



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ &
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**Μελέτη μεθόδων αυτόματης αναγνώρισης
γραφέα αρχαίων κειμένων**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιωάννης Κ. Κολλιόπουλος

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Παπαδουσσεύς

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούνιος 2014



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ &
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Μελέτη μεθόδων αυτόματης αναγνώρισης
γραφέα αρχαίων κειμένων**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιωάννης Κ. Κολλιόπουλος

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Παπαοδυσσεύς

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 14^η ΙΟΥΛΙΟΥ 2014.

.....
Κωνσταντίνος Παπαοδυσσεύς

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Βασίλειος Λούμος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ηλίας Κουκούτσης

Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΚΟΛΛΙΟΠΟΥΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

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

Copyright © Κολλιόπουλος Ιωάννης 2013

Copyright © Κωνσταντίνος Παπαοδυσσεύς 2013

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved

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

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

Περίληψη

Το ακαδημαϊκό ενδιαφέρον της παρούσης διπλωματικής επικεντρώνεται στην αυτόματη αναγνώριση γραφέα από τα κείμενά του. Η αναγνώριση του γραφέα μπορεί να προσφέρει μεταξύ άλλων σαφή χρονολόγηση αρχαίων χειρογράφων. Η ταχύτητά και η αξιοπιστία της αναγνώρισης γραφέων την καθιστούν χρήσιμη τόσο στις επιστήμες Ιστορίας και Αρχαιολογίας όπου ο όγκος των αρχαίων κειμένων είναι τεράστιος όσο και σε σύγχρονα ζητήματα που ζητούν επίλυση.

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής μια νέα μέθοδος αυτόματης αναγνώρισης γραφέων, μελετάται, κατανοείται και εφαρμόζεται. Η μεθοδολογία αυτή υπολογίζει αρχικά την καμπυλότητα σε κάθε εικονοστοιχείο του περιγράμματος κάθε γράμματος του εγγράφου. Στη συνέχεια εκτελεί κατά ζεύγη συγκρίσεις των ακολουθιών των καμπυλοτήτων των αλληλουχιών που αντιστοιχούν σε δύο τυχούσες υλοποιήσεις του ίδιου συμβόλου της αλφαβήτου. Προκειμένου να δοθεί λύση στο πρόβλημα της αντιστοίχισης των περιγραμμάτων βέλτιστα κατά την έννοια των ελάχιστων τετραγώνων χρησιμοποιούμε μια νέα πρόταση με βάση τα προηγούμενα αποτελέσματα. Στην συνέχεια χρησιμοποιείται ένα κριτήριο για την ποσοτικοποίηση της ομοιότητας μεταξύ των δύο υλοποιήσεων του ίδιου συμβόλου της αλφαβήτου κατά τρόπο αδιαμφισβήτητο και βέλτιστο. Η μέθοδος εφαρμόστηκε στον βυζαντινό κώδικα <<Αθηναίων πολιτεία>> του Αριστοτέλους και τα πρώτα αποτελέσματα είναι σαφώς ενθαρρυντικά.

Λέξεις Κλειδιά: αυτόματη αναγνώριση γραφέα, αρχαία παπυρολογικά κείμενα, βυζαντινοί κώδικες, Αθηναίων Πολιτεία, χρονολόγηση αρχαίων επιγραφών

Abstract

The academic interest of the present dissertation focuses on the automatic identification of the writer of ancient manuscripts. In the last years the research topic of automated writer identification and verification is very active, mainly concerning hand written text. This identification can offer correct and objective dating of the corresponding ancient manuscripts. The reliability of the obtained results makes the automatic writer identification useful in the sciences of History and Archaeology .In addition, the automatic writer identification may contribute in other aspects of modern life, such as forensic problems, legal matters etc.

In the framework of the present dissertation a novel methodology is extensively studied, understood and applied. The method presented here initially estimates the curvature at each pixel of a letter contour and it performs pair-wise comparisons of the curvatures sequences that correspond to two realizations of the same alphabet symbol. Then in order to give a solution to the problem of matching two contours optimally, in the sense of least squares, we have used a new proposition that exploits the previous results. Finally, a criterion is used to quantify the similarity between any two realizations of the same alphabet symbol. The method has been applied to the Byzantine codex <<Athinaion Politeia>> of Aristotle and the first results are indeed encouraging.

Key words: automatic writer identification, ancient papyrus texts, Byzantine codex, Athinaion Politeia, dating ancient inscriptions

Περιεχόμενα

Κατάλογος σχημάτων	5
1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ	6
2. Η ΜΕΓΑΛΗ ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΤΑΥΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΡΑΦΕΑ ΑΠΟ ΤΑ ΚΕΙΜΕΝΑ ΤΟΥ	8
2.1 <i>Η Αυτόματη αναγνώριση γραφέα αρχαίων κειμένων σαν ένα ισχυρό εργαλείο χρονολόγησης των κειμένων</i>	<i>10</i>
2.1.1 <i>Αναφορικά με τις αρχαίες επιγραφές.....</i>	<i>12</i>
2.1.2 <i>Σχετικά με τους βυζαντινούς κώδικες.....</i>	<i>17</i>
3. ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΓΡΑΦΕΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ (STATE OF THE ART)	20
4. ΜΙΑ ΝΕΑ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΓΡΑΦΕΑ-ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	23
5 ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΝΤΑΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΝΟΝΤΑΣ ΤΙΣ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΔΥΟ ΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	25
5.1 <i>Ακολουθία καμπυλότητας για περίγραμμα με μία καμπύλη</i>	<i>26</i>
5.2 <i>Βέλτιστη αντιστοιχία για τις δυο ακολουθίες καμπυλότητας για την περίπτωση δυο μονών περιγραμμάτων.....</i>	<i>28</i>
5.3 <i>Η περίπτωση πολλαπλών ασυνεχών ισοΰψών εξωτερικών περιγραμμάτων</i>	<i>30</i>
6 ΜΙΑ ΠΡΩΤΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΣΕΩΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΔΥΟ ΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	32
7 ΤΕΛΕΣΙΔΙΚΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΔΥΟ ΥΛΟΠΟΙΗΣΕΩΝ ΣΥΜΒΟΛΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ	39
8 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΛΟΓΙΑΣ ΣΕ ΒΥΖΑΝΤΙΝΟΥΣ ΚΩΔΙΚΕΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑΣ	48
9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	53
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	54

Κατάλογος σχημάτων

Εικόνα 2-1 Αρχαία επιγραφή με χαρακτηριστική φθορά	14
Εικόνα 2-2 Τέσσερις παρόμοιες υλοποιήσεις του γράμματος "Σ" από διαφορετικό χαρακτή.	15
Εικόνα 2-3 Διαφορετικές υλοποιήσεις του γράμματος "Α" στην ίδια επιγραφή.....	15
Εικόνα 2-4 Ημερολόγιο των θυσιών του Θορικού του 420 π.Χ.....	16
Εικόνα 7-1 Τα τέσσερα κρίσιμα σημεία του υπό εξέταση κτυπήματος	40
Εικόνα 7-2 Βέλτιστα προσαρμοσμένα χτυπήματα δύο υλοποιήσεων του συμβολογράμματος Σ της ίδιας χειρός.	40
Εικόνα 7-3 Συνολική εικόνα των προηγούμενων βέλτιστα ταιριασμένων κτυπημάτων των δύο υλοποιήσεων του συμβολογράμματος Σ που προέρχεται από το ίδιο χέρι.	41
Εικόνα 7-4 Βέλτιστα ταιριασμένα κτυπήματα δύο υλοποιήσεων του συμβολογράμματος Σ που προέρχονται από το ίδιο χέρι.	41
Εικόνα 7-5 Συνολική εικόνα δύο βέλτιστα ταιριασμένων υλοποιήσεων του συμβολογράμματος Σ διαφορετικής χειρός.	42
Εικόνα 7-6 Συνολική εικόνα δύο βέλτιστα ταιριασμένων υλοποιήσεων του συμβολογράμματος Σ διαφορετικής χειρός.	42
Εικόνα 8-1 Δυο υλοποιήσεις του γράμματος "ε"	49
Εικόνα 8-2 Δυο υλοποιήσεις του γράμματος "φ"	50
Εικόνα 8-3 Δυο υλοποιήσεις του γράμματος "λ"	50
Εικόνα 8-4 Δυο υλοποιήσεις του γράμματος "λ"	51
Εικόνα 8-5 Δυο υλοποιήσεις του γράμματος "θ"	51
Εικόνα 8-6 Δυο υλοποιήσεις του γράμματος "ω"	52
Εικόνα 8-7 Δυο υλοποιήσεις του γράμματος "ω"	52

1

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ

Στόχος της παρούσης διπλωματικής είναι η εμβάθυνση στο γνωστικό πεδίο της αυτόματης αναγνώρισης γραφέν με χρήση υπολογιστή, ως και της διεξοδικής κατανόησης και εφαρμογής μιας νέας μεθοδολογίας αυτόματης αναγνώρισης γραφέν. Ειδικότερα ή νέα αυτή μεθοδολογία και κατά συνέπεια το αντικείμενο της παρούσης διπλωματικής, αφορούν κυρίως την αυτόματη αναγνώριση γραφέν αρχαίων κειμένων. Μια επιτυχημένη αναγνώριση αυτού του τύπου μπορεί να αποδειχθεί κεφαλαιώδους σημασίας για τις επιστήμες της Αρχαιολογίας και της Ιστορίας. Αυτό ισχύει διότι, κατά κανόνα, ο γραφέας των αρχαίων κειμένων είναι άγνωστος. Επειδή όμως, πρακτικά μέχρι την ανακάλυψη της τυπογραφίας, το να είσαι γραφέας ήταν επάγγελμα ή και ενασχόληση ζωής, η κατάταξη των παλαιών κειμένων που σώζονται στους γραφείς τους δίνει αντικειμενική δυνατότητα άμεσης χρονολόγησης αυτού.

Η δομή της παρούσης διπλωματικής είναι η έξης. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφερόμαστε στην μεγάλη σημασία της ταυτοποίησης γραφέα από τα κείμενα του και στην χρήση της σαν ένα ισχυρό εργαλείο χρονολόγησης των κειμένων, επίσης γίνεται αναφορά στις αρχαίες επιγραφές και τους βυζαντινούς κώδικες. Στο τρίτο κεφάλαιο αναφερόμαστε στις σύγχρονες τάσεις στην αυτόματη αναγνώριση γραφέα με χρήση υπολογιστή. Το τέταρτο κεφάλαιο περιέχει συνοπτική περιγραφή μιας νέας μεθόδου με βασικό κριτήριο την καμπυλότητα της υλοποίησης του αλφαβητικού συμβόλου. Το πέμπτο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στην μέθοδο που χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί και να συγκριθεί η καμπυλότητα των περιγραμμάτων της υλοποίησης δύο γραμμάτων, τον υπολογισμό της ακολουθίας καμπυλότητας για περίγραμμα με μία καμπύλη, την βέλτιστη αντιστοιχία για τις δύο ακολουθίες καμπυλότητας για την περίπτωση δύο μονών περιγραμμάτων και στην περίπτωση πολλαπλών ασυνεχών ισοΰψων εξωτερικών περιγραμμάτων. Στο έκτο κεφάλαιο αναφερόμαστε σε μια πρώτη εκτίμηση της θέσεως βέλτιστης προσαρμογής δύο γραμμάτων και στο έβδομο κεφάλαιο στην τελεσίδικη βέλτιστη προσαρμογή δύο υλοποιήσεων συμβολογράμματος.

Τέλος στο κεφάλαιο οκτώ δείχνουμε την εφαρμογή της μεθοδολογίας σε βυζαντινούς κώδικες μεγάλης σπουδαιότητας και συγκεκριμένα σε ένα από τα σημαντικότερα μέρη της <<Συναγωγής Πολιτειών>> του Αριστοτέλη, <<Αθηναίων πολιτεία>>

2

Η ΜΕΓΑΛΗ ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΤΑΥΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΡΑΦΕΑ ΑΠΟ ΤΑ ΚΕΙΜΕΝΑ ΤΟΥ

Η αυτόματη ταυτοποίηση γραφέα από τα κείμενά του αποτελεί ένα συνεχώς αναπτυσσόμενο τομέα έρευνας. Σε αυτό συμβάλλει η αλματώδης ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών, καθώς με τις μεγάλες ταχύτητες είναι δυνατή η εκτέλεση προγραμμάτων με μεγάλη υπολογιστική πολυπλοκότητα, όπως αυτά που απαιτούνται στην αυτόματη ταυτοποίηση γραφέα. Όμως το θέμα της αυτόματης ταυτοποίησης των χειρόγραφων κειμένων εξακολουθεί να είναι ένα «ανοικτό» ερευνητικό ζήτημα.

Οι γραφολόγοι πιστεύουν ότι υπάρχει μία ορισμένη βάση σε κάθε γραφικό χαρακτήρα, που πιθανώς επηρεάζεται ελάχιστα από τα συναισθήματα της στιγμής. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο τρόπος γραφής να αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα κάθε γραφέα η μοναδικότητα του οποίου είναι αντίστοιχη αυτής των δακτυλικών αποτυπωμάτων. Για το λόγο αυτό η βιομετρική αναγνώριση χειρόγραφου ή αλλιώς η αναγνώριση γραφέα βρίσκει εφαρμογή σε περιπτώσεις εμπειρογνωμοσύνης και ταυτοποίησης.

Η αυτόματη αναγνώριση γραφέα διακρίνεται σε δύο κατηγορίες, με βάση την πραγματοποίηση της σε πραγματικό χρόνο ή όχι, την δυναμική και την στατική αντίστοιχα. Στην δυναμική ή αλλιώς "on-line", η συλλογή και η επεξεργασία του κειμένου γίνεται με την χρήση κάποιας, συνήθως φορητής, ηλεκτρονικής συσκευής (tablet ή pda). Η στατική ή αλλιώς "off-line" απαιτεί την χρήση σαρωτή ή κάμερας προκειμένου να ψηφιοποιηθεί το χειρόγραφο και στην συνέχεια η ταυτοποίηση γίνεται με την επεξεργασία των δεδομένων από ειδικό λογισμικό.

Χρήσιμες εφαρμογές της αυτόματης αναγνώρισης γραφέα συναντάμε σε πολλούς τομείς. Η δικαστική χρήση για επίλυση προβλημάτων ποινικού και αστικού δικαίου μέσω της επιβεβαίωσης της γνησιότητας σημαντικών εγγράφων (π.χ. διαθήκης) είναι ένας από αυτούς. Επίσης στις δημοπρασίες μπορεί να ελεγχθεί η αυθεντικότητα κάποιου έργου τέχνης προκειμένου να αξιολογηθεί. Ο έλεγχος της γνησιότητας της υπογραφής με την αυτόματη ταυτοποίηση γραφέα παρέχει ασφάλεια στις τραπεζικές συναλλαγές και για τον λόγο αυτό είναι ευρέως διαδεδομένη. Χαρακτηριστικό είναι ότι στην έρευνα και την ανάπτυξη αυτού του τομέα έχουν κινηθεί πολλές εμπορικές εταιρείες .

Η ταχύτητα της αυτόματης αναγνώρισης γραφέα αλλά και η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων την καθιστούν χρήσιμη τόσο στις επιστήμες ιστορίας και αρχαιολογίας όπου ο όγκος των αρχαίων κειμένων είναι τεράστιος και σχεδόν αδύνατον να επεξεργαστούν, να ταυτοποιηθούν αλλά και να χρονολογηθούν όλα από τους γραφολόγους όσο και σε σύγχρονα ζητήματα που ζητούν επίλυση.

2.1 Η Αυτόματη αναγνώριση γραφέα αρχαίων κειμένων σαν ένα ισχυρό εργαλείο χρονολόγησης των κειμένων

Στην επιστήμη της αρχαιολογίας τα αρχαία κείμενα αποτελούν ένα από τα πιο σημαντικά τμήματα έρευνας. Ο όγκος των σωζόμενων κειμένων σε λίθινες επιγραφές, σε παπύρους αλλά και σε άλλης μορφής χειρόγραφα είναι τεράστιος και οι πληροφορίες που μπορούν να εξαχθούν από αυτά είναι πολύτιμες όχι μόνο για την αρχαιολογία αυτή καθ' εαυτή, αλλά και για άλλες επιστήμες που έχουν ως πεδίο έρευνας την αρχαία εποχή. Παραδείγματα τέτοιων επιστημών είναι η ιστορία καθώς και οι κοινωνικές επιστήμες. Τα στοιχεία που λαμβάνουν οι επιστήμονες από τη βαθιά και λεπτομερή ανάγνωσή τους, βοηθούν στην προώθηση των επιστημών αυτών.

Η σπουδαιότητα της ορθής καταγραφής της ιστορίας απαιτεί την σωστή χρονολόγησή τους. Είναι απαραίτητο για τον ιστορικό ερευνητή να γνωρίζει την ημερομηνία δημιουργίας και το ιστορικό πλαίσιο μέσα στο οποίο γράφτηκε η ιστορική πηγή που μελετά προκειμένου να την αξιοποιήσει σωστά και να μην οδηγηθεί σε λάθος συμπεράσματα. Μέχρι σήμερα η κατάταξη αυτή γίνεται με βάση συγκριτικές χρονολογήσεις, το γραφικό χαρακτήρα, την εμπειρία των αρχαιολόγων και γραφολόγων, καθώς και το ένστικτό τους. Οι τρόποι αυτοί έχουν καλά αποτελέσματα, αλλά κανένας εξ αυτών δεν δίνει με συνέπεια αντικειμενικά και αδιαμφισβήτητα αποτελέσματα.

Η αυτόματη αναγνώριση γραφέα παρέχει στους επιστήμονες ένα σημαντικό εργαλείο σε αυτόν τον τομέα. Συγκεκριμένα, εκμεταλλευόμενοι το γεγονός ότι στην αρχαιότητα ο γραφέας ήταν επάγγελμα και χρησιμοποιώντας την επαγωγική ιδιότητα πετυχαίνουμε έμμεσα τον χρονικό προσδιορισμό των αρχαίων κειμένων. Ειδικότερα, ο περιορισμένος αριθμός των γραφέων κάνει πιο εύκολη την ομαδοποίηση των κειμένων ανά γραφέα. Έτσι, από τον συνδυασμό του περιεχομένου των κειμένων του ίδιου γραφέα είναι πολύ πιο εύκολο να εξάγουμε ασφαλή συμπεράσματα για την περίοδο που έζησε. Αν λοιπόν είμαστε βέβαιοι για την χρονολογία κάποιου κειμένου και μπορέσουμε να αποδώσουμε και κάποιο άλλο κείμενο στον ίδιο γραφέα τότε μπορούμε να προσεγγίσουμε χρονικά και το δεύτερο κείμενο με βάση την περίοδο επαγγελματικής δράσης του γραφέα. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι η περίοδος δράσης ενός γραφέα υπολογίζεται στα είκοσι με είκοσι πέντε χρόνια.

Με βάση τα παραπάνω κρίνεται απαραίτητη η ανάπτυξη μίας αξιόπιστης αυτόματης μεθόδου. Στο πλαίσιο αυτής της προσπάθειας κινείται η αυτόματη ταυτοποίηση γραφέα, χρησιμοποιώντας μεθόδους από τα πεδία των μαθηματικών, της επιστήμης των υπολογιστών και της αναγνώρισης προτύπων.

2.1.1 Αναφορικά με τις αρχαίες επιγραφές

Ο πλούτος των αρχαίων επιγραφών που έχουν βρεθεί στην Ελλάδα, την Ιταλία, την Αίγυπτο αλλά και άλλες χώρες που αναπτύχθηκαν αρχαίοι πολιτισμοί είναι τεράστιος. Στο επιγραφικό μουσείο βρίσκονται τουλάχιστον 14.000 επιγραφές. Οι επιγραφές είναι ανυπολόγιστης αξίας για τη γνωριμία μας με τον αρχαίο κόσμο. Μέσω αυτών ανακαλύπτουμε την ιστορία της γραφής, τη μετάβαση από τον προφορικό στον γραπτό λόγο, τα διαφορετικά ελληνικά ιδιώματα, ενώ αποτελεί κλειδί για την αποκατάσταση του χρονολογικού συστήματος των αρχαίων Ελλήνων. Οι επιγραφές αποτυπώνουν την ιστορία και κυρίως το ήθος των αρχαίων.

Η συμβολή των επιγραφών στην έρευνα των διαφόρων τομέων των επιστημών της ελληνικής αρχαιότητας είναι πολύ σημαντική, αφού τα επιγραφικά κείμενα του είδους αυτού ήταν τα μοναδικά ή τα συνηθέστερα στην αρχαία Ελλάδα. Συχνά, λοιπόν, η επιγραφική αποτελεί πρωταρχικό όργανο άντλησης άμεσων πληροφοριών όσων αφορά τη γλώσσα, την ιστορία, την πολιτική και θρησκευτική οργάνωση, τη λατρεία κτλ. Είναι βασικό βοήθημα στην έρευνα της ιστορίας του ανθρώπου, εφόσον διασφαλίζει και παρέχει τα κυριότερα στοιχεία στα οποία τόσο η ιστορία όσο και η φιλολογία στηρίζονται για την κατανόηση του παρελθόντος. Οι επιγραφές ως ιστορικές πηγές είναι ιδιαίτερα σημαντικές και συμβαδίζουν με την παράδοση της ιστοριογραφίας.

Ανάμεσα στην πληθώρα των επιγραφικών κειμένων συναντούμε νόμους και διατάγματα, συνθήκες ειρήνης, συνθήκες συμμαχιών και ποικίλες άλλες συμφωνίες μεταξύ πόλεων-κρατών, καταγραμμένες σε χαλκό ή πέτρα και εκτεθειμένες σε κοινή θέα ή συγκεντρωμένες σε ιερά. Συνθήκες συγχώνευσης δύο κοινοτήτων, διαιτησίες ανάμεσα σε δύο πόλεις, με καθορισμό των συνόρων που περιγράφονται. Συνθήκες αμοιβαίας παροχής του δικαιώματος «πολιτείας», ψηφίσματα αναφερόμενα στην επιστροφή εξορίστων, οικονομικές συμφωνίες και κατάλογοι φόρων και δανείων, αποτελούν ενδεικτικά τυπικά παραδείγματα επιγραφικών κειμένων και συμπληρώνονται από τα κείμενα διαιτησιών για ποικίλες διαφορές, κυρίως σε θέματα τοπογραφικών ορίων και διασυνοριακών διαφορών. Οι επιγραφές αποτελούν σημαντικά στοιχεία για τη χρονολόγηση ιστορικών γεγονότων, γιατί συχνά χαραχτηκαν σε μνημεία ή αντικείμενα που είναι σύγχρονα με το περιεχόμενό τους. Ο χρόνος χάραξης της επιγραφής δίνει συχνά μια αξιόπιστη χρονολόγηση του μηνύματος της.

Η ποικιλία των τύπων των στοιχείων που χρησιμοποιούνται και κυρίως η μορφή της γραφής επιτρέπουν συχνά μια παλαιογραφική χρονολόγηση. Τα εσωτερικά στοιχεία της επιγραφής επιτρέπουν, εξάλλου, μια διαφορετική χρονολόγηση, είτε με χρονικό συσχετισμό προς άλλα γνωστά από αλλού γεγονότα είτε με καθαρά ημερολογιακό τρόπο. Το έτος συχνά προσδιορίζεται με την αναφορά στον χρόνο εξουσίας κάποιου άρχοντα, συνήθως του επώνυμου άρχοντα.

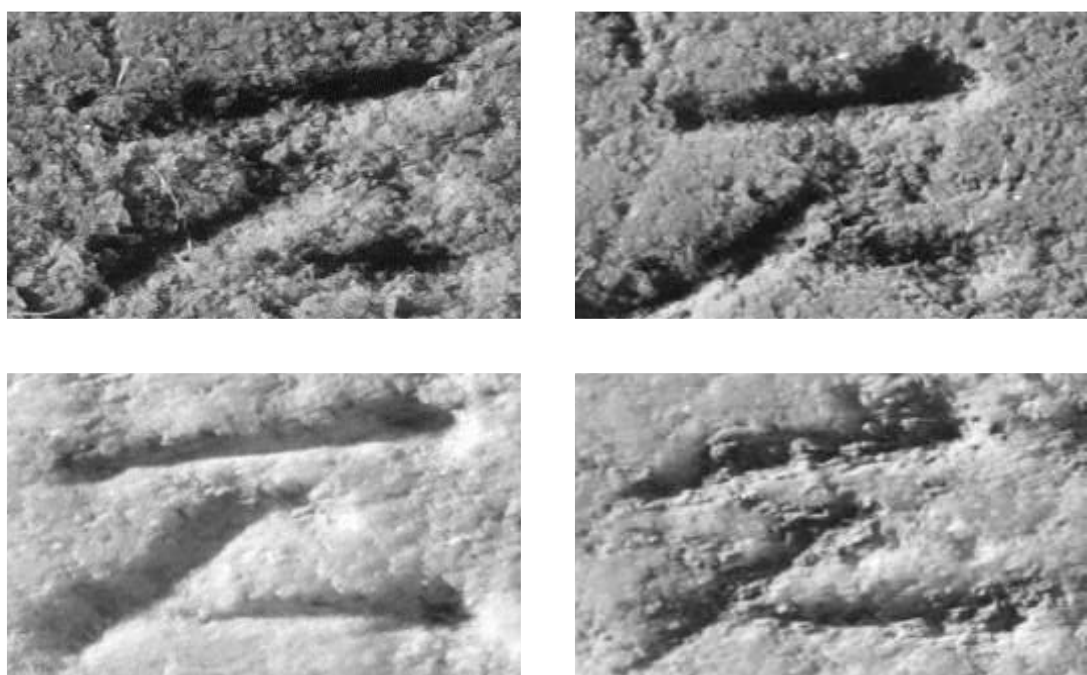
Ειδικές επιγραφές αναφέρονται σε προγράμματα δημοσίων έργων και περιέχουν τεχνικές και οικονομικές λεπτομέρειες, που επιτρέπουν καμιά φορά να προχωρήσουμε στην ολοκληρωτική ανασύνθεση κάποιου μνημείου βασιζόμενοι προπάντων στο κείμενο της σχετικής επιγραφής. Οι αρχαίες επιγραφές καλύπτουν, ανισομερώς βέβαια, το μεγάλο χρονικό διάστημα από την αρχαϊκή εποχή ως και τις αρχές της ελληνορωμαϊκής εποχής. Έχουν εξαιρετικά ποικίλο περιεχόμενο και αποτελούν πηγή πληροφόρησης για την κοινωνία και τον πολιτισμό, ένα σημαντικό μέσο γνώσης της καθημερινής ζωής. Η κοινωνική ιστορία είναι ο προνομιούχος τομέας των επιγραφών. Όπως και οι πάπυροι, οι επιγραφές μας επιτρέπουν να μελετήσουμε και το ελληνικό δίκαιο. Χωρίς αυτές, μπορούμε να πούμε ότι δε θα γνωρίζαμε στην ουσία παρά μόνο το αθηναϊκό δίκαιο, και αυτό χάρη κυρίως στους ρήτορες και τους σχολιαστές τους. Υπάρχουν επίσημα κείμενα με οικονομικό, εμπορικό και νομικό περιεχόμενο, όπως δωρεές, κανονισμοί οικοδομικών προγραμμάτων, συμβόλαια παροχής ιατρικών υπηρεσιών, συμφωνίες εξόφλησης αθετημένων πληρωμών, αποφάσεις απελευθέρωσης δούλων κ.ά. Οι επιγραφές παρέχουν πολύ σημαντικά στοιχεία για τη λατρεία, με τις αναρίθμητες, λιγότερο ή περισσότερο διεξοδικές αφιερώσεις, που συχνά κοσμούνται με ανάγλυφα, και με τους θρησκευτικούς κανονισμούς.

Όλα τα παραπάνω είχαν σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη ενός από τους σημαντικότερους τομείς της αρχαιολογίας, την επιγραφολογία. Η εξαγωγή των πληροφοριών από τις αρχαίες επιγραφές αποτελεί ένα εγχείρημα με πολλές δυσκολίες, χαρακτηριστικό είναι ότι οι γραφείς τις περισσότερες φορές ούτε υπέγραφαν ούτε έβαζαν ημερομηνία στα κείμενά τους. Η φθορά των επιγραφών είναι ένα ακόμα σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζεται, σε αρκετές περιπτώσεις οι πλάκες πριν γίνουν επιγραφές είχαν χρησιμοποιηθεί σαν δομικά υλικά. Οι επιγραφές έχουν φθαρεί επίσης από το πέρασμα του χρόνου και τις περισσότερες φορές ανασκάπτονται σε θραύσματα προξενώντας μεγάλες αλλοιώσεις στα γράμματα. Κατά την διάρκεια της έρευνας πάνω στις επιγραφές μπορούμε να παρατηρήσουμε διαφορετικές υλοποιήσεις του ίδιου συμβόλου ακόμα και αν προέρχεται από τον ίδιο γραφέα, αλλά και το αντίθετο, παρόμοιες υλοποιήσεις από διαφορετικούς χαρακτές. Τα παραπάνω προβλήματα έρχεται να ξεπεράσει η μέθοδος την οποία μελετάμε.

Παρακάτω παρουσιάζουμε μερικές φωτογραφίες από αρχαίες επιγραφές.



Εικόνα 2-1 Αρχαία επιγραφή με χαρακτηριστική φθορά



Εικόνα 2-2 Τέσσερις παρόμοιες υλοποιήσεις του γράμματος "Σ" από διαφορετικό χαρακτή.



Εικόνα 2-2 Διαφορετικές υλοποιήσεις του γράμματος "Α" στην ίδια επιγραφή.



Εικόνα 2-3 Ημερολόγιο των θυσιών του Θορικού του 420 π.Χ



Εικόνα 2-5 Η επιγραφή του Σκρίπου



Εικόνα 2-6 Η στήλη της Ροζέτας 196 π.Χ. Η ανεκτίμητη αξία της δίγλωσσης επιγραφής της Στήλης της Ροζέτας έγκειται στην παρουσία της ελληνικής γλώσσας και οδήγησε στην αποκρυπτογράφηση της αρχαίας αιγυπτιακής.

2.1.2 Σχετικά με τους βυζαντινούς κώδικες

Οι βυζαντινοί κώδικες έπαιξαν σημαντικό ρόλο στη διάδοση κειμένων και μορφών της ελληνικής αρχαιότητας. Πολλά μοναστήρια διέθεταν μεγάλες βιβλιοθήκες, που είχαν δημιουργηθεί με την παραγωγή βιβλίων μέσα σε αυτά ή από δωρεές πιστών. Στις βιβλιοθήκες οι μοναχοί μελετούσαν τα κείμενα και αντέγραφαν χειρόγραφα για τις ανάγκες των πιστών ή απλά για χάρη της μάθησης. Εκτός από τις μοναστικές βιβλιοθήκες υπήρχαν και ιδιωτικές όπως η περίφημη βιβλιοθήκη του πατριάρχη Φωτίου, αλλά και αυτοκρατορικές βιβλιοθήκες. Ο εμπλουτισμός τους γινόταν με την απόκτηση παλαιών χειρογράφων ή με την παραγγελία νέων. Στις μεγάλες βιβλιοθήκες, στα σημαντικά μοναστήρια και στο Μέγα Παλάτιον της Κωνσταντινούπολης υπήρχαν ειδικοί χώροι, τα *scriptoria*, γνωστά σήμερα ως «βιβλιογραφικά εργαστήρια», στα οποία γραφείς μοναχοί, κληρικοί και λαϊκοί δούλευαν συντονισμένα για την αντιγραφή χειρογράφων, δίνοντας ιδιαίτερη σημασία, τόσο στο σχεδιασμό του βιβλίου όσο και στην καλαισθησία της γραφής, την καλλιγραφία, τέχνη αγαπητή και ελκυστική ακόμη και για τους αυτοκράτορες. Όπως μας πληροφορούν τα Τυπικά διαφόρων μονών, η λειτουργία των βιβλιογραφικών εργαστηρίων τους ρυθμιζόταν με ακρίβεια από αυστηρούς κανόνες.

Ως προς την παραγωγή των χειρογράφων, αν και οι πληροφορίες μας είναι ελλιπείς, μπορούμε πάντως να σχηματίσουμε μια γενική εικόνα: Οι κώδικες, δηλαδή ένα πλήρες, άρτιο σώμα χειρόγραφων φύλλων, ήταν προϊόντα μιας πολυδάπανης και χρονοβόρας διαδικασίας. Τα φύλλα του χειρογράφου κατασκευάζονταν από δέρμα μοσχαριού, κατσίκας, αρνιού ή προβατίνας, που είχε υποστεί ειδική επεξεργασία, η οποία, σύμφωνα με μια αρχαία παράδοση, είχε ξεκινήσει από την Πέργαμο, στα χρόνια του βασιλιά Ευμένη Β' (197-158 π.Χ.). Γι' αυτό, το νέο υλικό γραφής έγινε γνωστό αργότερα με το όνομα περγαμηνή. Στην περίπτωση που το χειρόγραφο προοριζόταν για αυτοκράτορα, τα φύλλα του ήταν συχνά βαμμένα με πορφύρα και τα γράμματα του κειμένου χρυσά ή ασημένια ίσως όμως το πορφυρό χρώμα να είχε και άλλη σημασία.

Το δέρμα, ως φυσικό υλικό, έχει την ιδιότητα να αναπνέει, γεγονός που βοήθησε την προσαρμογή του σε διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας και επομένως τη διατήρηση του χειρογράφου τόσο στο υγρό κελί ενός μοναχού όσο και στο ξηρό ντουλάπι ενός βιβλιοσυλλέκτη ή στα ράφια της βιβλιοθήκης ενός διανοουμένου. Επιπλέον, η δομή του κώδικα, που είχε τη μορφή ενός σημερινού βιβλίου, συνέβαλλε στη διατήρηση του. Ο κώδικας έμενε κλειστός. Τα εξώφυλλα του ήταν συνήθως από ξύλο επενδυμένο με δέρμα, εκτός εάν το χειρόγραφο προοριζόταν για κάποιον επίσημο ή ήταν αυτοκρατορικό δώρο σε μονή, οπότε είχε ασημένιο ή χρυσό κάλυμμα, κοσμημένο με πολύτιμες πέτρες και άλλα στολίδια. Ο κλειστός κώδικας τοποθετείτο κάθετα ή οριζόντια σε ράφια ή ερμάρια και έτσι προστατευόταν από το φως και τις κλιματολογικές αλλαγές. Εξάλλου, τα μελάνια και τα πολυάριθμα χρώματα, από φυτικές και ορυκτές ουσίες, άντεχαν στους διάφορους εξωτερικούς φθοροποιούς παράγοντες. Γι' αυτό και τα φύλλα, η γραφή και η διακόσμηση των χειρογράφων άντεξαν και διατηρήθηκαν στο πέρασμα των αιώνων.

Άλλο μεγάλο πρόβλημα, για τον καθορισμό των εργαστηρίων και τη διασάφηση της καταγωγής ενός χειρογράφου, προκύπτει από το γεγονός ότι το χειρόγραφο είναι κινητό αντικείμενο που εύκολα μεταφέρεται και αλλάζει κάτοχο και ακόμη από το ότι ένα και το αυτό χειρόγραφο κυκλοφορούσε συχνά από το ένα εργαστήριο στο άλλο, για να αντιγραφούν το κείμενο και οι εικόνες του. Έτσι μιλάμε για ένα αρχικό χειρόγραφο που χρησίμευε ως πρότυπο για ένα άλλο, αντίγραφο του ίδιου είδους, το οποίο με τη σειρά του μπορούσε να αποτελέσει τη βάση για πολλαπλά, μεταγενέστερα αντίγραφα. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αντιγραφής των χειρογράφων και με το χρόνο που μεσολαβούσε γίνονταν λάθη αλλά και ηθελημένες αλλαγές στο περιεχόμενο ενός αρχικού χειρογράφου, οι οποίες εξέφραζαν τις αισθητικές προτιμήσεις του καλλιτέχνη ή τον προσωπικό τρόπο που εκείνος ερμήνευε το κείμενο.'

Όταν ένα χειρόγραφο τελείωνε, ο γραφέας μπορούσε να προσθέσει μερικούς στίχους στο τέλος, μια προσευχή για την ψυχή του ή μια επίκληση στους αναγνώστες για μεσιτεία προς τον Κύριο. Σπανιότερα υπέγραφε το έργο του ή ανέφερε τον τόπο και χρόνο εκτέλεσης του χειρογράφου. Στην αρχαιότητα το βιβλίο είχε τη μορφή ειληταρίου, δηλαδή κυλίνδρου κατασκευασμένου από πάπυρο, φυτικό υλικό που πρωτοχρησιμοποιήθηκε στην Αίγυπτο, όπου και αφθονούσε, από τα πανάρχαια χρόνια. Τα περίφημα κείμενα του Βιβλίου των Νεκρών, που συνόδευε τους νεκρούς στον κόσμο του Οσίριδος, ήταν γραμμένα σε πάπυρο. Με τον εξελληνισμό του αρχαίου κόσμου, που άρχισε με τις εκστρατείες του Μεγάλου Αλεξάνδρου, ο πάπυρος διαδόθηκε σε όλες τις τότε πολιτισμένες χώρες. Στην αρχαία τέχνη ειλητάρια συνοδεύουν τις παραστάσεις ρητόρων ή συγγραφέων, κυρίως σε αγάλματα, όπως δείχνει και ο ανδριάντας του Σοφοκλή στη Συλλογή του Λατερανού. Στη χριστιανική τέχνη ειλητάρια κρατούν οι προφήτες. Αντίθετα, οι ευαγγελιστές έχουν στα χέρια τους ανοικτά ή κλειστά βιβλία, δηλαδή κώδικες. Ο κώδικας αποτελεί χριστιανική εφεύρεση, έχει ήδη εμφανιστεί τον 2ο αιώνα οπότε και επαινείται για τη λειτουργικότητα του από τους συγχρόνους, αλλά δεν επικράτησε πριν από τον 4ο αιώνα.

3

ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΓΡΑΦΕΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ (STATE OF THE ART)

Κατά τα τελευταία χρόνια η έρευνα στο θέμα της αυτόματης ταυτοποίησης γραφέα είναι πολύ ενεργή, κυρίως όσον αφορά τα χειρόγραφα. Όσον αφορά την on-line ταυτοποίηση γραφέα, [3] προτείνει μια μέθοδο για δυναμική αναγνώριση γραφέα που χρησιμοποιεί τη σχέση μεταξύ στατικών και δυναμικών πληροφοριών σε ένα χειρόγραφο κείμενο. Στο [4], παρουσιάζεται ένα σύστημα για την on-line αναγνώριση γραφέα από τα δεδομένα που λαμβάνονται από έναν πίνακα. Το σύστημα που αναπτύχθηκε χρησιμοποιεί Gaussian Mixture Models, προκειμένου να επεξεργαστεί τα ανεξάρτητα από το κείμενο χαρακτηριστικά του πίνακα χειρογράφου, ενώ τα δεδομένα που επιλέγονται από διαφορετικούς συγγραφείς που χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουν ένα καθολικό μοντέλο ιστορικού το οποίο παρέχει ένα συγκεκριμένο μοντέλο-συγγραφέα. Στο [5], το σύστημα που αναπτύχθηκε βασίζεται σε ένα νευρωνικό δίκτυο με χρονική καθυστέρηση πολλαπλών καταστάσεων που προσφέρει ταυτοποίηση γραφέα σε πραγματικό χρόνο, ακόμη και με μεγάλα λεξικά. Η [6] παρουσιάζει ένα σύστημα που εφαρμόζεται σε μορφές γραψίματος, συμπεριλαμβανομένων συνήθους γραφής και χειρογράφων. Η κωδικοποίηση των αρχικών δεδομένων επιτυγχάνεται μέσω μιας χρονικά διατεταγμένη ακολουθίας χαρακτηριστικών διανυσμάτων, ενώ οι πιθανότητες για τους χαρακτήρες σε μια λέξη υπολογίζεται χρησιμοποιώντας ένα νευρωνικό δίκτυο χρονο καθυστέρησης και ένα hidden Markov Model μαζί με ένα λεξικό προκειμένου να κατηγοριοποιηθούν οι λέξεις. Η έρευνα εισάγει επίσης ένα λεξικό αναζήτησης, καθώς και ένα γεωμετρικό σύστημα κανονικοποίησης. Τέλος, η μέθοδος εισάγεται στο [7], έχει ως στόχο τη βελτίωση της ακρίβειας ταυτοποίησης, όταν μόνο ένας μικρός αριθμός των χαρακτήρων είναι διαθέσιμος, με τη χρήση προσωρινών ακολουθιών κωδικών και κωδικών σχημάτων που εκμεταλλεύονται την ταχύτητα και την πίεση που ασκείται κατά τη διαδικασία της γραφής. Πολύ περισσότερη έρευνα γίνεται στην off-line ταυτοποίηση. Πιο συγκεκριμένα οι ερευνητές εφαρμόζουν

μορφολογική προσέγγιση [8], τα φίλτρα Gabor και προσέγγιση της κλίμακας του γκρι συνύπαρξη [9] ή την αναγνώριση υφής [10]. Η έρευνα του [11 - 13] βασίζεται στην εξαγωγή χαρακτηριστικών γνωρισμάτων, ενώ τα Hidden Markov Models εφαρμόζονται στα [14 - 16]. Μια μέθοδος γενικευμένης γκαουσιανής πυκνότητας (GGD) εφαρμόζεται στο [17]. [18, 19] αντιμετωπίζουν την ταυτοποίησης γραφέα χρησιμοποιώντας τοπικά χαρακτηριστικά. Στο [20] προτείνεται μια προσέγγιση Μετατροπής Fourier και στο [21], γίνεται ένας μετασχηματισμός διχοτόμησης. Η [22] μετρά την ατομικότητα των χειρόγραφων χαρακτήρων με τα μοντέλα ταυτοποίησης και επαλήθευσης. Προσέγγιση πρωτότυπου περί υφής και αλλογράφου περιγράφεται στο [23, 24].

Ταυτοποίηση γραφέα χρησιμοποιώντας την ανάκτηση πληροφοριών με ταίριασμα αλλογράφου πρωτότυπου γίνεται στην [25] ή με διακριτές προσεγγίσεις κατανομής του πρωτοτύπου χαρακτήρα [26], που προσφέρει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Πιο πρόσφατα, οι ερευνητές [27] χρησιμοποιούν συνεχή κατανομή χαρακτήρα με fuzzy c-means αλγόριθμο, προκειμένου να εκτιμηθεί η πιθανότητα ότι ένας χαρακτήρας έχει δημιουργηθεί από ένα πρωτότυπο. Άλλοι μελετητές [28] χρησιμοποιούν ένα συνδυασμό των τοπικών περιγραφικών και τεχνικές μάθησης ή κατευθυντικά μορφολογικά χαρακτηριστικά [29]. Τέλος, στο [30] ειδική αποδίδεται ιδιαίτερη προσοχή σε ορισμένα χαρακτηριστικά του γραφολογικού τύπου, όπως η ασυμμετρία, κλίση, η πίεση, κ.λπ., προκειμένου να ταξινομήσει καλλιγραφικά χειρόγραφα, σύμφωνα με τον συγγραφέα τους.

Πιο πρόσφατα, η αυτόματη Ταυτοποίηση έχει εφαρμοστεί σε έγγραφα ιστορικής σημασίας ή για κείμενα που βασίζονται σε χαρακτήρες εκτός των λατινικών [31 - 36]. Όσον αφορά την με γνώμονα την καμπυλότητα ταξινόμηση των επίπεδων καμπυλών, στο [37] φαίνεται ότι καμπυλότητα της καμπύλης που εκφράζεται ως συνάρτηση του μήκους καμπύλης, καθορίζει πλήρως τις διαφορικά συσχετισμένες σταθερές αυτής της καμπύλης. Επιπλέον, μια νέα καμπύλη με συντεταγμένες της καμπυλότητας της αρχικής καμπύλης και των παραγώγων της σε σχέση με το μήκος της καμπύλης, είναι αναλλοίωτη σε τοπικούς Ευκλείδειους μετασχηματισμούς. Στο [38], σε ένα ευρύτερο πλαίσιο, αποτελέσματα της [37] επεκτείνονται για να συμπεριλάβουν οποιαδήποτε ομάδα μετασχηματισμών, όχι απαραίτητα Ευκλείδειο. Επί τη βάση αυτών των αποτελεσμάτων, στο [39], οι υπογραφές καμπυλότητας υπογραφές των σημείων ελέγχου μιας καμπύλης (ή, απλά, από τις κορυφές του) χρησιμοποιούνται για να προσδιοριστούν τοπικά Ευκλείδεια σχέσεις ισοδυναμίας μεταξύ ενός ζεύγους καμπυλών. Τότε, η ομοιότητα ενός συνόλου καμπυλών προσδιορίζεται μέσω της ομοιότητας των αντίστοιχων σχέσεων ισοδυναμίας. Η μη αμοιβαιότητας μεταξύ υπογραφών καμπυλότητας και δύο διαστάσεων Ευκλείδειου μετασχηματισμού παρουσιάζεται στο [40], όπου οι οικογένειες των μη ισοδύναμων καμπυλών της ίδιας υπογραφής έχουν κατασκευαστεί ρητά. Στο [41], μια μέθοδος

εισάγεται, περισσότερο σε σχέση με αυτή που παρουσιάζεται εδώ, σύμφωνα με την οποία οι σειρές των τιμών καμπυλότητας των καμπύλων στο επίπεδο υιοθετούνται προκειμένου να οδηγηθούμε σε έναν κατάλληλο, προσανατολισμό αμετάβλητης σύγκρισης επίπεδων σχημάτων.

4

ΜΙΑ ΝΕΑ ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΓΡΑΦΕΑ- ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Δυο ερευνητές (Professors S. Tracy και C. Blackwell) έχουν επιλέξει έναν αριθμό από σημαντικές ελληνικές επιγραφές και βυζαντινούς κώδικες αντίστοιχα. Έχουν ληφθεί εικόνες υψηλής ανάλυσης από κάθε έγγραφο [2].

Στη συνέχεια, γίνεται εξαγωγή κάθε γράμματος μεμονωμένα από κάθε χειρόγραφο. Η μορφή κάθε εξαγόμενου γράμματος από τα χειρόγραφα κείμενα ενσωματώνεται άμεσα σε ένα ορθογώνιο πλαίσιο. Η εξαγόμενη μορφή, κατά κανόνα, έχει αρκετό θόρυβο, παρ' όλα αυτά, εφαρμόζονται φίλτρα μορφολογίας καθώς και μείωσης θορύβου έτσι ώστε η απόδοση της μορφής του αλφαβητικού συμβόλου να είναι ομοιογενείς. Στο τελικό στάδιο, το κάθε πλαίσιο μετατρέπεται αυτόματα σε μορφή εικόνας μαύρο – άσπρο.

Για να είναι εφαρμόσιμη η μέθοδος [2] που συστάθηκε πριν, προϋπόθετεται ότι το περίγραμμα του κάθε σώματος της αυθαίρετης υλοποίησης έχει ξεκάθαρη και καλά καθορισμένη μορφή. Ερευνητές έχουν αναπτύξει νέους αλγόριθμους που πραγματοποιούν κατάλληλο φιλτράρισμα και ενέργειες για την πραγματοποίηση αυτού του σκοπού.

Στη συνέχεια, λήφθηκαν οι ακόλουθες ενέργειες:

1. Έστω ότι C είναι το περίγραμμα από μία αυθαίρετη αλφαβητική υλοποίηση ενός συμβόλου που εμφανίζεται σε ένα κείμενο. Το περίγραμμα χωρίζεται σε μια συνεχόμενη αλυσίδα από εικονοστοιχεία, που ελαφρώς επικαλύπτονται. Στη συνέχεια, προσεγγίζεται η κάθε αλυσίδα εικονοστοιχείων με την κατάλληλη πολυωνυμική συνάρτηση για τις x και y συντεταγμένες ξεχωριστά, με ανεξάρτητη μεταβλητή το μήκος τόξου S . Στο τέλος της διαδικασίας, κάθε περίγραμμα αυτής της αυθαίρετης αλφαβητικής υλοποίησης του συμβόλου είναι μοναδικώς συσχετισμένο με μια ακολουθία από τιμές καμπυλότητας, η οποία αντιπροσωπεύει την τάση από την καμπυλότητα κάθε εικονοστοιχείου του C , σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό.
2. Υποθετικά εξετάζονται δύο περιγράμματα $C1$, $C2$ δυο διαφορετικών υλοποιήσεων του ίδιου αλφαβητικού συμβόλου, από τα οποία δημιουργούνται δυο διαφορετικές ακολουθίες καμπυλότητας $K1, K2$, όπως αυτές που περιεγράφηκαν στο βήμα 1. Έχει αναπτυχθεί και εφαρμοστεί μια μαθηματική προσέγγιση και ο αντίστοιχος αλγόριθμος, ο οποίος επιτυγχάνει άμεση βέλτιστη αντιστοίχιση του $K1$ και του $K2$ μέσω ελαχιστοποίησης μιας ορθά επιλεγμένης συνάρτησης σφάλματος. Στη συνέχεια, τα περιγράμματα $C1$ και $C2$ είναι επίσης βέλτιστα προσαρμοσμένα μέσω ενός εισαχθέντος κριτηρίου.
3. Σε αυτό το στάδιο, εισάγεται ένα ουσιαστικά διαφορετικό κριτήριο, το οποίο είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για στατιστικούς λόγους.
4. Δουλεύοντας με το κριτήριο το οποίο περιεγράφηκε στο βήμα 3, έχει δηλωθεί και δοκιμαστεί μια στατιστική υπόθεση, η οποία τελικά υποδεικνύει τον αριθμό των διαφορετικών συγγραφέων που έγραψαν τα διαθέσιμα έγγραφα. Σε αυτό το σημείο, ένα “αντιπροσωπευτικό” έγγραφο έχει συσχετιστεί με κάθε συγγραφέα μοναδικά.
5. Κάθε ένα από τα υπόλοιπα έγγραφα έχει καταταχθεί σε ένα αντίστοιχο πιθανό συγγραφέα.

Για τη προσέγγιση αυτής της εφαρμογής [2] δεν χρειάζεται καμία πληροφορία εκ το προτέρων για ότι αφορά το έγγραφο. Η μόνη απαίτηση είναι η σύγκριση ζευγαριών περιγραμμάτων $C1$ και $C2$ που ανήκουν σε υλοποίηση του ίδιου αλφαβητικού συμβόλου. Εκτός αυτού, η μέθοδος που αναλύθηκε είναι ανεξάρτητη από το περιεχόμενο ή το κείμενο και είναι εφαρμόσιμη σε περιγράμματα επαναλαμβανόμενων συμπλόκων από γράμματα ή από κάθε ανάλογο τμήμα με καμπυλότητα δύο διαστάσεων .

5

ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΝΤΑΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΝΟΝΤΑΣ ΤΙΣ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΔΥΟ ΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Η καμπυλότητα της υλοποίησης κάθε γράμματος από ένα αρχαίο κείμενο πολύ συχνά παίζει σημαντικό ρόλο στην αναγνώριση του συγγραφέα όπου το περίγραμμα κάθε γράμματος ή κάθε χάραξης είναι στην πραγματικότητα μια καμπύλη. Αυτή η καμπύλη προσδιορίζεται από την καμπυλότητα της σε κάθε σημείο. Πολλές καμπύλες σε ένα δοσμένο χώρο από την υλοποίηση ίδιου αλφάβητου συχνά μπορεί να είναι χαρακτηριστικό γραφείς ενός προσώπου. Σαν αποτέλεσμα, η καμπυλότητα ενός δοσμένου γράμματος ενός κειμένου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αναγνώριση του γραφικού χαρακτήρα του ατόμου που το έγραψε[2].

Έστω ότι έχουμε δυο κώδικες ή επιγραφές, έστω D_1 και D_2 , και ένα αλφαβητικό σύμβολο, έστω L , του οποίου η υλοποίηση εμφανίζεται και στα δυο κείμενα. Αν επιλέξουμε L_i^1 του L στο D_1 και L_j^2 του L στο D_2 , όπου οι εκθέτες 1,2 συμβολίζουν την επιγραφή ή τον κώδικα και οι δείκτες συμβολίζουν τον απόλυτο αριθμό της υλοποίησης στο συγκεκριμένο κείμενο. Τμηματοποιούμε τις εικόνες των L_i^1 και L_j^2 με την εφαρμογή της μεθόδου που αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Έπειτα, γίνεται εξαγωγή περιγραμμάτων των L_i^1 και L_j^2 , έτσι ώστε να είναι πάντα στη σωστή μορφή:

- α. Κάθε εικονοστοιχείο του περιγράμματος έχει 2 ακριβώς γειτονικά εικονοστοιχεία.
- β. Δεν υπάρχουν ορθές γωνίες μεταξύ διαδοχικών εικονοστοιχείων.
- γ. Δεν υπάρχουν μεμονωμένα εικονοστοιχεία.

Για να επιτευχθεί αυτός ο σκοπός εφαρμόζονται κάποια μορφολογικά φίλτρα πάνω στις εξαγμένες εικόνες αυτών των γραμμμάτων για να επιτύχουμε τις τρεις αυτές προϋποθέσεις. Έστω ότι, I είναι η εικόνα που έχει ενσωματωθεί το γράμμα και C είναι το περίγραμμα του. Εφαρμόζονται οι ακόλουθες μορφολογικές μετατροπές.

α. Εφαρμογή ρομβοειδούς σχήματος στοιχείου με διαγώνιο μήκος πέντε εικονοστοιχείων, όπου δημιουργείτε η εικόνα I^E .

β. Εφαρμογή διαστολής στην I^E μέσω τετραγωνικού σχήματος στοιχείου με πλευρά δυο εικονοστοιχεία, όπου δημιουργείτε η εικόνα I^D .

γ. Εφαρμογή διαστολής στην I^D μέσω ενός σταυροειδούς σχήματος στοιχείου με 5 εικονοστοιχεία ύψος και πλάτος, όπου δημιουργείτε η εικόνα I^{DC} .

δ. Δημιουργία του περιγράμματος αφαιρώντας τα I^{DC} και I^D .

Έστω ότι το C_i^1 είναι εξωτερικό περίγραμμα του L_i^1 και το C_j^2 του L_j^2 . Υποθέτεται ότι το καθένα από τα δύο περιγράμματα είναι Jordan πολύγωνα. Σε πολλές περιπτώσεις το κάθε περίγραμμα είναι μια μονή κλειστή καμπύλη. Σε πολλές άλλες περιπτώσεις το κάθε περίγραμμα συνίσταται από δυο ή περισσότερες καμπύλες.

5.1 Ακολουθία καμπυλότητας για περίγραμμα με μία καμπύλη.

Αρχικά, διαχωρίζονται τα περιγράμματα, C_i^1, C_j^2 , σε N^0 ελαφρός επικαλυπτόμενες συνεχόμενες αλυσίδες εικονοστοιχείων, με σχεδόν ίσο μήκος. Χρησιμοποιείται ο συμβολισμός $\Sigma_1^1, \Sigma_2^1, \dots, \Sigma_{N^0}^1$ για τις αλυσίδες του C_i^1 [2].

Γίνεται βέλτιστη προσέγγιση κάθε αλυσίδας με ένα πολυώνυμο v βαθμών, υπό την έννοια ελαχίστων τετραγώνων. Η επιλογή τιμών των N^0 και v γίνεται με τη προσπάθεια να έχουμε μικρότερο δυνατό λάθος στην προσέγγιση, καθώς και στην προσέγγιση της καμπύλης δεν εκδηλώνεται σημαντική κυμάτωση. Η προσέγγιση επιτυγχάνεται ως εξής:

Αρχικά ορίζεται η ακολουθία η οποία περιγράφει το μήκος της αλυσίδας στο κάθε εικονοστοιχείο. Δηλαδή, εάν (x_q, y_q) , $q = 1, 2, \dots, N^0$ είναι οι συντεταγμένες των κέντρων των εικονοστοιχείων μιας αυθαίρετης αλυσίδας, τότε η απόσταση δυο συνεχόμενων κέντρων είναι $\delta S_q =$

$$\sqrt{(x_{q+1} - x_q)^2 + (y_{q+1} - y_q)^2}. \text{ Χρησιμοποιώντας, } \delta S_q, \text{ ορίζεται η: } s_1 = 0, s_q = \sum_{n=1}^{q-1} \delta S_n \text{ και έτσι}$$

ορίζεται η προσέγγιση του πολυώνυμου v βαθμών $X(s) = \sum_{n=0}^v \alpha_n (s)^{v-n}$ and $Y(s) = \sum_{n=0}^v \beta_n (s)^{v-n}$. Οι βέλτιστες τιμές για τις σταθερές $\alpha_n, \beta_n, n = 0, 1, 2, \dots, v$ δημιουργούνται από την

ελαχιστοποίηση του λάθους της συνάρτησης $\varepsilon = \sum_{q=1}^{N^0} \{(x_q - X_q)^2 + (y_q - Y_q)^2\}$, μέσω του Nelder-Mead αλγορίθμου, όπου $X_q = X(s_q)$, $Y_q = Y(s_q)$ και $q = 1, 2, \dots, N^0$.

Έπειτα, προσεγγίζεται η καμπυλότητα σε ένα σημείο της αλυσίδας $\Sigma_1^1, \Sigma_2^1, \dots, \Sigma_{N^0}^1$, από την καμπυλότητα του αντίστοιχου πολυωνύμου (X_q, Y_q) . Η πολυωνυμική καμπύλη είναι $\vec{R}(s) = X(s)\hat{i} +$

$Y(s)\hat{j}$ και η καμπυλότητα είναι $\kappa(s) = \frac{\left\| \frac{d\vec{T}}{ds} \right\|}{\left\| \frac{d\vec{R}}{ds} \right\|}$, $\vec{T} = \frac{d\vec{R}}{ds}$, όπου έχει χρησιμοποιηθεί αυτός ο τύπος αντί

του $\kappa = \left\| \frac{d^2\vec{R}}{ds^2} \right\|$, επειδή το s δεν είναι ο πραγματικό μήκος αλλά το μήκος κατά προσέγγιση.

Με αυτό τον τρόπο, μπορεί να υπολογιστεί η καμπυλότητα στο μέσο της καμπύλης Σ_q^1 με μεγάλη ακρίβεια. Στα ακραία σημεία της αλυσίδας, όμως, α) η κατά προσέγγιση του Σ_q^1 από την πολυωνυμική καμπύλη $\vec{R}(s)$ δεν είναι ικανοποιητική και β) η προσέγγιση της καμπυλότητας διαδοχικών αλυσίδων είναι ασυνεχής.

Υποθετικά, κάθε αλυσίδα αποτελείται από 130 εικονοστοιχεία και οι Σ_1^1 και Σ_2^1 επικαλύπτονται στα 30 εικονοστοιχεία. Στην πράξη, τα τελευταία 10 εικονοστοιχεία της Σ_1^1 δεν προσεγγίζονται σωστά από την αντίστοιχη $\vec{R}(s)$, όπου το ίδιο ισχύει και για τα πρώτα 10 εικονοστοιχεία της Σ_2^1 . Επίσης, τα εικονοστοιχεία της Σ_1^1 με απόλυτο αριθμό από 111 έως 120 συμπίπτουν με τα εικονοστοιχεία της Σ_2^1 με απόλυτο αριθμό από 11 έως 20. Ωστόσο, οι δυο καμπύλες δεν είναι ίσες. Για να καταργηθεί αυτή η ασυνέχεια, αποδίδεται σε αυτά τα 10 εικονοστοιχεία η καμπυλότητα:

$$[\kappa_1(111) \quad \kappa_1(112) \quad \dots \quad \kappa_1(120)] \begin{bmatrix} 10/11 \\ 9/11 \\ \vdots \\ 1/11 \end{bmatrix} + [\kappa_2(11) \quad \kappa_2(12) \quad \dots \quad \kappa_2(20)] \begin{bmatrix} 1/11 \\ 2/11 \\ \vdots \\ 10/11 \end{bmatrix}.$$

Τα εικονοστοιχεία της Σ_q^1 με απόλυτο αριθμό από $(p+1)$ έως $(p+\mu)$ συμπίπτουν με τα εικονοστοιχεία της Σ_{q+1}^1 με απόλυτο αριθμό από $(r+1)$ έως $(r+\mu)$, έπειτα, αν $\kappa_q(p+1), \kappa_q(p+2), \dots, \kappa_q(p+\mu)$ είναι οι κατά προσέγγιση καμπύλες των επικαλυπτόμενων σημείων όπως υπολογίστηκαν από την Σ_q^1 και $\kappa_{q+1}(r+1), \kappa_{q+1}(r+2), \dots, \kappa_{q+1}(r+\mu)$ από την Σ_{q+1}^1 , τότε αποδίδεται σε όλα αυτά τα σημεία η γενική μοναδική καμπύλη που δίνεται από:

$$[\kappa_q(p+1) \quad \kappa_q(p+2) \quad \cdots \quad \kappa_q(p+\mu)] \begin{bmatrix} \mu \\ \mu+1 \\ \mu-1 \\ \mu+1 \\ \vdots \\ 1 \\ \mu+1 \end{bmatrix} \\ + [\kappa_{q+1}(r+1) \quad \kappa_{q+1}(r+2) \quad \cdots \quad \kappa_{q+1}(r+\mu)] \begin{bmatrix} 1 \\ \mu+1 \\ 2 \\ \mu+1 \\ \vdots \\ \mu \\ \mu+1 \end{bmatrix}.$$

Στο τέλος της διαδικασίας, μια μοναδική τιμή καμπυλότητας χαρακτηρίζει το κάθε εικονοστοιχείο του περιγράμματος και ακραίες τιμές καμπυλότητας διαδοχικών εικονοστοιχείων έχουν περιοριστεί σε ικανοποιητικό βαθμό. Ακριβώς η ίδια διαδικασία εφαρμόζεται στο εξωτερικό περίγραμμα του γράμματος.

5.2 Βέλτιστη αντιστοιχία για τις δυο ακολουθίες καμπυλότητας για την περίπτωση δυο μονών περιγραμμάτων

Έστω, δύο αυθαίρετες υλοποιήσεις του ίδιου αλφαβητικού συμβόλου με περιγράμματα C_i^1 , C_j^2 και τις αντίστοιχες τιμές καμπυλότητας κ_p^1 και κ_q^2 . Γενικά, οι δύο υλοποιήσεις έχουν αυθαίρετο προσανατολισμό και μέγεθος, με συγκεκριμένα όρια. Έτσι, η αντιστοιχία των pixels των δύο περιγράμματα δεν είναι καθόλου προφανής. Γι' αυτό οι δύο ακολουθίες καμπυλότητας κ_p^1 και κ_q^2 μεταχειρίζονται έτσι ώστε να καθοριστεί η σωστή αντιστοιχία μεταξύ των δύο περιγραμμάτων.

Για να επιτευχθεί αυτό, θεωρείται ότι τα δύο περιγράμματα αποτελούνται από τον ίδιο αριθμό εικονοστοιχείων N^C . Έπειτα, για κάθε μη αρνητικό ακέραιο αριθμό τ θεωρείται ότι το σφάλμα συνάρτησης

$$\varepsilon^k(\tau) = \sum_{n=0}^{N^C-1} (\kappa_n^1 - \tilde{\kappa}_{n,\tau}^2)^2 \text{ όπου } \tilde{\kappa}_{n,\tau}^2 \text{ είναι η κυκλική επέκταση του } \kappa_n^2, \text{ για κάθε } \tau, 0 \leq \tau \leq N^C, \text{ και η συνάρτηση } \tilde{\kappa}_{n,\tau}^2 = [\kappa_{N^C-\tau}^2 \kappa_{N^C-\tau+1}^2 \cdots \kappa_{N^C-1}^2 \kappa_0^2 \kappa_1^2 \cdots \kappa_{N^C-\tau-1}^2].$$

Σε αυτό το σημείο, σημειώνουμε την τιμή του τ , το τ^0 καθιστά το $\varepsilon^k(\tau)$ ελάχιστο. Υιοθετούμε ότι η σχέση που αντιστοιχίζει το πρώτο pixel του C_i^1 στο τ^0 -στο pixel του C_j^2 , το δεύτερο

rixel του C_i^1 στο $(\tau^0 + 1)$ -στο rixel του C_j^2 και αντίστοιχα συνεχιζουμε, προσφέρει τη βέλτιστη αντιστοιχία ομοιότητα μεταξύ των δύο περιγραμμάτων. Μετά από μια αρκετά τυπική διαδρομή μια γρήγορη αποτελεσματική τεχνική για εντοπισμό του ελάχιστου του $\varepsilon^k(\tau)$ είναι να επεκτείνει τα τετράγωνα, στην οποία περίπτωση λαμβάνει κανείς.

$$\varepsilon^k(\tau) = \sum_{n=0}^{N^C-1} (\kappa_n^1)^2 + \sum_{n=0}^{N^C-1} (\kappa_n^2)^2 - 2 \sum_{n=0}^{N^C-1} \kappa_n^1 \tilde{\kappa}_{n,\tau}^2. \quad (4.1)$$

Αλλά, η ακολουθία $\sum_{n=0}^{N^C-1} \kappa_n^1 \tilde{\kappa}_{n,\tau}^2$ είναι η κυκλική συνέλιξη των ακολουθιών κ_n^1, κ_n^2 , έτσι, εάν $DFT\{k\}$ είναι ο διακριτός μετασχηματισμός Fourier της ακολουθίας k και $IDFT\{K\}$ είναι ο αντίστροφος μετασχηματισμός Fourier της ακολουθίας K , τότε $\sum_{n=0}^{N^C-1} \kappa_n^1 \tilde{\kappa}_{n,\tau}^2 = IDFT\{DFT\{\kappa_n^1\} DFT\{\kappa_n^2\}\}$. Κατά συνέπεια, η ελάχιστη της $\varepsilon^k(\tau)$ λαμβάνεται αμέσως από τον εντοπισμό του μεγίστου των $IDFT\{DFT\{\kappa_n^1\} DFT\{\kappa_n^2\}\}$.

Η προηγούμενη ανάλυση ασχολείται με την περίπτωση όπου δύο περιγράμματα των υλοποιήσεων των γραμμάτων αποτελούνται από το ίδιο αριθμό εικονοστοιχείων. Τώρα, ας υποθέσουμε ότι οι δύο καμπύλες αποτελούνται από διαφορετικό αριθμό rixels. Στη συνέχεια θα εκτελέσουμε πρώτα μια προκαταρκτική αλλαγής μεγέθους του μεγαλύτερου περιγράμματος έτσι ώστε οι δύο επιστολές είναι κοντά σε μέγεθος. Μετά από αυτή την προκαταρκτική κλιμάκωση, το πρώτο περίγραμμα αποτελείται από N_1 rixels, ενώ το δεύτερο από N_2 rixels με $N_1 > N_2$ χωρίς καμία απώλεια γενικότητας. Στην πραγματικότητα, $\delta = N_1 - N_2$; προσέξαμε ότι, λόγω της αλλαγής μεγέθους που κάναμε αρχικά, το δ είναι κατά κανόνα μικρό σε σύγκριση με N_1 και N_2 . Έτσι θα διανείμουμε δ rixels στο πρώτο περίγραμμα ως εξής: διαιρούμε το πρώτο περίγραμμα σε δ συνεχόμενα υπο-περιγράμματα $C_1, C_2, \dots, C_\delta$ όπου ένα από τα $C_1, C_2, \dots, C_{\delta-1}$ αποτελείται από $\left[\frac{N_1}{\delta}\right]$ rixels (όπου $[x]$ αποτελεί το ακέραιο κομμάτι του x), όσο C_δ περιλαμβάνει το υπόλοιπο $N_1 - (\delta - 1) \left[\frac{N_1}{\delta}\right]$ rixels. Σε κάθε C_i , βρίσκουμε το rixel ελάχιστης καμπυλότητας και το αφαιρούμε, του πρώτου γράμματος, λέμε το $\overline{C_i^1}$ αποτελείται από N_2 rixels.

Με αυτόν τον τρόπο έχουμε σχηματίσει δύο εκδόσεις των περιγραμμάτων των δύο υλοποιήσεων των συμβόλων, οι οποίες αποτελούνται από το ίδιο αριθμό εικονοστοιχείων. Ως εκ τούτου, η προαναφερθείσα μέθοδος είναι άμεσα εφαρμόσιμη και προσφέρει τη βέλτιστη τ^0 και, ως εκ τούτου, η βέλτιστη ένα-προς-ένα αντιστοιχία μεταξύ των εικονοστοιχείων των δύο περιγραμμάτων C_i^1, C_j^2 , όσο η διαφορά στην καμπυλότητα μας ανησυχεί.

5.3 Η περίπτωση πολλαπλών ασυνεχών ισοϋψών εξωτερικών περιγραμμάτων

Είναι γνωστό ότι οι συγγραφείς αρχαίων επιγραφών χαράζουν τη πέτρα ασκώντας ένα αριθμό κτυπημάτων κάθε φορά. Είναι πιθανό ότι σε υλοποιήσεις γραμμάτων από βυζαντινούς κώδικες εμφανίζονται ενωμένες περιοχές. Και στις δύο περιπτώσεις, η υλοποίηση ενός αλφαβητικού συμβόλου μπορεί να είναι η ένωση δυο ασυνεχών κομματιών λόγω φθοράς[2].

Σχετικά με τις επιγραφές, εμφανίζεται ότι ο μέγιστος αριθμός για την χάραξη ενός γράμματος ήταν τέσσερις και ότι υπάρχουν δύο κατηγορίες αλφαβητικών συμβόλων σύμφωνα με τον τύπο των χτυπημάτων: τα ευθύγραμμα σύμβολα και τα καμπυλόγραμμα. Τα ευθύγραμμα σύμβολα είναι αυτά που χαράζονται με χτυπήματα που είναι ευθεία γραμμή. Σε αυτή τη κατηγορία είναι τα αλφαβητικά σύμβολα $A, Γ, Δ, E, Z, H, I, K, Λ, M, N, Ξ, Π, Σ, T, Y, X$. Αντίθετα, τα αλφαβητικά σύμβολα που χρειάζονται μια καμπυλόγραμμη κίνηση του μέσου χάραξης κατά την χάραξη ονομάζονται καμπυλόγραμμα σύμβολα. Σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται τα αλφαβητικά σύμβολα $B, Θ, O, P, Φ, Ψ, Ω$. Υπάρχουν και σπάνιες περιπτώσεις όπου δεν ισχύει αυτός ο κανόνας. Μερικές φορές οι χαρακτές, για παράδειγμα, χαράζουν το γράμμα O με τέσσερα ευθύγραμμα κτυπήματα και το γράμμα P με τρία ευθύγραμμα κτυπήματα κ.ο.κ.

Η διαχείριση των αλφαβητικών συμβόλων που η υλοποίησή τους αποτελείται από πολλαπλά κτυπήματα και ασυνεχή περιγράμματα εφαρμόζεται η θεωρία των κρίσιμων σημείων. Σημειώνονται τα κρίσιμα σημεία που αντιστοιχούν σε ένα τοπικό μέγιστο της τιμής της καμπύλης, έχοντας μια τιμή μεγαλύτερη από το εκτιμώμενο όριο. Τα κρίσιμα σημεία ορίζουν τις πλευρές του κάθε κτυπήματος.

Στη συνέχεια, δίνεται έμφαση στη σύγκριση της καμπυλότητας όπως αναφέρθηκε στο 5.1, με την μόνη διαφοροποίηση ότι η εκτίμηση και η σύγκριση καμπυλότητας γίνεται για το εξωτερικό περίγραμμα κάθε χάραξης ξεχωριστά. Συγκεκριμένα, το σφάλμα 5.1 περιγράφει τη συνολική διαφορά τετραγώνου της καμπυλότητας των ακολουθιών C_i^1 και C_j^2 :

$$\varepsilon^k(\tau) = \sum_{p=1}^{N_p} \sum_{n=0}^{N_p^C-1} (\kappa_{n,p}^1 - \tilde{\kappa}_{n,\tau,p}^2)^2$$

Όπου το p διασχίζει τις πλευρές της χάραξης του κάθε γράμματος, N_p^C είναι ο αριθμός των εικονοστοιχείων της p -στης πλευράς των δύο συγκρινόμενων γραμμάτων, N_p είναι ο αριθμός των πλευρών της χάραξης των γραμμάτων, $\kappa_{n,p}^1$ είναι η ακολουθία της καμπυλότητας της p -στης

πλευράς του γράμματος L_i^1 και $\tilde{\kappa}_{n,t,p}^2$ είναι η κυκλική επέκταση της $\kappa_{n,p}^2$, αναφορικά με την ακολουθία της καμπυλότητας της p -στης πλευράς του γράμματος L_j^2 . Προφανώς, η διαδικασία που δημιουργεί την ακολουθία καμπυλότητας στα δυο γράμματα με αντιστοιχία ένα προς ένα μεταξύ τους εφαρμόζεται πλαγίως.

6

ΜΙΑ ΠΡΩΤΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΣΕΩΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΔΥΟ ΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Πρόβλημα και σχετικό λήμμα: Έστω δύο ισοπληθή και ομοεπίπεδα σύνολα σημείων (x_i, y_i) και (p_i, q_i) $i = 1, 2, \dots, N$. Ζητείται να βρεθεί η κατάλληλη γωνία περιστροφής, το κατάλληλο βέλος μετατόπισης ως και ο συντελεστής ομοιοθεσίας $\lambda \in R^+$, οι οποίοι όταν δρουν στην καμπύλη (p_i, q_i) την προσαρμόζουν στη (x_i, y_i) βέλτιστα κατά την έννοια των ελαχίστων τετραγώνων. Θεωρούμε ότι οι ανωτέρω μετασχηματισμοί πραγματοποιούνται σε τρία βήματα[1]:

Πρώτα η στροφή, μετά η παράλληλη μετατόπιση και εν συνεχεία η ομοιοθεσία. Για τη στροφή και την παράλληλη μετατόπιση το κριτήριο βέλτιστης προσαρμογής είναι η ελαχιστοποίηση της ποσότητας

$$\varepsilon_{RT}(\varphi, x_\delta, y_\delta) = \sum_{i=1}^N \{(x_i - p_i \cos \varphi + q_i \sin \varphi - x_\delta)^2 + (y_i - p_i \sin \varphi - q_i \cos \varphi - y_\delta)^2\} \quad (6.1)$$

Όπου φ η γωνία περιστροφής και x_δ, y_δ οι παράλληλες μετατοπίσεις κατά τον αντίστοιχο άξονα. Η ελαχιστοποίηση αυτής της ποσότητας οδηγεί στη λύση $(\varphi^0, x_\delta^0, y_\delta^0)$ όπου

$$\tan \frac{\sum_{i=1}^N \{(y_i - \bar{y})p_i - (x_i - \bar{x})q_i\}}{\sum_{i=1}^N \{(x_i - \bar{x})p_i + (y_i - \bar{y})q_i\}} \quad (6.2)$$

$$x_{\delta}^0 = \bar{x} - \bar{p} \cos \varphi - \bar{q} \sin \varphi \quad (6.3)$$

$$y_{\delta}^0 = \bar{y} - \bar{p} \sin \varphi - \bar{q} \cos \varphi \quad (6.4)$$

Όπου $\bar{x}, \bar{y}, \bar{p}, \bar{q}$ είναι τα βαρύκεντρα των αντιστοίχων ψηφιακών καμπυλών, δηλαδή

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^N \frac{x_i}{N} \quad \bar{y} = \sum_{i=1}^N \frac{y_i}{N} \quad (6.5)$$

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

Η ομοιοθεσία βέλτιστης προσαρμογής πραγματοποιείται σε δεύτερο στάδιο μέσω ελαχιστοποίησης της ποσότητας.

$$\varepsilon_{RTO}(\lambda) = \sum_{i=1}^N \left\{ (x_i - \lambda \operatorname{sign}(x_i, a_i - \bar{a})(a_i - \bar{a}) - \bar{a})^2 + (y_i - \lambda \operatorname{sign}(y_i, \beta_i - \bar{\beta})(\beta_i - \bar{\beta}) - \bar{\beta})^2 \right\} \quad (6.6)$$

Όπου

$$\begin{bmatrix} \alpha_i \\ \beta_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi^0 & -\sin \varphi^0 \\ \sin \varphi^0 & \cos \varphi^0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_i \\ q_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_{\delta}^0 \\ y_{\delta}^0 \end{bmatrix} \quad (6.7)$$

$$\bar{a} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i \quad \bar{\beta} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \beta_i \quad (6.8)$$

$$\operatorname{sgn}(x, a) = \begin{cases} 1 & \text{αν } xa \geq 0 \\ -1 & \text{αν } xa \leq 0 \end{cases} \quad (6.9)$$

Η ελαχιστοποίηση της ε_{RTO} προσφέρει το βέλτιστο συντελεστή ομοιοθεσίας, όσον αφορά στην προσαρμογή των ψηφιακών καμπυλών (x_i, y_i) και (p_i, q_i) ,

$$\lambda^0 = \frac{\sum_{i=1}^N \{ |(x_i - \bar{a})(a_i - \bar{a})| + |(y_i - \bar{\beta})(\beta_i - \bar{\beta})| \}}{\sum_{i=1}^N \{ (a_i - \bar{a})^2 + (\beta_i - \bar{\beta})^2 \}} \quad (6.10)$$

Άρα καταλήγουμε στη διατύπωση του κάτωθι λήμματος.

Λήμμα 1: Έστω δύο ισοπληθή και ομοεπίπεδα σύνολα σημείων (x_i, y_i) και (p_i, q_i) $i = 1, 2, \dots, N$.

Η γωνία φ^0 , η μετατόπιση κατά τον άξονα των xx_{δ}^0 , η μετατόπιση κατά τον άξονα των yy_{δ}^0 και ο

συντελεστής ομοιοθεσίας λ^0 όπου όταν δράσουν στη καμπύλη (p_i, q_i) την προσαρμόζουν από τις σχέσεις (6.2), (6.3), (6.4) και (6.10).

Απόδειξη: Θα ξεκινήσουμε την απόδειξη κάνοντας την παρατήρηση ότι η διαδικασία ομοιοθεσίας είναι ανεξάρτητη από την παράλληλη μετατόπιση και τη στροφή. Η παρατήρηση αυτή θα επιβεβαιωθεί στα επόμενα.

Πράγματι, έστω ότι επιτελούμε στροφή των σημείων (p_i, q_i) κατά γωνία φ και παράλληλη μετατόπιση της εστραμμένης αυτής καμπύλης κατά (x_δ, y_δ) οπότε προκύπτει η ψηφιακή καμπύλη $(\alpha_i, \beta_i)_{i=1,2,\dots,N}$ μέσω των σχέσεων

$$\begin{bmatrix} \alpha_i \\ \beta_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_i \\ q_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_\delta \\ y_\delta \end{bmatrix}$$

Τότε η συνάρτηση λάθους του $\varepsilon_{RT}(\varphi, x_\delta, y_\delta)$ λαμβάνει τη μορφή

$$\varepsilon_{RT} = \sum_{i=1}^N \{(x_i - p_i \cos \varphi + q_i \sin \varphi - x_\delta)^2 + (y_i - p_i \sin \varphi - q_i \cos \varphi - y_\delta)^2\}$$

Αυτή η συνάρτηση λάθους είναι συνεχώς παραγωγίσιμη και φραγμένη κάτω από το μηδέν άρα σύμφωνα με το αξίωμα του Αρχιμήδη θα έχει τουλάχιστον σε ένα σημείο ολικό ελάχιστο, στο οποίο και θα ισχύει $\nabla \varepsilon_{RT} = 0$. Ισοδυνάμως θα ισχύει

$$\frac{\partial \varepsilon_{RT}}{\partial x_\delta} = \sum_{i=1}^N \{(x_i - p_i \cos \varphi + q_i \sin \varphi - x_\delta)\} = 0 \quad (6.11)$$

$$\frac{\partial \varepsilon_{RT}}{\partial y_\delta} = \sum_{i=1}^N \{(y_i - p_i \sin \varphi - q_i \cos \varphi - y_\delta)\} = 0 \quad (6.12)$$

$$\frac{\partial \varepsilon_{RT}}{\partial \varphi} = \sum_{i=1}^N 2\{(p_i \sin \varphi + q_i \cos \varphi)(x_i - p_i \cos \varphi + q_i \sin \varphi - x_\delta)\} +$$

$$\sum_{i=1}^N 2\{(-p_i \cos \varphi + q_i \sin \varphi)(y_i - p_i \sin \varphi - q_i \cos \varphi - y_\delta)\} \quad (6.13)$$

Λύνοντας τις (6,12) και (6,13) ως προς x_δ και y_δ λαμβάνουμε τα κάτωθι αποτελέσματα

$$x_\delta = \bar{x} - \bar{p}\cos\varphi + \bar{q}\sin\varphi \quad (6.14)$$

Και

$$y_\delta = \bar{y} - \bar{p}\sin\varphi + \bar{q}\cos\varphi \quad (6.15)$$

Όπου $\bar{x}, \bar{y}, \bar{p}, \bar{q}$ είναι τα βαρύκεντρα των αντιστοίχων ψηφιακών καμπυλών, δηλαδή

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^N \frac{x_i}{N}, \bar{y} = \sum_{i=1}^N \frac{y_i}{N}, \bar{p} = \sum_{i=1}^N \frac{p_i}{N}, \bar{q} = \sum_{i=1}^N \frac{q_i}{N} \quad (6.16)$$

Αντικαθιστώντας τις εκφράσεις των x_δ, y_δ , όπως αυτές προκύπτουν από τις (6.14) και (6.15), στην (6.13) προκύπτει

$$\sum_{i=1}^N \{ (x_i - \bar{x})(p_i \sin \varphi + q_i \cos \varphi) + (y_i - \bar{y})(-p_i \cos \varphi + q_i \sin \varphi) \} = 0 \quad (6.17)$$

Αν $\cos \varphi \neq 0$ από την (6.17) προκύπτει

$$\tan \varphi = \frac{\sum_{i=1}^N \{ (y_i - \bar{y})p_i - (x_i - \bar{x})q_i \}}{\sum_{i=1}^N \{ (x_i - \bar{x})p_i + (y_i - \bar{y})q_i \}} \quad (6.18) \quad \text{Που είναι ίδια με την έκφραση (6.2)}$$

Η περίπτωση $\cos \varphi = 0$ εξετάζεται ξεχωριστά με αντικατάσταση της $\varphi = \pm \frac{\pi}{2}$ στην (6.13) και έλεγχο για να διαπιστωθεί αν η ισότητα ισχύει.

Για την υλοποίηση στον υπολογιστή λαμβάνουμε υπόψιν ότι η \tan στο $[0, 2\pi)$ λαμβάνει την ίδια τιμή για δύο γωνίες που διαφέρουν κατά π . Για το λόγο αυτό εντοπίζουμε την φ από την σχέση (6.18) μέσω της \arctan του δεξιού μέλους της. Εάν η γωνία που θα βρεθεί είναι η φ , αντικαθιστούμε τόσο αυτήν όσο και την $\varphi + \pi$ στην (6.1) και επιλέγουμε σαν γωνία ολικού ελαχίστου λάθους εκείνη που δίνει τη μικρότερη τιμή του ε_{RT} .

Από τη στιγμή που επετεύχθη η βέλτιστη προσαρμογή των ψηφιακών καμπυλών, μόνο με στροφή και παράλληλη μετατόπιση της δεύτερης, στο επόμενο στάδιο αναζητείται ο βέλτιστος συντελεστής ομοιοθεσίας για ακόμα καλύτερη προσαρμογή αυτών των καμπυλών. Η ομοιοθεσία όμως πρέπει να γίνεται κατάλληλα, ούτως ώστε να μην καταστρατηγεί την προηγουμένως επιτευχθείσα προσαρμογή των καμπυλών. Για να εξασφαλιστεί αυτό, πρέπει η ομοιοθεσία να μην

αλλάξει το κέντρο βάρους της ομοιοθετούμενης καμπύλης. Δηλαδή, εάν η καμπύλη (p_i, q_i) μετά τη βέλτιστη στροφή και μετατόπιση της παράγει την καμπύλη (α_i, β_i) με κέντρο βάρους το $(\bar{\alpha}, \bar{\beta})$ τότε πρέπει να ομοιοθετηθεί η (α_i, β_i) με κέντρο ομοιοθεσίας το $(\bar{\alpha}, \bar{\beta})$ και συντελεστή ομοιοθεσίας $\lambda \in R^+$ ώστε να προσεγγίσει τη (x_i, y_i) βέλτιστα κατά την έννοια των ελαχίστων τετραγώνων.

Αυτή η διαδικασία ομοιοθεσίας και βέλτιστης προσαρμογής, έχει μία πολύ σημαντική ιδιαιτερότητα. Εάν για κάποιο i οι ποσότητες $(x_i - \bar{\alpha})$ και $(\alpha_i - \bar{\alpha})$ είναι ετερόσημες, τότε για κάθε ομοιοθεσία η ποσότητα $\varepsilon_1 = (x_i - \bar{\alpha}) - \lambda(\alpha_i - \bar{\alpha})$ αυξάνεται απολύτως, καθ' όσον οι ποσότητες $(x_i - \bar{\alpha})$ και $-\lambda(\alpha_i - \bar{\alpha})$ είναι ομόσημες, ενώ επιθυμούμε την ελαχιστοποίηση της ε_1 . Το ίδιο συμβαίνει και εάν οι ποσότητες $(y_i - \bar{\beta})$ και $(\beta_i - \bar{\beta})$ είναι ετερόσημες. Για να παρακάμψουμε αυτή τη δυσκολία χρησιμοποιήσαμε τη συνάρτηση $sign(x, a)$ η οποία εκφράζει το ομόσημο και ετερόσημο των ποσοτήτων x, a δηλαδή

$$sgn(x, a) = \begin{cases} 1 & \text{αν } xa \geq 0 \\ -1 & \text{αν } xa \leq 0 \end{cases} \quad (6.19)$$

Για τους ανωτέρω λόγους επελέγη η ελαχιστοποίηση της κάτωθι ποσότητας ε_{RTO} ως το βέλτιστο κριτήριο προσαρμογής.

$$\varepsilon_{RTO}(\lambda) = \sum_{i=1}^N \left\{ \begin{aligned} & \left((x_i - \bar{\alpha}) - \lambda sign(x_i - \bar{\alpha}, \alpha_i - \bar{\alpha})(\alpha_i - \bar{\alpha}) \right)^2 \\ & \left((y_i - \bar{\beta}) - \lambda sign(y_i - \bar{\beta}, \beta_i - \bar{\beta})(\beta_i - \bar{\beta}) \right)^2 \end{aligned} \right. \quad (6.20)$$

$$\text{Όπου } \bar{\alpha} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \alpha_i \text{ και } \bar{\beta} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \beta_i$$

Πράγματι παρατηρούμε κατ' αρχήν ότι η ομοιοθεσία ως προς την αρχή των αξόνων δεν αλλάζει ούτε την τιμή του $sign(y_i - \bar{\beta}, \beta_i - \bar{\beta})$, διότι ο πολλαπλασιασμός επί πραγματική θετική σταθερά δεν μετακινεί το σημείο από το τεταρτημόριο στο οποίο βρίσκεται. Επίσης παρατηρούμε ότι εάν παραγωγίσουμε αυτές οι μερικές παράγωγοι να είναι μηδέν, τότε προκύπτουν οι σχέσεις (6.14), (6.15) και (6.18), γεγονός που αποδεικνύει ότι όντως η διαδικασία ομοιοθεσίας είναι ανεξάρτητη από την παράλληλη μετατόπιση και τη στροφή. Συνεπώς, καθ' όλη τη διαδικασία της ομοιοθεσίας, η

συνάρτηση $\varepsilon_{RTO}(\lambda, x_\delta, y_\delta, \varphi)$ παραμένει συνεχώς παραγωγίσιμη. Επομένως, εάν αναζητήσουμε τα σημεία όπου $\frac{\partial \varepsilon_{RTO}}{\partial \lambda} = 0$ λαμβάνουμε ισοδυνάμως την εξίσωση

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^N \{ (a_i - \bar{a}) \text{sign}(x_i - \bar{a}, a_i - \bar{a})(x_i - \bar{a}) - \lambda (a_i - \bar{a}) \text{sign}((x_i - \bar{a}), (a_i - \bar{a})) \} + \\ & \sum_{i=1}^N \{ (\beta_i - \bar{\beta}) \text{sign}(y_i - \bar{\beta}, \beta_i - \bar{\beta})(y_i - \bar{\beta}) - \lambda (\beta_i - \bar{\beta}) \text{sign}((y_i - \bar{\beta}), (\beta_i - \bar{\beta})) \} = 0 \end{aligned} \quad (6.21)$$

Άρα τελικά

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^N \{ |(x_i - \bar{a})((a_i - \bar{a})| + |(y_i - \bar{\beta})((\beta_i - \bar{\beta})|) \}}{\sum_{i=1}^N \{ (a_i - \bar{a})^2 + (\beta_i - \bar{\beta})^2 \}} \quad (6.22)$$

Καθ' όσον $\text{sign}(x, \alpha)^2 = 1$ και $\text{sign}(x, \alpha)x, \alpha = |x\alpha|$ ο.ε.δ.

Η χρησιμότητα του ανωτέρω λήμματος έγκειται στο γεγονός ότι επιταχύνει δραστικά και ουσιαστικά τη διαδικασία βέλτιστης προσαρμογής δύο υλοποιήσεων ενός συμβόλου της αλφαβήτου. Πράγματι, θεωρητικά η διαδικασία αυτής της βέλτιστης προσαρμογής που περιγράφει νωρίτερα, θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί και με κάποιο αλγόριθμο ελαχιστοποίησης συναρτήσεων. Ο αλγόριθμος αυτός θα ελαχιστοποιούσε την ποσότητα ε της σχέσεως

$$\varepsilon = \left(\sum_{k=1}^{N_s} \sum_{i=1}^{N_{1,k}} d(P_{k,j}, \Pi_{2,\kappa}^{ROP}) + \sum_{k=1}^{N_s} \sum_{j=1}^{N_{2,k}} d(Q_{k,j}, \Pi_{1,\kappa}) \right) / 2 \quad (6.23)$$

Στο χώρο των δυνατών περιστροφών, των δυνατών παράλληλων μετατοπίσεων x_δ, y_δ και των δυνατών ομοιοθεσιών (λ). Εν τούτοις, οι αλγόριθμοι ελαχιστοποίησης εκ της φύσεως τους δεν παρέχουν εγγυημένα τη βέλτιστη τοποθέτηση των δύο περιγραμμάτων αλλά συνήθως μια τοποθέτηση πλησίον της βέλτιστης. Επίσης η σύγκλιση τους εξαρτάται καθοριστικά από την επιλογή

των αρχικών συνθηκών. Η πράξη όμως έδειξε ότι η επίλυση του προβλήματος της αυτόματης ταυτοποίησης γραφέως απαιτεί εξαιρετική ακρίβεια, γεγονός που επιβάλλει εξαντλητική αναζήτηση της θέσεως βέλτιστης προσαρμογής των δύο περιγραμμάτων στο χώρο $(\varphi, x_\delta, y_\delta, \lambda) \in R^2$. Κάτι τέτοιο καθιστά τη διαδικασία εξαιρετικά χρονοβόρα καθώς κατά κανόνα η γωνία φ εντός της ίδιας επιγραφής μπορεί να λαμβάνει όλες τις τιμές από -30 έως 30 μοίρες, τα x_δ, y_δ για τη δεδομένη ανάλυση εικόνας από -27 έως 27 εικονοστοιχεία και ο συντελεστής ομοιοθεσίας από 0.50 έως 2.00. σημειώνεται ότι υπήρξαν ειδικές περιπτώσεις επιγραφών για τις οποίες απαιτήθηκε ακόμα μεγαλύτερο εύρος του διαστήματος τιμών του συντελεστή ομοιοθεσίας. Για να μειώσουμε τον υπολογιστικό φόρτο, εφαρμόζουμε την εξής τεχνική[1]:

Πρώτον χωρίζουμε τις πλευρές κάθε σκέλους περιγράμματος σε N^T τμήματα, όπου κάθε τμήμα περιλαμβάνει περίπου τον ίδιο αριθμό εικονοστοιχείων με τα άλλα π.χ. εάν μία πλευρά αποτελείται από 107 εικονοστοιχεία τη χωρίζουμε σε 12 τμήματα όπου τα 11 αποτελούνται από 9 και το δωδέκατο από 8 εικονοστοιχεία. Τονίζεται ότι οι αντίστοιχες πλευρές τόσο του πρότυπου Π_1 όσο και του Π_2 που θα υποστούν τους μετασχηματισμούς χωρίζονται σε ίδιο αριθμό τμημάτων. Για παράδειγμα, εάν το εξεταζόμενο σύμβολο της αλφαβήτου είναι το Α τότε η αριστερή πλευρά του αριστερού σκέλους του Π_1 όσο και του Π_2 θα χωριστούν στον ίδιο αριθμό τμημάτων, έστω 12, η δεξιά πλευρά του αριστερού σκέλους και του Π_1 και του Π_2 σε, έστω, 16 τμήματα και οι δύο κ.ο.κ. Με αυτό τον τρόπο διαμέρισης των πλευρών τους τα Π_1 και Π_2 εκπροσωπούνται από δύο ισοπληθή υποσύνολα των σημείων τους, επομένως το λήμμα 2 μπορεί να εφαρμοστεί άμεσα οπότε και θα μας προσφέρει μία λίαν ικανοποιητική προσέγγιση των βέλτιστων τιμών των $(\varphi, x_\delta, y_\delta, \lambda)$. Γύρω από αυτή την προσέγγιση, χτίζουμε ένα υπερ-ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο στο R^4 , έστω V , εντός του οποίου η πράξη έχει επιβεβαιώσει ότι πάντα βρίσκεται η τετράδα τιμών που ελαχιστοποιεί την ποσότητα ε της σχέσης (6.23). Χωρίζουμε το V σε μία πολύ λεπτή διαμέριση π.χ. 0.2 μοίρες για τη γωνία φ , 0.25 του εικονοστοιχείου για τα x_δ, y_δ και 0.005 για το λ της ομοιοθεσίας και για κάθε σημείο αυτής της διαμέρισης του V υπολογίζουμε την ποσότητα ε . Το γεγονός ότι η προσέγγιση που δίνει η εφαρμογή του λήμματος 1 είναι λίαν ικανοποιητική, εξασφαλίζει το μικρό μέγεθος του V και το σχετικά γρήγορο υπολογισμό της βέλτιστης θέσεως προσαρμογής των Π_1 Π_2 με εξαιρετική ακρίβεια.

7

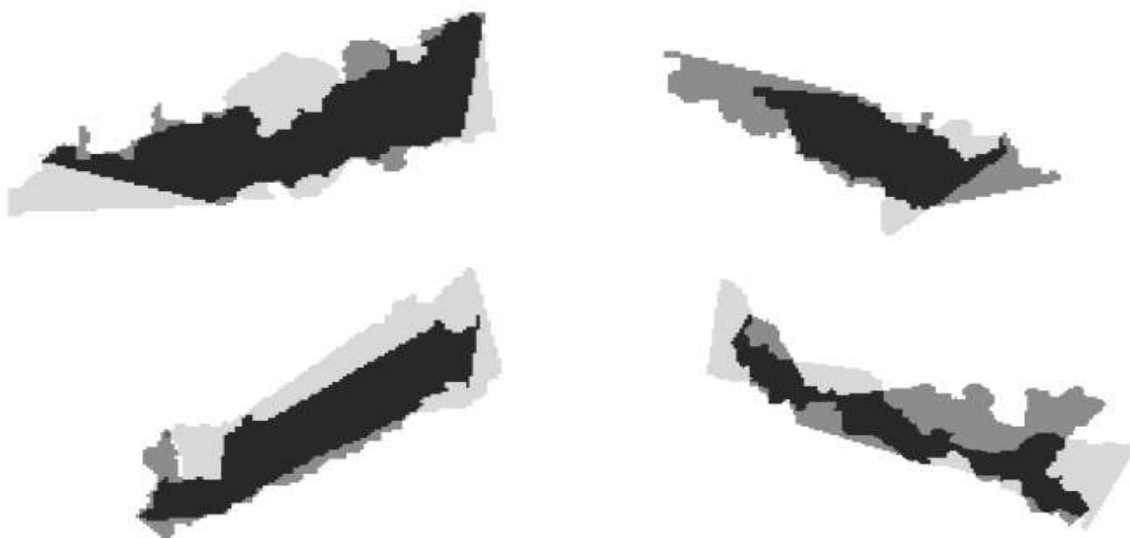
ΤΕΛΕΣΙΔΙΚΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΔΥΟ ΥΛΟΠΟΙΗΣΕΩΝ ΣΥΜΒΟΛΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Στο σημείο αυτό, ας θεωρήσουμε τις υλοποιήσεις Y^{Π} και Y^{Γ} ενός συμβολογράμματος, βέλτιστα προσαρμοσμένες μεταξύ τους όπου η Y^{Π} παίζει το ρόλο της προτύπου υλοποίησης και η Y^{Γ} της τρεχούσης. Έστω δυο αντίστοιχα κτυπήματα S_1^{Π} και S_1^{Γ} σε αυτή τη θέση βέλτιστης προσαρμογής, όπου υπενθυμίζουμε ότι η Y^{Γ} μετασχηματίζεται σαν στερεό σώμα και μπορεί να έχει υποστεί ομοιοθεσία με συντελεστή λ . Ακολούθως δημιουργούμε μία περιορισμένη εκδοχή του κάθε κτυπήματος ως εξής: έστω A_1, A_2, B_1, B_2 , τα τέσσερα κρίσιμα σημεία του υπό εξέταση κτυπήματος, όπου A_1, A_2 ορίζουν τη μία πλευρά του σκέλους και τα B_1, B_2 την άλλη πλευρά αυτού. Ενώνουμε τα A_1, B_1 αφ' ενός και τα A_2, B_2 αφ' εταίρου με ευθύγραμμα τμήματα οπότε και σχηματίζεται η κλειστή καμπύλη $A_1A_2B_1B_2$. Η περιοχή που αυτή ορίζει φαίνεται στην εικόνα Εικόνα 7-1 [1].



Εικόνα 7-1 τα τέσσερα κρίσιμα σημεία του υπό εξέταση κτυπήματος

Σημειώνεται ότι σε περίπτωση που έχουμε ένα σκέλος το οποίο αποτελείται από νησίδες, τότε εκτός των A_1A_2 και B_1B_2 , διασυνδέουμε με ευθύγραμμα τμήματα διαδοχικά κρίσιμα σημεία που γεφυρώνουν δυο διαδοχικές αλυσίδες επί της ίδιας πλευράς του σκέλους, ούτως ώστε να δημιουργηθεί μία κλειστή καμπύλη που περιβάλλει το σκέλος. Εφαρμόζουμε αυτή τη διαδικασία στα χτυπήματα $S_1^Π$ και $S_1^Τ$ οπότε και λαμβάνουμε της βέλτιστα προσαρμοσμένες κλειστές καμπύλες $A_1^Π$ $A_2^Π$ $B_1^Π$ $B_2^Π$ και $A_1^Τ$ $A_2^Τ$ $B_1^Τ$ $B_2^Τ$ όπως αυτές φαίνονται στην Εικόνα 7-2 . Στο εν λόγω σχήμα παρουσιάζονται τέσσερα χτυπήματα του συμβολογράμματος Σ βέλτιστα προσαρμοσμένα το καθένα ξεχωριστά καθώς και όλα μαζί στην εικόνα Εικόνα 7-3 .



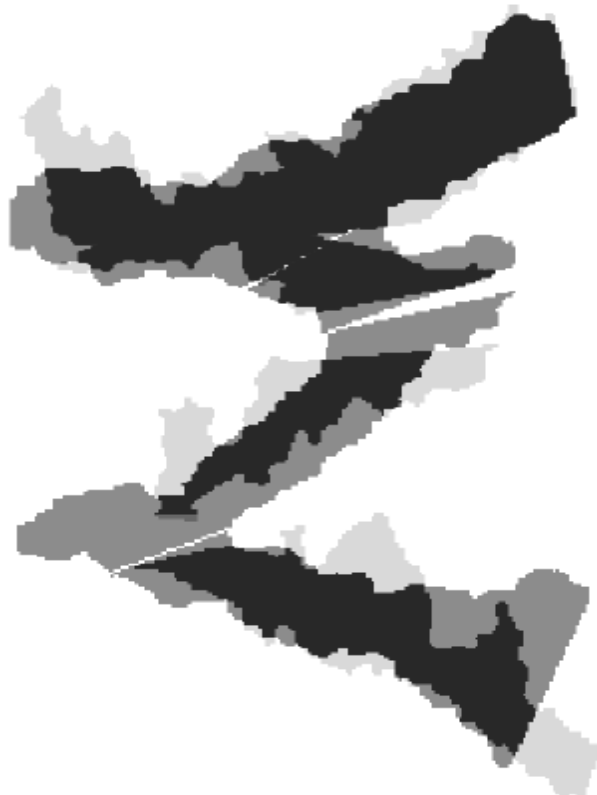
Εικόνα 7-2 Βέλτιστα προσαρμοσμένα χτυπήματα δύο υλοποιήσεων του συμβολογράμματος Σ της ίδιας χειρός.

Η περιοχή με το ανοικτότερο τόνο είναι της τρέχουσας υλοποίησης, αυτή με τον αμέσως επόμενο πιο σκούρο τόνο της πρότυπης και η πιο σκούρα όλων η περιοχή της τομής των δύο.



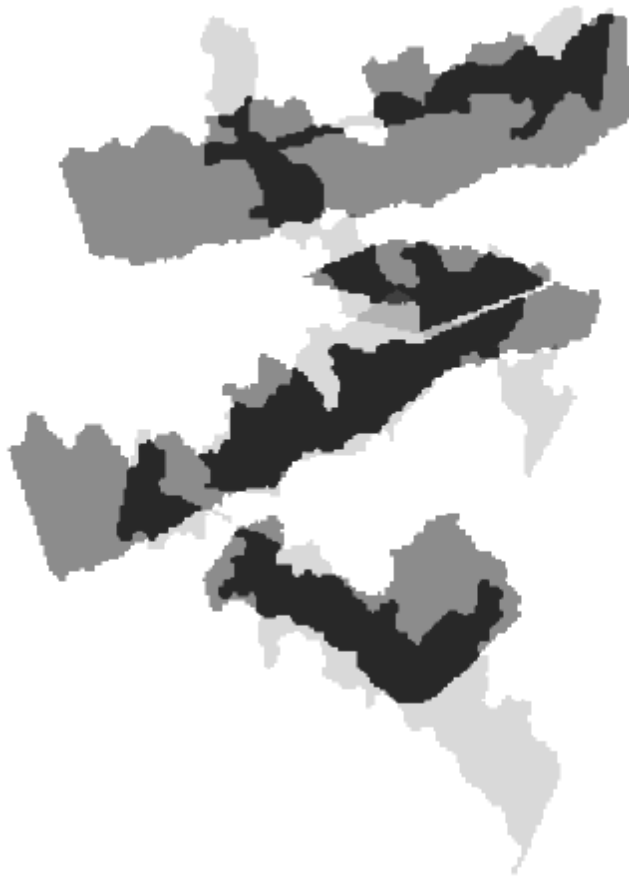
Εικόνα 7-3 Συνολική εικόνα των προηγούμενων βέλτιστα ταιριασμένων κτυπημάτων των δύο υλοποιήσεων του συμβολογράμματος Σ που προέρχεται από το ίδιο χέρι.

Η τρέχουσα υλοποίηση μετασχηματίζεται ως στερεό σώμα δηλαδή όλα τα σκέλη αυτής υφίστανται τους ίδιους ακριβώς μετασχηματισμούς.



Εικόνα 7-4 Βέλτιστα ταιριασμένα κτυπήματα δύο υλοποιήσεων του συμβολογράμματος Σ που προέρχονται από το ίδιο χέρι.

Η περιοχή με τον ανοικτότερο τόνο είναι της τρέχουσας υλοποίησης, αυτή με τον αμέσως πιο σκούρο τόνο της πρότυπης και η πιο σκούρα όλων η περιοχή της τομής των δύο



Εικόνα 7-5 Συνολική εικόνα δύο βέλτιστα ταιριασμένων υλοποιήσεων του συμβολογράμματος Σ διαφορετικής χειρός.

Η περιοχή με τον ανοικτότερο τόνο είναι της τρέχουσας υλοποίησης, αυτή με τον αμέσως πιο σκούρο τόνο της πρότυπης και η πιο σκούρα όλων η περιοχή της τομής των δύο.



Εικόνα 7-6 Συνολική εικόνα δύο βέλτιστα ταιριασμένων υλοποιήσεων του συμβολογράμματος Σ διαφορετικής χειρός.

Η περιοχή με τον ανοικτότερο τόνο είναι της τρέχουσας υλοποίησης, αυτή με τον αμέσως πιο σκούρο τόνο της πρότυπης και η πιο σκούρα όλων η περιοχή της τομής των δύο.

Η γνώση του ότι οι υλοποιήσεις στις εικόνες Εικόνα 7-3 και Εικόνα 7-4 προέρχονται από την ίδιο χαρακτή και αυτές στις εικόνες Εικόνα 7-5 και Εικόνα 7-6 από διαφορετικό προέρχεται από την εφαρμογή του συστήματος . Κάθε μία από αυτές τις κλειστές καμπύλες χωρίζει το επίπεδο σε δύο χωρία, ένα εσωτερικό E_1^{Π} ή E_1^{Γ} και ένα εξωτερικό X_1^{Π} ή X_1^{Γ} . Σε αυτό το σημείο ορίζουμε μία ποσότητα δE_1 η οποία είναι το πηλίκο δύο εμβαδών και συγκεκριμένα:

$$\delta E_1 = \frac{\text{εμβαδόν της } E_1^{\Pi} \cap E_1^{\Gamma}}{\text{εμβαδόν της } E_1^{\Pi} \cup E_1^{\Gamma}} = \frac{EMB(E_1^{\Pi} \cap E_1^{\Gamma})}{EMB(E_1^{\Pi} \cup E_1^{\Gamma})} \quad (7.1)$$

Ομοίως ορίζουμε παρόμοιες ποσότητες και για τα άλλα κτυπήματα:

$$\delta E_k = \frac{EMB(E_k^{\Pi} \cap E_k^{\Gamma})}{EMB(E_k^{\Pi} \cup E_k^{\Gamma})} \quad k=2,3,4 \quad (7.2)$$

Εάν κάποιο κτύπημα E_k^{Π} , E_k^{Γ} $k=1, \dots, 4$ δεν υπάρχει τότε στην αντίστοιχη ποσότητα δE_k αποδίδουμε την ποσότητα μηδέν.

Στην ιδανική περίπτωση που ο ίδιος χαρακτήρας αναπαρήγαγε τέλεια το συμβολόγραμμα που είχε στο μυαλό του σε όλες τις επιγραφές, τότε η ποσότητα δE_k θα ισούται με ένα. Όμως, όπως προαναφέρθηκε οι υλοποιήσεις του ίδιου συμβολογράμματος που προέρχονται από το ίδιο χέρι διαφοροποιούνται σημαντικά εξ αιτίας πολλών παραγόντων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την απόκλιση των αριθμών δE_k από τη μονάδα προς μικρότερες τιμές, τόσο περισσότερο όσο λιγότερο καλλιγράφος είναι ο χαρακτήρας. Από την άλλη πλευρά όταν τα κτυπήματα E_k^{Π} και E_k^{Γ} προέρχονται από διαφορετικά χέρια, φαίνεται λίαν εύλογο να υποθέσει κανείς ότι οι ποσότητες δE_k είναι στατιστικά πολύ μικρότερες από όταν τα κτυπήματα προέρχονται από το ίδιο χέρι. Για να ποσοτικοποιήσουμε αυτή την παρατήρηση, πραγματοποιήσαμε τα εξής βήματα[1].

Βήμα 1: Υπολογισμός των ποσοτήτων δE_k αναφορικά με τις υλοποιήσεις ενός συμβολογράμματος επί της ίδιας επιγραφής.

Έστω μια οποιαδήποτε επιγραφή με αριθμό I , επί της οποίας υπάρχουν N_I υλοποιήσεις ενός συμβολογράμματος, έστω του Σ . Θεωρούμε την πρώτη υλοποίηση σαν πρότυπο και προσαρμόζουμε βέλτιστα όλες τις άλλες σε αυτή διαδοχικά. Σε κάθε μία τέτοια βέλτιστη προσαρμογή υπολογίζουμε τις τέσσερις ποσότητες δE_k $k=1, \dots, 4$ όπως αυτές ορίστηκαν στη σχέση (7.2) και ονομάζουμε αυτές $\delta E_{k,1,j}$ $j=2, \dots, N_I$. Εν συνεχεία θεωρούμε σαν πρότυπο τη δεύτερη υλοποίηση του Σ της επιγραφής I και υπολογίζουμε τις ποσότητες $\delta E_{k,2,j}$ $j=3, \dots, N_I$ κ.ο.κ.

Σε αυτό το σημείο και για κάθε κτύπημα χωριστά υπολογίζουμε το μέσο όρο των ανωτέρω ποσοτήτων καθώς και τη δειγματική διασπορά τους δηλαδή τις ποσότητες

$$\delta E_k^{\Sigma, I} = \frac{1}{N_I - 1} \sum_{i=1}^{N_I - 1} \frac{1}{N_I - 1} \sum_{j=i+1}^{N_I} \delta E_{k,i,j} \quad k = 1, \dots, 4 \quad (7.3)$$

$$sE_k^{\Sigma, I} = \sqrt{\frac{1}{N_I - 1} \sum_{i=1}^{N_I - 1} \frac{1}{N_I - 1} \sum_{j=i+1}^{N_I} (\delta E_{k,i,j} - \delta E_k^{\Sigma, I})^2}$$

$$k = 1, \dots, 4 \quad (7.4)$$

όπου το πρώτο άθροισμα αφορά στις πρότυπες υλοποιήσεις ενώ το δεύτερο στις τρέχουσες, ο πρώτος άνω δείκτης, εν προκειμένω το Σ , εκπροσωπεί το εξεταζόμενο σύμβολο της αλφαβήτου, ο δεύτερος άνω δείκτης τον αριθμό της επιγραφής και ο κάτω δείκτης τον αριθμό του αντίστοιχου κτυπήματος.

Βήμα 2: Υπολογισμός των ποσοτήτων δE_k για τη σύγκριση των υλοποιήσεων του ίδιου συμβολογράμματος σε δύο διαφορετικές επιγραφές.

Έστω μια οποιαδήποτε επιγραφή με αριθμό I , επί της οποίας υπάρχουν N_I ενός συμβολογράμματος, και μία δεύτερη επιγραφή με αριθμό J με N_J υλοποιήσεις του ίδιου συμβολογράμματος επ' αυτής. Θεωρούμε την πρώτη υλοποίηση της I σαν πρότυπο και προσαρμόζουμε βέλτιστα όλες τις υλοποιήσεις της J σε αυτήν. Σε κάθε μία τέτοια βέλτιστη προσαρμογή υπολογίζουμε τις τέσσερις ποσότητες δE_k $k=1, \dots, 4$ όπως αυτές ορίστηκαν στη σχέση

(7.2) και ονομάζουμε αυτές $\delta E_{k,1,j}$ $j=1,\dots, N_j$. Εν συνεχεία θεωρούμε σαν πρότυπο τη δεύτερη υλοποίηση του Σ της επιγράφης I και υπολογίζουμε τις ποσότητες $\delta E_{k,2,j}$ $j=1,\dots, N_j$. Κ.ο.κ.. έως ότου όλες οι N_i υλοποιήσεις του Σ της επιγραφής I παίξουν το ρόλο της προτύπου.

Σε αυτό το σημείο και για κάθε χτύπημα χωριστά υπολογίζουμε το μέσο όρο των ανωτέρω ποσοτήτων καθώς και τη δειγματική διασπορά τους δηλαδή τις ποσότητες

$$\delta E_k^{\Sigma,I,J} = \frac{1}{N_I} \sum_{i=1}^{N_I} \frac{1}{N_j} \sum_{j=1}^{N_j} \delta E_{k,i,j} \quad k = 1, \dots, 4 \quad (7.5)$$

$$sE_k^{\Sigma,I,J} = \sqrt{\frac{1}{N_I} \sum_{i=1}^{N_I} \frac{1}{N_j} \sum_{j=1}^{N_j} (\delta E_{k,i,j} - \delta E_k^{\Sigma,I,J})^2} \quad k=1, \dots, 4 \quad (7.6)$$

Η διαφοροποίηση στο ότι οι ποσότητες δE_k αφορούν στη σύγκριση δύο επιγραφών εντοπίζεται στο γεγονός της ύπαρξης τριών άνω δεικτών όπου ο πρώτος συμβολίζει το γράμμα της αλφαβήτου, εν προκειμένω το Σ , ο δεύτερος την πρότυπο επιγραφή και ο τρίτος την τρέχουσα, ενώ όπως πάντα ο κάτω δείκτης συμβολίζει τον αριθμό του κτυπήματος.

Βήμα 3: Ένα μέτρο για την εκτίμηση του εάν δύο διαφορετικές επιγραφές προέρχονται από τον ίδιο χαρακτήρα.

Είναι εύλογο να υποθέσουμε ότι όταν οι επιγραφές I και J προέρχονται από τον ίδιο χαρακτήρα, οι ποσότητες $\delta E_k^{\Sigma,I}$ και $\delta E_k^{\Sigma,I,J}$ θα έχουν πολύ περισσότερες παραπλήσιες τιμές για όλα τα χτυπήματα, απ' όταν οι I και J προέρχονται από διαφορετικό χέρι. Η ποσοτικοποίηση αυτής της παρατήρησης βασίζεται στο γεγονός ότι κάθε μία ποσότητα δE_i είναι κατ' ουσίαν ένα ποσοστό (άλλωστε λαμβάνει τιμή πάντοτε στο $[0,1]$) και επομένως για $N_I \geq 5, N_J \geq 5$ ακολουθεί κατά προσέγγιση κανονική κατανομή. Η υπόθεση αυτή δεν απορρίφθηκε από τα σχετικά τεστ Kolmogorov – Smirnov ($\alpha=0.001$). Επίσης, εάν οι επιγραφές I και J προέρχονται από τον ίδιο χαρακτήρα, τότε οι πληθυσμιακές μέσες τιμές των ποσοτήτων $\delta E_k^{\Sigma,I}$ και $\delta E_k^{\Sigma,I,J}$ είναι ίσες. Άρα, ένα μέτρο που ποσοτικά περιγράφει το αν δύο επιγραφές προέρχονται από το ίδιο χέρι ή όχι επιλέγεται να είναι το σύνολο των ποσοτήτων

$$\delta_k^{\Sigma,I,J} = \frac{\delta E_k^{\Sigma,I} - \delta E_k^{\Sigma,I,J}}{\sqrt{\frac{(SE_k^{\Sigma,I})^2}{N_I(N_I - 1)/2} + \frac{(SE_k^{\Sigma,I,J})^2}{N_I N_J}}} \quad (7.7)$$

Όσο πιο κοντά στο μηδέν είναι η ποσότητα $\delta E_k^{\Sigma,I,J}$ τόσο περισσότερο αναμένεται οι επιγραφές I και J να προέρχονται από τον ίδιο χαρακτήρα. Εάν οι επιγραφές I και J προέρχονται από διαφορετικό χαρακτήρα, αναμένεται να υπάρχει ικανός αριθμός συμβόλων της αλφαβήτου και κτυπημάτων των υλοποιήσεων τους αναφορικά με τα οποία οι ποσότητες $\delta E_k^{\Sigma,I,J}$ θα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά. Επειδή οι ποσότητες του αριθμητή ακολουθούν κανονική κατανομή όπως προαναφέρθηκε, η κάθε μία ποσότητα $\delta E_k^{\Sigma,I,J}$ $k=1, \dots, 4$ ακολουθεί κατανομή Student ή για $N_I \geq 5, N_J \geq 5$ ακολουθεί με πολύ ικανοποιητική προσέγγιση τυπική κανονική κατανομή. Σε περίπτωση που έχουμε κατανομή Student και εάν οι διασπορές $(SE_k^{\Sigma,I})^2$ και $(SE_k^{\Sigma,I,J})^2$ είναι ίσες τότε οι βαθμοί ελευθερίας της κατανομής είναι

$$\delta_k^{\Sigma,I,J} = N_I N_J + \frac{N_I(N_I - 1)}{2} - 2 \quad (7.8)$$

ενώ αν οι διασπορές είναι άνισες και αν θέσω

$$N_{II} = \frac{N_I(N_I - 1)}{2} \text{ και } N_{IJ} = N_I N_J$$

τότε ισχύει

$$d_k^{\Sigma, I, J} = \frac{\left(\frac{(SE_k^{\Sigma, I})^2}{N_{II}} + \frac{(SE_k^{\Sigma, I, J})^2}{N_{IJ}} \right)^2}{\frac{\left(\frac{(SE_k^{\Sigma, I})^2}{N_{II}} \right)^2}{N_{II}-1} + \frac{\left(\frac{(SE_k^{\Sigma, I, J})^2}{N_{IJ}} \right)^2}{N_{IJ}-1}} \quad (7.9)$$

Εφ' όσον δεν γνωρίζουμε από πριν αν οι πληθυσμιακές διασπορές των ποσοτήτων $\delta_k^{\Sigma, I, J}$ είναι ίσες ή άνισες, διαλέγουμε τη σχέση (7.9) για τους βαθμούς ελευθερίας της Student, διότι καλύπτει και τις δύο περιπτώσεις.

8

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΛΟΓΙΑΣ ΣΕ ΒΥΖΑΝΤΙΝΟΥΣ ΚΩΔΙΚΕΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑΣ

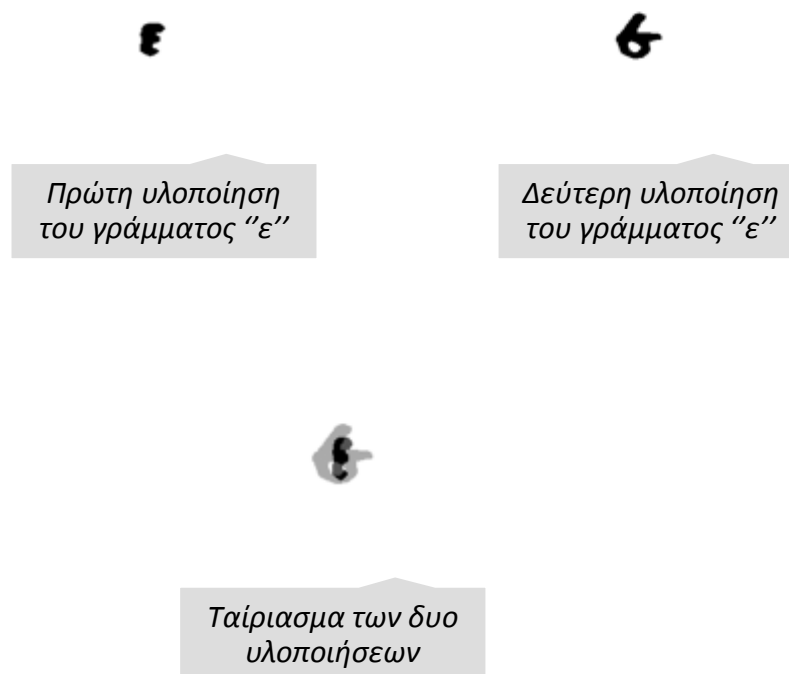
Όπως προαναφέρθηκε, πολλά αρχαία κείμενα διασώζονται μέσα από τους βυζαντινούς κώδικες. Έτσι αποτελούν και την μόνη πηγή πληροφορίας για την μελέτη και την κατανόησή τους. Η μεθοδολογία χρησιμοποιείται στους κώδικες αυτούς και σε συνδυασμό με αρχαιολογικές γνώσεις εξάγουμε ασφαλή συμπεράσματα.

Από τα συγγράμματα του Αριστοτέλη λίγα, μόνο το ένα τρίτο, διασώθηκαν. Η σημαντικότερη των απωλειών μπορεί να θεωρηθεί η απώλεια της «Συναγωγής Πολιτειών», ενός πολύ ογκώδους έργου. Στο πλαίσιο της προεργασίας για τη συγγραφή των μεγάλων έργων του ο Αριστοτέλης συγκρότησε με τη βοήθεια των συνεργατών του μεγάλες συλλογές υλικού. Ως προεργασία για τη συγγραφή των Πολιτικών συγκεντρώθηκαν περιγραφές 158 πολιτευμάτων. Η πρώτη από τις χαμένες πια πολιτείες, είναι η Αθηναίων πολιτεία, ήρθε στο φως με την ανακάλυψη ενός παπύρου το 1891 και αποδίδεται (αν και όχι ομόφωνα) στον ίδιο τον Αριστοτέλη. Το έργο απαρτίζεται από ένα ιστορικό και ένα συστηματικό μέρος. Το έργο αυτό είχε χαθεί από πάρα πολύ παλιά, μόνο δε πριν από έναν περίπου αιώνα βρέθηκε σχεδόν ολόκληρο το σπουδαιότερο ίσως τμήμα του το πραγματευόμενο το πολίτευμα των Αθηναίων. Για την προπαρασκευή του συγγράμματος ο Αριστοτέλης θα χρησιμοποίησε βέβαια πολλούς συνεργάτες και μάλιστα τους επιδεξιότερους από τους μαθητές του. Πρώτη στο όλο έργο όπως έχουμε πει ήδη ήταν η Αθηναίων Πολιτεία, σαν αυθεντική αλλά η οποία χάθηκε και πιο νωρίς από τα άλλα έργα. Από το έργο του αυτό πολλοί από τους επόμενους συγγραφείς δανείζονταν πληροφορίες, κρίσεις και περικοπές. Το 1891 αναγγέλθηκε στο Λονδίνο ότι μεταξύ δέσμης παπύρων, άγνωστο πως και πότε εισαχθέντων στο Βρετανικό Μουσείο, ανευρεθεί η Αθηναίων Πολιτεία του Αριστοτέλη. Από την αρχή το κείμενο, σύμφωνα άλλωστε και με τα σωζόμενα

αποσπάσματα, αναγνωρίσθηκε σαν αυθεντικό, διαπιστώθηκε μάλιστα και η μεγάλη αρχαιότητα του αντιγράφου, που αναγόταν στον 1ο μ.Χ. αιώνα. Αν και ο γραφικός χαρακτήρας στο σύνολό του είναι κανονικός και επιμελημένος, η ανάγνωση όμως παρουσίασε δυσχέρειες εξ αιτίας της συνεχόμενης γραφής όλων των λέξεων, της μη στίξεως, της συντμήσεως των τελικών συλλαβών των λέξεων και της φθοράς σε πολλά σημεία του παπύρου.

Από την εφαρμογή της μεθόδου που αναλύθηκε στον βυζαντινό κώδικα πήραμε σημαντικά αποτελέσματα, μερικά από αυτά φαίνονται παρακάτω.

Όπως παρατηρούμε στις παρακάτω εικόνες, συγκρίνοντας διαφορετικές υλοποιήσεις του ίδιου γράμματος καταλήξαμε στο συμπέρασμα εάν ανήκουν στον ίδιο γραφέα ή όχι. Πιο αναλυτικά:



Εικόνα 8-1 Δυο υλοποιήσεις του γράμματος "ε"

Παρατηρούμε ότι πρόκειται για διαφορετικό γραφέα.



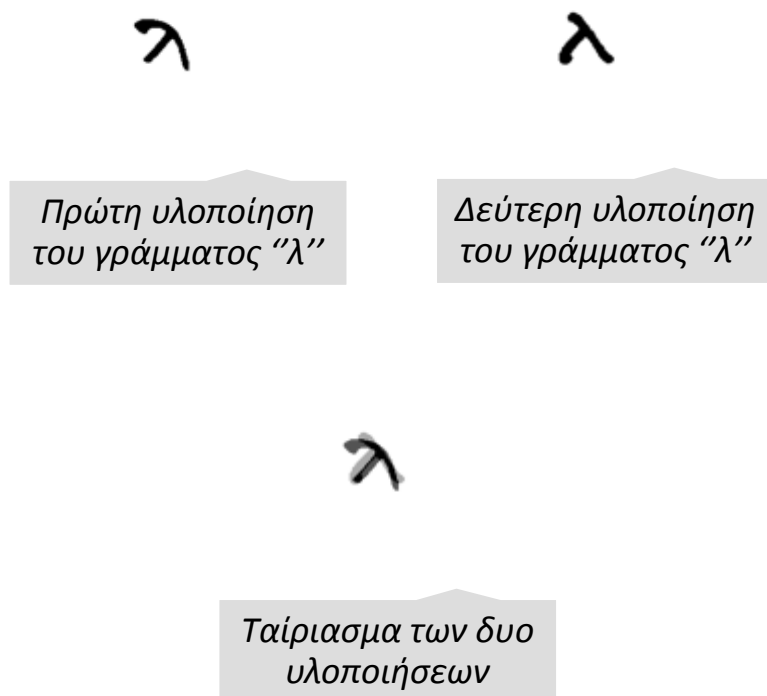
Εικόνα 8-2 Δυο υλοποιήσεις του γράμματος "φ"

Παρατηρούμε ότι πρόκειται για διαφορετικό γραφέα.



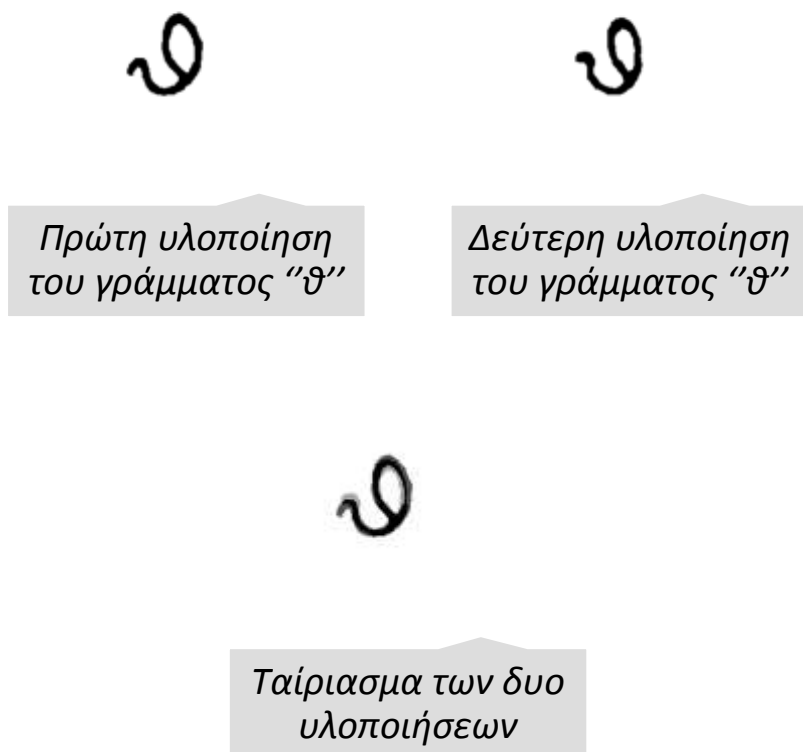
Εικόνα 8-3 Δυο υλοποιήσεις του γράμματος "λ"

Παρατηρούμε ότι πρόκειται για διαφορετικό γραφέα.



Εικόνα 8-4 Δυο υλοποιήσεις του γράμματος "λ"

Παρατηρούμε ότι πρόκειται για διαφορετικό γραφέα.



Εικόνα 8-5 Δυο υλοποιήσεις του γράμματος "θ"

Παρατηρούμε ότι πρόκειται για τον ίδιο γραφέα.



Πρώτη υλοποίηση
του γράμματος “ω”



Δεύτερη υλοποίηση
του γράμματος “ω”



Ταίριασμα των δυο
υλοποιήσεων

Εικόνα 8-6 Δυο υλοποιήσεις του γράμματος “ω”

Παρατηρούμε ότι πρόκειται για διαφορετικό γραφέα.



Πρώτη υλοποίηση
του γράμματος “ω”



Δεύτερη υλοποίηση
του γράμματος “ω”



Ταίριασμα των δυο
υλοποιήσεων

Εικόνα 8-7 Δυο υλοποιήσεις του γράμματος “ω”.

Παρατηρούμε ότι πρόκειται για τον ίδιο γραφέα.

9

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία, μια νέα μεθοδολογία εισάγεται για την αυτόματη ταξινόμηση των αρχαίων εγγράφων, σύμφωνα με τον συγγραφέα τους. Μια τέτοια ταξινόμηση μπορεί να γίνει ένα πολύ ισχυρό εργαλείο για την ακριβή χρονολόγηση των αντίστοιχων χειρόγραφα. Η μέθοδος που εισήχθη χρησιμοποιεί μεμονωμένες υλοποιήσεις αλφαβητικών συμβόλων ή και επαναλαμβανόμενα τμήματα τους αφού πρώτα εξάγουμε τα περιγράμματα από τις υλοποιήσεις που εμφανίζονται σε κάθε χειρόγραφο. Εκτελεί συγκρίσεις των περιγραμμάτων κατά ζεύγη κάθε συμβόλου που εμφανίζεται σε κάθε χειρόγραφο με εκτιμήσεις καμπυλότητας. Εισάγει μια νέα πρόταση που προσφέρει λύση στο πρόβλημα του βέλτιστου ταιριάσματος δύο περιγραμμάτων που αποτελούνται από ίσο αριθμό pixels. Τέλος, μια σειρά από νέα στατιστικά κριτήρια έχουν εισαχθεί προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος. Η προαναφερθείσα προσέγγιση αποδίδει αρκετά καλά, ακόμη και αν υπάρχει μικρός αριθμός υλοποιήσεων (μικρότερος από 6) συμβόλων της αλφαβήτου στο προς ταξινόμηση έγγραφο.

Η μέθοδος[2] έχει εφαρμοστεί σε 46 αρχαίες επιγραφές της κλασικής Ελληνιστικής εποχής και σε 23 βυζαντινοί κώδικες και δεν χρησιμοποιεί οποιαδήποτε χειρόγραφο ως αναφορά ούτε τον αριθμό των ξεχωριστών χεριών που έχουν γράψει τα χειρόγραφα ούτε οποιαδήποτε σχετική πληροφορία. Η μέθοδος ταξινόμησε τις 46 επιγραφές σε 10 διαφορετικά χέρια και τους 23 βυζαντινούς κώδικες σε 4 διαφορετικούς συγγραφείς.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Π.Ρουσόπουλος “Ανάπτυξη προηγμένων μεθόδων αναγνώρισης προτύπων και μαθηματική θεμελίωση για τον εντοπισμό του τρόπου δημιουργίας και της ταυτότητας του δημιουργού σημαντικών αρχαιολογικών ευρημάτων” (2010)
- [2] C. Papaodysseus, P. Rousopoulos, F. Giannopoulos, S. Zannos, D. Arabadjis, M. Panagopoulos, C. Blackwell, S. Tracy ,Identifying the Writer of Ancient Inscriptions and Byzantine Codices. A Novel Approach.
- [3] J. Chapran, Biometric writer identification: feature analysis and classification, *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*. 20 (4) (2006) 483-503.
- [4]A. Schlapbach, M. Liwicki, H. Bunke, A writer identification system for on-line whiteboard data, *Pattern Recognition*. 41 (7) (July 2008) 2381–2397.
- [5] S. Jaeger, S. Manke, J. Reichert, A. Waibel, Online handwriting recognition: the NPen++ recognizer, *Int. Journal of Document Analysis and Recognition*. 3 (3) (2001) 169–180.
- [6] M. Schenkel, I. Guyon, D. Henderson, On-line cursive script recognition using time-delay neural networks and hidden Markov models, *Machine Vision and Applications*. 8 (1995) 215–223.
- [7] B. Li, T. Tan, Online text-independent writer identification based on Temporal Sequence and Shape Codes, *Document Analysis and Recognition, ICDAR '09. 10th International Conference on, Barcelona*. (26-29 July 2009) 931-935.
- [8] E. N. Zois, V. Anastassopoulos, Morphological waveform coding for writer identification, *Pattern Recognition*. 33 (2000) 385-398.
- [9] H. Said, T. Tan, K. Baker, Personal identification based on handwriting, *Pattern Recognition*. 33 (1) (January 2000) 149-160.
- [10] Y. Zhu, T. Tan, Y. Wang, Biometric personal identification based on handwriting, *Proceedings of the 15th International Conference on Pattern Recognition IEEE*. 2 (2000) 797-800.
- [11] U.-V. Marti, R. Messerli, H. Bunke, Writer identification using text line based features, *Proceedings of the 6th International Conference on Document Analysis and Recognition*. (September 2001) 101-105.
- [12] A. Bensefia, T. Paquet, L. Heutte, Handwriting analysis for writer verification, *Proceedings of the 9th International Workshop Frontiers in Handwriting Recognition*. (October 2004) 196-201.
- [13] G. Leedham, S. Chachra, Writer identification using innovative binarised features of handwritten numerals, *Proceedings of the 7th International Conference on Document Analysis and Recognition*. (2003).
- [14] A. Schlapbach, H. Bunke, A writer identification and verification system using HMM based recognizers, *Pattern Analysis and Applications*. 10 (1) (February 2007).
- [15] Z. He, X. You, Y. Yan Tang, Writer identification of Chinese handwriting documents using hidden Markov tree model, *Pattern Recognition*. 41 (4) (2008) 1295-1307.
- [16] A. Schlapbach, H. Bunke, Off-line handwriting identification using HMM based recognizers, *ICPR Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition*. 2 (2004) 654-658.
- [17] Z. He, B. Fang, J. Du, Y. Yan Tang, X. You, A novel method for off-line handwriting-based writer identification, *Proceedings of the 8th International Conference on Document Analysis and Recognition*. (2005).
- [18] A. Bensefia, T. Paquet, L. Heutte, A writer identification and verification system, *Pattern Recognition Letters*. 26 (2005) 2080-2092.
- [19] V. Pervouchine, G. Leedham, Extraction and analysis of forensic document examiner features used for writer identification, *Pattern Recognition*. 40 (2007).

-
- [20] T. Pitak, T. Matsuura, On-line writer recognition for Thai based on velocity of barycenter of pen-point movement, *International Conference on Image Processing*. 2 (2004) 889–892.
- [21] S.-H. Cha, S. N. Srihari, Multiple feature integration for writer verification, *Proceedings on 7th International Workshop Frontiers in Handwriting Recognition*. (2000) 333-342.
- [22] B. Zhang, S. N. Srihari, S. Lee, Individuality of handwritten characters, *Proceedings of the 7th International Conference on Document Analysis and Recognition*. (August 2003).
- [23] M. Bulacu, L. Schomaker, Text-independent writer identification and verification using textural and allographic features, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 29 (4) (April 2007).
- [24] L. Schomaker, M. Bulacu, Automatic writer identification using connected-component contours and edge-based features of uppercase western script, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 26 (6) (June 2004) 787-798.
- [25] R. Niels, F. Gootjen, L. Vuurpijl, Writer identification through information retrieval: The allograph weight vector, *International Conference on Frontiers in Handwriting Recognition*. (2008) 481–486.
- [26] S. K. Chan, C. Viard-Gaudin, Y. H. Tay, Online writer identification using character prototypes distributions, *Proceedings of SPIE—The International Society for Optical Engineering*. (2008).
- [27] G. Xian Tan, C. Viard-Gaudin, A. C. Kot, Automatic writer identification framework for online handwritten documents using character prototypes, *Pattern Recognition*. 42 (12) (December 2009) 3313-3323.
- [28] L. Wolf, R. Littman, N. Mayer, T. German, N. Dershowitz, R. Shweka, Y. Choueka, Identifying join candidates in Cairo Genizah, *International Journal of Computer Vision*, Springer. 94 (1) (August 2011) 118-135.
- [29] P. Purkait, R. Kumar, B. Chanda, Writer identification for handwritten Telugu documents using directional morphological features, *International Conference on Frontiers in Handwriting Recognition*. (2010) 658-663.
- [30] O. Santana, C. M. Travieso, J. B. Alonso, M. A. Ferrer, Writer identification based on graphology techniques, *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*. 25 (6) (2010).
- [31] J. Tan, J.-H. Lai, C.-D. Wang, M.-S. Feng, A Stroke Shape and Structure Based Approach for Off-line Chinese Handwriting Identification, *International Journal of Intelligent Systems and Applications*. 3 (2) (March 2011) 1-8.
- [32] L. Wolf, R. Littman, M. Naama, T. German, N. Dershowitz, R. Shweka, Y. Choueka, Identifying Join Candidates in the Cairo Genizah , *International Journal of Computer Vision*. 94 (1) (August 2011) 118-135.
- [33] E. Dalton, N. R. Howe, Style-based retrieval for ancient Syriac manuscripts, *Proceeding HIP '11 Proceedings of the 2011 Workshop on Historical Document Imaging and Processing*, ACM. (2011).
- [34] M. Contreras Seitz, Towards Chilean Spanish language diachronic corpus [Hacia la constitución de un corpus diacrónico del Español de Chile]. *RLA Revista de lingüística teórica y aplicada* [online]. 47 (2) (2009) 11-134.
- [35] L. Schomaker, K. Franke, M. Bulacu. Using codebooks of fragmented connected-component contours in forensic and historic writer identification, *Pattern Recognition Letters*. 28 (6) (2007) 719-727.
- [36] I. Bar-Yosef, I. Beckman, K. Kedem, I. Dinstein, Binarization, character extraction, and writer identification of historical Hebrew calligraphy documents, *International Journal on Document Analysis and Recognition*. 2 (9) (2007) 89–99.
- [37] G. Sapiro, A. Tannenbaum, On Affine Plane Curve Evolution, *Journal of Functional Analysis*. 119 (1) (1994) 79-120.

-
- [38] P.J. Olver, G. Sapiro, A. Tannenbaum, Differential invariant signatures and flows in computer vision: a symmetry group approach, *Geometry-Driven Diffusion in Computer Vision*, B.M. Ter Haar Romeny, ed., Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, Netherlands, (1994) 255-306.
- [39] D. Hoff, P.J. Olver, Extensions of invariant signatures for object recognition, *J. Math. Imaging Vision*. 45 (2013) 176-185.
- [40] E. Musso, L. Nicolodi, Invariant signatures of closed planar curves, *Journal of Mathematical Imaging and Vision*. 35 (1) (2009) 68-85.
- [41] S. Manay, D. Cremers, B.-W. Hong, A. J. Yezzi Jr., S. Soatto, Integral invariants for shape matching, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 28 (10) (2006).