιστόγραμμα, συγκεκριμένου εύρους, το οποίο αποτελεί άλλη μία παράμετρο του αλγορίθμου κατάτμησης.

Αν σε ένα σημείο της γκριζας εικόνας, η φωτεινότητα ανήκει στο διάστημα τιμών φωτεινότητας που αντιστοιχεί στον πρώτο σημείο αλλαγής προσήμου, δηλαδή πριν τον πρώτο λοβό του ιστογράμματος, τότε το σημείο έχει χαμηλή τιμή φωτεινότητας, επομένως μπορεί να πει κανείς πως ανήκει στο σώμα γραμμάτων που βρίσκονται στην γκριζα εικόνα. Αν η φωτεινότητα ανήκει στο διάστημα τιμών φωτεινότητας που αντιστοιχεί στο δεύτερο σημείο αλλαγής προσήμου, τότε το σημείο ανήκει στο όριο σώματος εικονιζόμενων γραμμάτων και υποβάθρου εικόνας. Αντίστοιχα, αν η φωτεινότητα στο σημείο βρίσκεται στο διάστημα τιμών του τελευταίου σημείου αλλαγής προσήμου, δηλαδή στον τελευταίο λοβό του ιστογράμματος επιπέδων φωτεινότητας στην γκριζα εικόνα, τότε το σημείο έχει υψηλή τιμή φωτεινότητας, αυτό που αντιλαμβάνεται κανείς ως λευκό, επομένως ανήκει στο υπόβαθρο της εικόνας.



Φαίνονται τα σημεία της εικόνας με τιμή φωτεινότητας κοντά στο πρώτο, δεύτερο και τρίτο σημείο αλλαγής προσήμου της 2^{ης} παραγώγου του ομαλού πολωνύμου που προσεγγίζει το ιστόγραμμα. Παρουσιάζεται η εύρεση σώματος γραμμάτων, ορίου σώματος-υπόβαθρου εικόνας και υποβάθρου εικόνας. Συγκεκριμένα για το υπόβαθρο εικόνας, έχουν βρεθεί σημεία θορύβου με χαμηλές φωτεινότητες στο υπόβαθρο, δηλαδή περιοχές κόκκων θορύβου στο υπόβαθρο εικόνας.

4.2.5 Τελική κατάτμηση γκρίζας εικόνας

Με την εύρεση των σημείων της εξομαλυμένης γκρίζας εικόνας όπου η φωτεινότητα ανήκει σε διάστημα τιμών κοντά στον λοβό χαμηλών φωτεινοτήτων, παρατηρείται ότι βρίσκονται τα σύνολα σημείων της εικόνας στο δισδιάστατο επίπεδο που ανήκουν στο μαύρο των γραμμάτων που χάραξε ο γραφέας. Ορίζοντας μία δυαδική εικόνα κατάτμησης όπου στα σημεία αυτά βρίσκεται η τιμή 1, δημιουργείται η εικόνα της αρχικής κατάτμησης της γκρίζας εικόνας σε δύο σύνολα ‘γράμμα’, ‘όχι γράμμα’.



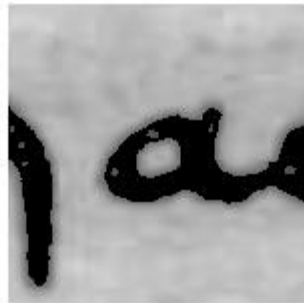
Αρχική κατάτμηση της γκρίζας εικόνας σε ‘γράμμα’ και ‘όχι γράμμα’.

Ακολουθεί μία διαδικασία βελτίωσης του αρχικού αποτελέσματος κατάτμησης. Σε κάθε σημείο με τιμή 1, δηλαδή σημείο του συνόλου ‘γράμμα’, ορίζεται κινούμενο πλαίσιο ανάλυσης όπου αν η τιμή των σημείων του ορίου αυτού είναι ίση με 1, θεωρείται πως αντιστοιχεί σε μία νησίδα του σώματος γράμματος που περιέχει μαύρο θόρυβο, επομένως γίνεται απαλοιφή αυτού. Η διαδικασία αυτή έχει σαν αποτέλεσμα την ομογενοποίηση της αρχικής κατατετημημένης εικόνας.



Ομογενοποιημένη κατάτμηση της γκρίζας εικόνας, απαλοιφή μαύρου θορύβου.

Το αποτέλεσμα της ομογενοποίησης της κατάτμησης της εικόνας μπορεί να βελτιωθεί με την αντίστροφη κίνηση καθαρίσματος. Σε κάθε σημείο με τιμή 1, δηλαδή σημείο του συνόλου 'γράμμα', ορίζεται κινούμενο πλαίσιο ανάλυσης όπου αν η τιμή των σημείων του ορίου αυτού είναι ίση με 0, θεωρείται πως αντιστοιχεί σε μία νησίδα του σώματος γράμματος που βρίσκεται σε μία μαύρη θάλασσα, επομένως αποτελεί λευκό θόρυβο στο υπόβαθρο και γίνεται απαλοιφή αυτού. Μετά το στάδιο αυτό βελτίωσης της κατάτμησης της γκριζας εικόνας προκύπτει η τελική κατάτμηση της εικόνας σε σύνολα 'γράμμα', 'όχι γράμμα'.



Τελική κατάτμηση της εικόνας 'synt_003_a_002.tif'.

4.2.6 Διερεύνηση αποτελέσματος κατάτμησης εικόνας για διάφορες τιμές των παραμέτρων του αλγόριθμου κατάτμησης

4.2.6.1 Παράμετρος βαθμού πολυωνύμου που προσεγγίζει το Ιστόγραμμα της γκριζας εικόνας

Παρουσιάζονται οι εικόνες δυαδικής κατάτμησης όπως προκύπτουν από την εφαρμογή του αλγορίθμου που περιγράφηκε για συνδυασμό παραμέτρων που πλησιάζει αυτόν που δίνει το βέλτιστο αποτέλεσμα κατάτμησης για το σύνολο ‘γράμμα’ και ‘όχι γράμμα’, μεταβάλλοντας την μεταβλητή του βαθμού του πολυωνύμου που προσεγγίζει με ομαλό τρόπο το ιστόγραμμα των επιπέδων φωτεινότητας όλων των σημείων της γκριζας εικόνας.

Συγκεκριμένα, φαίνεται το αποτέλεσμα της τελικής κατάτμησης και η αφαίρεση αυτής από την γκριζα εικόνα, όταν ο βαθμός του ομαλού πολυωνύμου παίρνει τιμές 5, 6, 7, 8 και 9, ενώ η διαμέριση ορίζεται ίση με 19 και το εύρος ίσο με 2.





Τελική δυαδική κατάτμηση της εικόνας 'synt_003_a_002.tif' και αφαίρεση αυτής από την γκριζα εικόνα, για βαθμό πολωνύμου 5, 6, 7, 8 και 9, διαμέριση ίση με 19 και εύρος 2.

Το ομαλό πολωνύμο 5^{ου} βαθμού δεν κατάφερε να προσεγγίσει αποτελεσματικά το ιστόγραμμα των επιπέδων φωτεινότητας της γκριζας εικόνας, επομένως το αποτέλεσμα της κατάτμησης είναι μία μαύρη εικόνα που δεν περιέχει ανιχνευμένα σώματα γράμματος. Με την αύξηση του βαθμού του πολωνύμου, φαίνεται ένα αποτέλεσμα κατάτμησης που υπερκαλύπτει όλο και περισσότερο το σώμα του γράμματος που έχει χαραχθεί με πένα μελάνης. Η βέλτιστη τιμή για την παράμετρο

του βαθμού πολωνύμου είναι η ελάχιστη για την οποία ο αλγόριθμος κατάτμησης βρίσκει αποτέλεσμα, δηλαδή γίνεται ανίχνευση γραμμάτων στην εικόνα.

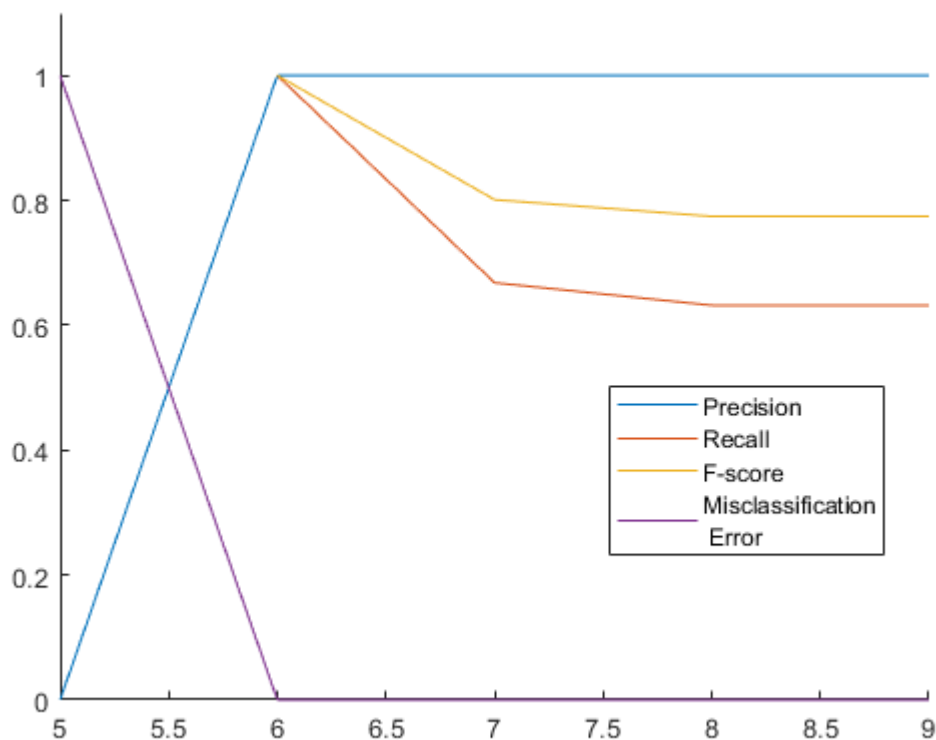
Στην παραπάνω διαδοχή των εικόνων κατάτμησης για διάφορες τιμές βαθμού πολωνύμου, γίνεται οπτικοποίηση του τρόπου μεταβολής του αποτελέσματος κατάτμησης, ορίζοντας διαφορετικές τιμές για τον βαθμό πολωνύμου κοντά σε αυτήν που δίνει το βέλτιστο αποτέλεσμα.

Ορίζεται εποπτικά ο συνδυασμός παραμέτρων, βαθμός πολωνύμου ίσος με 6, διαμέριση ίση με 19 και παράμετρος εύρους ίση με 2, ως αυτός που δίνει το βέλτιστο αποτέλεσμα κατάτμησης σε σύνολα ‘γράμμα’, ‘όχι γράμμα’ στην γκρίζα εικόνα. Θεωρώντας αυτή την κατάτμηση ως την πιο κοντινή στην ορθή κατάτμηση της εικόνας S_{ref} , ορίζονται στατιστικά μέτρα αξιολόγησης των αποτελεσμάτων κατάτμησης S_i που δίνουν οι άλλοι χρησιμοποιούμενοι συνδυασμοί παραμέτρων σε σχέση με αυτήν. Αυτά είναι:

$$Precision_i = \frac{S_i \cap S_{ref}}{S_{ref}} \quad Recall_i = \frac{S_i \cap S_{ref}}{S_i}$$

$$F - score_i = \frac{1}{2} \cdot \frac{Precision_i \cdot Recall_i}{Precision_i + Recall_i} \quad Misclassification Error_i = \frac{(\sim S_i) \cap S_{ref}}{S_{ref}}$$

Παρουσιάζεται η γραφική παράσταση των στατιστικών μέτρων όπως αυτά υπολογίστηκαν για τα αποτελέσματα κατάτμησης της γκρίζας εικόνας S_i , για τις θεωρούμενες τιμές του βαθμού πολωνύμου 5, 6, 7, 8, και 9.



Precision, Recall, F-score, Misclassification Error των αποτελεσμάτων κατάτμησης για βαθμό πολυωνύμου 5, 6, 7, 8, 9 ως προς την θεωρούμενη ορθή κατάτμηση.

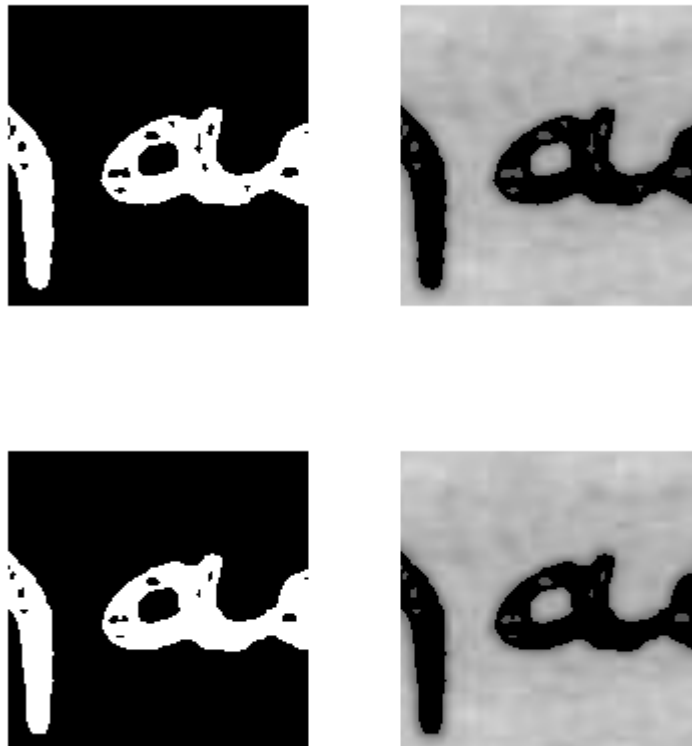
Όπως είναι αναμενόμενο, καθώς για πολυώνυμο βαθμού 5, ο αλγόριθμος δεν βρίσκει κατάτμηση γράμματος, το μέτρο Precision είναι 0, το σφάλμα φτάνει το 1, ενώ δεν ορίζονται πραγματικές τιμές για τα στατιστικά μέτρα Recall και F-score. Για βαθμό πολυωνύμου μεγαλύτερο ή ίσο με 6, το Precision φτάνει την τιμή 1 και αντίστοιχα το μέτρο σφάλματος φτάνει το 0, καθώς το αποτέλεσμα της θεωρούμενης ορθής κατάτμησης αποτελεί γνήσιο υποσύνολο του αποτελέσματος κατάτμησης, άρα η τομή των συνόλων είναι το ίδιο το σύνολο της ορθής κατάτμησης.

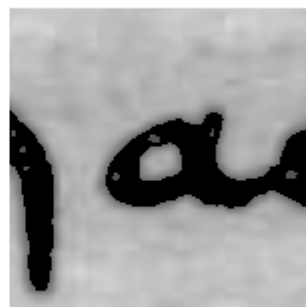
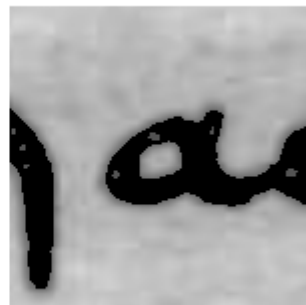
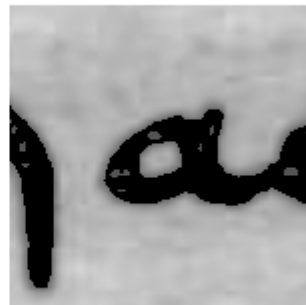
Κάνοντας την παρατήρηση αυτή, μπορεί κανείς να πει πως το μέτρο Recall ισοδυναμεί με ένα κριτήριο τομής δια ένωση, καθώς η ένωση του συνόλου αποτελέσματος κατάτμησης και του συνόλου ορθής κατάτμησης ισούται με το σύνολο αποτελέσματος κατάτμησης, και αποτελεί το κατάλληλο μέτρο αξιολόγησης της κατάτμησης ως προς την μεταβολή της παραμέτρου.

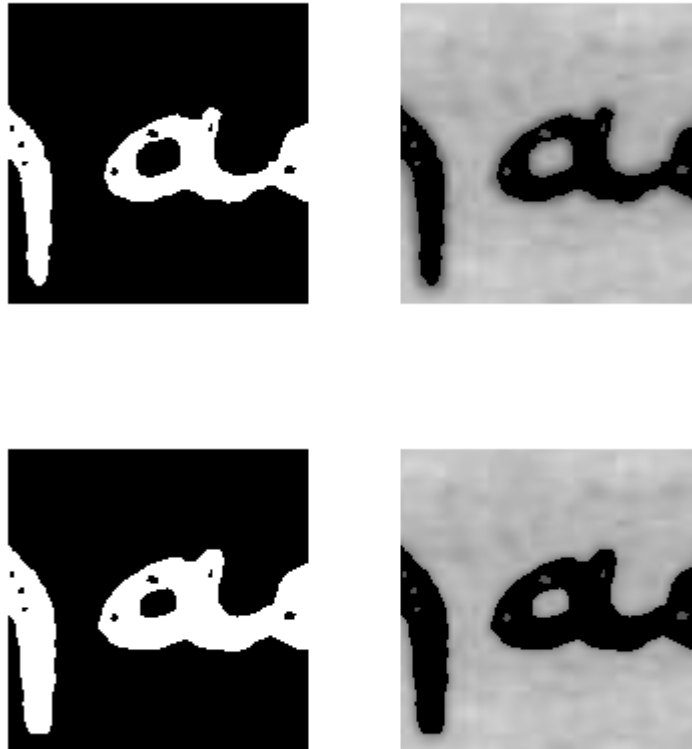
4.2.6.2 Παράμετρος διαμέρισης του Ιστογράμματος της γκριζας εικόνας

Παρουσιάζονται οι εικόνες δυαδικής κατάτμησης όπως προκύπτουν από την εφαρμογή του αλγορίθμου που περιγράφηκε για συνδυασμό παραμέτρων που πλησιάζει αυτόν που δίνει το βέλτιστο αποτέλεσμα κατάτμησης για το σύνολο ‘γράμμα’ και ‘όχι γράμμα’, μεταβάλλοντας την μεταβλητή της διαμέρισης του διαστήματος τιμών που ορίζει η μέγιστη και ελάχιστη τιμή φωτεινότητας στην γκριζα εικόνα, δηλαδή του αριθμού των διαστημάτων του ιστογράμματος των επιπέδων φωτεινότητας στην γκριζα εικόνα.

Συγκεκριμένα, φαίνεται το αποτέλεσμα της τελικής κατάτμησης και η αφαίρεση αυτής από την γκριζα εικόνα, όταν ο βαθμός του ομαλού πολωνύμου ορίζεται ίσος με 6, η διαμέριση του διαστήματος τιμών του ιστογράμματος παίρνει ακέραιες τιμές από 13 έως 20 και το εύρος ορίζεται ίσο με 2.







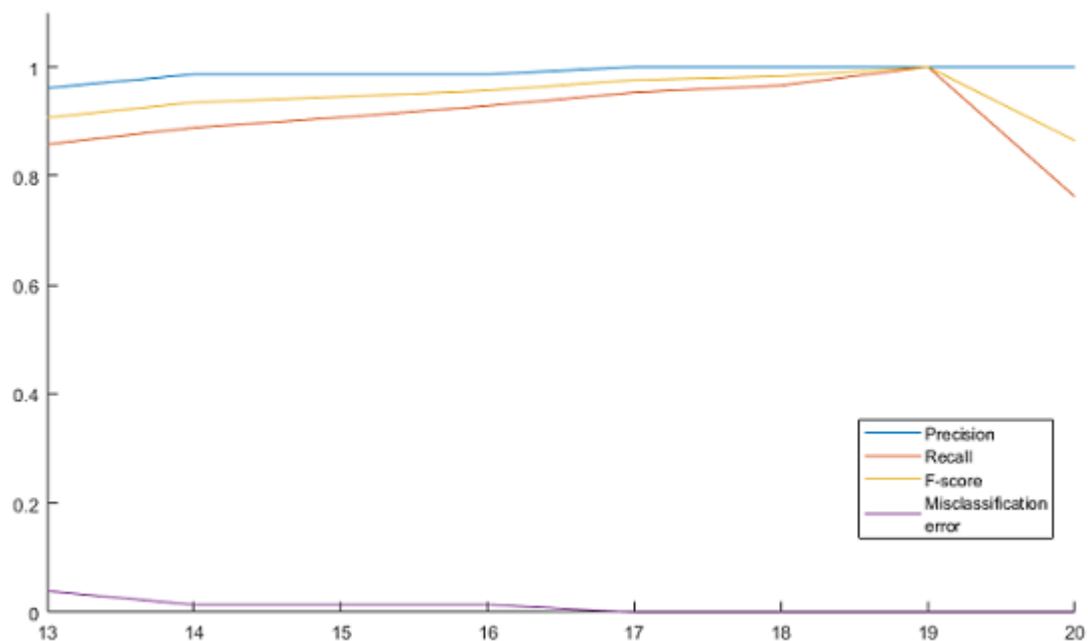
Τελική δυαδική κατάτμηση της εικόνας ‘synt_003_a_002.tif’ και αφαίρεση αυτής από την γκριζα, για βαθμό πολωνύμου ίσο με 6, διαμέριση από 13 έως 20 και εύρος ίσο με 2.

Με την αύξηση διαμέρισης του ιστογράμματος της γκριζας εικόνας, δηλαδή του αριθμού των διαστημάτων αυτού, μεταβάλλεται η ακρίβεια με την οποία παριστάνει το ιστόγραμμα τα επίπεδα φωτεινότητας στην γκριζα εικόνα. Παρουσιάζεται ένα αποτέλεσμα κατάτμησης που υπερκαλύπτει το σώμα του γράμματος που έχει χαραχθεί με πένα μελάνης, αλλά βελτιώνεται σταδικά φτάνοντας προς το βέλτιστο αποτέλεσμα κατάτμησης που δίνει η τιμή διαμέρισης 19. Για μεγαλύτερη τιμή διαμέρισης, το εμβαδόν του συνόλου του αποτελέσματος κατάτμησης αυξάνει απότομα και εκεί φαίνεται πιο έντονα ότι η τιμή δεν δίνει το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Στην παραπάνω διαδοχή των εικόνων κατάτμησης για διάφορες τιμές διαμέρισης του ιστογράμματος, γίνεται οπτικοποίηση του τρόπου μεταβολής του αποτελέσματος κατάτμησης, ορίζοντας διαφορετικές τιμές για την διαμέριση κοντά σε αυτήν που δίνει το βέλτιστο αποτέλεσμα.

Ορίζεται εποπτικά ο συνδυασμός παραμέτρων, βαθμός πολωνύμου ίσος με 6, διαμέριση ίση με 19 και παράμετρος εύρους ίση με 2, ως αυτός που δίνει το βέλτιστο αποτέλεσμα κατάτμησης σε σύνολα ‘γράμμα’, ‘όχι γράμμα’ στην γκριζα εικόνα. Θεωρώντας αυτή την κατάτμηση ως την πιο κοντινή στην ορθή κατάτμηση της εικόνας S_{ref} , ορίζονται στατιστικά μέτρα αξιολόγησης των αποτελεσμάτων κατάτμησης S_i που δίνουν οι άλλοι χρησιμοποιούμενοι συνδυασμοί παραμέτρων σε σχέση με αυτήν, όπως στην διερεύνηση της παραμέτρου του βαθμού πολωνύμου.

Παρουσιάζεται η γραφική παράσταση των στατιστικών μέτρων όπως αυτά υπολογίστηκαν για τα αποτελέσματα κατάτμησης της γκριζας εικόνας S_i , για τις θεωρούμενες τιμές της διαμέρισης από 13 έως 20.



Precision, Recall, F-score, Misclassification Error των αποτελεσμάτων κατάτμησης για διαμέριση ιστογράμματος από 13 έως 20 ως προς την θεωρούμενη ορθή κατάτμηση.

Για αυξανόμενη τιμή διαμέρισης μέχρι την τιμή 19 που δίνει το βέλτιστο αποτέλεσμα κατάτμησης, παρατηρείται ότι το σύνολο του αποτελέσματος κατάτμησης υπερκαλύπτει το αποτέλεσμα της θεωρούμενης ορθής κατάτμησης, αλλά δεν αποτελεί γνήσιο υπερσύνολο αυτού, καθώς το σώμα του γράμματος που ανιχνεύεται, περιέχει τρύπες που μειώνονται σε πλήθος και σε εμβαδόν όσο πλησιάζει ο αλγόριθμος το σημείο του συνδυασμού των παραμέτρων που δίνει την βέλτιστη κατάτμηση.

Τα χρησιμοποιούμενα στατιστικά μέτρα μπορούν να εκφράσουν τον τρόπο που μεταβάλλεται το αποτέλεσμα του αλγορίθμου κατάτμησης ως προς την παράμετρο της διαμέρισης.

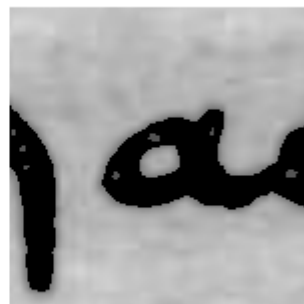
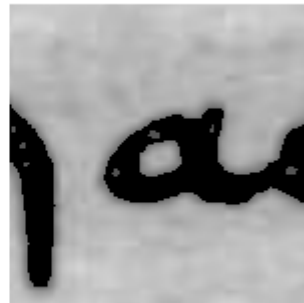
Για τιμή διαμέρισης μεγαλύτερη του 19, το Precision φτάνει την τιμή 1 και αντίστοιχα το μέτρο σφάλματος φτάνει το 0, οι τρύπες στο σώμα γράμματος δεν κλείνουν περισσότερο και το αποτέλεσμα της θεωρούμενης ορθής κατάτμησης αποτελεί γνήσιο υποσύνολο του αποτελέσματος κατάτμησης, άρα η τομή των συνόλων είναι το ίδιο το σύνολο της ορθής κατάτμησης και η ένωση είναι το σύνολο του αποτελέσματος κατάτμησης.

Μπορεί κανείς να πει πως το μέτρο Recall ισοδυναμεί με ένα κριτήριο τομής δια ένωση και αποτελεί κατάλληλο μέτρο αξιολόγησης της κατάτμησης ως προς την μεταβολή της παραμέτρου.

4.2.6.3 Παράμετρος εύρους των διαστημάτων φωτεινότητας

Παρουσιάζονται οι εικόνες δυαδικής κατάτμησης όπως προκύπτουν από την εφαρμογή του αλγορίθμου που περιγράφηκε για συνδυασμό παραμέτρων που πλησιάζει αυτόν που δίνει το βέλτιστο αποτέλεσμα κατάτμησης για το σύνολο 'γράμμα' και 'όχι γράμμα', μεταβάλλοντας την μεταβλητή του εύρους των διαστημάτων τιμών φωτεινότητας γύρω από τα σημεία αλλαγής προσήμου της 2^{15} παραγώγου του ομαλού πολυωνύμου που προσεγγίζει το ιστόγραμμα της γκριζας εικόνας.

Συγκεκριμένα, φαίνεται το αποτέλεσμα της τελικής κατάτμησης και η αφαίρεση από την γκριζα εικόνα, όταν ο βαθμός του ομαλού πολυωνύμου ορίζεται ίσος με 6, η διαμέριση του διαστήματος τιμών του ιστογράμματος ορίζεται ίση με 19 και το εύρος παίρνει τιμές 2, 3, 4, 5 και 6.





Τελική δυαδική κατάτμηση της εικόνας ‘synt_003_a_002.tif’ και αφαίρεση αυτής από την γκριζα, για βαθμό πολωνύμου ίσο με 6, διαμέριση ίση με 19 και εύρος από 2 έως 6.

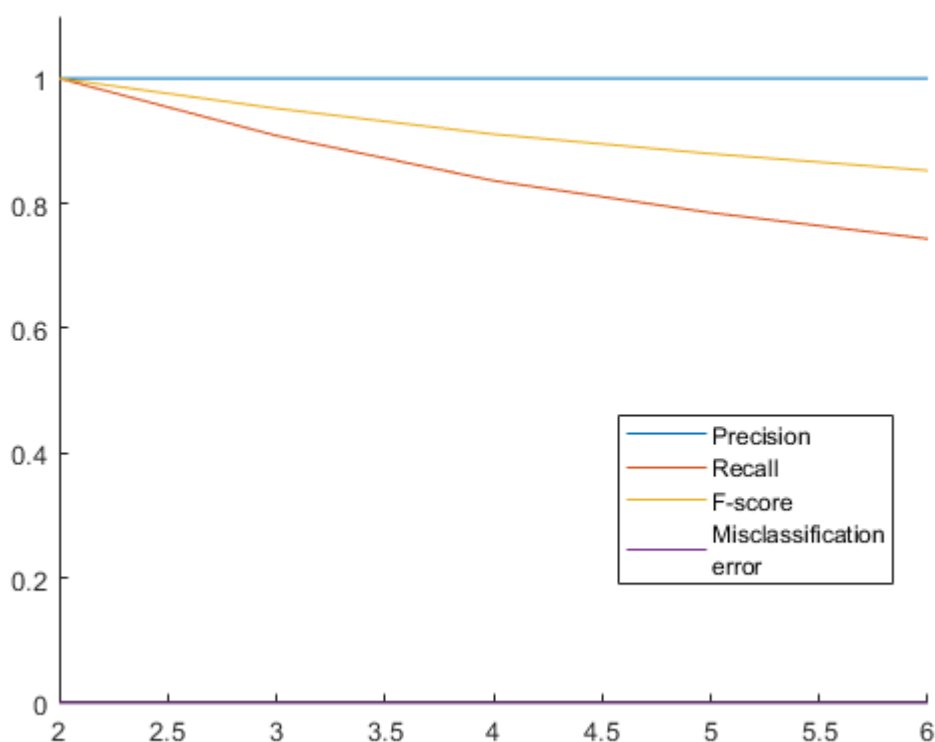
Με την αύξηση εύρους των διαστημάτων τιμών φωτεινότητας γύρω από τα σημεία αλλαγής προσήμου της 2ης παραγώγου του πολωνύμου που προσεγγίζει το ιστόγραμμα της γκριζας εικόνας, παρουσιάζεται ένα αποτέλεσμα κατάτμησης που υπερκαλύπτει όλο και περισσότερο το σώμα του γράμματος που έχει χαραχθεί με πένα μελάνης.

Στην παραπάνω διαδοχή των εικόνων κατάτμησης για διάφορες τιμές του εύρους των διαστημάτων φωτεινότητας που εξετάζονται, γίνεται οπτικοποίηση του τρόπου μεταβολής του αποτελέσματος κατάτμησης, ορίζοντας διαφορετικές τιμές για το εύρος ξεκινώντας από αυτήν που δίνει το βέλτιστο αποτέλεσμα.

Ορίζεται εποπτικά ο συνδυασμός παραμέτρων, βαθμός πολωνύμου ίσος με 6, διαμέριση ίση με 19 και παράμετρος εύρους ίση με 2, ως αυτός που δίνει το βέλτιστο αποτέλεσμα κατάτμησης σε σύνολα ‘γράμμα’, ‘όχι γράμμα’ στην γκριζα εικόνα. Θεωρώντας αυτή την κατάτμηση ως την πιο κοντινή στην ορθή κατάτμηση της

εικόνας S_{ref} , ορίζονται στατιστικά μέτρα αξιολόγησης των αποτελεσμάτων κατάτμησης S_i που δίνουν οι άλλοι χρησιμοποιούμενοι συνδυασμοί παραμέτρων σε σχέση με αυτήν, όπως στην διερεύνηση της παραμέτρου του βαθμού πολωνύμου.

Παρουσιάζεται η γραφική παράσταση των στατιστικών μέτρων όπως αυτά υπολογίστηκαν για τα αποτελέσματα κατάτμησης της αρχικής γκρίζας εικόνας S_i , για τις θεωρούμενες τιμές του εύρους από 2 έως 6.



Precision, Recall, F-score, Misclassification Error των αποτελεσμάτων κατάτμησης για εύρος διαστημάτων φωτεινότητας από 2 έως 6 ως προς την θεωρούμενη ορθή κατάτμηση.

Για εύρος μεγαλύτερο ή ίσο του 2, το Precision φτάνει την τιμή 1 και αντίστοιχα το μέτρο σφάλματος φτάνει το 0, καθώς το αποτέλεσμα της θεωρούμενης ορθής κατάτμησης αποτελεί γνήσιο υποσύνολο του αποτελέσματος κατάτμησης, άρα η τομή των συνόλων είναι το ίδιο το σύνολο της ορθής κατάτμησης και η ένωση των συνόλων είναι το σύνολο αποτελέσματος κατάτμησης. Το μέτρο Recall ισοδυναμεί με ένα κριτήριο τομής δια ένωση και αποτελεί κατάλληλο μέτρο αξιολόγησης της κατάτμησης ως προς την μεταβολή της παραμέτρου.

4.3 Εξαγωγή περιγράμματος

Έχοντας διερευνήσει τον κατάλληλο συνδυασμό παραμέτρων που δίνει το βέλτιστο αποτέλεσμα κατάτμησης για τις εικόνες όπου περιέχονται εμφανίσεις των γραμμάτων της ελληνικής αλφαβήτου, ακολουθεί μία διαδικασία επιλογής ενός υποσυνόλου του συνόλου 'γράμμα' στην δυαδική εικόνα κατάτμησης, τέτοιο ώστε να εκπροσωπεί μία μορφή με την οποία εμφανίζεται το γράμμα προς μελέτη.

Γίνεται διαχωρισμός του υποσυνόλου που αντιστοιχεί στο γράμμα και απαλοιφή θορύβου στο εσωτερικό του υποσυνόλου, λαμβάνοντας υπ'όψιν την απλή και συνηθισμένη μορφή γραφής αυτού όπως αυτή ορίστηκε κατά την δημιουργία των δεδομένων εικόνας για την τρέχουσα σελίδα, αλλά και τις υπόλοιπες σελίδες από όπου έχει ληφθεί δείγμα εμφανίσεων του συγκεκριμένου γράμματος. Η διαδικασία χαρακτηρίζεται από προσοχή στην λεπτομέρεια και συνέπεια στις επιλογές.



Φαίνεται η τελική κατάτμηση της εικόνας 'synt_003_a_002.tif' και το αποτέλεσμα της διαδικασίας απομόνωσης και καθαρισμού του γράμματος 'α' με χρήση λογισμικού επεξεργασίας γραφικών, 'synt_003_a_002_edit.tif'

Ως αποτέλεσμα δημιουργείται ένα σύνολο εικόνων δυαδικής κατάτμησης για τις εμφανίσεις των γραμμάτων της αλφαβήτου στο αρχικό σύνολο δεδομένων εικόνων, όπου περιέχεται μόνο το γράμμα προς μελέτη.

4.3.1 Απαλοιφή συστοιχίας εικονοστοιχείων στην εικόνα κατάτμησης γράμματος

Ακολουθεί διαδικασία απαλοιφής μη επιτρεπτών συνδυασμών εικονοστοιχείων στην δυαδική εικόνα κατάτμησης γράμματος, και ισοδύναμα στο θεωρούμενο περίγραμμα της κατάτμησης. Γίνεται μία διερεύνηση στην γειτονιά κάθε εικονοστοιχείου με τιμή 0 ή 1, για την αναζήτηση ενός από τους παρακάτω συνδυασμούς σε οριζόντια και κάθετη μορφή:



Γίνεται απαλοιφή της συστοιχίας των 2 εικονοστοιχείων που βρίσκονται ανάμεσα σε συμπληρωματικής τιμής εικονοστοιχεία, ανά γραμμές και στήλες της δυαδικής εικόνας, θέτοντάς τα στο συμπλήρωμα της δυαδικής τους τιμής, ώστε να αποτελούν γειτονιά από εικονοστοιχεία ίδιας δυαδικής τιμής.

4.3.2 Απαλοιφή μεμονωμένων εικονοστοιχείων στην εικόνα κατάτμησης γράμματος

Μετά την απαλοιφή συστοιχιών εικονοστοιχείων, γίνεται απαλοιφή μη επιτρεπτών συνδυασμών εικονοστοιχείων στην δυαδική εικόνα κατάτμησης γράμματος, και ισοδύναμα στο θεωρούμενο περίγραμμα της κατάτμησης, σε γειτονιά μικρότερου μεγέθους. Γίνεται μία διερεύνηση στην γειτονιά κάθε εικονοστοιχείου με τιμή 0 ή 1, για την αναζήτηση ενός από τους παρακάτω συνδυασμούς σε οριζόντια και κάθετη μορφή:



Γίνεται απαλοιφή του μεμονωμένου εικονοστοιχείου που βρίσκεται ανάμεσα σε συμπληρωματικής τιμής εικονοστοιχεία, ανά γραμμές και στήλες της δυαδικής εικόνας, θέτοντάς το στο συμπλήρωμα της δυαδικής του τιμής, ώστε να αποτελούν γειτονιά από εικονοστοιχεία ίδιας δυαδικής τιμής.

4.3.3 Εύρεση Περιγράμματος

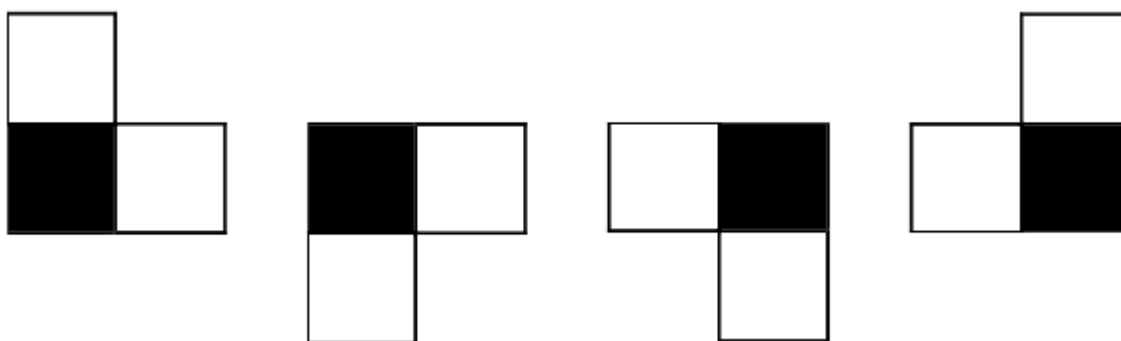
4.3.3.1 Αρχική Προσέγγιση Περιγράμματος

Γίνεται η σκέψη ότι αν ένα σημείο της εικόνας δυαδικής κατάτμησης όπου στο προσκήνιο βρίσκεται μία εμφάνιση του γράμματος προς μελέτη, δεν ανήκει στο σύνολο αυτό, δηλαδή έχει δυαδική τιμή 0, και στην γειτονιά του ακτίνας 1 και συνεκτικότητας 4 σημείων υπάρχει έστω ένα σημείο το οποίο ανήκει στο γράμμα, τότε το σημείο αυτό ανήκει στο περίγραμμα του συνόλου του γράμματος.

Με βάση αυτήν την ιδέα γίνεται μία πρώτη προσέγγιση του περιγράμματος.

4.3.3.2 Απαλοιφή ορθών γωνιών από το περίγραμμα

Ακολουθεί διαδικασία απαλοιφής μη επιτρεπτών συνδυασμών εικονοστοιχείων στην δυαδική εικόνα της αρχικής προσέγγισης του περιγράμματος. Γίνεται μία διερεύνηση στην γειτονιά κάθε εικονοστοιχείου με τιμή 1, που ανήκει δηλαδή στο περίγραμμα, για την αναζήτηση ενός από τους παρακάτω συνδυασμούς που σχηματίζουν ορθή γωνία:



Όπως φαίνεται παραπάνω, γίνεται απαλοιφή του εικονοστοιχείου που αποτελεί κορυφή της ορθής γωνίας, θέτοντάς το στο συμπλήρωμα της δυαδικής του τιμής, δηλαδή 0. Ακολουθείται δηλαδή μία διαδικασία απαλοιφής των ‘δοντιών’ του περιγράμματος, μαυρίζοντάς τα.

4.3.3.3 Εξαγωγή Τελικού Περιγράμματος

Ορίζεται μία μεγαλύτερη γειτονιά γύρω από κάθε σημείο του περιγράμματος στην δυαδική εικόνα περιγράμματος όπως προέκυψε από τα προηγούμενα στάδια εύρεσης περιγράμματος με χρήση της εικόνας δυαδικής κατάτμησης του γράμματος προς μελέτη. Πιο συγκεκριμένα, ορίζεται μία γειτονιά ακτίνας 1 και συνεκτικότητας 8 σημείων, δηλαδή το τετράγωνο ακμής 3 με κέντρο το σημείο αυτό, και γίνεται απαρίθμηση των γειτόνων που ανήκουν στο περίγραμμα. Αν το πλήθος των γειτόνων του σημείου που ανήκουν στο περίγραμμα, είναι μικρότερο ή ίσο του 2, τότε κρίνεται σκόπιμη η αφαίρεση του σημείου από το περίγραμμα, δίνοντάς του δυαδική τιμή 0.

Μετά από την εφαρμογή αυτού του κατωφλίου σε κινούμενο τετραγωνικό πλαίσιο στα σημεία του περιγράμματος του 2^ο σταδίου εύρεσης περιγράμματος, προκύπτει το τελικό αποτέλεσμα για το περίγραμμα του γράμματος της εικόνας κατάτμησης.



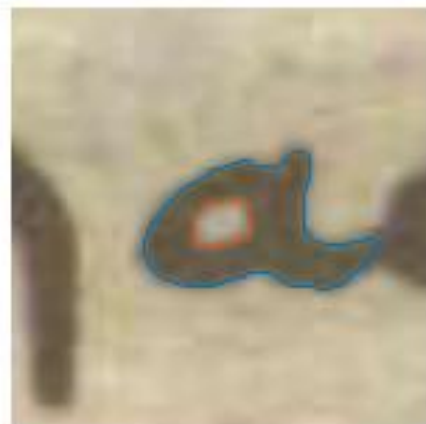
3^ο στάδιο Εύρεσης Περιγράμματος με χρήση της εικόνας κατάτμησης γράμματος
'synt_003_a_002_edit.tif'

4.3.4 Βελτίωση Τελικού Περιγράμματος

Παρατηρείται ότι αν το περίγραμμα του γράμματος δεν είναι τόσο σφιχτό γύρω από το σύνολο γράμματος στην δυαδική εικόνα κατάτμησης ή ισοδύναμα γύρω από το γράμμα στην αρχική εικόνα, μπορεί να γίνει όλο και πιο σφιχτό μειώνοντας το δυαδικό περίγραμμα προς το εσωτερικό του συνόλου γράμματος με τρόπο που να συμφωνεί με την αρχική ιδέα προσέγγισης του περιγράμματος.

Για κάθε σημείο της εικόνας δυαδικής κατάτμησης γράμματος που ανήκει στο σώμα του γράμματος, εξετάζεται η γειτονιά του ακτίνας 1 και συνεκτικότητας 4 σημείων. Η ιδέα είναι ότι αν έστω ένας από τους γείτονες έχει δυαδική τιμή 0, δηλαδή δεν ανήκει στο σώμα του γράμματος στην εικόνα κατάτμησης, τότε το σημείο αφαιρείται από το σύνολο γράμματος.

Ακολουθεί η διαδικασία εύρεσης περιγράμματος χρησιμοποιώντας την νέα δυαδική εικόνα κατάτμησης, που έχει σαν αποτέλεσμα την εξαγωγή ενός περιγράμματος που εφαρμόζει καλύτερα στο όριο του σχήματος του γράμματος της αρχικής εικόνας.



Φαίνονται οι εικόνες κατάτμησης της εικόνας 'synt_003_a_002.tif' και η αρχική εικόνα με περίγραμμα, πριν και μετά την αφαίρεση 1 εικονοστοιχείου από το περίγραμμα.

Παρουσιάζονται οι δυαδικές εικόνες κατάτμησης και η αρχική εικόνα με το περίγραμμα γράμματος 'α' πριν και μετά την διαδικασία βελτίωσης του τελικού περιγράμματος. Μπορεί κανείς να παρατηρήσει την μεταβολή σε ορισμένα σημεία της κατάτμησης και ισοδύναμα του περιγράμματος που οπτικοποιείται πάνω στην αρχική εικόνα, όπως είναι το δεξιότερο άκρο της 'ουράς' όπου σβήνει το γράμμα και ενώνεται με το γειτονικό του στην λέξη, το πάνω δεξιά σημείο όπου ενώνεται ο κύκλος με την γραμμή που αποτελούν το γράμμα 'α', το αριστερότερο άκρο του κυκλικού τομέα αλλά και το εσωτερικό περίγραμμα του γράμματος που σημειώνεται με κόκκινο χρώμα. Σε αυτές τις περιοχές φαίνεται μία ομοιόμορφη συστολή προς το εσωτερικό του συνόλου του γράμματος, με αποτέλεσμα ένα περίγραμμα εξωτερικό και εσωτερικό, σε κόκκινο και μπλε χρώμα αντίστοιχα, που έχει καλύτερη εφαρμογή

προς το χαραγμένο γράμμα της εικόνας. Αυτό μπορεί να γίνει αντιληπτό διαισθητικά με απλή παρατήρηση των αρχικών εικόνων με υπερτιθέμενο το περίγραμμα του γράμματος, καθώς το μάτι βλέπει άμεσα πιο πολύ μαύρο χρώμα μελάνης από το χαραγμένο γράμμα, άρα το περίγραμμα είναι πιο σφιχτό γύρω από το γράμμα.

4.4 Αποτελέσματα εφαρμογής της νέας μεθόδου Κατάτμησης

Εικόνας και της Εξαγωγής περιγράμματος

Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του υλοποιημένου συστήματος αυτόματης κατάτμησης και εξαγωγής περιγράμματος γραμμάτων της αλφαβήτου της ελληνικής γλώσσας, στο χειρόγραφο των Κυθήρων που περιέχει το κείμενο του Συντάγματος του Ρήγα.

Γίνεται επιλογή των σελίδων του εγγράφου, από την 3^η έως και την 9^η, από τις οποίες επιλέγονται τυχαία 4 σελίδες από όπου λαμβάνονται 30 εμφανίσεις κάθε γράμματος προς μελέτη. Ως γράμματα προς μελέτη επιλέγονται τα ‘α’, ‘μ’, ‘ρ’, ‘δ’, ‘ω’ και ‘λ’ όπως εμφανίζονται στην πεζή τους μορφή στο χειρόγραφο.

Είναι χαρακτηριστική η έντονη ομοιομορφία με την οποία εμφανίζονται τα γράμματα ‘μ’, ‘ρ’, ‘δ’ στις σελίδες του εγγράφου, αλλά και χαρακτηριστικός ο τρόπος γραφής τους με πένα, σχηματίζοντας μία πινελιά καμπυλόγραμμου τμήματος με πανομοιότυπο τρόπο, στην περίπτωση των δύο τελευταίων συμβόλων, αλλά και μία «θηλιά» στο κατακόρυφο τμήμα του πρώτου.

Τα φωνήεντα παρουσιάζουν μεγαλύτερη συχνότητα και ποικιλομορφία στον τρόπο γραφής τους, καθώς διακρίνονται τουλάχιστον δύο είδη γραφής για το καθένα. Γίνεται επιλογή της πιο απλής και συνηθισμένης μορφής αυτών, απαλλαγμένης από θόρυβο και διαχωρισμένης από τα γειτονικά γράμματα της λέξης, όσο αυτό είναι δυνατόν.

Ειδικότερα, για το τελευταίο γράμμα ‘λ’, μπορεί να δει κανείς δύο διαφορετικές μορφές γραφής αυτού, με συγκρίσιμη συχνότητα εμφάνισης στις σελίδες που εξετάζονται. Η μία αποτελείται από δύο ευθύγραμμα τμήματα, που συνδέονται σε ένα

σημείο, σχηματίζοντας το γράμμα, ενώ η άλλη αποτελείται από ένα ευθύγραμμο τμήμα που αποτελεί την βάση του γράμματος και ένα άλλο ευθύγραμμο που ξεκινά από το πρώτο και καταλήγει σε καμπυλόγραμμο τμήμα, σχηματίζοντας έτσι μία ουρά για το γράμμα. Ορίζοντας τα γράμματα 'λ/α' και 'λ/β', επιλέχθηκαν και απομονώθηκαν εμφανίσεις αυτών σε όλες τις σελίδες που εξετάστηκαν, ώστε να υπάρχει επαρκές δείγμα μελέτης για τις δύο μορφές του γράμματος 'λ'.

Κατά το στάδιο της κατάτμησης εικόνας, με αρχή την πρώτη τιμή της παραμέτρου του βαθμού πολυωνύμου που δίνει αποτέλεσμα κατάτμησης, δηλαδή την βρίσκει, επιλέγεται κατάλληλη τιμή διαμέρισης του ιστογράμματος της γκρίζας εικόνας που δίνει το βέλτιστο αποτέλεσμα κατάτμησης για μία μικρή τιμή της παραμέτρου του εύρους, 2 ή 3.

Αν το αποτέλεσμα κατάτμησης είναι γνήσιο υποσύνολο του συνόλου του γράμματος όπως αυτό φαίνεται στην αρχική εικόνα, τότε χρειάζεται αύξηση της παραμέτρου του εύρους, σε τιμές 4, 5, ή 6. Αυτό χρειάστηκε ώστε να γίνει βέλτιστη η κατάτμηση των γραμμάτων 'δ', 'ρ' και ενίοτε των 'μ' και 'λ', που είναι πιο λεπτά.

Παρατηρείται ότι για βαθμό πολυωνύμου ανώτερο του 6, η κατάλληλη τιμή διαμέρισης είναι συνήθως 18 ή 20, ενώ φαίνεται πως σε κάποιες περιπτώσεις, μία ζυγή τιμή της διαμέρισης δίνει παρόμοιο ή ίδιο αποτέλεσμα κατάτμησης, για τιμές μεγαλύτερες του 15.

Μετά την εύρεση του συνδυασμού παραμέτρων του αλγορίθμου κατάτμησης, που δίνει το βέλτιστο αποτέλεσμα κατάτμησης του γράμματος εποπτικά, με παρατήρηση του εξαγόμενου περιγράμματος, ακολουθεί βελτίωση της κατάτμησης και του περιγράμματος, όπως αυτή καθορίστηκε κατά την διαδικασία εύρεσης περιγράμματος, ενώ το βήμα αυτό συχνά επαναλαμβάνεται δύο φορές.

Σημειώνεται πως στην περίπτωση που το αποτέλεσμα της κατάτμησης γράμματος και επομένως το εξαγόμενο περίγραμμα αυτού δεν είναι αρκετά σφιχτό γύρω από το σώμα του γράμματος στην εικόνα, προτείνεται να γίνει διερεύνηση των κατάλληλων τιμών παραμέτρων, μακριά από τον συνδυασμό των παραμέτρων που έδωσε το βέλτιστο αποτέλεσμα κατάτμησης για τις περισσότερες εμφανίσεις σε μία σελίδα. Για παράδειγμα, αν μειωθεί ο βαθμός πολυωνύμου και η τιμή της διαμέρισης ταυτόχρονα, με τιμή 13 ή 14, παρατηρείται καλύτερο αποτέλεσμα κατάτμησης για τα γράμματα 'λ/α', 'ω'.

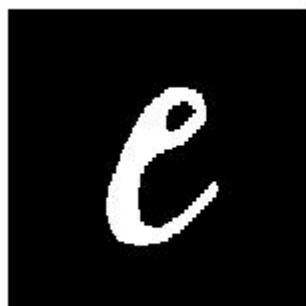
Παρουσιάζονται ορισμένα ενδεικτικά βέλτιστα αποτελέσματα κατάτμησης γράμματος και εξαγωγής περιγράμματος αυτού, για τα γράμματα προς μελέτη.



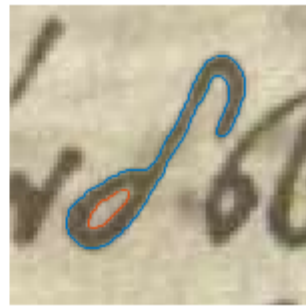
Βέλτιστη κατάτμηση και περίγραμμα διαφορετικών εμφανίσεων του γράμματος 'α'.



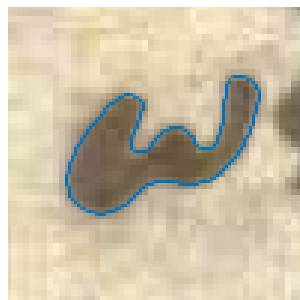
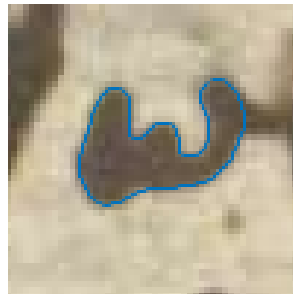
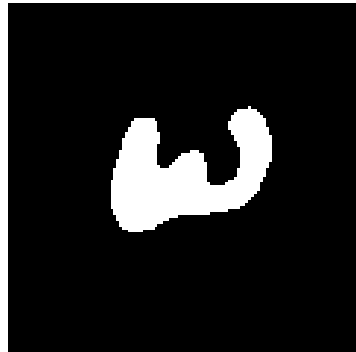
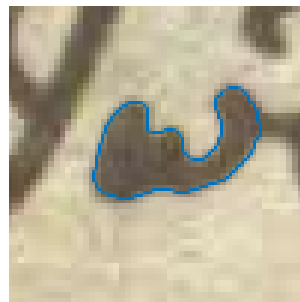
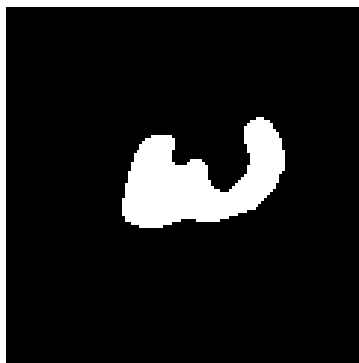
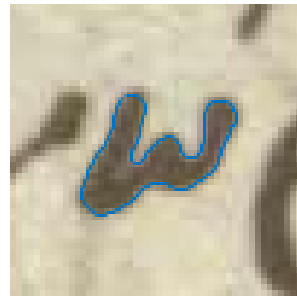
Βέλτιστη κατάτμηση και περίγραμμα διαφορετικών εμφανίσεων του γράμματος 'μ'.



Βέλτιστη κατάτμηση και περίγραμμα διαφορετικών εμφανίσεων του γράμματος 'ρ'.



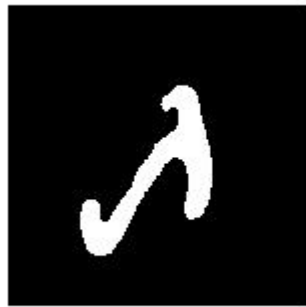
Βέλτιστη κατάτμηση και περίγραμμα διαφορετικών εμφανίσεων του γράμματος 'δ'.



Βέλτιστη κατάτμηση και περίγραμμα διαφορετικών εμφανίσεων του γράμματος 'ω'.



Βέλτιστη κατάτμηση και περίγραμμα διαφορετικών εμφανίσεων του γράμματος 'λ/α'.



Βέλτιστη κατάτμηση και περίγραμμα διαφορετικών εμφανίσεων του γράμματος 'λβ'.

5

Περιγραφή μίας νέας μεθόδου Ταυτοποίησης Γραφεία

5.1 Υπολογισμός καμπυλότητας και σύγκριση των καμπυλοτήτων των περιγραμμάτων δύο διαφορετικών υλοποιήσεων του ίδιου συμβόλου

Η καμπυλότητα του περιγράμματος ενός γράμματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα ισχυρό εργαλείο στην προσπάθεια διάκρισης του γραφικού χαρακτήρα ενός γραφεία και αυτό γιατί η γνώση της καμπυλότητας σε κάθε σημείο μίας επίπεδης καμπύλης προσδιορίζει μοναδικά την καμπύλη σε κάθε σημείο.

Έστω δύο χειρόγραφα D_1, D_2 όπου εμφανίζεται ένα γράμμα L . Επιλέγεται μία τυχαία υλοποίηση L_i^1 του γράμματος L στο χειρόγραφο D_1 και μία τυχαία υλοποίηση L_i^2 του γράμματος L στο χειρόγραφο D_2 . Έστω τα εξωτερικά περιγράμματα C_j^1, C_j^2 των υλοποιήσεων L_i^1, L_i^2 , που υποθέτουμε πως είναι πολύγωνα Jordan.

Σημειώνεται ότι σε πολλές περιπτώσεις, κάθε εξωτερικό περίγραμμα είναι μία απλή κλειστή καμπύλη, ενώ υπάρχουν περιπτώσεις όπου το εξωτερικό περίγραμμα αποτελείται από δύο ή και περισσότερες συνεκτικές καμπύλες. Ακολουθεί αναλυτική μελέτη του υπολογισμού καμπυλότητας για κάθε μία απλή συνεκτική κλειστή καμπύλη.

5.2 Υπολογισμός καμπυλότητας για την περίπτωση

περιγράμματος που αποτελείται από μία απλή συνεκτική καμπύλη

Αρχικά, κάθε εξωτερικό περίγραμμα χωρίζεται σε N^o επικαλυπτόμενες συνεχείς αλυσίδες από εικονοστοιχεία, περίπου ίσου μήκους μεταξύ τους. Έστω δηλαδή $\Sigma_1^1, \dots, \Sigma_{N^o}^1$ για την C_j^1 .

Κάθε αλυσίδα προσεγγίζεται με πολυώνυμο βαθμού ν , υπο την έννοια της ελαχιστοποίησης μίας συνάρτησης σφάλματος, επί τη βάσει των ελαχίστων τετραγώνων. Η επιλογή του αριθμού των αλυσίδων και του βαθμού των πολυωνύμων γίνεται ώστε το σφάλμα προσέγγισης να γίνει όσο το δυνατόν πιο μικρό, και η πολυωνυμική καμπύλη να μην εμφανίζει έντονους κυματισμούς.

Ορίζεται η ακολουθία των σημείων που ορίζουν κάθε αλυσίδα εικονοστοιχείων και το μήκος αυτής ως εξής:

Έστω (x_q, y_q) όπου $q = 1, \dots, N^o$, οι συντεταγμένες του κέντρου κάθε εικονοστοιχείου της αλυσίδας.

Η απόσταση δύο διαδοχικών κέντρων είναι ίση με

$$\delta S_q = \sqrt{(x_{q+1} - x_q)^2 + (y_{q+1} - y_q)^2}$$

Η ακολουθία του μήκους του τόξου κάθε αλυσίδας υπολογίζεται ως:

$$s_1 = 0, s_q = \sum_{n=1}^{q-1} \delta S_n$$

Τα πολυώνυμα προσέγγισης δίνονται από τις σχέσεις:

$$X(s) = \sum_{n=0}^{\nu} \alpha_n \cdot s^{\nu-n}, Y(s) = \sum_{n=0}^{\nu} \beta_n \cdot s^{\nu-n}$$

$$\alpha_n, \beta_n, n=0, \dots, \nu \text{ από } \min \left\{ \varepsilon = \sum_{q=1}^{N_o} \left((x_q - X(s_q))^2 + (y_{q+1} - Y(s_q))^2 \right) \right\}$$

Όπου η ελαχιστοποίηση γίνεται με βάση τον αλγόριθμο Nelder-Mead.

Τώρα, μπορεί να υπολογιστεί η καμπυλότητα των πολυωνύμων. Έστω ότι η πολυωνυμική προσέγγιση είναι $\vec{R}(s) = X(s) \cdot i + Y(s) \cdot j$, τότε η καμπυλότητα υπολογίζεται ως:

$$\kappa(s) = \frac{\left\| \frac{d\vec{T}}{ds} \right\|}{\left\| \frac{d\vec{R}}{ds} \right\|}, \text{ όπου } \vec{T} = \frac{\frac{d\vec{R}}{ds}}{\left\| \frac{d\vec{R}}{ds} \right\|}$$

Στα σημεία που βρίσκονται κοντά στο σύνορο της αλυσίδας, η προσέγγιση της Σ_q^1 από την πολυωνυμική καμπύλη, ενδέχεται να μην είναι ιδιαίτερα ακριβής, και οι προσεγγίσεις καμπυλοτήτων διαδοχικών αλυσίδων ενδέχεται να είναι ασυνεχείς.

Επομένως, τα εικονοστοιχεία της αλυσίδας Σ_q^1 με πληθικό αριθμό από $p+1$ έως $p+\mu$ συνυπολογίζονται με τα εικονοστοιχεία της αλυσίδας Σ_{q+1}^1 με πληθικό αριθμό από $r+1$ έως $r+\mu$. Οι υπολογισμένες στην αλυσίδα Σ_q^1 τιμές καμπυλότητας στα σημεία που επικαλύπτονται είναι $\kappa_q(p+1), \dots, \kappa_q(p+\mu)$, και αντίστοιχα στην αλυσίδα Σ_{q+1}^1 είναι $\kappa_{q+1}(r+1), \dots, \kappa_{q+1}(r+\mu)$

Για την αποφυγή των παραπάνω προβλημάτων, αποδίδεται σε κάθε ένα από αυτά τα σημεία, η τελική και μοναδική τιμή καμπυλότητας:

$$\left[\kappa_q(p+1) \dots \kappa_q(p+\mu) \right] \cdot \begin{bmatrix} \frac{\mu}{\mu+1} \\ \vdots \\ \frac{1}{\mu+1} \end{bmatrix} + \left[\kappa_{q+1}(r+1) \dots \kappa_{q+1}(r+\mu) \right] \cdot \begin{bmatrix} \frac{1}{\mu+1} \\ \vdots \\ \frac{\mu}{\mu+1} \end{bmatrix}$$

Σε κάθε εικονοστοιχείο αντιστοιχεί μία και μοναδική τιμή καμπυλότητας που προσεγγίζει σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό την πραγματική καμπυλότητα του περιγράμματος στο σημείο αυτό.

Τέλος, γίνεται κανονικοποίηση των υπαρχουσών τιμών της ακολουθίας καμπυλότητας μεταξύ των χειρογράφων. Αυτό είναι απαραίτητο, γιατί το μέγεθος του γράμματος επηρεάζει άμεσα την τιμή της καμπυλότητας σε κάθε σημείο του περιγράμματος αυτού. Η κλιμάκωση της καμπύλης κατά έναν παράγοντα έχει ως αποτέλεσμα την διαίρεση της τιμής της καμπυλότητας σε κάθε σημείο κατά τον ίδιο παράγοντα κλίμακωσης. Επομένως, αυτός ο παράγοντας κλίμακωσης μπορεί να αναιρεθεί σε ικανοποιητικό βαθμό, με πολλαπλασιασμό των τιμών της υπάρχουσας ακολουθίας με το μήκος της καμπύλης.

5.2.1 Βέλτιστο Ταίριασμα δύο ακολουθιών καμπυλότητας για την

περίπτωση δύο απλών συνεκτικών εξωτερικών περιγραμμάτων

Έστω δύο υλοποιήσεις του ίδιου γράμματος L_i^1, L_i^2 και τα εξωτερικά περιγράμματα που τους αντιστοιχούν C_i^1, C_i^2 , κάθε ένα από τα οποία συνιστά μία κλειστή καμπύλη.

Εφαρμόζεται η παραπάνω μεθοδολογία και λαμβάνονται οι ακολουθίες κανονικοποιημένων καμπυλοτήτων κ_q^1, κ_q^2 . Έστω ότι τα δύο περιγράμματα έχουν τον ίδιο αριθμό από εικονοστοιχεία, N^c , τότε για κάθε μη αρνητικό ακέραιο τ , θεωρούμε την συνάρτηση σφάλματος:

$$\varepsilon^\kappa(\tau) = \sum_{n=0}^{N^c-1} (\kappa_n^1 - \tilde{\kappa}_{n,\tau}^2)^2, \text{ όπου } \tilde{\kappa}_{n,\tau}^2 = [\kappa_{N^c-\tau}^2 \kappa_{N^c-\tau+1}^2 \dots \kappa_{N^c-1}^2 \kappa_0^2 \kappa_1^2 \dots \kappa_{N^c-\tau-1}^2]$$

$$0 \leq \tau \leq N^c$$

Έστω ότι η συνάρτηση σφάλματος ελαχιστοποιείται στο σημείο τ_0 . Η επιθυμητή αντιστοίχιση των εικονοστοιχείων των δύο εικόνων είναι αυτή που αντιστοιχεί το

πρώτο εικονοστοιχείο της C_i^1 με το τ_o -οστό εικονοστοιχείο της C_i^2 , το δεύτερο εικονοστοιχείο της C_i^1 με το $\tau_o + 1$ -οστό εικονοστοιχείο της C_i^2 κ.ο.κ.

Η συνάρτηση σφάλματος μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$\varepsilon^k(\tau) = \sum_{n=0}^{N^c-1} (\kappa_n^1)^2 + \sum_{n=0}^{N^c-1} (\kappa_n^2)^2 - 2 \cdot \sum_{n=0}^{N^c-1} \kappa_n^1 \cdot \tilde{\kappa}_{n,\tau}^2$$

Με την παρατήρηση ότι οι δύο πρώτοι όροι είναι σταθεροί και ο τρίτος είναι η κυκλική συνέλιξη των ακολουθιών κ_n^1 , κ_n^2 , η ελαχιστοποίηση της συνάρτησης σφάλματος ισοδυναμεί με πρόβλημα μεγιστοποίησης του τρίτου όρου, ο οποίος ισούται με τον αντίστροφο διακριτό μετασχηματισμό Fourier του γινομένου των διακριτών μετασχηματισμών Fourier των ακολουθιών.

Αξίζει να σημειωθεί πως η υπόθεση ίδιου αριθμού εικονοστοιχείων των εξωτερικών περιγραμμάτων κατά κανόνα δεν απαντάται στην πράξη. Στην περίπτωση που τα δύο εξωτερικά περιγράμματα έχουν διαφορετικό αριθμό εικονοστοιχείων, εφαρμόζεται μετασχηματισμός κλίμακας στην μεγαλύτερη εικόνα, ώστε η διαφορά στον αριθμό των εικονοστοιχείων των δύο εικόνων να είναι πολύ μικρή. Αν γίνει αποκοπή σημείων από την μεγαλύτερη εικόνα, ώστε αυτές να έχουν το ίδιο μέγεθος, η αντιστοίχιση των σημείων θα είναι υποβέλτιστη, καθώς κάποια σημεία θα έχουν παραλειφθεί, αλλά θα αποτελεί μία καλή εκτίμηση.

5.3 Υπολογισμός καμπυλότητας για την περίπτωση

περιγράμματος που αποτελείται από απλές συνεκτικές

κλειστές καμπύλες

Οι γραφείς συχνά γράφουν το γράμμα σπαστό, κάνοντας δηλαδή μία διαδοχή κτυπημάτων ή μολυβιών, ή γενικά σηκώνοντας το εργαλείο γραφής από την επιφάνεια γραφής και επανατοποθετώντας το. Ακόμα και στην περίπτωση που κάθε γράμμα είχε γραφεί ως μία απλή και αδιαίρετη περιοχή, αυτό μπορεί να έχει υποστεί

φθορά με το πέρασμα του χρόνου και άρα να έχει διαιρεθεί σε πολλαπλές απλές συνεκτικές περιοχές.

Με βάση λοιπόν τον αριθμό των διαφορετικών συκεκτικών καμπυλών που συνθέτουν το περίγραμμα ενός γράμματος, τα σύμβολα της αλφαβήτου μπορούν να ταξινομηθούν σε δυο κατηγορίες, τα ευθύγραμμα σύμβολα και τα καμπυλόγραμμα σύμβολα.

Ως Ευθύγραμμα σύμβολα ορίζονται αυτά που αποτελούνται από τουλάχιστον ένα τμήμα περίπου ευθύγραμμο. Ως Καμπυλόγραμμα σύμβολα ορίζονται αυτά που αποτελούνται από τουλάχιστον ένα καμπυλόγραμμο τμήμα.

Η ταξινόμηση των γραμμμάτων της αλφαβήτου που μελετήθηκαν και βρίσκονται στην πεζή τους μορφή είναι η ακόλουθη. Ενδεικτικά, μπορεί να πει κανείς για τα γράμματα αυτά: α – μερικώς καμπυλόγραμμο, μ – μερικώς καμπυλόγραμμο, δ – μερικώς καμπυλόγραμμο, ρ – πλήρως καμπυλόγραμμο, ω – πλήρως καμπυλόγραμμο, λ/α , δηλαδή το γράμμα ‘λ’ στην πρώτη απλή συνήθη μορφή με την οποία εμφανίζεται στις επιλεγμένες σελίδες του κειμένου – πλήρως ευθύγραμμο και λ/β, δηλαδή το γράμμα λ στην δεύτερη συνήθη μορφή εμφάνισης αυτού’ – μερικώς ευθύγραμμο.

Για τον χειρισμό της περίπτωσης όπου τα γράμματα αποτελούνται από συνεκτικές κλειστές καμπύλες, γίνεται εφαρμογή της ιδέας των κρίσιμων σημείων. Τα κρίσιμα σημεία αντιστοιχούν σε τοπικά μέγιστα των τιμών καμπυλότητας του εξωτερικού περιγράμματος, που έχουν τιμή μεγαλύτερη από ένα κατώφλι που υπολογίζεται στατιστικά. Αυτά τα κρίσιμα σημεία ορίζουν τις πλευρές κάθε ευθύγραμμου τμήματος.

Η ανάλυση του υπολογισμού της καμπυλότητας για ένα εξωτερικό περίγραμμα και του βέλτιστου ταιριάσματος των ακολουθιών καμπυλότητας δύο απλών συνεκτικών εξωτερικών περιγραμμάτων, εφαρμόζεται στην περίπτωση αυτή, ξεχωριστά στο περίγραμμα κάθε απλής συνεκτικής περιοχής. Ο αριθμός των ακολουθιών καμπυλοτήτων που υπολογίζονται είναι ίδιος με τον αριθμό των επιμέρους καμπυλών που αποτελούν το γράμμα.

Η συνάρτηση σφάλματος για μη αρνητικό ακέραιο τ είναι η ακόλουθη:

$$\mathcal{E}^k(\tau) = \sum_{p=1}^{N_p} \sum_{n=0}^{N_p^c-1} \left(\kappa_{n,p}^1 - \tilde{\kappa}_{n,\tau,p}^2 \right)^2$$

Όπου ο p διατρέχει τις πλευρές των διαφορετικών N_p τμημάτων, N_p^c είναι ο κοινός αριθμός εικονοστοιχείων της p -οστής πλευράς των δύο γραμμάτων που συγκρίνονται, $\kappa_{n,p}^1$ είναι η ακολουθία καμπυλοτήτων της p -οστής πλευράς του γράμματος L_i^1 και $\tilde{\kappa}_{n,\tau,p}^2$ είναι η κυκλική επέκταση της $\kappa_{n,\tau,p}^2$.

5.4 Μία πρώτη εκτίμηση της βέλτιστης θέσης προσαρμογής των περιγραμμάτων δύο γραμμάτων

Η καμπυλότητα δίνει την δυνατότητα να γίνει γνωστή η αντιστοιχία των εικονοστοιχείων σε δύο εμφανίσεις του ίδιου γράμματος, με τελικό σκοπό την εύρεση της βέλτιστης θέσης προσαρμογής των περιγραμμάτων τους. Παρουσιάζεται μία μέθοδος για το ταίριασμα των περιγραμμάτων δύο εμφανίσεων του ίδιου γράμματος, η οποία παράγει θέσεις προσαρμογής πολύ κοντά στην βέλτιστη.

Η μέθοδος αυτή αναφέρεται στην περίπτωση που τα εξωτερικά περιγράμματα έχουν ίσο αριθμό εικονοστοιχείων, ενώ ορίζει πως στην περίπτωση διαφορετικού αριθμού εικονοστοιχείων, εφαρμόζεται βήμα αφαίρεσης της διαφοράς εικονοστοιχείων και έπειτα η ίδια διαδικασία. Η διαδικασία αυτή παρουσιάζεται παρακάτω:

Έστω ότι τα (x_i, y_i) και (p_i, q_i) , $i = 1, \dots, N$ αντιστοιχούν στα εικονοστοιχεία των περιγραμμάτων της πρώτης και της δεύτερης εικόνας αντίστοιχα.

Εκτελούνται μετασχηματισμοί στροφής, παράλληλης μετατόπισης και κλιμάκωσης στα σημεία του περιγράμματος της δεύτερης εικόνας ώστε η μετασχηματισμένη έκδοση της καμπύλης να ταιριάζει βέλτιστα στην καμπύλη του περιγράμματος της πρώτης εικόνας. Αυτή η βέλτιστη προσέγγιση γίνεται με ελαχιστοποίηση συνάρτησης σφάλματος με την έννοια των ελαχίστων τετραγώνων.

Αρχικά εφαρμόζεται μετασχηματισμός παράλληλης μετατόπισης ώστε το κέντρο μάζας της καμπύλης να συμπίπτει με την αρχή των αξόνων, και στην συνέχεια εφαρμόζεται στροφή γωνίας φ .

Η μετασχηματισμένη καμπύλη γράφεται ως εξής:

$$\begin{bmatrix} \gamma_i \\ \delta_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p_i & -\bar{p} \\ q_i & -\bar{q} \end{bmatrix}, \quad i = 1, \dots, N$$

$$\text{όπου } \bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^N p_i}{N}, \quad \bar{q} = \frac{\sum_{i=1}^N q_i}{N}$$

Ακολουθεί παράλληλη μετατόπιση της μετασχηματισμένης καμπύλης κοντά στο κέντρο μάζας της πρώτης καμπύλης, κατά (x_δ, y_δ) , με αποτέλεσμα την μετασχηματισμένη καμπύλη:

$$\alpha_i = (p_i - \bar{p}) \cdot \cos \varphi - (q_i - \bar{q}) \cdot \sin \varphi + x_\delta$$

$$\beta_i = (p_i - \bar{p}) \cdot \sin \varphi + (q_i - \bar{q}) \cdot \cos \varphi + x_\delta$$

Το βέλτιστο ταίριασμα της τελικής μετασχηματισμένης καμπύλης με την πρώτη καμπύλη, επιτυγχάνεται ελαχιστοποιώντας την συνάρτηση:

$$\mathcal{E}_{RT}(\varphi, x_\delta, y_\delta) = \sum_{n=1}^N \left((x_i - \alpha_i)^2 + (y_i - \beta_i)^2 \right)$$

Αυτή η προσέγγιση δίνει κλειστή λύση.

Γίνεται αλλαγή της κλίμακας της καμπύλης (α_i, β_i) κατά έναν παράγοντα λ , με

$$\text{κέντρο κλιμάκωσης το σημείο } \left(\frac{\sum_{i=1}^N \alpha_i}{N}, \frac{\sum_{i=1}^N \beta_i}{N} \right) = (\bar{\alpha}, \bar{\beta}), \text{ με αποτέλεσμα την καμπύλη}$$

$$(r_i, t_i) = (\lambda \cdot (\alpha_i - \bar{\alpha}) + \bar{\alpha}, \lambda \cdot (\beta_i - \bar{\beta}) + \bar{\beta})$$

Από όλες τις καμπύλες, πρέπει να επιλεγθεί αυτή που ταιριάζει βέλτιστα στην πρώτη καμπύλη (x_i, y_i) με την έννοια των ελαχίστων τετραγώνων.

$$\min \left\{ \varepsilon_{RT}(\varphi, x_\delta, y_\delta) = \sum_{n=1}^N \left((x_i - \alpha_i)^2 + (y_i - \beta_i)^2 \right) \right\} \equiv$$

$$\min \left\{ \sum_{n=1}^N \left((x_i - (p_i - \bar{p}) \cdot \cos \varphi + (q_i - \bar{q}) \cdot \sin \varphi - x_\delta)^2 + (y_i - (p_i - \bar{p}) \cdot \sin \varphi - (q_i - \bar{q}) \cdot \cos \varphi - y_\delta)^2 \right) \right\}$$

Που δίνει κλειστή λύση:

$$\tan \varphi_o = \frac{\sum_{n=1}^N \left((p_i - \bar{p}) \cdot (y_i - \bar{y}) - (q_i - \bar{q}) \cdot (x_i - \bar{x}) \right)}{\sum_{n=1}^N \left((p_i - \bar{p}) \cdot (x_i - \bar{x}) - (q_i - \bar{q}) \cdot (y_i - \bar{y}) \right)}$$

$$x_o^\delta = \bar{x}, \quad y_o^\delta = \bar{y}$$

Απόδειξη:

Η $\varepsilon_{RT}(\varphi, x_\delta, y_\delta)$ είναι συνεχώς διαφορίσιμη και έχει κάτω φράγμα το μηδέν, άρα παρουσιάζει ελάχιστο, όπου ισχύει:

$$\frac{\partial \varepsilon_{RT}(\varphi, x_\delta, y_\delta)}{\partial \varphi} = \frac{\partial \varepsilon_{RT}(\varphi, x_\delta, y_\delta)}{\partial x_\delta} = \frac{\partial \varepsilon_{RT}(\varphi, x_\delta, y_\delta)}{\partial y_\delta} = 0 \Leftrightarrow$$

$$2 \cdot \sum_{n=1}^N \left(\left((p_i - \bar{p}) \cdot \sin \varphi + (q_i - \bar{q}) \cdot \cos \varphi \right) \cdot (x_i - (p_i - \bar{p}) \cdot \cos \varphi + (q_i - \bar{q}) \cdot \sin \varphi - x_\delta) \right)$$

$$+ 2 \cdot \sum_{n=1}^N \left(\left(-(p_i - \bar{p}) \cdot \cos \varphi + (q_i - \bar{q}) \cdot \sin \varphi \right) \cdot (y_i - (p_i - \bar{p}) \cdot \sin \varphi - (q_i - \bar{q}) \cdot \cos \varphi - y_\delta) \right) = 0$$

$$-2 \cdot \sum_{n=1}^N \left(x_i - (p_i - \bar{p}) \cdot \cos \varphi + (q_i - \bar{q}) \cdot \sin \varphi - x_\delta \right) = 0$$

$$-2 \cdot \sum_{n=1}^N \left(y_i - (p_i - \bar{p}) \cdot \sin \varphi - (q_i - \bar{q}) \cdot \cos \varphi - y_\delta \right) = 0$$

Από όπου προκύπτει η λύση:

$$\tan \varphi_o = \frac{\sum_{n=1}^N ((p_i - \bar{p}) \cdot (y_i - \bar{y}) - (q_i - \bar{q}) \cdot (x_i - \bar{x}))}{\sum_{n=1}^N ((p_i - \bar{p}) \cdot (x_i - \bar{x}) - (q_i - \bar{q}) \cdot (y_i - \bar{y}))}$$

$$x_o^\delta = \bar{x}, \quad y_o^\delta = \bar{y}$$

Η μοναδικότητα της λύσης στο διάστημα $\left(-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right)$, διασφαλίζει ότι η παραπάνω λύση πράγματι ελαχιστοποιεί την συνάρτηση $\varepsilon_{RT}(\varphi, x_\delta, y_\delta)$.

Μετά την εύρεση του σημείου ελαχίστου, γίνεται εφαρμογή των μετασχηματισμών στην δεύτερη καμπύλη, και το αποτέλεσμα είναι η μετασχηματισμένη καμπύλη:

$$\begin{bmatrix} \alpha_i \\ \beta_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi^o & -\sin \varphi^o \\ \sin \varphi^o & \cos \varphi^o \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p_i & -\bar{p} \\ q_i & -\bar{q} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_\delta^o \\ y_\delta^o \end{bmatrix}, \quad i = 1, \dots, N$$

η οποία κλιμακώνεται κατά βέλτιστο παράγοντα λ , με κέντρο κλιμάκωσης

$$\left(\frac{\sum_{i=1}^N \alpha_i}{N}, \frac{\sum_{i=1}^N \beta_i}{N} \right) = (\bar{\alpha}, \bar{\beta}),$$

ώστε η καμπύλη $(r_i, t_i) = (\lambda \cdot (\alpha_i - \bar{\alpha}) + \bar{\alpha}, \lambda \cdot (\beta_i - \bar{\beta}) + \bar{\beta})$ να ταιριάζει βέλτιστα στην πρώτη καμπύλη (x_i, y_i) .

Πρέπει να επιλεγθεί ο παράγοντας κλιμάκωσης που ελαχιστοποιεί την συνάρτηση:

$$\varepsilon_{RTO}(\lambda) = \sum_{n=1}^N \left((x_i - \lambda \cdot \text{sign}(x_i - \bar{\alpha}, \alpha_i - \bar{\alpha}) \cdot (\alpha_i - \bar{\alpha}) - \bar{\alpha})^2 + (y_i - \lambda \cdot \text{sign}(y_i - \bar{\beta}, \beta_i - \bar{\beta}) \cdot (\beta_i - \bar{\beta}) - \bar{\beta})^2 \right)$$

όπου $\text{sign}(x, \alpha) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$

Ο παράγοντας αυτός είναι:

$$\lambda_o = \frac{\sum_{i=1}^N \left\{ |(x_i - \bar{\alpha})(\alpha_i - \bar{\alpha})| + |(y_i - \bar{\beta})(\beta_i - \bar{\beta})| \right\}}{\sum_{i=1}^N \left((\alpha_i - \bar{\alpha})^2 + (\beta_i - \bar{\beta})^2 \right)}$$

Απόδειξη:

Η $\varepsilon_{RTO}(\lambda)$ είναι συνεχώς παραγωγίσιμη και έχει κάτω φράγμα το μηδέν, άρα παρουσιάζει ελάχιστο όπου ισχύει

$$\frac{d\varepsilon_{RTO}(\lambda)}{d\lambda} = 0 \Leftrightarrow$$

$$\begin{aligned} & \sum_{n=1}^N \left((\alpha_i - \bar{\alpha}) \cdot \text{sign}(x_i - \bar{\alpha}, \alpha_i - \bar{\alpha}) \right) (x_i - \lambda \cdot \text{sign}(x_i - \bar{\alpha}, \alpha_i - \bar{\alpha}) \cdot (\alpha_i - \bar{\alpha}) - \bar{\alpha}) \\ & + \sum_{n=1}^N \left((\beta_i - \bar{\beta}) \cdot \text{sign}(y_i - \bar{\beta}, \beta_i - \bar{\beta}) \right) (y_i - \lambda \cdot \text{sign}(y_i - \bar{\beta}, \beta_i - \bar{\beta}) \cdot (\beta_i - \bar{\beta}) - \bar{\beta}) = 0 \end{aligned}$$

$$\Leftrightarrow \lambda_o = \frac{\sum_{i=1}^N \left\{ |(x_i - \bar{\alpha})(\alpha_i - \bar{\alpha})| + |(y_i - \bar{\beta})(\beta_i - \bar{\beta})| \right\}}{\sum_{i=1}^N \left((\alpha_i - \bar{\alpha})^2 + (\beta_i - \bar{\beta})^2 \right)}$$

Η μοναδικότητα της λύσης, σε συνδυασμό με το ότι η συνάρτηση σφάλματος είναι φραγμένη από κάτω, διασφαλίζει ότι η τιμή του παράγοντα κλιμάκωσης που βρέθηκε πράγματι ελαχιστοποιεί την συνάρτηση σφάλματος.

5.5 Βέλτιστο Ταίριασμα δύο υλοποιήσεων του ίδιου

γράμματος με βάση το κριτήριο τομή διά ένωση

5.5.1 Το κριτήριο ομοιότητας μεταξύ δύο απλών συνεκτικών

υλοποιήσεων του ίδιου γράμματος σε χειρόγραφα

Τα κριτήρια που έχουν εφαρμοστεί στην μέχρι τώρα ανάλυση, έχουν ως προϋπόθεση ίδιο αριθμό εικονοστοιχείων για τις εικόνες όπου εμφανίζονται οι υλοποιήσεις του ίδιου γράμματος. Χρειάζεται να οριστεί ένα κριτήριο ικανό να ταιριάζει τα περιγράμματα ανεξάρτητα με τον αριθμό των εικονοστοιχείων, αλλά και ικανό να δίνει αποτελέσματα στα οποία μπορεί να γίνει στατιστική μελέτη με σκοπό την εξαγωγή συμπεράσματος σχετικά με την ταυτοποίηση του γραφέα.

Έστω δύο υλοποιήσεις L_1, L_2 του ίδιου συμβόλου που εμφανίζονται σε ίδιο ή σε ξεχωριστά κείμενα, και έστω C_1, C_2 τα εξωτερικά περιγράμματα των υλοποιήσεων, τα οποία μπορεί να μην εσωκλείουν άλλες πολυγωνικές γραμμές. Γίνεται τοποθέτηση των C_1, C_2 στην βέλτιστη σχετική τους θέση με χρήση του κριτηρίου ελαχίστων τετραγώνων. Αφού έχει υπολογιστεί η υποβέλτιστη μεταξύ τους θέση και κλιμάκωση, με τυχαίο τρόπο επιλεγεται το C_1 ως σταθερό και εφαρμόζονται μετασχηματισμοί στροφής, παράλληλης μετατόπισης, και κλιμάκωσης στο εξωτερικό περίγραμμα C_2 , αρκετά κοντά σε αυτήν την θέση ισορροπίας που προέκυψε ελαχιστοποιώντας το κριτήριο κόστους ελαχίστων τετραγώνων. Πιο συγκεκριμένα, ορίζεται τετραδιάστατος κύβος γύρω από το σημείο $(x_\delta, y_\delta, \varphi, \lambda)$ και μία λεπτή διαμέριση αυτού. Με σημείο έναρξης την υποβέλτιστη θέση προσαρμογή, γίνεται εξαντλητική αναζήτηση στον κύβο, για την εύρεση του σημείου που θα δίνει την καλύτερη σχετική θέση των δύο περιγραμμάτων με βάση το παρακάτω κριτήριο. Η μεγιστοποίηση του κριτηρίου αυτού οδηγεί και στην επιλογή της καλύτερης σχετικής θέσης των δύο καμπυλών.

Σε κάθε σημείο αυτής της διαμέρισης, προκύπτει ένας μετασχηματισμός που εφαρμόζεται στο C_2 , ο οποίος δίνει τον μετασχηματισμένο αντιπρόσωπο του συμβόλου L_2 . Επομένως, για κάθε μετασχηματισμένη έκδοση του C_2 ορίζεται το κριτήριο τομής διά ένωση:

$$\delta E_n = \frac{\text{area}(\text{int}(L_1) \cap \text{int}(L'_2))}{\text{area}(\text{int}(L_1) \cup \text{int}(L'_2))}$$

Όπου ο δείκτης n διατρέχει όλα τα σημεία της διαμέρισης του τετραδιάστατου κύβου και L'_2 ο μετασχηματισμένος αντιπρόσωπος του συμβόλου.

Από τις δE_n εντοπίζεται η μέγιστη τιμή δE^B και ορίζονται οι παράμετροι του μετασχηματισμού $(x_\delta^B, y_\delta^B, \varphi^B, \lambda^B)$, που αντιστοιχούν σε αυτήν την μέγιστη τιμή. Στην ιδανική περίπτωση που η πρώτη και η μετασχηματισμένη δεύτερη καμπύλη συμπίπτουν, η τιμή του κριτηρίου είναι ίση με 1, ενώ στην περίπτωση που οι καμπύλες αυτές διαφέρουν πολύ, η τιμή του κριτηρίου αποκτά πολύ μικρές τιμές.

5.5.2 Το κριτήριο ομοιότητας στην περίπτωση που τα περιγράμματα αποτελούνται από κλειστές καμπύλες

Στην περίπτωση που το γράμμα είχε δημιουργηθεί με μία διαδοχή κτυπημάτων ή μολυβιών, και γενικά, σηκώνοντας και επανατοποθετώντας το εργαλείο γραφής από την επιφάνεια γραφής, ή στην περίπτωση που είχε γραφεί ως μία απλή και αδιαίρετη περιοχή, αλλά έχει υποστεί φθορά με το πέρασμα του χρόνου, αυτό φαίνεται να έχει διαιρεθεί σε απλές συνεκτικές περιοχές.

Γίνεται προσαρμογή του ορισμού του κριτηρίου τομής δια ένωση, ώστε να επιτυγχάνεται βέλτιστο ταίριασμα μεταξύ περιγραμμάτων που αποτελούνται από απλές κλειστές καμπύλες και να μπορεί να γίνει στατιστική αξιολόγηση της ταυτοποίησης των γραφέντων που έχουν χαραχτεί τα διαφορετικά συμβολα.

Έστω δύο υλοποιήσεις M_1, M_2 του ίδιου συμβόλου που εμφανίζονται σε ίδιο ή σε ξεχωριστά κείμενα, οι οποίες αποτελούνται από N_1^S, N_2^S απλές συνεκτικές περιοχές του γράμματος. Με τυχαίο τρόπο επιλέγεται το M_1 ως σταθερό και εφαρμόζονται

όλοι οι μετασχηματισμοί στροφής, παράλληλης μετατόπισης, και κλιμάκωσης στο M_2 .

Επομένως για κάθε μετασχηματισμένη έκδοση του M_2 ορίζεται το κριτήριο τομής διά ένωση:

$$\delta E_n = \frac{\text{area}\left(\left(\bigcup_{i=1}^{N_1^S} S_i^1\right) \cap \left(\bigcup_{i=1}^{N_2^S} S_i^{2'}\right)\right)}{\text{area}\left(\left(\bigcup_{i=1}^{N_1^S} S_i^1\right) \cup \left(\bigcup_{i=1}^{N_2^S} S_i^{2'}\right)\right)}$$

Όπου ο δείκτης n διατρέχει όλα τα σημεία του χώρου που ορίζουν οι παράμετροι του προβλήματος, $S_i^1, S_j^{2'}$ τα σύνολα των N_1^S απλών συνεκτικών περιοχών του M_1 και τα σύνολα των N_2^S απλών συνεκτικών περιοχών του μετασχηματισμένου M_2' .

Η μεγιστοποίηση της συνάρτησης σφάλματος του κριτηρίου τομή δια ένωση οδηγεί στην εύρεση των παραμέτρων των μετασχηματισμών, που δίνουν το βέλτιστο ταίριασμα μεταξύ των δύο υλοποιήσεων του γράμματος.

Η μέθοδος εγγυάται πως η προσαρμογή των δύο καμπυλών είναι βέλτιστη, ενώ με κατάλληλη επιλογή του βήματος στην διαμέριση του τετραδιάστατου κύβου που ορίζουν οι παράμετροι των μετασχηματισμών, μπορεί κανείς να έχει μεγάλη ακρίβεια στην λύση.

6

Επίλογος

6.1 Σύνοψη και συμπεράσματα

Στα κεφάλαια που προηγήθηκαν, πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική έρευνα σύγχρονων μεθόδων Κατάτμησης Εικόνας, και στην συνέχεια έγινε περιγραφή και εφαρμογή μίας νέας μεθόδου Αυτόματης Κατάτμησης γκριζών εικόνων και μίας μεθόδου εξαγωγής περιγράμματος από κατάτμηση. Ακολούθησε περιγραφή μίας νέας μεθόδου Αυτόματης Ταυτοποίησης Γραφέα, η οποία δημοσιεύθηκε στα [10], [11], [12].

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκε η εφαρμογή των μεθόδων κατάτμησης και εξαγωγής περιγράμματος γραμμάτων, στο Χειρόγραφο των Κυθήρων του Συντάγματος του Ρήγα Βελεστινλή, με σκοπό τον έλεγχο της υπόθεσης της γραφής αυτού από τον ίδιο τον Ρήγα. Ως επόμενο στάδιο στον έλεγχο της υπόθεσης, πραγματοποιείται η εφαρμογή σύγχρονων μεθόδων Αναγνώρισης Γραφέα, όπως αυτή που περιγράφηκε στην παρούσα εργασία, που χρησιμοποιούν είτε το αποτέλεσμα κατάτμησης των γραμμάτων είτε το περίγραμμα αυτών.

Η επίδοση των μεθόδων ήταν ικανοποιητική, τόσο όσον αφορά την κατάτμηση των εικόνων των μεμονωμένων γραμμάτων, την εξαγωγή των περιγραμμάτων των γραμμάτων αυτών, αλλά και όσον αφορά τα πρώτα ενδεικτικά συμπεράσματα περί της ταυτότητας του γραφέα των σχετικών κειμένων. Τα συμπεράσματα αυτά και η στατιστική αξιολόγηση της υπόθεσης της Ταυτοποίησης Γραφέα του Συντάγματος

του Ρήγα, στο χειρόγραφο των Κυθήρων, και στα άλλα χειρόγραφα που διασώζονται, όπως αυτό που βρίσκεται στην Βιβλιοθήκη της Ρουμανικής Ακαδημίας στο Βουκουρέστι, θα συζητηθούν σε επόμενη διατριβή της ερευνητικής ομάδας.

Η τεχνολογική εξέλιξη στον τομέα της πληροφορικής μπορεί να αποτελέσει αρωγό στην προσπάθεια εκσυγχρονισμού των μεθόδων που χρησιμοποιούνται στην αρχαιολογική και ιστορική έρευνα. Η χρήση των μεθόδων που παρουσιάστηκαν διευκολύνει την επίλυση προβλημάτων που μέχρι τώρα βασιζόταν στην εμπειρία παλαιογράφων και ιστορικών, καθώς η προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε προσφέρει πιο αντικειμενικά και ακριβή αποτελέσματα.

Η έρευνα και ανάπτυξη σύγχρονων μεθόδων για την Αυτόματη Αναγνώριση Γραφέα κειμένων με ιστορική σημασία, μπορεί να βοηθήσει μέσω της χρονολόγησης αυτών, στην απάντηση των ερωτηματικών που έχει αφήσει αναπάντητα η έρευνα στον ρου της ιστορίας.

7

Βιβλιογραφία

- [1] Εμμανουήλ Σ. Στάθης, “Σύνταγμα και Θούριος του Ρήγα. Το αρχικό και το τελικό κείμενο. Κριτική έκδοση”, Αρνός, 1996.
- [2] A.K. Jain and R. C. Dubes, “Algorithms for Clustering Data”, Prentice Hall, 1988.
- [3] Sudipto Guha, Rajeev Rastogi, and Kyuseok Shim, “CURE: An efficient clustering algorithm for large databases”, In Proc. of 1998 ACM-SIGMOD Int. Conf. on Management of Data, 1998.
- [4] Sudipto Guha, Rajeev Rastogi, and Kyuseok Shim, “ROCK: a robust clustering algorithm for categorical attributes”, In Proc. of the 15th Int’l Conf. on Data Eng., 1999.
- [4] S. Beucher and F. Meyer, “The Morphological Approach to Segmentation: The Watershed Transformation”, in: *Mathematical Morphology in Image Processing*, E.R. Dougherty (Ed.), Marcel Dekker, NY, 1993.
- [5] F. Meyer, “Integrals and Gradients of Images”, Proc. SPIE vol. 1769: *Image Algebra and Morphological Image Processing III*, pp. 200-211, 1992.
- [6] F. Meyer, “Topographic Distance and Watershed Lines”, *Signal Processing*, vol. 38, pp. 113-125, July 1994.
- [7] J. M. Morel and S. Solimini, “Variational Methods”, in *Image Processing*, Birkhauser, 1994.
- [8] M. A. Butt, “Continuous and Discrete Approaches to Morphological Image Analysis with Applications: PDEs, Curve Evolution, and Distance Transform”, Ph.D. Thesis, Georgia Institute of Technology, Atlanta, 1999.
- [9] Δήμητρα Ντάφη, “Ψηφιακή επεξεργασία, προτυποποίηση (modeling) και

εικονική ανακατασκευή σημαντικών αρχαιολογικών ευρημάτων”, Διδακτορική διατριβή, 2010.

- [10] Michail Panagopoulos, Constantin Papaodysseus, Panayiotis Rousopoulos, Dimitra Dafi, and Stephen Tracy, “Automatic Writer Identification of Ancient Greek Inscriptions”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 31, no. 8, August 2009.
- [11] Παναγιώτης Ρουσόπουλος, “Ανάπτυξη προηγμένων μεθόδων αναγνώρισης προτύπων και μαθηματική θεμελίωση για τον εντοπισμό του τρόπου δημιουργίας και της ταυτότητας του δημιουργού σημαντικών αρχαιολογικών ευρημάτων”, Διδακτορική διατριβή, 2010.
- [12] C. Papaodysseus, P. Rousopoulos, F. Giannopoulos, S. Zannos, D. Arabadjis, M. Panagopoulos, E. Kalfa, C. Blackwell, S. Tracy, “Identifying the writer of ancient inscriptions and Byzantine codices. A novel approach”, *Computer Vision and Image Understanding*, 2011.

