



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ & ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

Επιβεβαίωση online υπογραφής με χρήση της βάσης δεδομένων SUSIG

ΚΟΥΛΟΥΡΗ ΜΕΤΑΞΙΑ Α.Μ. 4735

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επιβλέπων: ΣΠΥΡΙΔΩΝ ΦΩΤΟΠΟΥΛΟΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΠΑΤΡΑ

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2013

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους ανθρώπους που συντέλεσαν στην επιτυχή ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Σπυρίδωνα Φωτόπουλου, που με εμπιστεύτηκε και για τις συμβουλές και τις συζητήσεις που είχαμε μαζί.

Επιπλέον ευχαριστώ θερμά την Κωνσταντίνα Μπάρκουλα για την αμέριστη βοήθεια της και τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε. Καθώς επίσης, τον Αντρέα Μακεδόνα και την Φωτεινή Φωτοπούλου για τις πολύτιμες συμβουλές τους και τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις τους.

Ευχαριστώ τους γονείς μου και τον αδερφό μου, για την διαρκή στήριξη τους σε όλη την διάρκεια της φοίτησης μου και την αγάπη τους.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους φίλους μου για την υποστήριξη και την παρέα τους. Ιδιαίτέρως ευχαριστώ τον Βασίλη για την ηθική στήριξη και την διαρκή ενθάρρυνση του που μου έδωσε δύναμη να ολοκληρώσω την προσπάθεια μου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Ευχαριστίες	i
Πίνακας περιεχομένων	ii
Κατάλογος πινάκων	iv
Κατάλογος σχημάτων	v
Κατάλογος εικόνων	vii
Περίληψη	viii
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Βιομετρικά χαρακτηριστικά	1
1.2 Συστήματα επαλήθευσης/επιβεβαίωσης με βάση την υπογραφή	1
1.3 Μέτρα αξιολόγησης συστήματος επιβεβαίωσης υπογραφής: FRR, FAR, EER	2
1.4 Είδη πλαστογράφησης υπογραφών	2
1.5 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας	2
2. SUSIG DATABASE	3
2.1 Απόκτηση υπογραφών	3
2.2 Εργαλείο αναπαράστασης υπογραφής	4
2.3 Το «οπτικό» υποσύνολο	5
2.4 Το «τυφλό» υποσύνολο	6
3. ΜΕΤΡΟ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΣΤΡΕΒΛΩΣΗΣ DYNAMIC TIME WARPING	8
4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	12
4.1 Πρωτόκολλα αναγνώρισης υπογραφών	12
4.2 Ανάγνωση των δεδομένων της υπογραφής από την βάση δεδομένων	13
4.3 Προεπεξεργασία	13
4.3.1 Αντιμετώπιση του προβλήματος της μετατόπισης της υπογραφής στο επίπεδο	14
4.3.2 Αντιμετώπιση του προβλήματος ποικίλων μεγεθών της υπογραφής	14
4.4 Υπολογισμός σειράς δεδομένων των χαρακτηριστικών της υπογραφής και των μεταξύ τους αποστάσεων	15
4.5 Απόσταση μιας σειράς δεδομένων από ένα σύνολο σειρών αναφοράς	17
4.6 Υπολογισμός του ποσοστού EER	17
4.6.1 Υπολογισμός του FRR	17
4.6.2 Υπολογισμός του FAR	18
4.6.3 Υπολογισμός του EER	21
4.6.4 Ολικό κατώφλι	26
4.6.5 Βελτιωμένο ολικό κατώφλι	27

5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	33
5.1 Αποτελέσματα	33
5.1.1 Ειδικευμένη πλαστογράφηση	33
5.1.2 Τυχαία πλαστογράφηση	34
5.1.3 Σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο πρωτοκόλλων	35
5.2 Αποτελέσματα άλλων ερευνών	37
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	39
6.1 Συμπεράσματα	39
6.2 Προτάσεις για μελλοντική εργασία	39
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	40
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	41
Συνάρτηση DTW	41
Συνάρτηση ReadSignature	42
Συνάρτηση Preprocessing	43
Συνάρτηση voitheia	43
Συνάρτηση eer_global_theshold	44
Συνάρτηση eer_global_threshold_veltiomeno	44
Πρόγραμμα για τα χαρακτηριστικά dx και dy	45
Πρόγραμμα για το χαρακτηριστικό t	48
Πρόγραμμα για τον συνδυασμό των χαρακτηριστικών dx και dy	50
Πρόγραμμα για τον συνδυασμό των χαρακτηριστικών dx και t	52
Πρόγραμμα για τον συνδυασμό των χαρακτηριστικών dy και t	54
Πρόγραμμα για τον συνδυασμό των χαρακτηριστικών dx, dy, t	56

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 5.1:	Τιμές του ποσοστού EER, σύμφωνα με το πρωτόκολλο της ειδικευμένης πλαστογράφησης, για το global threshold και το βελτιωμένο global threshold.	33
Πίνακας 5.2:	Τιμές του ποσοστού EER, σύμφωνα με το πρωτόκολλο της τυχαίας πλαστογράφησης, για το global threshold και το βελτιωμένο global threshold.	34
Πίνακας 5.3:	Τιμές του ποσοστού EER, για το global threshold και το βελτιωμένο global threshold και για τα δύο πρωτόκολλα.	35
Πίνακας 5.4:	Τιμές του ποσοστού EER για την βάση δεδομένων της SUSIG, σύμφωνα με διάφορα πρωτόκολλα.	37
Πίνακας 5.5:	Τιμές του ποσοστού EER για δύο βάσεις δεδομένων, τις SVC 2004 Task1 (αριστερά) και της SUSIG (δεξιά), για πληθώρα χαρακτηριστικών των υπογραφών.	38

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1:	Υπογραφές δύο προσώπων από την βάση δεδομένων της SUSIG.	3
Σχήμα 4.1:	Υπογραφή ενός προσώπου πριν και μετά την αντιμετώπιση του translation problem.	14
Σχήμα 4.2:	Υπογραφή ενός προσώπου πριν και μετά την αντιμετώπιση του scaling problem.	15
Σχήμα 4.3.1:	Αποστάσεις των χαρακτηριστικών dx από τις πρότυπες υπογραφές για ένα πρόσωπο και το όριο να παίρνει την τιμή του dx της 1 ^{ης} υπογραφής, για το πρωτόκολλο της ειδικευμένης πλαστογράφησης.	18
Σχήμα 4.3.2:	Αποστάσεις των χαρακτηριστικών dx από τις πρότυπες υπογραφές για ένα πρόσωπο και το όριο να παίρνει την τιμή του dx της 5 ^{ης} υπογραφής, για το πρωτόκολλο της ειδικευμένης πλαστογράφησης.	19
Σχήμα 4.3.3:	Αποστάσεις των χαρακτηριστικών dx από τις πρότυπες υπογραφές για ένα πρόσωπο και το όριο να παίρνει την τιμή του dx της 11 ^{ης} υπογραφής, για το πρωτόκολλο της ειδικευμένης πλαστογράφησης.	19
Σχήμα 4.3.4:	Αποστάσεις των χαρακτηριστικών dx από τις πρότυπες υπογραφές για ένα πρόσωπο και το όριο να παίρνει την τιμή του dx της 21 ^{ης} υπογραφής, για το πρωτόκολλο της ειδικευμένης πλαστογράφησης.	20
Σχήμα 4.3.5:	Αποστάσεις των χαρακτηριστικών dx από τις πρότυπες υπογραφές για ένα πρόσωπο και το όριο να παίρνει την τιμή του dx της 26 ^{ης} υπογραφής, για το πρωτόκολλο της ειδικευμένης πλαστογράφησης.	20
Σχήμα 4.3.6:	Αποστάσεις των χαρακτηριστικών dx από τις πρότυπες υπογραφές για ένα πρόσωπο και το όριο να παίρνει την ιδανική τιμή, για το πρωτόκολλο της ειδικευμένης πλαστογράφησης.	21
Σχήμα 4.4.1.α:	Αποστάσεις των χαρακτηριστικών dx από τις πρότυπες υπογραφές για ένα πρόσωπο και το όριο να παίρνει την ιδανική τιμή, για το πρωτόκολλο της ειδικευμένης πλαστογράφησης.	22
Σχήμα 4.4.1.β:	Αποστάσεις των χαρακτηριστικών dy από τις πρότυπες υπογραφές για ένα πρόσωπο και το όριο να παίρνει την ιδανική τιμή, για το πρωτόκολλο της ειδικευμένης πλαστογράφησης.	22
Σχήμα 4.4.2.α:	Αποστάσεις των χαρακτηριστικών dx από τις πρότυπες υπογραφές για ένα πρόσωπο και το όριο να παίρνει την ιδανική τιμή, για το πρωτόκολλο της ειδικευμένης πλαστογράφησης.	22
Σχήμα 4.4.2.β:	Αποστάσεις των χαρακτηριστικών dy από τις πρότυπες υπογραφές για ένα πρόσωπο και το όριο να παίρνει την ιδανική τιμή, για το πρωτόκολλο της ειδικευμένης πλαστογράφησης.	22
Σχήμα 4.5.1:	Αποστάσεις των χαρακτηριστικών dx από τις πρότυπες υπογραφές για ένα πρόσωπο και το όριο να παίρνει την ιδανική τιμή, για το πρωτόκολλο της τυχαίας πλαστογράφησης.	23
Σχήμα 4.5.2:	Αποστάσεις των χαρακτηριστικών dy από τις πρότυπες υπογραφές για ένα πρόσωπο και το όριο να παίρνει την ιδανική τιμή, για το πρωτόκολλο της τυχαίας πλαστογράφησης.	23
Σχήμα 4.6:	Αποστάσεις του συνδυασμού των χαρακτηριστικών dx, dy από τις πρότυπες υπογραφές για ένα πρόσωπο και το όριο να παίρνει την ιδανική τιμή, για το πρωτόκολλο της ειδικευμένης πλαστογράφησης.	25
Σχήμα 4.7:	Αποστάσεις του συνδυασμού των χαρακτηριστικών dx, dy από τις πρότυπες υπογραφές για ένα πρόσωπο και το όριο να παίρνει την ιδανική τιμή, για το πρωτόκολλο της τυχαίας πλαστογράφησης.	25
Σχήμα 4.8:	Αποστάσεις του συνδυασμού των χαρακτηριστικών dx, dy, t από τις	26

	πρότυπες υπογραφές για ένα πρόσωπο και το όριο να παίρνει την ιδανική τιμή και για τα δύο πρωτόκολλα.	
Σχήμα 4.9:	Αποστάσεις των χαρακτηριστικών dx από τις πρότυπες υπογραφές, 3 προσώπων και το global threshold, για το πρωτόκολλο της ειδικευμένης πλαστογράφησης.	27
Σχήμα 4.10:	Οι αποστάσεις, από τις πρότυπες, των χαρακτηριστικών dx για ένα πρόσωπο πριν και μετά την τροποποίηση του πίνακα των αποστάσεων.	28
Σχήμα 4.11:	Αποστάσεις των χαρακτηριστικών dx από τις πρότυπες υπογραφές, 3 προσώπων και το βελτιωμένο global threshold, για το πρωτόκολλο της ειδικευμένης πλαστογράφησης.	29
Σχήμα 4.12:	Αποστάσεις του χαρακτηριστικού dx από τις πρότυπες υπογραφές, για ένα πρόσωπο της βάσης δεδομένων σε σχέση με το global threshold (αριστερά) και το βελτιωμένο global threshold (δεξιά).	30
Σχήμα 4.13:	Αποστάσεις του συνδυασμού των χαρακτηριστικών dx , dy από τις πρότυπες υπογραφές, 3 προσώπων της βάσης σε σχέση με το global threshold (αριστερά) και με το βελτιωμένο global threshold (δεξιά), για το πρωτόκολλο της ειδικευμένης πλαστογράφησης.	30
Σχήμα 4.14:	Αποστάσεις του συνδυασμού των χαρακτηριστικών dx , dy από τις πρότυπες υπογραφές, 3 προσώπων της βάσης σε σχέση με το global threshold (αριστερά) και με το βελτιωμένο global threshold (δεξιά), για το πρωτόκολλο της τυχαίας πλαστογράφησης.	31
Σχήμα 4.15:	Αποστάσεις του συνδυασμού των χαρακτηριστικών dx , dy , t από τις πρότυπες υπογραφές, 3 προσώπων της βάσης σε σχέση με το global threshold (αριστερά) και με το βελτιωμένο global threshold (δεξιά), για το πρωτόκολλο της ειδικευμένης πλαστογράφησης.	31
Σχήμα 4.16:	Αποστάσεις του συνδυασμού των χαρακτηριστικών dx , dy , t από τις πρότυπες υπογραφές, 3 προσώπων της βάσης σε σχέση με το global threshold (αριστερά) και με το βελτιωμένο global threshold (δεξιά), για το πρωτόκολλο της τυχαίας πλαστογράφησης.	32

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1:	Interlink Electronics' s ePad-ink tablet	5
Εικόνα 3.1:	Ευθυγράμμιση δύο εξαρτημένων από τον χρόνο ακολουθιών. Τα ευθυγραμμισμένα σημεία υποδεικνύονται από τα βέλη.	8
Εικόνα 3.2:	Πίνακας κόστους των δύο ακολουθιών X (στον κάθετο άξονα) και Y (στον οριζόντιο άξονα).	9
Εικόνα 3.3:	Απεικόνιση του μονοπατιού δύο ακολουθιών της X με μήκος $N=9$ και της Y με μήκος $M=7$.	9
Εικόνα 3.4:	Πίνακας κόστους c (αριστερά). Ο συσσωρευμένος πίνακας κόστους D και το βέλτιστο οπτικό μονοπάτι p^* με την άσπρη γραμμή (δεξιά).	11

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να υλοποιήσουμε την πειραματική διάταξη επιβεβαίωσης online υπογραφής μέσω ενός προγράμματος εξομοίωσης, το οποίο θα δημιουργήσουμε στο προγραμματιστικό περιβάλλον της Matlab, το οποίο θα κάνει επιβεβαίωση online υπογραφής και θα δίνει τις τιμές του ποσοστού EER, τις οποίες και θα συγκρίνουμε με προγενέστερες έρευνες. Για τον σκοπό της εργασίας θα χρησιμοποιήσουμε τα δεδομένα από την βάση δεδομένων SUSIG και θα συγκρίνουμε τα χαρακτηριστικά των υπογραφών με το DTW (Dynamic Time Warping), που είναι ένα γνωστό μέτρο αποστάσεων.

Στο 1^ο κεφάλαιο, γίνεται μια μικρή αναφορά στα βιομετρικά χαρακτηριστικά, στην offline και στην επιβεβαίωση online υπογραφής, στα δυναμικά χαρακτηριστικά της υπογραφής, στα είδη πλαστογράφησης και στα ποσοστά FRR, FAR και EER.

Στο 2^ο κεφάλαιο, γίνεται εκτενής περιγραφή της βάσης δεδομένων SUSIG. Περιγράφεται ο τρόπος απόκτησης των δεδομένων, καθώς επίσης το «τυφλό» υποσύνολο και το «οπτικό» υποσύνολο της βάσης δεδομένων.

Στο 3^ο κεφάλαιο, περιγράφουμε το DTW, ένα γνωστό μέτρο απόστασης, το οποίο θα χρησιμοποιήσουμε για να βρούμε τις αποστάσεις των γνήσιων και των πλαστών υπογραφών από τις πρότυπες υπογραφές.

Στο 4^ο κεφάλαιο, περιγράφουμε την διαδικασία που ακολουθήσαμε και τον τρόπο με τον οποίο εργαστήκαμε, προκειμένου να κάνουμε επιβεβαίωση online υπογραφής. Αναλύουμε τα πρωτόκολλα της ειδικευμένης και της τυχαίας πλαστογράφησης τα οποία χρησιμοποιήσαμε, τον τρόπο με τον οποίο εξάγαμε τα χαρακτηριστικά που θα χρησιμοποιήσουμε κατά την πειραματική διαδικασία από την βάση δεδομένων των υπογραφών, την προεπεξεργασία που πραγματοποιήσαμε πριν την εξαγωγή των χαρακτηριστικών, τον υπολογισμό των αποστάσεων των σειρών χαρακτηριστικών των υπογραφών και την διαδικασία υπολογισμού του ποσοστού EER.

Στο 5^ο κεφάλαιο, αναλύουμε τα αποτελέσματα που πήραμε από το πρόγραμμα εξομοίωσης που υλοποιήσαμε. Επιπλέον, συγκρίνουμε τα αποτελέσματα μας με αποτελέσματα προηγούμενων μελετών.

Τέλος, στο 6^ο κεφάλαιο, παρουσιάζονται συνοπτικά τα συμπεράσματα της έρευνας και γίνονται προτάσεις για μελλοντική εργασία.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Βιομετρικά χαρακτηριστικά

Τα βιομετρικά χαρακτηριστικά είναι διακριτικά μετρήσιμα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται για την ταυτοποίηση προσώπων. Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

1. στα φυσικά χαρακτηριστικά, όπως είναι τα δακτυλικά αποτυπώματα, η ίριδα του ματιού και το DNA, και
2. στα χαρακτηριστικά που καθορίζονται από την συμπεριφορά του κάθε ατόμου, όπως είναι η υπογραφή, η φωνή και το βάδισμα [7].

Η πιστοποίηση προσώπων, με βιομετρικά χαρακτηριστικά, είναι μια τεχνική που αποκτά όλο και μεγαλύτερη δημοσιότητα ως αξιόπιστη και εύκολη εναλλακτική λύση, για την αναγνώριση και τον έλεγχο πρόσβασης. Πιστοποίηση με βιομετρικά χαρακτηριστικά συναντάμε σε συστήματα ασφαλείας που χρησιμοποιούνται για παράδειγμα σε τράπεζες ή σε συναλλαγές με πιστωτική κάρτα. Η υπογραφή κάποιου δεν είναι τόσο δύσκολο να πλαστογραφηθεί όσο η ίριδα ή τα δακτυλικά αποτυπώματα και παρόλο που η υπογραφή είναι ευρέως χρησιμοποιούμενη πρέπει να χρησιμοποιείται σε συγκεκριμένες εφαρμογές, όπου απαιτείται χαμηλή ασφάλεια [1],[2].

1.2 Συστήματα επαλήθευσης/επιβεβαίωσης με βάση την υπογραφή

Η πιστοποίηση με βάση την υπογραφή χωρίζεται σε δύο κατηγορίες (online και offline), ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της υπογραφής που χρησιμοποιούμε. Στην επιβεβαίωση offline υπογραφής, παίρνουμε σαν δεδομένο την εικόνα της υπογραφής. Στην επιβεβαίωση online υπογραφής, οι υπογραφές συλλέγονται, είτε με ευαίσθητα στην πίεση tablet είτε με smart pens, τα οποία μπορούν να μας δώσουν και δυναμικά χαρακτηριστικά της υπογραφής εκτός από το σχήμα της [1].

Υπάρχει μια πληθώρα από δυναμικά χαρακτηριστικά υπογραφής. Τέτοια χαρακτηριστικά είναι:

1. η x συντεταγμένη, δηλαδή η θέση του στυλό στον άξονα των x του tablet
2. η y συντεταγμένη, δηλαδή η θέση του στυλό στον άξονα των y του tablet
3. η τιμή του χρόνου t
4. το αζιμούθιο
5. το ύψος

6. το επίπεδο της πίεσης που ασκεί η μύτη του στυλό [5].

Τα δυναμικά χαρακτηριστικά της κάθε υπογραφής είναι πιο δύσκολο να πλαστογραφηθούν, με αποτέλεσμα η επιβεβαίωση online υπογραφής να είναι πιο αξιόπιστη, συγκριτικά με την επιβεβαίωση offline υπογραφής.

Συστήματα με επιβεβαίωση online υπογραφής χρησιμοποιούνται σε διάφορους τομείς όπως είναι η προστασία προσωπικών συσκευών (για παράδειγμα laptop), ο έλεγχος πρόσβασης στους υπολογιστές σε ευαίσθητα δεδομένα και προγράμματα και η ταυτοποίηση και ο έλεγχος εισόδου σε κτήρια (για παράδειγμα στις τράπεζες) [1].

1.3 Μέτρα αξιολόγησης συστήματος επιβεβαίωσης υπογραφής: FRR, FAR, EER

Κατά την αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος επιβεβαίωσης της γνησιότητας μιας υπογραφής με online ηλεκτρονικό σύστημα επαλήθευσης υπάρχουν δύο σημαντικοί παράγοντες: το ποσοστό εσφαλμένης απόρριψης των γνήσιων υπογραφών ή FRR (false rejection rate) και το ποσοστό εσφαλμένης αποδοχής των πλαστών υπογραφών ή FAR (false acceptance rate). Αυτά τα δύο μεγέθη είναι αντιστρόφως ανάλογα. Καθώς μεταβάλλουμε τις παραμέτρους του συστήματος επιβεβαίωσης (π.χ. κατώφλι γνησιότητας/πλαστογράφησης), η τιμή ισότητας των FAR και FRR ονομάζεται EER (equal error rate) [2].

1.4 Είδη πλαστογράφησης υπογραφών

Η πλαστογράφηση υπογραφών χωρίζεται σε δύο κατηγορίες:

1. στην ειδικευμένη πλαστογράφηση, στην οποία ο πλαστογράφος έχει πρόσβαση στις γνήσιες υπογραφές του προσώπου που πλαστογραφεί και έχει την δυνατότητα να εξασκηθεί πάνω σε αυτές, και
2. στην τυχαία πλαστογράφηση, στην οποία ο πλαστογράφος δεν έχει καμία πληροφορία για το πρόσωπο που πλαστογραφεί [1].

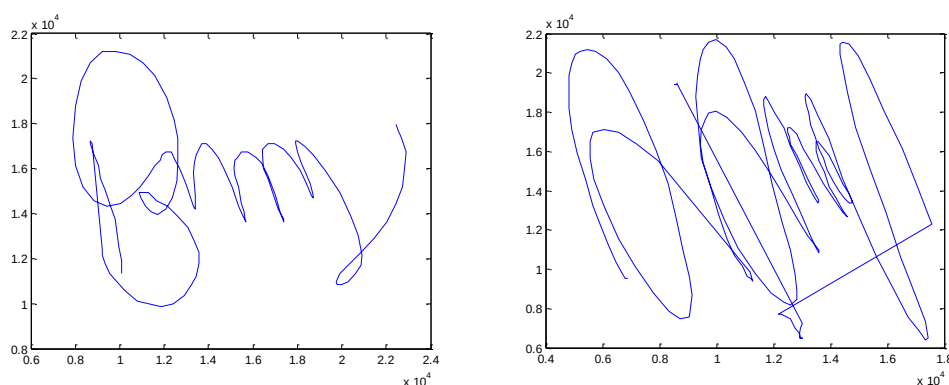
1.5 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να υλοποιήσουμε την πειραματική διάταξη επιβεβαίωσης online υπογραφής μέσω ενός προγράμματος εξομοίωσης και να υπολογίσουμε τις τιμές του ποσοστού EER, τις οποίες και να συγκρίνουμε με προγενέστερες έρευνες. Για τον σκοπό της εργασίας θα χρησιμοποιήσουμε τα δεδομένα από την βάση δεδομένων υπογραφών SUSIG και θα συγκρίνουμε τα εξαγόμενα χαρακτηριστικά των υπογραφών με το DTW (Dynamic Time Warping), που είναι ένα γνωστό μέτρο αποστάσεων.

SUSIG DATABASE

Για τον σκοπό της εργασίας μας θα χρησιμοποιήσουμε την βάση δεδομένων υπογραφών της SUSIG, η οποία δημιουργήθηκε από τους Alisher Kholmatov και Berrin Yanikoglu. Δημιουργήθηκε με σκοπό την αντιμετώπιση των ελλείψεων των προηγούμενων βάσεων δεδομένων και την παροχή ενός κοινού σημείου αναφοράς στις βάσεις δεδομένων, ώστε να εξυπηρετήσει την ερευνητική κοινότητα. Στην συνέχεια θα περιγράψουμε λεπτομερώς την βάση δεδομένων .

Η βάση δεδομένων της SUSIG [1], αποτελείται από δύο επιμέρους υποσύνολα. Το πρώτο υποσύνολο έχει συλλεχθεί με την βοήθεια ενός ευαίσθητου στην πίεση tablet που έχει ενσωματωμένη μια οθόνη LCD. Η οθόνη δίνει την δυνατότητα στο πρόσωπο που υπογράφει να βλέπει την υπογραφή του. Για τον λόγο αυτό, το υποσύνολο αυτό ονομάζεται «οπτικό» υποσύνολο. Στο σχήμα 2,1, φαίνονται δύο υπογραφές που ανήκουν στο «οπτικό» υποσύνολο.



Σχήμα 2.1: Υπογραφές δύο προσώπων από την βάση δεδομένων της SUSIG.

Αντίθετα στο άλλο υποσύνολο, τα πρόσωπα που υπογράφουν, δεν έχουν την δυνατότητα να δουν την υπογραφή τους, εξ ου και «τυφλό» υποσύνολο. Το «τυφλό» υποσύνολο έχει συλλεχθεί 4 χρόνια πριν το «οπτικό» υποσύνολο με αποτέλεσμα οι άνθρωποι που έχουν δώσει τις υπογραφές τους στα δύο υποσύνολα να είναι διαφορετικοί αλλά με παρόμοια πολυπλοκότητα στις υπογραφές.

Τα πρόσωπα που έχουν δώσει τις υπογραφές τους στην βάση δεδομένων, υπέγραψαν με τις πραγματικές τους υπογραφές, οι οποίες μπορεί να ήταν καμία φορά ολόκληρα ονόματα ή και συντομογραφίες αυτών, στο λατινικό αλφάβητο πάντα.

2.1 Απόκτηση υπογραφών

Για την απόκτηση των υπογραφών σε μία online βάση δεδομένων, υπάρχουν δύο υλικά διαθέσιμα στην αγορά, που χρησιμοποιούνται: 1) τα «έξυπνα στυλό» (smart pens) και 2)

τα tablet που είναι ευαίσθητα στην πίεση (pressure-sensitive tablets). Τα smart pens, λειτουργούν ως εξής: ενώ το στυλό κινείται, ένας αισθητήρας δύναμης, ο οποίος είναι τοποθετημένος στην μύτη του στυλό, διαισθάνεται την κίνηση και καταγράφει την τροχιά της υπογραφής. Αντίθετα, τα pressure-sensitive tablets έχουν την δυνατότητα να αντιλαμβάνονται την πίεση που ασκείται πάνω τους από το στυλό. Τα pressure-sensitive tablets διαιρούνται με την σειρά τους σε δύο υποκατηγορίες: σε αυτά στα οποία έχουμε οπτική ανατροφοδότηση μέσω μιας οθόνης LCD ενσωματωμένης στο tablet και αυτά χωρίς οπτική ανατροφοδότηση. Τα tablets χωρίς οπτική ανατροφοδότηση είναι πιο οικονομικά, ενώ τα tablets με οπτική ανατροφοδότηση είναι πιο χρηστικά, γιατί δίνουν την δυνατότητα σε αυτόν που υπογράφει να βλέπει την υπογραφή του.

Τα συστήματα online «καταγραφής» υπογραφής καταγράφουν διάφορα χαρακτηριστικά σε κάθε σημείο της τροχιάς της υπογραφής, τα οποία είναι ανάλογα με το υλικό που χρησιμοποιούμε κάθε φορά. Τέτοια χαρακτηριστικά είναι: 1) οι x και y συντεταγμένες της μύτης του στυλό, 2) η πίεση που ασκείται από την μύτη του στυλό, 3) ο στιγμιαίος χρόνος, 4) το αζιμούθιο του στυλό (0-360 μοίρες) και 5) το ύψος του στυλό (0-90 μοίρες) συναρτήσει της επιφάνειας που υπογράφουμε. Από τα παραπάνω χαρακτηριστικά έχουμε την δυνατότητα να εξάγουμε, πληθώρα άλλων χαρακτηριστικών (όπως ταχύτητα, επιτάχυνση κτλ) μέσω προγραμματιστικών συστημάτων, τα οποία απαιτούνται για τους αλγορίθμους.

Για την συλλογή του «τυφλού» υποσυνόλου έχει χρησιμοποιηθεί το Wacom's Graphire2 pressure-sensitive tablet και στυλό. Το tablet έχει διαστάσεις 5,02 x 3,65 in με 1000 γραμμές για κάθε ίντσα ανάλυση. Το tablet έχει συχνότητα δειγματοληψίας 100Hz και για κάθε σημείο της τροχιάς της υπογραφής παίρνει δεδομένα για τις x και y συντεταγμένες, το επίπεδο της πίεσης (512 levels) και τον στιγμιαίο χρόνο. Το στυλό Wacom's καταγράφει δεδομένα μόνο όταν η μύτη του στυλό βρίσκεται σε επαφή με το tablet (οι χρονικές στιγμές κατά τις οποίες η μύτη του στυλό και το tablet δεν αλληλεπιδρούν μπορούν εύκολα να εντοπιστούν από την διαφορά των χρόνων).

Για την συλλογή του «οπτικού» υποσυνόλου, έχει χρησιμοποιηθεί Interlink Electronics's ePad-ink tablet το οποίο έχει μία ευαίσθητη στην πίεση LCD οθόνη. Η LCD οθόνη έχει διαστάσεις 3 x 2,20 in με 300 dpi ανάλυση. Το tablet έχει συχνότητα δειγματοληψίας 100 Hz και για κάθε σημείο της τροχιάς της υπογραφής παίρνει δεδομένα για τις x και y συντεταγμένες, το επίπεδο της πίεσης (128 levels) και τον στιγμιαίο χρόνο.

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν για κάθε σημείο, δηλαδή οι x και y συντεταγμένες, ο χρόνος και το επίπεδο της πίεσης σε κάθε σημείο στην τροχιά της υπογραφής, έχουν αποθηκευτεί ως αρχείο κειμένου.

2.2 Εργαλείο αναπαράστασης υπογραφής

Και για τα δύο υποσύνολα («οπτικό» και «τυφλό») έχουν συλλεχθεί πλαστογραφημένες υπογραφές. Για την συλλογή τους χρησιμοποιήθηκε επιπροσθέτως ένα μοντέλο προσομοίωσης, το οποίο ζωντανεύει την διαδικασία της δοθείσας υπογραφής στην οθόνη, με σκοπό να παρέχει την δυνατότητα στους πλαστογράφους να δουν την τροχιά και την ταχύτητα της υπογραφής. Το μοντέλο προσομοίωσης δίνει στους πλαστογράφους

πολύτιμες πληροφορίες σε περίπτωση σύνθετων υπογραφών, όπου δεν είναι προφανής η τροχιά της υπογραφή από την εικόνα της.

Για το «οπτικό» υποσύνολο έχουν επίσης συλλεχθεί πλαστογραφημένες υπογραφές καλύτερης απομίμησης. Για την συλλογή τους έγινε αναπαράσταση της υπογραφής, στην LCD οθόνη η οποία είναι ενσωματωμένη στο tablet και δόθηκε η δυνατότητα στους πλαστογράφους να εξασκηθούν πάνω στο ίχνος της πρότυπης υπογραφής και να την παραχαράξουν. Σκοπός ήταν να αυξήσουν όσο το δυνατόν την ποιότητα της πλαστογράφησης.



Εικόνα 2.1 Η αναπαράσταση της υπογραφής έγινε στην LCD οθόνη που είναι ενσωματωμένη στο tablet.

2.3 Το «οπτικό» υποσύνολο

Το «οπτικό» υποσύνολο αποτελείται από υπογραφές που έδωσε ένα σύνολο 100 ανθρώπων (29 γυναίκες και 71 άντρες). Οι περισσότεροι από αυτούς ήταν μαθητές ή μέλη της σχολής, του πανεπιστημίου Sabanci, με ηλικίες από 21 ως 52 χρόνων. Κάθε άτομο είχε μία σύντομη πληροφόρηση γύρω από τον σκοπό της συλλογής των δεδομένων, χωρίς περαιτέρω λεπτομέρειες για την εργασία.

Οι υπογραφές για το «οπτικό» υποσύνολο έχουν συλλεχθεί σε δύο ξεχωριστές περιόδους (VS1 και VS2), με διαφορά χρόνου περίπου μίας εβδομάδας. Έχουμε ένα σύνολο των 20 γνήσιων υπογραφών για κάθε πρόσωπο που είναι δείγματα της τακτικής υπογραφής του και τα οποία πάρθηκαν χωρίς κανένα περιορισμό ως προς τον τρόπο υπογραφής. Τα 10 πρώτα δείγματα πάρθηκαν την πρώτη χρονική περίοδο και τα υπόλοιπα την δεύτερη περίοδο. Στην συνέχεια σε κάθε πρόσωπο από το σύνολο ζητήθηκε να πλαστογραφήσει μια τυχαία επιλεγμένη υπογραφή, πλην όμως της δικιάς του. Προκειμένου να βελτιωθούν με την πάροδο του χρόνου, στους πλαστογράφους δειχνόταν πάντα η πρώτη γνήσια υπογραφή από την πρώτη περίοδο (VS1) του επιλεγμένου προσώπου. Οι πλαστογράφοι είχαν την δυνατότητα να δουν την αναπαράσταση της γνήσιας υπογραφής στην οθόνη όσες φορές χρειαζόταν και να εξασκηθούν πάνω σε αυτήν. Οι πλαστογράφοι είχαν επίσης την δυνατότητα να δουν και την αναπαράσταση και άλλων γνήσιων υπογραφών του ιδίου προσώπου για να δουν που κυμαίνονται οι υπογραφές του, όμως αυτήν την δυνατότητα χρησιμοποίησαν μερικοί μόνο από τους πλαστογράφους. Όταν πια ήταν ικανοποιημένοι από το επίπεδο της πλαστογράφησης τους, τότε παρείχαν 5 πλαστές υπογραφές της υπογραφής που τους είχε ζητηθεί να πλαστογραφήσουν. Επομένως έχουμε, στο «οπτικό» υποσύνολο, ένα σύνολο από πλαστογραφημένες υπογραφές, 5 για κάθε πρόσωπο του συνόλου.

Στην συνέχεια συλλέχθηκαν, για κάθε πρόσωπο του συνόλου, 5 πλαστογραφημένες υπογραφές καλύτερης απομίμησης, οι οποίες δόθηκαν όλες από τα δύο ίδια πρόσωπα τους Alisher Kholmatov και Berrin Yanikoglu. Οι πλαστογράφοι των υπογραφών καλύτερης απομίμησης, έβλεπαν την αναπαράσταση των υπογραφών στην οθόνη και επιπλέον πάνω στην LCD οθόνη, που είναι ενσωματωμένη στο δισκίο, έχοντας έτσι την δυνατότητα να εξασκηθούν πάνω στην πρότυπη υπογραφή. Επίσης, οι πλαστογράφοι είχαν πληροφορίες για το πόσο αποκλίνουν οι υπογραφές τους από τις πρότυπες υπογραφές για να το χρησιμοποιήσουν σαν σημείο αναφοράς, με σκοπό να βελτιώσουν το επίπεδο της πλαστογράφησης τους. Τέλος όσες υπογραφές είχαν φανερά μεγάλη απόκλιση από τις άλλες απορρίπτονταν.

Συνοψίζοντας, το «οπτικό» υποσύνολο αποτελείται από 20 (10 και 10 υπογραφές συλλεγμένες σε 2 χρονικές περιόδους) γνήσιες υπογραφές και 10 πλαστές (5 απλά πλαστογραφημένες και 5 πλαστογραφημένες με καλύτερη απομίμηση) υπογραφές για κάθε πρόσωπο, από το σύνολο των 100 προσώπων, που αποτελούν τα αντίστοιχα σύνολα VS1, VS2, VSF και VSHF. Το «οπτικό» υποσύνολο είναι αυτό που θα χρησιμοποιήσουμε και εμείς στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

Επιπλέον έχουμε και ένα σύνολο που χρησιμοποιείται για να ρυθμίσει τις παραμέτρους του συστήματος. Το σύνολο επικύρωσης αποτελείται από 10 γνήσιες και 10 πλαστές υπογραφές για κάθε άτομο, από ένα σύνολο 10 προσώπων και συλλέχθηκαν σε μία περίοδο.

2.4 Το «τυφλό» υποσύνολο

Το «τυφλό» υποσύνολο είναι προγενέστερο του «οπτικού» κατά 4 περίπου χρόνια και πήρε το όνομα του, όπως αναφέραμε και πριν, από το γεγονός ότι το tablet που χρησιμοποιήθηκε για την συλλογή των υπογραφών δεν είχε την δυνατότητα οπτικής ανατροφοδότησης. Το «τυφλό» υποσύνολο αποτελείται από υπογραφές που δώρισαν 100 πρόσωπα (25 γυναίκες και 65 άντρες) οι περισσότεροι από αυτούς ήταν μαθητές ή μέλη ΔΕΠ στο πανεπιστήμιο Sabanci, με ηλικίες από 20 έως 50 χρόνων. Κάθε άτομο είχε μία σύντομη πληροφόρηση γύρω από τον σκοπό της συλλογής των δεδομένων, χωρίς περαιτέρω λεπτομέρειες για την εργασία.

Για την συλλογή των υπογραφών χρησιμοποιήθηκε ένα pressure-sensitive tablet. Κάθε πρόσωπο έδωσε δείγματα των τακτικών υπογραφών του χωρίς κανένα περιορισμό ως προς τον τρόπο υπογραφής. Τα πρώτα 30 άτομα παραχώρησαν ο καθένας από 8 γνήσιες υπογραφές και οι υπόλοιποι 70 από 10 γνήσιες υπογραφές ο καθένας. Όλες οι γνήσιες υπογραφές συλλέχθηκαν σε μία περίοδο.

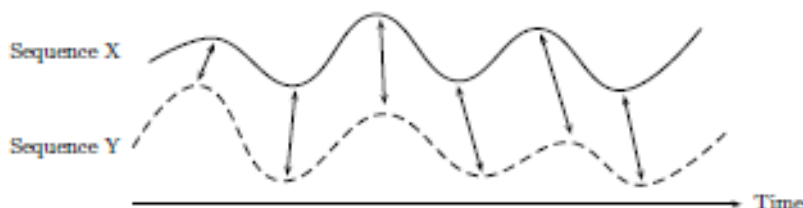
Στην συνέχεια σε κάθε πρόσωπο ζητήθηκε να πλαστογραφήσει μία τυχαία επιλεγμένη υπογραφή από το σύνολο (πλην της δικιάς του). Οι πλαστογράφοι μπορούσαν να παρακολουθήσουν την αναπαράσταση της γνήσιας υπογραφής αρκετές φορές πριν την πλαστογραφήσουν και να εξασκηθούν μία δύο φορές σε αυτήν. Όταν ήταν ικανοποιημένοι από το επίπεδο των δεξιοτήτων τους, παρείχαν στην βάση 10 πλαστές υπογραφές. Επομένως, έχουμε ένα σύνολο (BSF), που αποτελείται από 10 πλαστές υπογραφές για κάθε πρόσωπο του υποσυνόλου.

Συνοψίζοντας, το «τυφλό» υποσύνολο αποτελείται από 8 ή 10 γνήσιες υπογραφές και 10 πλαστές υπογραφές για κάθε πρόσωπο (που είναι τα αντίστοιχα τα σύνολα BS1 και BSF). Επιπλέον έχουμε και ένα σύνολο που χρησιμοποιείται για να ρυθμίσει τις παραμέτρους του συστήματος. Το σύνολο επικύρωσης αποτελείται από 10 γνήσιες και 10 πλαστές υπογραφές για κάθε άτομο, από ένα σύνολο 10 προσώπων και συλλέχθηκε σε μία περίοδο.

ΜΕΤΡΟ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΣΤΡΕΒΛΩΣΗΣ DYNAMIC TIME WARPING

Το DTW (Dynamic time warping) [3] είναι ένα μέτρο ελαστικής απόστασης, μία τεχνική που χρησιμοποιείται για να βρίσκουμε την βέλτιστη συσχέτιση μεταξύ 2 δοθέντων ακολουθιών κάτω από συγκεκριμένους περιορισμούς. Διαισθητικά, οι ακολουθίες είναι στρεβλωμένες με ένα μη γραμμικό τρόπο για να αντιστοιχεί η μια με την άλλη. Το DTW έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλούς τομείς, όπως η αυτόματη αναγνώριση ομιλίας. Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζουμε και συζητάμε για τις γενικές ιδέες του κλασσικού DTW.

Ο στόχος του DTW είναι η σύγκριση δύο εξαρτημένων από τον χρόνο συναρτήσεων $X := (x_1, x_2, \dots, x_N)$ μήκους $N \in \mathbb{N}$ και $Y := (y_1, y_2, \dots, y_M)$ μήκους $M \in \mathbb{N}$. Αυτές οι ακολουθίες μπορούν να είναι, γενικότερα, ακολουθίες χαρακτηριστικών με δειγματοληψία σε ίσες χρονικές στιγμές.



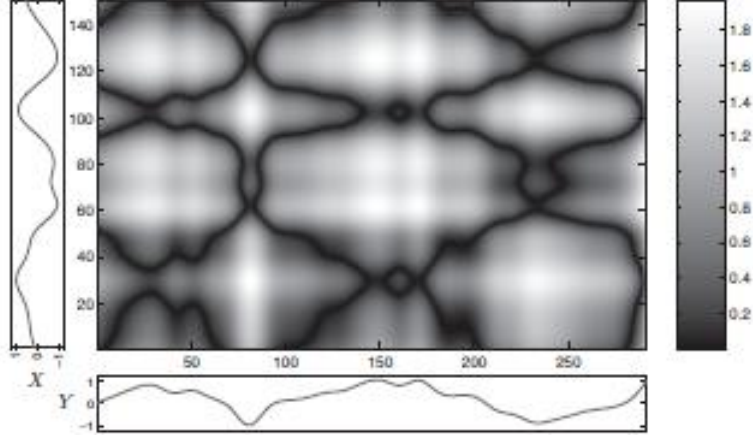
Εικόνα 3.1: Ευθυγράμμιση δύο εξαρτημένων από τον χρόνο ακολουθιών. Τα ευθυγραμμισμένα σημεία υποδεικνύονται από τα βέλη.

Στη συνέχεια, θα καθορίσουμε τον χώρο των χαρακτηριστικών και θα τον συμβολίσουμε $\mathcal{F}$. Έστω $x_n, y_m \in \mathcal{F}$ για $n \in [1:N]$ και $m \in [1:M]$. Για να συγκρίνουμε δύο διαφορετικά χαρακτηριστικά $x, y \in \mathcal{F}$, χρειάζεται ένα τοπικό μέτρο κόστους, μερικές φορές αναφέρεται και σαν τοπικό μέτρο απόστασης, το οποίο ορίζεται να είναι μία συνάρτηση

$$c : \mathcal{F} \times \mathcal{F} \rightarrow \mathbb{R} \geq 0 \quad (3.1)$$

Συνήθως, το $c(x, y)$ είναι μικρό (χαμηλό κόστος), αν τα x και y είναι παρόμοια μεταξύ τους, διαφορετικά το $c(x, y)$ είναι μεγάλο (μεγάλο κόστος). Με αξιολόγηση του τοπικού μέτρου κόστους για κάθε ζεύγος στοιχείων των ακολουθιών X και Y , προκύπτει ο πίνακας κόστους $C \in \mathbb{R}^{N \times M}$ που ορίζεται με την $C(n, m) := c(x_n, y_m)$. Ο στόχος είναι να βρεθεί μια συσχέτιση μεταξύ των X και Y που να έχει το ελάχιστο συνολικό κόστος. Όπως εύκολα μπορεί να παρατηρηθεί, αυτή η βέλτιστη συσχέτιση «τρέχει» κατά μήκος μιας γραμμής

χαμηλού κόστους στο πλαίσιο του πίνακα κόστους C. Στη συνέχεια ορίζεται η έννοια της συσχέτισης.



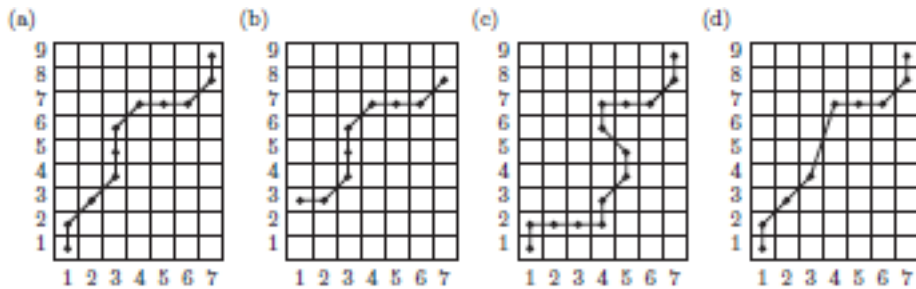
Εικόνα 3.2: Πίνακας κόστους των δύο ακολουθιών X (στον κάθετο άξονα) και Y (στον οριζόντιο άξονα).

Στην εικόνα 3.2 βλέπουμε τον πίνακα κόστους δύο ακολουθιών: της X στον κάθετο άξονα και της Y στον οριζόντιο άξονα. Οι περιοχές με χαμηλό κόστος φαίνονται με σκούρα χρώματα, ενώ οι περιοχές με υψηλό κόστος υποδεικνύονται με φωτεινά χρώματα.

Ένα (N, M) μονοπάτι στρέβλωσης είναι μια ακολουθία $p = (p_1, \dots, p_L)$ με $p_l = (n_l, m_l) \in [1:N] \times [1:M]$ για $l \in [1:L]$ που ικανοποιεί τις εξής τρεις προϋποθέσεις:

- (i) οριακή συνθήκη: $p_1 = (1, 1)$ και $p_L = (N, M)$.
- (ii) συνθήκη μονοτονίας: $n_1 \leq n_2 \leq \dots \leq n_L$ και $m_1 \leq m_2 \leq \dots \leq m_L$.
- (iii) συνθήκη μεγέθους βήματος: $p_{l+1} - p_l \in \{(1, 0), (0, 1), (1, 1)\}$ για $l \in [1 : L - 1]$

Σημειώνουμε ότι η συνθήκη (iii) συνεπάγεται την συνθήκη μονοτονίας (ii), η οποία έχει ωστόσο αναφερθεί ρητά για λόγους σαφήνειας. Ένα (N, M) μονοπάτι στρέβλωσης $p = (p_1, \dots, p_L)$ καθορίζει μια συσχέτιση μεταξύ των δύο ακολουθιών $X = (x_1, x_2, \dots, x_N)$ και $Y = (y_1, y_2, \dots, y_M)$ με τη χρήση του x_{n_l} στοιχείου της ακολουθίας X και του y_{m_l} στοιχείου της ακολουθίας Y. Η οριακή συνθήκη επιβάλλει ότι τα πρώτα στοιχεία του X και Y καθώς και τα τελευταία στοιχεία του X και Y είναι συσχετισμένα μεταξύ τους. Η συνθήκη μονοτονίας υπαγορεύει ότι αν ένα στοιχείο της ακολουθίας X προηγείται ενός δεύτερου αυτό θα πρέπει επίσης να συμβαίνει για τα αντίστοιχα στοιχεία στην ακολουθία Y, και το αντίστροφο. Τέλος, η συνθήκη μεγέθους του βήματος εκφράζει ένα είδος συνθήκης συνέχειας: δεν υπάρχει στοιχείο στις ακολουθίες X και Y που να μπορεί να παραλειφθεί και δεν υπάρχουν επαναλήψεις όσον αφορά την συσχέτιση.



Εικόνα 3.3: Απεικόνιση του μονοπατιού δύο ακολουθιών της X με μήκος $N=9$ και της Y με μήκος $M=7$.

Η εικόνα 3.3, είναι απεικόνιση του μονοπατιού δύο ακολουθιών της X με μήκος $N=9$ και της Y με μήκος $M=7$. Στην (a) η διαδρομή είναι αποδεκτή καθώς τηρεί και τις 3 προϋποθέσεις. Στην (b) παραβιάζεται η οριακή συνθήκη (i), στην (c) παραβιάζεται η συνθήκη μονοτονίας (ii) και στην (d) παραβιάζεται η συνθήκη μεγέθους βήματος (iii).

Το συνολικό κόστος $c_p(X, Y)$ από ένα μονοπάτι στρέβλωσης p ανάμεσα στις X και Y σε σχέση με το τοπικό μέτρο κόστους c ορίζεται ως:

$$c_p(X, Y) := \sum_{l=i}^L c(x_{nl}, y_{ml}). \quad (3.2)$$

Επιπλέον, το βέλτιστο μονοπάτι στρέβλωσης μεταξύ των X και Y είναι ένα μονοπάτι στρέβλωσης p^* έχοντας ελάχιστο συνολικό κόστος μεταξύ όλων των δυνατών διαδρομών στρέβλωσης. Η DTW απόσταση $DTW(X, Y)$ μεταξύ των X και Y ορίζεται τότε ως το συνολικό κόστος της p^* :

$$DTW(X, Y) := c_{p^*}(X, Y) \quad (3.3)$$

$$= \min\{c_p(X, Y), \text{όπου } p \text{ είναι ένα } (N, M) \text{ μονοπάτι στρέβλωσης}\}$$

Συνεχίζουμε με μερικές παρατηρήσεις σχετικά με την απόσταση DTW. Πρώτον, σημειώνουμε ότι η απόσταση DTW είναι σαφώς καθορισμένη, ακόμη και αν μπορεί να υπάρχουν αρκετά μονοπάτια στρέβλωσης με ελάχιστο συνολικό κόστος. Δεύτερον, είναι εύκολο να δούμε ότι η απόσταση DTW είναι συμμετρική σε περίπτωση που το τοπικό μέτρο κόστος C είναι συμμετρικό. Ωστόσο, η απόσταση DTW σε γενικές γραμμές δεν είναι θετικά ορισμένη ακόμα και αν αυτό ισχύει για το C . Για παράδειγμα, μπορεί να έχουμε $DTW(X, Y)=0$ για τις ακολουθίες $X := (x_1, x_2)$ και $Y := (x_1, x_1, x_2, x_2, x_2)$ σε περίπτωση όπου $c(x_1, x_1) = c(x_2, x_2) = 0$. Επιπλέον, η απόσταση DTW γενικά δεν ικανοποιεί την τριγωνική ανισότητα, ακόμη και στην περίπτωση που το C είναι ένα μέγεθος.

Για να προσδιοριστεί το βέλτιστο μονοπάτι p^* , εισάγεται ένας $O(N \cdot M)$ αλγόριθμος που βασίζεται σε δυναμικό προγραμματισμό. Για το σκοπό αυτό, έχουμε καθορίσει τις προηγούμενες ακολουθίες $X(1:n) := (x_1, \dots, x_n)$ για $n \in [1:N]$ και $Y(1:m) := (y_1, \dots, y_m)$ για $m \in [1:M]$ και

$$D(n, m) := DTW(X(1:n), Y(1:m)). \quad (3.4)$$

Οι τιμές $D(n, m)$ ορίζουν ένα $N \times M$ πίνακα D , ο οποίος επίσης αναφέρεται ως πίνακας συσσωρευμένου κόστους. Προφανώς, ισχύει $D(N, M) = DTW(X, Y)$. Στη συνέχεια, ένα ζεύγος (n, m) που αντιπροσωπεύει μια καταχωρημένη τιμή του πίνακα κόστους C ή μια τιμή του πίνακα συσσωρευμένου κόστους D θα αναφέρεται ως κελί. Το επόμενο θεώρημα δείχνει πώς ο D μπορεί να υπολογιστεί αποτελεσματικά.

Για τον υπολογισμό του πίνακα D , χρησιμοποιείται το ακόλουθο θεώρημα: Ο πίνακας συσσωρευμένου κόστους D πληροί τις ακόλουθες ταυτότητες:

$$D(n, 1) = \sum_{k=1}^n c(x_k, y_1) \text{ για } n \in [1:N] \quad (3.5)$$

$$D(1, m) = \sum_{k=1}^m c(x_1, y_k) \text{ για } m \in [1:M] \quad (3.6)$$

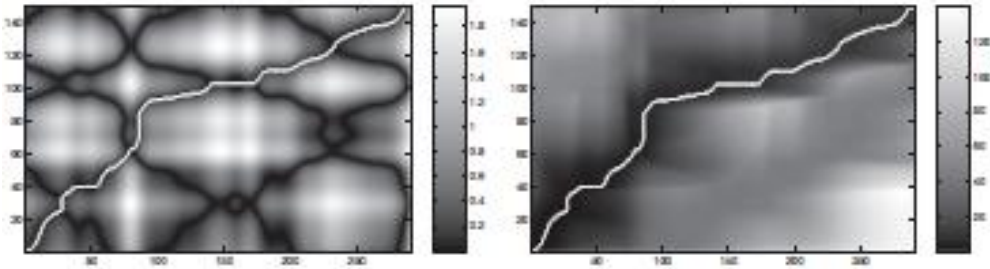
$$D(n, m) = \min\{D(n-1, m-1), D(n-1, m), D(n, m-1)\} + c(x_n, y_m) \quad (3.7)$$

Το θεώρημα διευκολύνει ένα αναδρομικό υπολογισμό του πίνακα D . Η αρχικοποίηση μπορεί να απλοποιηθεί με την επέκταση του πίνακα D με μια πρόσθετη σειρά και μία στήλη θέτοντας $D(n,0) := \infty$ για $n \in [1:N]$, $D(0,m) := \infty$ για $m \in [1:M]$, και $D(0,0) := 0$. Στη συνέχεια, η αναδρομή της (7) ισχύει για $n \in [1:N]$ και $m \in [1:M]$. Επιπλέον, σημειώνουμε ότι ο D μπορεί να υπολογιστεί σε μορφή στήλης, όπου ο υπολογισμός της στήλης m απαιτεί μόνο τις τιμές της $(m-1)$ στήλης. Αυτό σημαίνει ότι αν κάποιος ενδιαφέρεται μόνο για στην τιμή $DTW(X,Y) = D(N,M)$, η απαίτηση αποθήκευσης είναι $O(N)$. Ομοίως, μπορεί κανείς να προχωρήσει σε μια μορφή σειράς, που οδηγεί σε απαίτηση αποθήκευσης $O(M)$. Ωστόσο, σημειώνεται ότι ο χρόνος εκτέλεσης είναι $O(NM)$ σε αμφότερες τις περιπτώσεις. Επιπλέον, για να υπολογίσει ένα βέλτιστο μονοπάτι p^* , το σύνολο του πίνακα D είναι απαραίτητο. Στην συνέχεια περιγράφεται ο αλγόριθμος που υπολογίζει το βέλτιστο μονοπάτι στρέβλωσης.

Ο αλγόριθμος παίρνει σαν είσοδο τον συσσωρευμένο πίνακα κόστους D και περιμένουμε να μας βγάλει σαν έξοδο το βέλτιστο μονοπάτι στρέβλωσης p^* . Υπολογίζει το βέλτιστο μονοπάτι $p^* = (p_1, \dots, p_L)$ με την αντίστροφη σειρά των δεικτών αρχίζοντας με $p_L = (N,M)$. Υποθέτουμε ότι $p_l = (n,m)$ έχει υπολογιστεί. Στην περίπτωση που $(n,m) = (1,1)$, πρέπει να έχουμε $l = 1$ για να ολοκληρωθεί ο αλγόριθμος. Σε αντίθετη περίπτωση:

$$p_{l-1} := \begin{cases} (1, m-1), & \text{αν } n = 1 \\ (n-1, 1), & \text{αν } m = 1 \\ \arg\min \{D(n-1, m-1), D(n-1, m), D(n, m-1)\}, & \text{διαφορετικά} \end{cases} \quad (3.8)$$

όπου παίρνουμε το αλφαριθμητικά μικρότερο ζεύγος σε περίπτωση όπου το "argmin" δεν είναι μοναδικό.



Εικόνα 3.4: Πίνακας κόστους c (αριστερά). Ο συσσωρευμένος πίνακας κόστους D και το βέλτιστο οπτικό μονοπάτι p^* με την άσπρη γραμμή (δεξιά).

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στην τρέχουσα ενότητα θα περιγράψουμε την διαδικασία που ακολουθήσαμε και τον τρόπο με τον οποίο εργαστήκαμε, προκειμένου να υλοποιήσουμε μια πειραματική διαδικασία επιβεβαίωσης online υπογραφής. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήσαμε τα δεδομένα από το «οπτικό» υποσύνολο της βάσης δεδομένων της SUSIG, το οποίο και περιγράψαμε στην παράγραφο 2.3.

Κάθε φορά προκειμένου να κάνουμε επιβεβαίωση online υπογραφής μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε πληθώρα χαρακτηριστικών της υπογραφής. Εμείς αντλήσαμε από την βάση δεδομένων μας και θα χρησιμοποιήσουμε τις 3 συντεταγμένες κάθε υπογραφής, δηλαδή τις συντεταγμένες στον χώρο (x,y) και την τιμή του χρόνου (t) . Επιπλέον θα χρησιμοποιήσουμε ένα σύνολο χαρακτηριστικών που προκύπτουν από αυτά τα χαρακτηριστικά καθώς και συνδυασμό των χαρακτηριστικών αυτών της υπογραφής.

4.1 Πρωτόκολλα αναγνώρισης υπογραφών

Στην συγκεκριμένη εργασία έχουμε χρησιμοποιήσει δύο πρωτόκολλα που είναι βασισμένα στο «οπτικό» υποσύνολο της βάσης δεδομένων SUSIG [1].

Το πρώτο πρωτόκολλο έχει σαν σκοπό να αντιμετωπίσει την ειδικευμένη πλαστογράφιση, κατά την οποία κάποιο τρίτο πρόσωπο προσπαθεί να απομιμηθεί την υπογραφή του προσώπου που εξετάζουμε κάθε φορά. Το πρώτο πρωτόκολλο λειτουργεί ως εξής: χρησιμοποιεί τις 5 πρώτες υπογραφές του κάθε ατόμου από την πρώτη χρονική περίοδο σαν πρότυπες υπογραφές. Τις υπόλοιπες γνήσιες (δηλαδή τις υπόλοιπες 5 από την πρώτη περίοδο και όλες από την δεύτερη περίοδο) μαζί με τις πλαστές (ειδικευμένες και υψηλής ειδίκευσης) υπογραφές, για το συγκεκριμένο πρόσωπο, τις χρησιμοποιεί σαν test υπογραφές.

Το δεύτερο πρωτόκολλο έχει σαν σκοπό να αντιμετωπίσει την τυχαία πλαστογράφιση, δηλαδή την απόπειρα πλαστογράφησης από κάποιο πρόσωπο το οποίο δεν έχει καμία πληροφορία για την υπογραφή του ατόμου που πλαστογραφεί. Σε αυτό το πρωτόκολλο χρησιμοποιούμε, όπως και προηγουμένως, τις 5 πρώτες υπογραφές από την πρώτη περίοδο σαν πρότυπες υπογραφές και τις υπόλοιπες γνήσιες υπογραφές σαν test υπογραφές. Σαν test υπογραφή χρησιμοποιούμε επίσης, την πρώτη γνήσια υπογραφή από την πρώτη χρονική περίοδο για 10 τυχαία επιλεγμένα πρόσωπα από την βάση δεδομένων που να μην συμπίπτουν όμως με το πρόσωπο που εξετάζουμε κάθε φορά. Αυτό προκύπτει από την υπόθεση ότι κάποιος που δεν έχει καμία πληροφορία για την υπογραφή του προσώπου που θέλει να πλαστογραφήσει θα βάλει μία δική του γνήσια υπογραφή.

4.2 Ανάγνωση των δεδομένων της υπογραφής από την βάση δεδομένων

Τα δεδομένα των τριών χαρακτηριστικών που μας ενδιαφέρουν θα τα εξάγουμε από την βάση δεδομένων της SUSIG. Αυτό το επιτυγχάνουμε στο προγραμματιστικό περιβάλλον Matlab με την χρήση μιας συνάρτησης, η οποία ονομάζεται ReadSignature. Όταν καλούμε την παραπάνω συνάρτηση στο πρόγραμμα, της δίνουμε σαν όρισμα το όνομα του αρχείου, που έχει αποθηκευμένες τις πληροφορίες της υπογραφής, καθώς και έναν αριθμό 1 ή 0 αντίστοιχα αν θέλουμε να μας εμφανίσει την γραφική παράσταση της υπογραφής ή όχι.

Στην βάση δεδομένων της SUSIG, κάθε υπογραφή έχει αποθηκευτεί σαν αρχείο που περιέχει πληροφορίες για τις x και y συντεταγμένες, την τιμή του χρόνου και το επίπεδο της πίεσης (όπως αναφέραμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο). Όταν καλούμε την συνάρτηση ReadSignature, αυτή ανατρέχει στο αρχείο που της έχουμε δώσει σαν όρισμα και επιστρέφει σαν δεδομένα στο κυρίως πρόγραμμα με την μορφή πινάκων τις x και y συντεταγμένες, τον χρόνο t , το επίπεδο της πίεσης και έναν πίνακα, ο οποίος παίρνει τιμές 0 και 1 μόνο όταν μετά από το συγκεκριμένο σημείο της υπογραφής, η μύτη του στυλό του προσώπου που υπέγραφε δεν ήταν σε επαφή με το ευαίσθητο στην πίεση tablet, δηλαδή αν μεσολαβεί ανάμεσα σε αυτό και στο επόμενο σημείο της υπογραφής αυτό που ονομάζουμε νεκρός χρόνος. Ο νεκρός χρόνος μπορεί να υπολογιστεί από το πρόγραμμα από την διαφορά των χρόνων. Από τα παραπάνω δεδομένα εμάς μας ενδιαφέρουν μόνο οι συντεταγμένες x , y και η τιμή του χρόνου t και μόνο αυτές θα εξάγουμε από την βάση δεδομένων. Δεν θα ασχοληθούμε στην παρούσα εργασία με το επίπεδο της πίεσης, γιατί προηγούμενες έρευνες έχουν δείξει ότι δεν αποτελεί χρήσιμο χαρακτηριστικό στην διάκριση των πλαστών υπογραφών από τις γνήσιες.

Μετά την χρήση της συνάρτησης ReadSignature από το κυρίως πρόγραμμα θα έχουμε δημιουργήσει στο κύριο πρόγραμμα 3 πίνακες όπου ο κάθε πίνακας θα περιλαμβάνει τις συντεταγμένες x , y και την τιμή του χρόνου t για κάθε υπογραφή. Μπορούμε τώρα να τροποποιήσουμε κατάλληλα τα χαρακτηριστικά των υπογραφών μας, ώστε να εξάγουμε τα χαρακτηριστικά που θα χρησιμοποιήσουμε για να κάνουμε επιβεβαίωση των υπογραφών.

4.3 Προεπεξεργασία

Όταν επιχειρούμε να συγκρίνουμε δύο υπογραφές προκύπτουν κάποιες δυσκολίες οι οποίες οφείλονται στο ότι δεν υπάρχουν περιορισμοί:

- 1) ως προς το ποίο σημείο του ευαίσθητου στην πίεση tablet, όπου το κάθε άτομο θα αρχίσει να υπογράφει,
- 2) ως προς το μέγεθος το οποίο πρέπει να καταλαμβάνει η υπογραφή πάνω στο tablet και
- 3) ως προς την κλίση την οποία θα έχει η υπογραφή ως προς τον οριζόντιο άξονα.

Τα προβλήματα τα οποία προκύπτουν είναι τα εξής:

- 1) η υπογραφή του κάθε ατόμου δεν ξεκινάει απαραίτητα από την αρχή των αξόνων (translation problem),

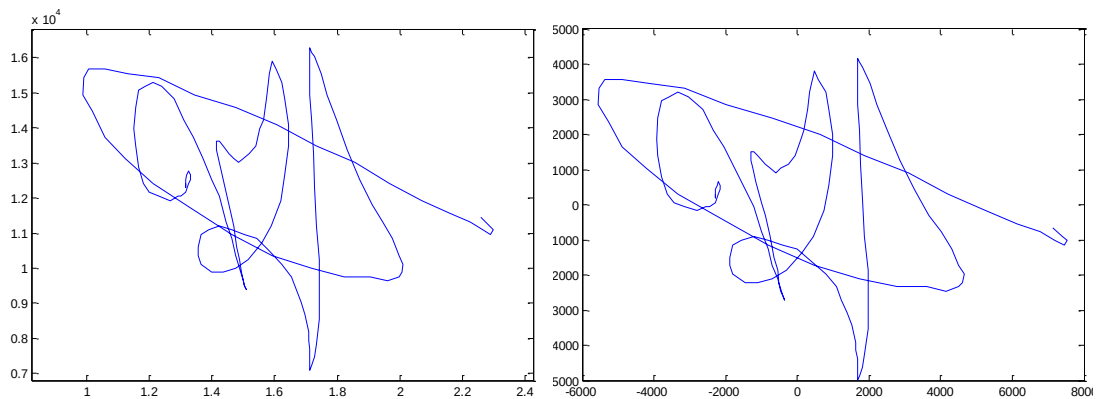
- 2) δύο γνήσιες υπογραφές του ίδιου ατόμου δεν θα έχουν το ίδιο μέγεθος, με αποτέλεσμα να μην έχουμε την ίδια βαθμονόμηση στους άξονες (scaling problem) και
- 3) η κλίση τους από τον οριζόντιο άξονα δεν θα είναι απαραίτητα η ίδια (rotation problem) [4].

4.3.1 Αντιμετώπιση του προβλήματος της μετατόπισης της υπογραφής στο επίπεδο

Αρχικά θα προσπαθήσουμε να αντιμετωπίσουμε το translation problem. Θα μετακινήσουμε τις υπογραφές ως προς τους άξονες x και y , με σκοπό να εκτείνονται συμμετρικά γύρω από την αρχή των αξόνων. Για να το πετύχουμε αυτό, υπολογίζουμε για κάθε πίνακα X και Y (όπου πίνακες X και Y είναι οι πίνακες με τις συντεταγμένες της κάθε υπογραφής στους x και y άξονες αντίστοιχα) την μέση τιμή του. Ύστερα, τροποποιούμε τους πίνακες X και Y αφαιρώντας από κάθε στοιχείο τους την μέση τιμή αυτών. Αυτό που περιγράψαμε πραγματοποιείται με τις παρακάτω σχέσεις:

$$X = X - \text{mean}(X)$$

$$Y = Y - \text{mean}(Y)$$



Σχήμα 4.1: Υπογραφή ενός προσώπου πριν και μετά την αντιμετώπιση του translation problem.

Στο σχήμα 4.1 παριστάνεται μία υπογραφή πριν και μετά την μετατόπιση αυτής ως προς τους άξονες (παρατηρούμε ότι η αρχή των αξόνων είναι στο κέντρο της υπογραφής).

4.3.2 Αντιμετώπιση του προβλήματος ποικίλων μεγεθών της υπογραφής

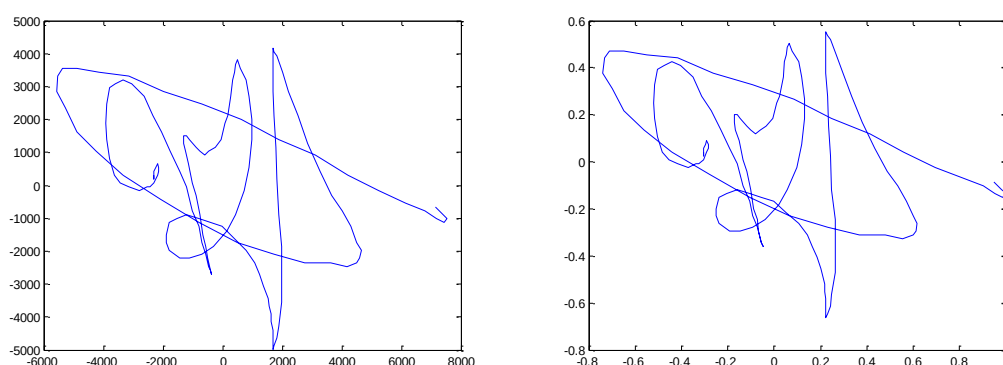
Προκειμένου να αντιμετωπίσουμε το πρόβλημα που προκύπτει από το διαφορετικό μέγεθος των υπογραφών (scaling problem) θα χρησιμοποιήσουμε τις εξής σχέσεις, που βασίζονται στην εισαγωγή μιας νέας μεταβλητής k :

$$k = \max(\text{abs}(X))$$

$$X = \frac{X}{k}$$

$$Y = \frac{Y}{k}$$

Με τις παραπάνω σχέσεις υπολογίζουμε την μέγιστη απόλυτη τιμή του τροποποιημένου από πριν πίνακα X και διαιρούμε όλα τα στοιχεία του με την τιμή αυτή. Στην συνέχεια διαιρούμε και τον τροποποιημένο από πριν πίνακα Y με την μέγιστη απόλυτη τιμή του πίνακα X , για να διατηρήσουμε τις αναλογίες μεταξύ των συντεταγμένων x , y . Έχουμε έτσι κατορθώσει οι τιμές στον άξονα των x της κάθε υπογραφής να κυμαίνονται από -1 έως $+1$, ενώ στην προσπάθειά μας να διατηρήσουμε τις αναλογίες μεταξύ των x και y , οι τιμές των y θα κυμαίνονται μεταξύ δύο ακραίων τιμών, οι οποίες θα εξαρτώνται κάθε φορά από την τιμή του Y και τον αριθμό k .



Σχήμα 4.2: Υπογραφή ενός προσώπου πριν και μετά την αντιμετώπιση του scaling problem.

Στο σχήμα 4.2 βλέπουμε πώς τροποποιούνται οι τιμές στους άξονες μετά από την παραπάνω διαδικασία και πώς έχουν διατηρηθεί οι αναλογίες στην υπογραφή κατά το δυνατόν.

Την παραπάνω διαδικασία την επαναλαμβάνουμε για το σύνολο των υπογραφών γνήσιων και πλαστών. Έτσι, έχουμε πετύχει να αντιμετωπίσουμε το translation problem, με αποτέλεσμα οι υπογραφές να έχουν στο κέντρο τους την αρχή των αξόνων, αλλά και το scaling problem, με συνέπεια οι υπογραφές να έχουν την ίδια βαθμονόμηση στους άξονες. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας δεν θα επιχειρήσουμε να επιδιορθώσουμε το rotation problem των υπογράφων. Αφού τελειώσει η προεπεξεργασία, θα έχουμε καταχωρημένες σε πίνακες τις τροποποιημένες συντεταγμένες των υπογραφών στους άξονες x , y και θα είμαστε σε θέση να τις συγκρίνουμε.

4.4 Υπολογισμός σειράς δεδομένων των χαρακτηριστικών της υπογραφής και των μεταξύ τους αποστάσεων

Αφού έχουμε ολοκληρώσει την προεπεξεργασία (preprocessing), επόμενο βήμα είναι να βρούμε τις αποστάσεις των χαρακτηριστικών από τις πρότυπες υπογραφές. Πριν από αυτό,

βρίσκουμε τα χαρακτηριστικά dx και dy της υπογραφής, όπου dx είναι η διαφορά δύο διαδοχικών συντεταγμένων της υπογραφής στον άξονα των x και dy η διαφορά δύο διαδοχικών συντεταγμένων της υπογραφής στον άξονα των y . Έχουμε έτσι δημιουργήσει δύο νέους πίνακες D_X και D_Y , οι οποίοι περιέχουν τα νέα χαρακτηριστικά και έχουν μήκος κατά μία μονάδα μικρότερο από τους αρχικούς πίνακες. Τροποποιούμε κατάλληλα και τον πίνακα με τις τιμές του χρόνου, ώστε να έχει το ίδιο μήκος, απορρίπτοντας την τελευταία του τιμή (θα μπορούσαμε να είχαμε απορρίψει και την πρώτη τιμή του πίνακα). Η ίδια διαδικασία αυτή ακολουθείται για το σύνολο των υπογραφών (γνήσιων και πλαστών).

Στην συνέχεια, χρησιμοποιώντας τους παραπάνω πίνακες και με την βοήθεια του προγράμματος DTW (το οποίο έχουμε περιγράψει σε προηγούμενο κεφάλαιο), υπολογίζουμε τις αποστάσεις των χαρακτηριστικών από τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά των πρότυπων υπογραφών. Έχουμε την δυνατότητα να υπολογίσουμε τις αποστάσεις κάθε χαρακτηριστικού ξεχωριστά (dx , dy , t) καθώς και συνδυασμούς των παραπάνω χαρακτηριστικών.

Για τον υπολογισμό απόστασης σε συνδυασμό χαρακτηριστικών πρέπει προηγουμένως να έχουμε δημιουργήσει νέους πίνακες με δύο ή τρεις γραμμές ανάλογα με το πλήθος των χαρακτηριστικών που μας ενδιαφέρει, όπου κάθε σειρά του πίνακα θα περιέχει τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά. Θα πρέπει να προσέξουμε, οι πίνακες που συγκρίνουμε να έχουν την ίδια μορφή, ώστε οι x συντεταγμένες του πρώτου πίνακα να συγκρίνονται με τις x συντεταγμένες του δεύτερου, οι y συντεταγμένες του πρώτου πίνακα να συγκρίνονται με τις y συντεταγμένες του δεύτερου πίνακα και οι τιμές του χρόνου t του πρώτου πίνακα να συγκρίνονται με τις τιμές του χρόνου t του δεύτερου πίνακα.

Επίσης θα πρέπει να προσέξουμε τις αναλογίες μεταξύ των χαρακτηριστικών. Μετά την προεπεξεργασία που κάναμε στις τιμές των συντεταγμένων x και y , το x παίρνει τιμές από -1 έως 1 και το y τιμές της ίδιας τάξης με το x . Από την άλλη η τιμή του χρόνου t παίρνει τιμές από 0 έως μερικές χιλιάδες, που σημαίνει ότι είναι αρκετές τάξεις μεγαλύτερη η τιμή του χρόνου t από τις τιμές των συντεταγμένων x και y . Το γεγονός αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα οι αποστάσεις που μας δίνει ο DTW, όταν χρησιμοποιούμε συνδυασμούς χαρακτηριστικών που περιέχουν μέσα και την τιμή του χρόνου t , να είναι με βάση την τιμή του χρόνου. Για να αποφύγουμε το φαινόμενο αυτό θα τροποποιήσουμε τον πίνακα T , με τις τιμές του χρόνου, ώστε να παίρνει τιμές από 0 έως 1. Αυτό επιτυγχάνεται με τις σχέσεις:

$$k1 = \max(abs(T))$$

$$T = \frac{T}{k1}$$

Με αυτόν τον τρόπο πετυχαίνουμε όταν χρησιμοποιούμε συνδυασμούς χαρακτηριστικών οι αποστάσεις που δίνει ο DTW, να παίρνουν τιμές που θα εξαρτώνται από τον σύνολο των χαρακτηριστικών και όχι με μόνο ένα από αυτά.

4.5 Απόσταση μίας σειράς δεδομένων από ένα σύνολο σειρών αναφοράς

Βρισκόμαστε στο σημείο όπου έχουμε υπολογίσει για κάθε πρόσωπο τις αποστάσεις όλων των χαρακτηριστικών dx , dy και t κάθε υπογραφής από τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά των υπογραφών που έχουμε ορίσει ως πρότυπες υπογραφές. Και στα δύο πρωτόκολλα που χρησιμοποιούμε, στην παρούσα εργασία, έχουμε 5 πρότυπες υπογραφές για κάθε πρόσωπο. Επομένως θα έχουμε 5 διαφορετικές αποστάσεις για κάθε χαρακτηριστικό της κάθε υπογραφής με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά των πρότυπων υπογραφών. Για να έχουμε μία απόσταση ως μέτρο σύγκρισης για κάθε χαρακτηριστικό, βρίσκουμε το μέσο όρο των 5 αποστάσεων που θα προκύψουν από τις 5 πρότυπες υπογραφές. Ύστερα, τροποποιούμε τους πίνακες, έτσι ώστε, να έχουν για κάθε χαρακτηριστικό μία και μόνο απόσταση από τις πρότυπες υπογραφές, που θα είναι και η μέση απόσταση από τις 5 πρότυπες υπογραφές. Στο επόμενο στάδιο θα βρούμε το EER (equal error rate), που είναι και το κριτήριο που θα χρησιμοποιεί ο αλγόριθμος για να κρίνει αν μία υπογραφή είναι γνήσια ή πλαστή.

4.6 Υπολογισμός του ποσοστού EER

Κατά την αξιολόγηση της γνησιότητας μιας υπογραφής με online ηλεκτρονικό σύστημα επαλήθευσης υπάρχουν δύο σημαντικοί παράγοντες: το ποσοστό εσφαλμένης απόρριψης γνήσιων υπογραφών ή FRR (false rejection rate) και το ποσοστό εσφαλμένης αποδοχής πλαστών υπογραφών ή FAR (false acceptance rate). Αυτά τα δύο μεγέθη είναι παρουσιάζουν συνήθως μία σχέση αντιστρόφους αναλογίας, δηλαδή όταν το ένα ποσοστό αυξάνεται το άλλο μειώνεται. Μεταβάλλοντας τις παραμέτρους του συστήματος αναγνώρισης όταν το ποσοστό FRR είναι ίσο με το ποσοστό FAR τότε αυτή η τιμή ονομάζεται EER (equal error rate). Επόμενο βήμα, λοιπόν, είναι ο υπολογισμός του EER.

4.6.1 Υπολογισμός του FRR

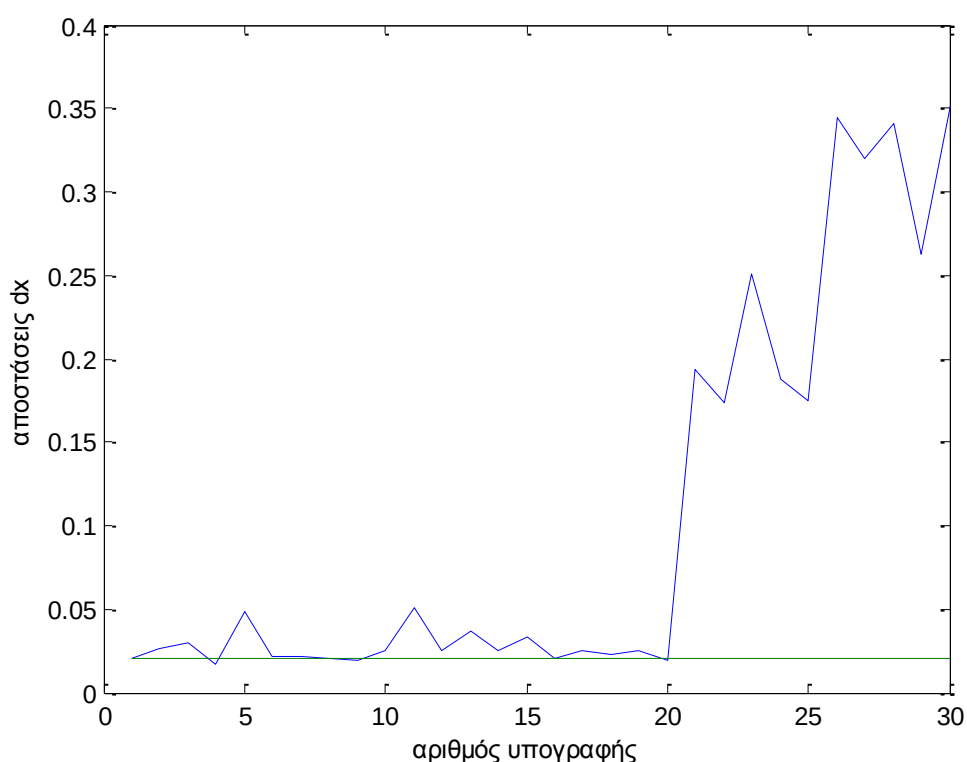
Αρχικά γνωρίζουμε ότι από τον πίνακα των αποστάσεων που έχουμε δημιουργήσει οι πρώτες 20 τιμές είναι οι αποστάσεις των γνήσιων υπογραφών από τις 5 πρότυπες υπογραφές, (10 γνήσιες υπογραφές για την πρώτη χρονική περίοδο και άλλες 10 για την δεύτερη χρονική περίοδο) και οι 10 που ακολουθούν είναι οι αποστάσεις των πλαστών υπογραφών. Σημειώνουμε και πάλι ότι από τις 10 πλαστές υπογραφές, οι 5 είναι απλά πλαστογραφημένες υπογραφές και οι υπόλοιπες 5 είναι πλαστές υπογραφές καλύτερης απομίμησης για το πρώτο πρωτόκολλο, ενώ για το δεύτερο πρωτόκολλο, το σύνολο των 10 υπογραφών είναι γνήσιες υπογραφές τυχαίων προσώπων από την βάση δεδομένων (αλλά όχι του προσώπου που εξετάζουμε). Θέτουμε διαδοχικά κάθε μία από τις 30 συνολικά αποστάσεις ως όριο και στην συνέχεια συγκρίνουμε το όριο με κάθε μία από τις 30 αποστάσεις.

Συγκρίνουμε τις πρώτες 20 αποστάσεις (δηλαδή τις αποστάσεις των γνήσιων υπογραφών) με το όριο μας και βρίσκουμε το πλήθος των αποστάσεων που είναι πάνω από το όριο. Τις αποστάσεις που είναι πάνω από το όριο το πρόγραμμα τις θεωρεί ως πλαστές υπογραφές. Έχουμε τώρα υπολογίσει το πλήθος των γνήσιων υπογραφών που το σύστημα λανθασμένα

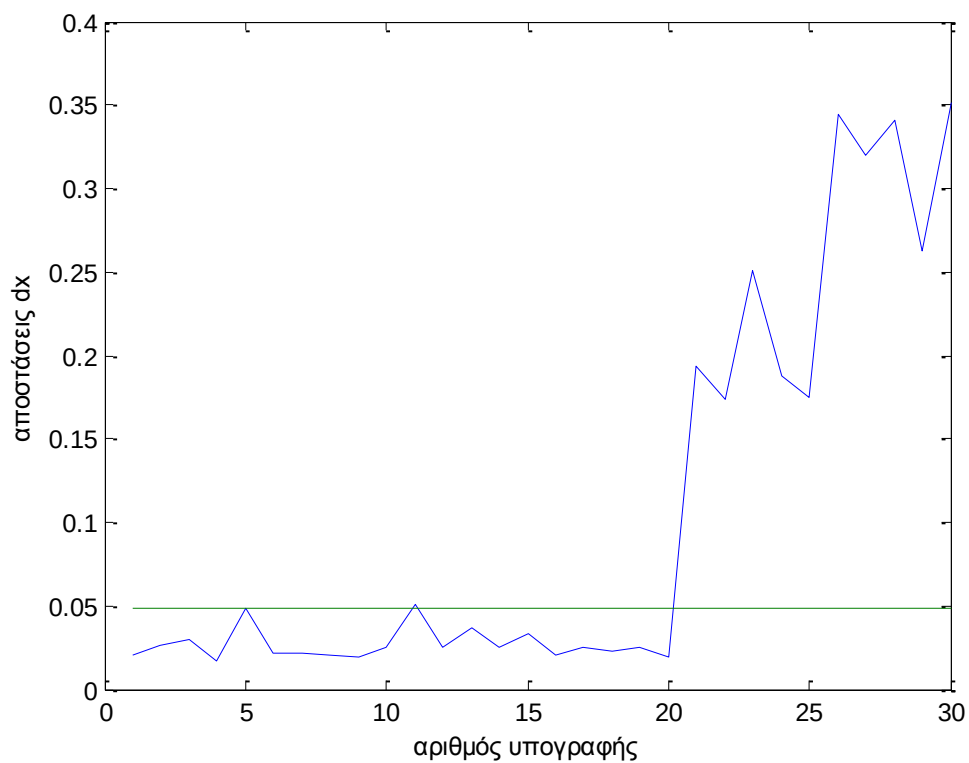
θα θεωρούσε ως πλαστές υπογραφές και έτσι μπορούμε να υπολογίσουμε το ποσοστό FRR, το οποίο θα ισούται με το πλήθος που έχουμε υπολογίσει διαιρεμένο με το συνολικό πλήθος των γνήσιων υπογραφών, που στην προκειμένη περίπτωση είναι 20.

4.6.2 Υπολογισμός του FAR

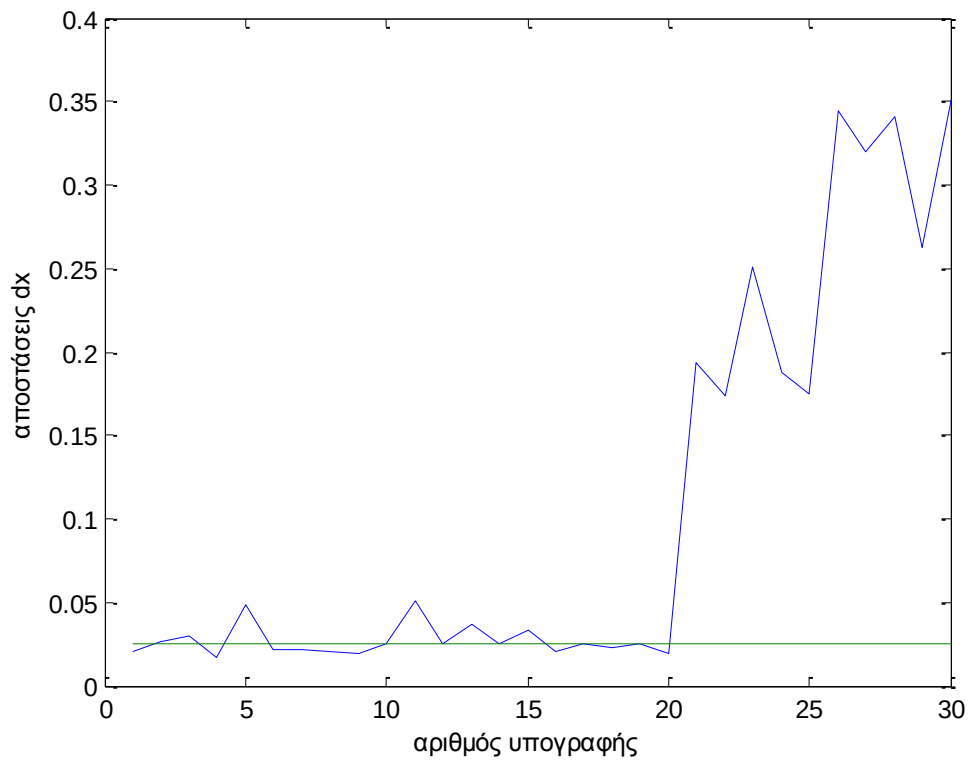
Ακολουθούμε την αντίστοιχη διαδικασία για τον υπολογισμό του ποσοστού FAR. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίζουμε το πλήθος των τελευταίων 10 αποστάσεων (οι οποίες είναι και οι αποστάσεις των πλαστών υπογραφών από τις πρότυπες) που είναι κάτω από το όριο. Τις αποστάσεις που είναι κάτω από το όριο το σύστημα θεωρεί πως ανήκουν σε γνήσιες υπογραφές. Το πλήθος που έχουμε υπολογίσει είναι το πλήθος των υπογραφών που το σύστημα λανθασμένα θα θεωρούσε σαν γνήσιες υπογραφές, ενώ στην πραγματικότητα είναι πλαστές. Υπολογίζουμε το ποσοστό FAR που ισούται με το πλήθος που έχουμε βρει διαιρεμένο με το συνολικό πλήθος των πλαστών υπογραφών, που στην προκειμένη περίπτωση είναι 10.



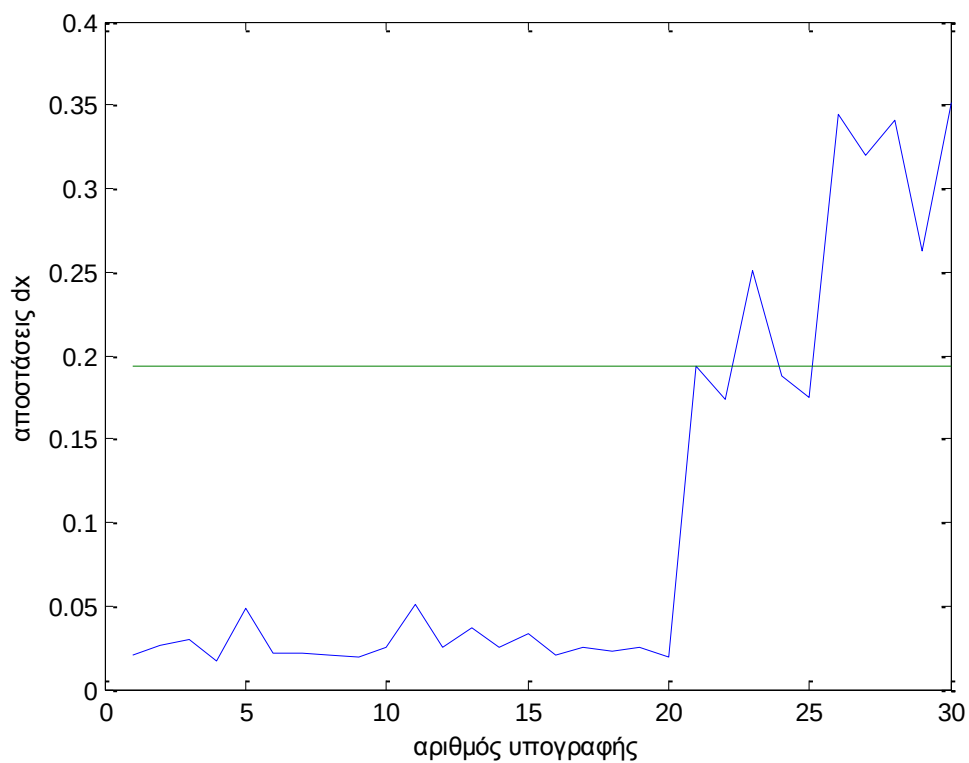
Σχήμα 4.3.1: Αποστάσεις των χαρακτηριστικών dx από τις πρότυπες υπογραφές για ένα πρόσωπο και το όριο να παίρνει την τιμή του dx της 1^{ης} υπογραφής, για το πρωτόκολλο της ειδικευμένης πλαστογράφησης.



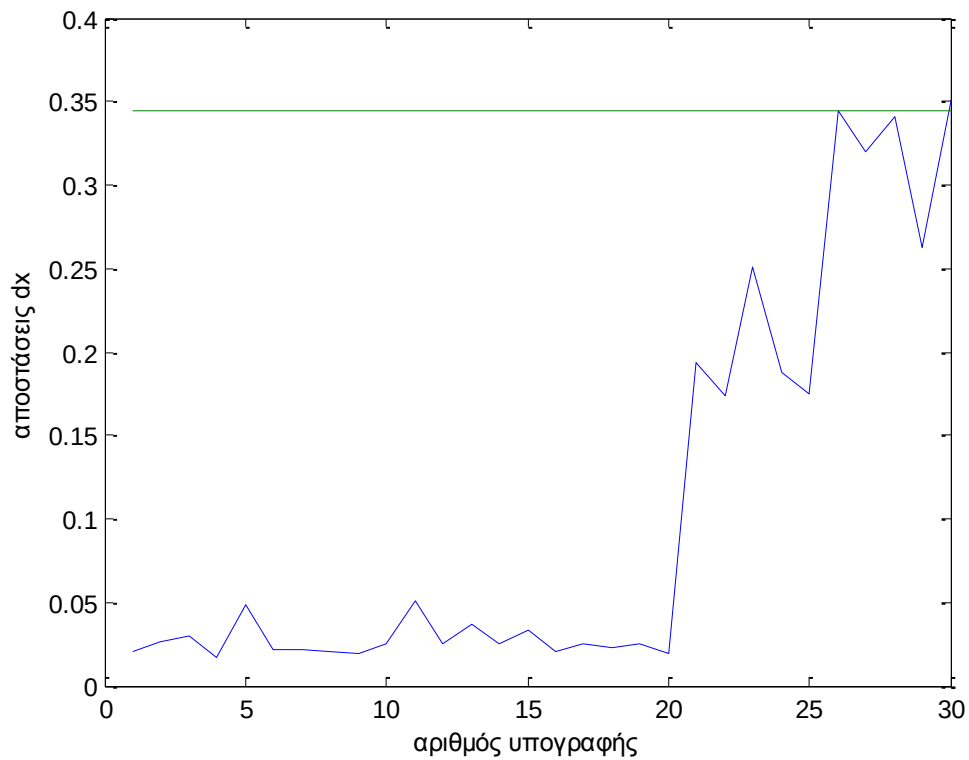
Σχήμα 4.3.2: Αποστάσεις των χαρακτηριστικών dx από τις πρότυπες υπογραφές για ένα πρόσωπο και το όριο να παίρνει την τιμή του dx της 5^{ης} υπογραφής, για το πρωτόκολλο της ειδικευμένης πλαστογράφησης.



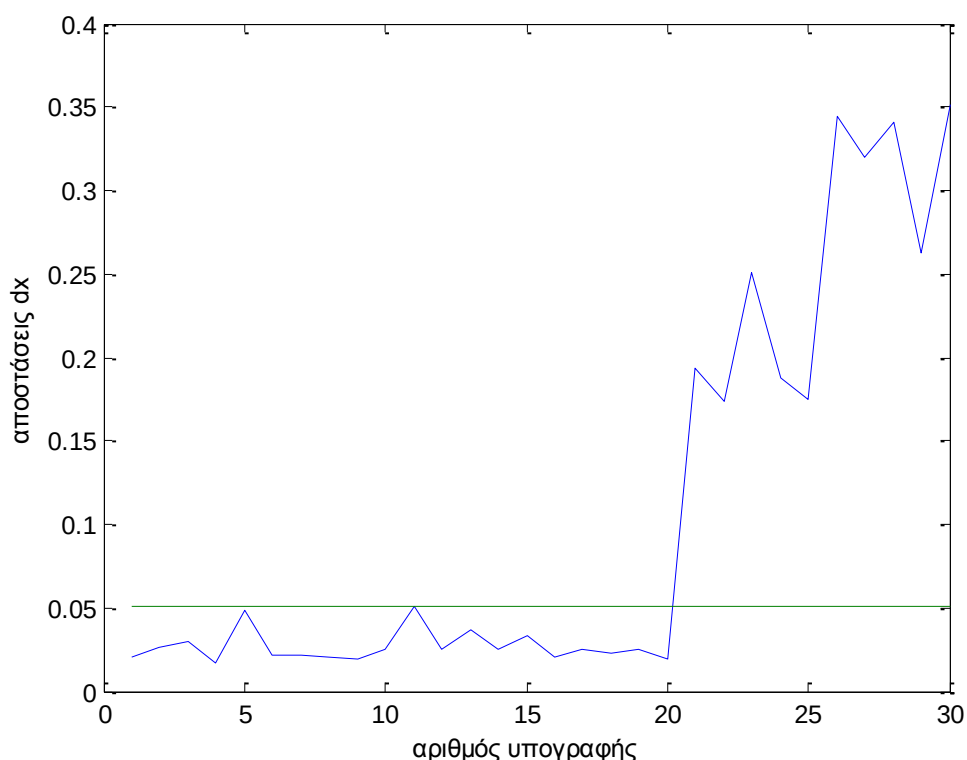
Σχήμα 4.3.3: Αποστάσεις των χαρακτηριστικών dx από τις πρότυπες υπογραφές για ένα πρόσωπο και το όριο να παίρνει την τιμή του dx της 11^{ης} υπογραφής, για το πρωτόκολλο της ειδικευμένης πλαστογράφησης.



Σχήμα 4.3.4: Αποστάσεις των χαρακτηριστικών dx από τις πρότυπες υπογραφές για ένα πρόσωπο και το όριο να παίρνει την τιμή του dx της 21^{ης} υπογραφής, για το πρωτόκολλο της ειδικευμένης πλαστογράφησης.



Σχήμα 4.3.5: Αποστάσεις των χαρακτηριστικών dx από τις πρότυπες υπογραφές για ένα πρόσωπο και το όριο να παίρνει την τιμή του dx της 26^{ης} υπογραφής, για το πρωτόκολλο της ειδικευμένης πλαστογράφησης.



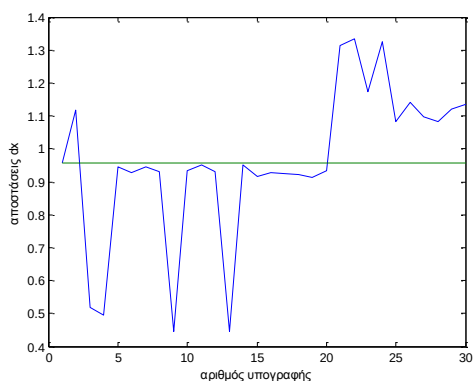
Σχήμα 4.3.6: Αποστάσεις των χαρακτηριστικών dx από τις πρότυπες υπογραφές για ένα πρόσωπο και το όριο να παίρνει την ιδανική τιμή, για το πρωτόκολλο της ειδικευμένης πλαστογράφησης.

Τα σχήματα 4.3.1 ως 4.3.6 είναι οι γραφικές παραστάσεις των αποστάσεων dx από τις πρότυπες υπογραφές για το σύνολο των 30 υπογραφών, γνήσιων και πλαστών για ένα πρόσωπο. Στα σχήματα αυτά, μπορούμε να δούμε την διαδικασία που περιγράψαμε παραπάνω. Το πρόγραμμα θέτει διαδοχικά τις αποστάσεις του χαρακτηριστικού που εξετάζουμε (στην συγκεκριμένη περίπτωση έχουμε το χαρακτηριστικό dx για ένα τυχαία επιλεγμένο πρόσωπο της βάσης δεδομένων), ως όριο. Εδώ έχουμε δείξει ενδεικτικά στις 5 πρώτες γραφικές την τιμή του ορίου να παίρνει διάφορες τιμές των αποστάσεων. Στις 3 πρώτες παρατηρούμε πως κάποιες γνήσιες υπογραφές υπερβαίνουν τα όρια που έχουμε θέσει κάθε φορά με αποτέλεσμα να το ποσοστό FRR να παίρνει μεγάλες τιμές, αφού όσες από αυτές υπερβαίνουν το όριο θα απορρίπτονταν ως πλαστές. Στο σχήμα 4.3.4 και στο σχήμα 4.3.5, παρατηρούμε το όριο να έχει πάρει την τιμή των αποστάσεων των πλαστών υπογραφών, με αποτέλεσμα κάποιες από τις πλαστές να είναι κάτω από το όριο και το ποσοστό FAR να παίρνει μεγάλες τιμές. Στο σχήμα 4.3.6 έχουμε την ιδανική τιμή του ορίου, σε αυτήν την τιμή του ορίου όλες οι γνήσιες υπογραφές είναι κάτω από το όριο και όλες οι πλαστές είναι πάνω από το όριο. Και όπως θα δούμε και στην συνέχεια για αυτή την τιμή του ορίου θα υπολογίσουμε και το ποσοστό EER.

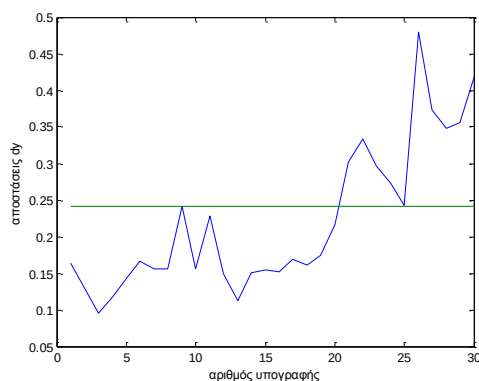
4.6.3 Υπολογισμός του EER

Την παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνουμε 30 φορές, αλλάζοντας κάθε φορά το όριο, που παίρνει τις τιμές των αποστάσεων, είτε των γνήσιων είτε των πλαστών υπογραφών, από τις πρότυπες υπογραφές. Αφού ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία θα έχουμε εξάγει έναν πίνακα που θα έχει 30 τιμές του ποσοστού FRR και άλλες 30 τιμές για το ποσοστό FAR, μια

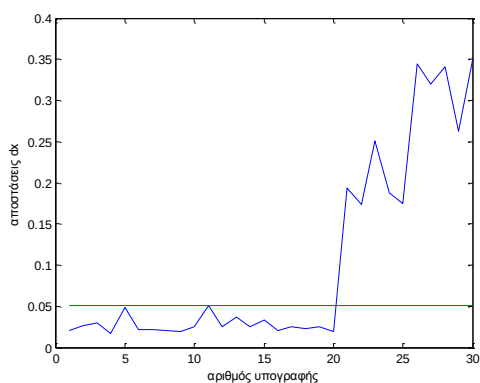
για κάθε τιμή που θα πάρει το όριο μας. Η τιμή του EER είναι η τιμή των ποσοστών FRR και FAR, όταν οι τιμές αυτές είναι ίσες. Επειδή υπάρχει περίπτωση αυτές οι δύο τιμές να μην ταυτίζονται για καμία τιμή που θα έχουμε δώσει στο όριο, θα υπολογίσουμε την τιμή του EER εκεί όπου οι δύο τιμές θα έχουν την ελάχιστη απόλυτη διαφορά. Επομένως στην συνέχεια δημιουργούμε έναν πίνακα 30 στοιχείων, που θα έχει τις απόλυτες διαφορές στις τιμές των ποσοστών FRR και FAR. Εξετάζουμε για ποίο από τα όρια η απόλυτη διαφορά μεταξύ των FRR και FAR παίρνει την μικρότερη τιμή και για αυτή την τιμή του ορίου βρίσκουμε το ποσοστό EER, το οποίο θα ισούται με το ημίθροισμα των τιμών των FRR και FAR.



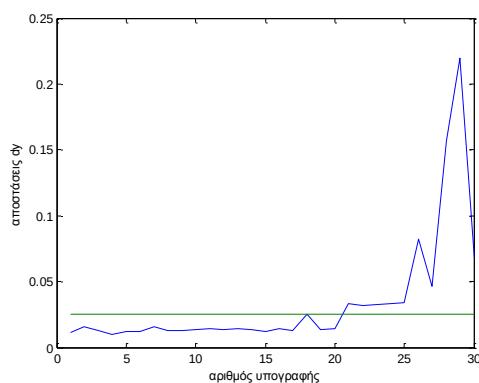
Σχήμα 4.4.1.α: Αποστάσεις των χαρακτηριστικών dx από τις πρότυπες υπογραφές για ένα πρόσωπο και το όριο να παίρνει την ιδανική τιμή, για το πρωτόκολλο της ειδικευμένης πλαστογράφησης.



Σχήμα 4.4.1.β: Αποστάσεις των χαρακτηριστικών dy από τις πρότυπες υπογραφές για ένα πρόσωπο και το όριο να παίρνει την ιδανική τιμή, για το πρωτόκολλο της ειδικευμένης πλαστογράφησης.



Σχήμα 4.4.2.α: Αποστάσεις των χαρακτηριστικών dx από τις πρότυπες υπογραφές για ένα πρόσωπο και το όριο να παίρνει την ιδανική τιμή, για το πρωτόκολλο της ειδικευμένης πλαστογράφησης.

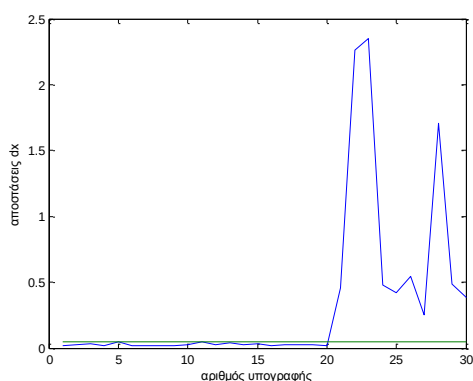


Σχήμα 4.4.2.β: Αποστάσεις των χαρακτηριστικών dy από τις πρότυπες υπογραφές για ένα πρόσωπο και το όριο να παίρνει την ιδανική τιμή, για το πρωτόκολλο της ειδικευμένης πλαστογράφησης.

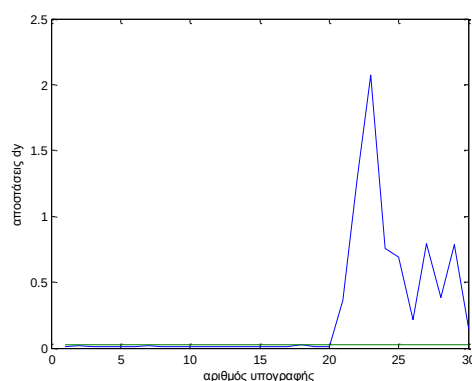
Στα σχήματα 4.4.1.α και 4.4.2.α απεικονίζονται οι μέσες τιμές των αποστάσεων των χαρακτηριστικών dx από τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά των 5 πρότυπων υπογραφών, για δύο τυχαία πρόσωπα από την βάση δεδομένων. Οι είκοσι πρώτες τιμές αναφέρονται στην μέση τιμή των αποστάσεων των γνήσιων υπογραφών από τις πρότυπες υπογραφές, οι επόμενες 5 είναι η μέση τιμή των αποστάσεων των υπογραφών καλύτερης απομίμησης από

τις πρότυπες υπογραφές και οι υπόλοιπες 5 είναι οι αποστάσεις των απλών πλαστών υπογραφών. Επίσης, βλέπουμε και την τιμή του ορίου στο οποίο η απόλυτη διαφορά μεταξύ των FRR και FAR παίρνει την μικρότερη τιμή της. Παρατηρούμε στο σχήμα 4.4.1.α ότι η μέση τιμή της απόστασης της δεύτερης γνήσιας υπογραφής από τις 5 πρότυπες υπογραφές είναι πάνω από το όριο και το σύστημα θα απέρριπτε αυτή την υπογραφή ως πλαστή, ενώ στην πραγματικότητα είναι γνήσια. Επιπλέον, στο 4.4.2.α βλέπουμε την ιδεατή περίπτωση όπου καμία γνήσια δεν υπερβαίνει το όριο και καμία πλαστή δεν είναι κάτω από το όριο.

Στα σχήματα 4.4.1.β και 4.4.2.β απεικονίζονται αντίστοιχα, η μέση τιμή των αποστάσεων των χαρακτηριστικών dy από τα χαρακτηριστικά dy των 5 πρότυπων υπογραφών, για τις 20 γνήσιες και τις 10 πλαστές υπογραφές, των δύο προσώπων. Εδώ παρατηρώντας και τα δύο σχήματα βλέπουμε ότι καμία από τις γνήσιες υπογραφές δεν υπερβαίνει το όριο με φόβο να αποκλειστεί ως πλαστή από το σύστημα, αλλά και καμία από τις πλαστές υπογραφές δεν είναι κάτω από το όριο, ώστε να θεωρηθεί από το σύστημα ως γνήσια. Αυτή η περίπτωση είναι και η ιδανική αλλά δεν συμβαίνει και πάντα.



Σχήμα 4.5.1: Αποστάσεις των χαρακτηριστικών dx από τις πρότυπες υπογραφές για ένα πρόσωπο και το όριο να παίρνει την ιδανική τιμή, για το πρωτόκολλο της τυχαίας πλαστογράφησης.



Σχήμα 4.5.2: Αποστάσεις των χαρακτηριστικών dy από τις πρότυπες υπογραφές για ένα πρόσωπο και το όριο να παίρνει την ιδανική τιμή, για το πρωτόκολλο της τυχαίας πλαστογράφησης.

Παρόμοιες γραφικές παραστάσεις θα πάρουμε και στο δεύτερο πρωτόκολλο που σκοπεύει να αντιμετωπίσει την τυχαία πλαστογράφηση. Στο σχήμα 4.5.1 βλέπουμε την γραφική παράσταση των αποστάσεων dx των 20 γνήσιων υπογραφών (του ίδιου προσώπου που είδαμε και στο σχήμα 4.4.2) και των αποστάσεων dx των 10 πλαστών υπογραφών τυχαίας πλαστογράφησης.

Αντίστοιχα στο σχήμα 4.5.2 βλέπουμε τις αποστάσεις dy των 20 γνήσιων υπογραφών και των 10 πλαστών υπογραφών τυχαίας πλαστογράφησης. Παρατηρούμε ότι στα σχήματα 4.5.1 και 4.5.2, οι αποστάσεις των πλαστών υπογραφών τυχαίας πλαστογράφησης από τις πρότυπες υπογραφές είναι, κατά κανόνα, πολύ μεγαλύτερες από τις αποστάσεις των γνήσιων υπογραφών από τις πρότυπες υπογραφές, αλλά και από τις αποστάσεις που είχαν οι ειδικευμένες πλαστές υπογραφές από τις πρότυπες (σχήματα 4.4.2.α και 4.4.2.β). Το γεγονός αυτό ήταν αναμενόμενο, μιας και είναι λογικό οι γνήσιες υπογραφές ενός

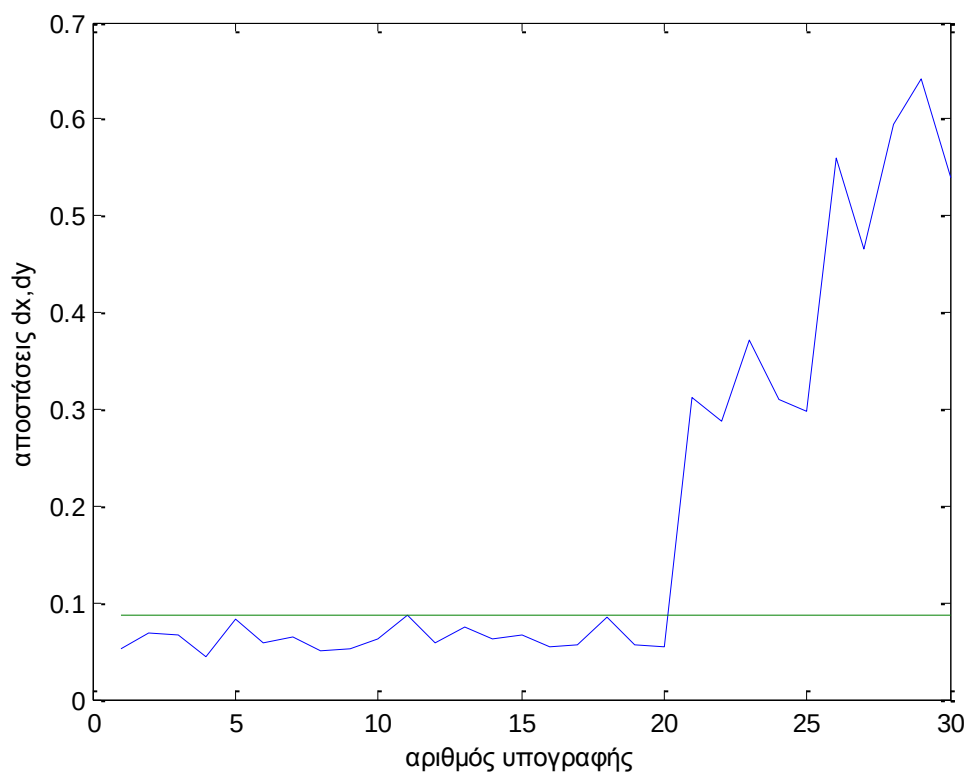
προσώπου και οι απομιμήσεις τους να πλησιάζουν περισσότερο τις πρότυπες υπογραφές (που είναι και γνήσιες υπογραφές του ιδίου προσώπου), σε σχέση με τυχαίες υπογραφές 10 άλλων προσώπων.

Όπως παρατηρούμε και από τα σχήματα που έχουμε παραθέσει παραπάνω (βλ. 4.4.1), μπορεί για μία γνήσια υπογραφή η απόσταση του χαρακτηριστικού dx από τις πρότυπες υπογραφές να υπερβαίνει το όριο και να απορρίπτεται από το πρόγραμμα ως πλαστή υπογραφή, ενώ η απόσταση του χαρακτηριστικού dy από τις πρότυπες υπογραφές να είναι μέσα στην επιτρεπτή περιοχή και ορθώς το πρόγραμμα να αποδέχεται την υπογραφή ως γνήσια. Ή και αντίστροφα η απόσταση του χαρακτηριστικού dx να είναι στην επιτρεπτή περιοχή και η απόσταση του dy να υπερβαίνει το όριο και η υπογραφή να απορρίπτεται ως πλαστή.

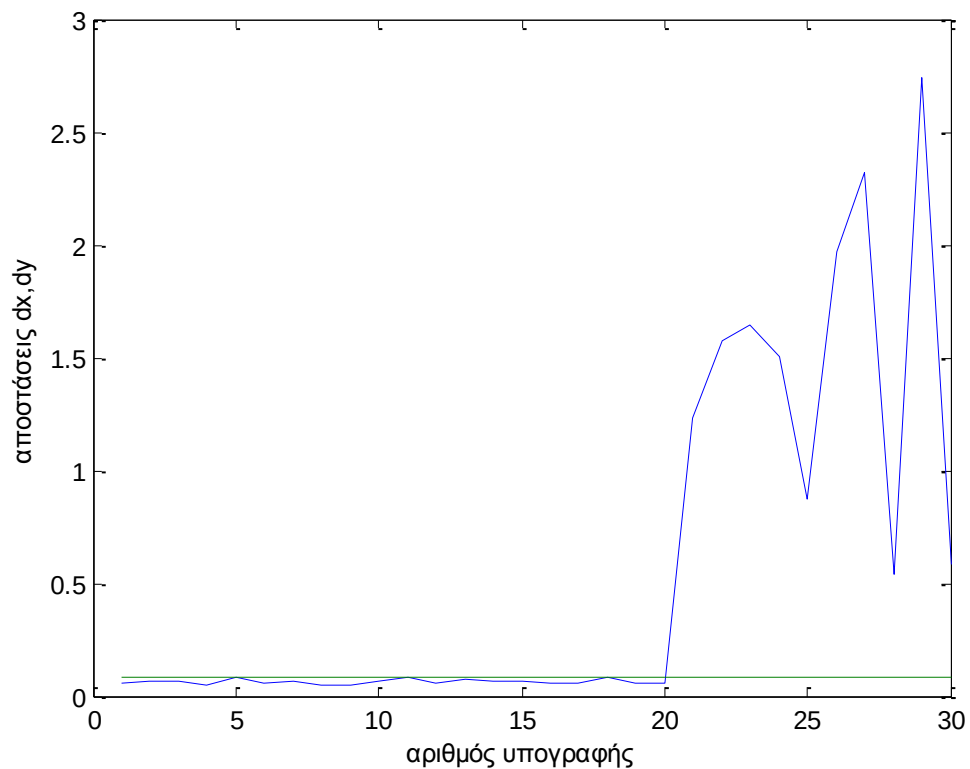
Αντίστοιχα, σε μία πλαστή υπογραφή μπορεί η απόσταση του ενός χαρακτηριστικού (του dx ή του dy) από τις πρότυπες υπογραφές να είναι κάτω από το όριο και να λαμβάνεται από το πρόγραμμα σαν γνήσια υπογραφή, ενώ η απόσταση του άλλου χαρακτηριστικού (αντίστοιχα του dy ή του dx) από τις πρότυπες υπογραφές να είναι πάνω από το όριο και σωστά το πρόγραμμα να θεωρεί την υπογραφή πλαστή. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις παρατηρούμε ότι, καμιά φορά, ένα και μόνο χαρακτηριστικό μπορεί να μην δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα. Για τον λόγο αυτό, είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούμε έναν συνδυασμό χαρακτηριστικών για να εξάγουμε τα αποτελέσματα μας.

Όπως είχαμε πει και σε προηγούμενη ενότητα, μπορούμε να δώσουμε στο πρόγραμμα DTW έναν πίνακα δύο ή τριών σειρών, που να έχει παραπάνω από ένα χαρακτηριστικό της κάθε υπογραφής. Με αυτό τον τρόπο παίρνουμε απευθείας την απόσταση από την πρότυπη υπογραφή ενός συνδυασμού των χαρακτηριστικών την υπογραφής. Υπολογίζουμε τα ποσοστά FRR, FAR και EER, χρησιμοποιώντας των πίνακα αποστάσεων με συνδυασμό των χαρακτηριστικών, όπως ακριβώς και στην προηγούμενη περίπτωση που είχαμε πίνακα αποστάσεων με μόνο ένα χαρακτηριστικό. Στο σχήμα 4.6, φαίνεται το όριο που μας δίνει το πρόγραμμα, αν σαν δεδομένο του δώσουμε τον πίνακα των αποστάσεων που έχει προκύψει από συνδυασμό των χαρακτηριστικών dx και dy . Παρατηρούμε ότι το πρόγραμμα για τον συνδυασμό των χαρακτηριστικών dx και dy δίνει λάθος αποτελέσματα για μία μόνο γνήσια υπογραφή την οποία θεωρεί και ως πλαστή. Το σχήμα 4.6, έχει προκύψει για το ίδιο πρόσωπο που έχουμε πάρει και τις γραφικές παραστάσεις στα σχήματα 4.3, 4.4.2 και 4.5.

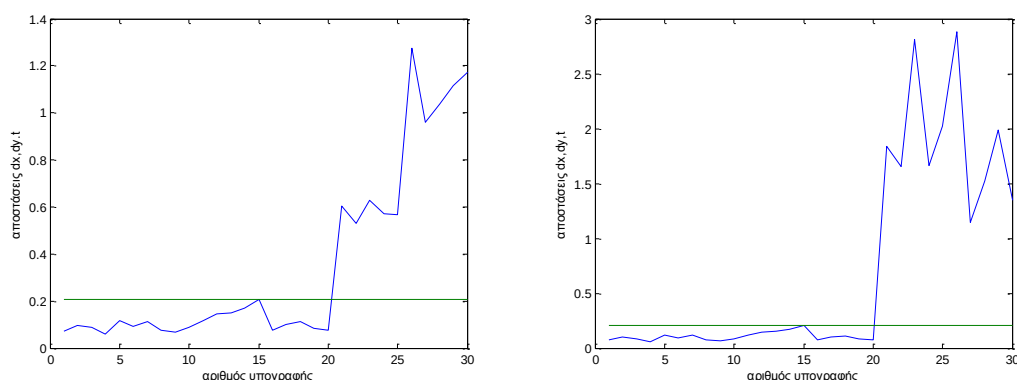
Στο σχήμα 4.7, φαίνεται η γραφική παράσταση των αποστάσεων του συνδυασμού των χαρακτηριστικών dx και dy και το όριο που υπολογίστηκε από το πρόγραμμα, με βάση το δεύτερο πρωτόκολλο που σκοπεύει στην αντιμετώπιση της τυχαίας πλαστογράφησης. Διαπιστώνουμε ότι η τιμή του ορίου αντιμετωπίζει αποτελεσματικά την τυχαία πλαστογράφηση. Επίσης, παρατηρούμε ότι όλες οι πλαστές υπογραφές τυχαίας πλαστογράφησης, απέχουν σημαντικά από τις πρότυπες και πολύ περισσότερο από τις ειδικευμένες πλαστές



Σχήμα 4.6: Αποστάσεις του συνδυασμού των χαρακτηριστικών dx , dy από τις πρότυπες υπογραφές για ένα πρόσωπο και το όριο να παίρνει την ιδανική τιμή, για το πρωτόκολλο της ειδικευμένης πλαστογράφησης.



Σχήμα 4.7 Αποστάσεις του συνδυασμού των χαρακτηριστικών dx , dy από τις πρότυπες υπογραφές για ένα πρόσωπο και το όριο να παίρνει την ιδανική τιμή, για το πρωτόκολλο της τυχαίας πλαστογράφησης.



Σχήμα 4.8: Αποστάσεις του συνδυασμού των χαρακτηριστικών dx , dy , t από τις πρότυπες υπογραφές για ένα πρόσωπο και το όριο να παίρνει την ιδανική τιμή και για τα δύο πρωτόκολλα.

Στο σχήμα 4.8, φαίνονται οι αποστάσεις του συνδυασμού των χαρακτηριστικών dx, dy, t από τις πρότυπες υπογραφές. Σύμφωνα με το πρώτο (ειδικευμένη πλαστογράφιση) και το δεύτερο (τυχαία πλαστογράφιση) πρωτόκολλο.

4.6.4 Ολικό κατώφλι

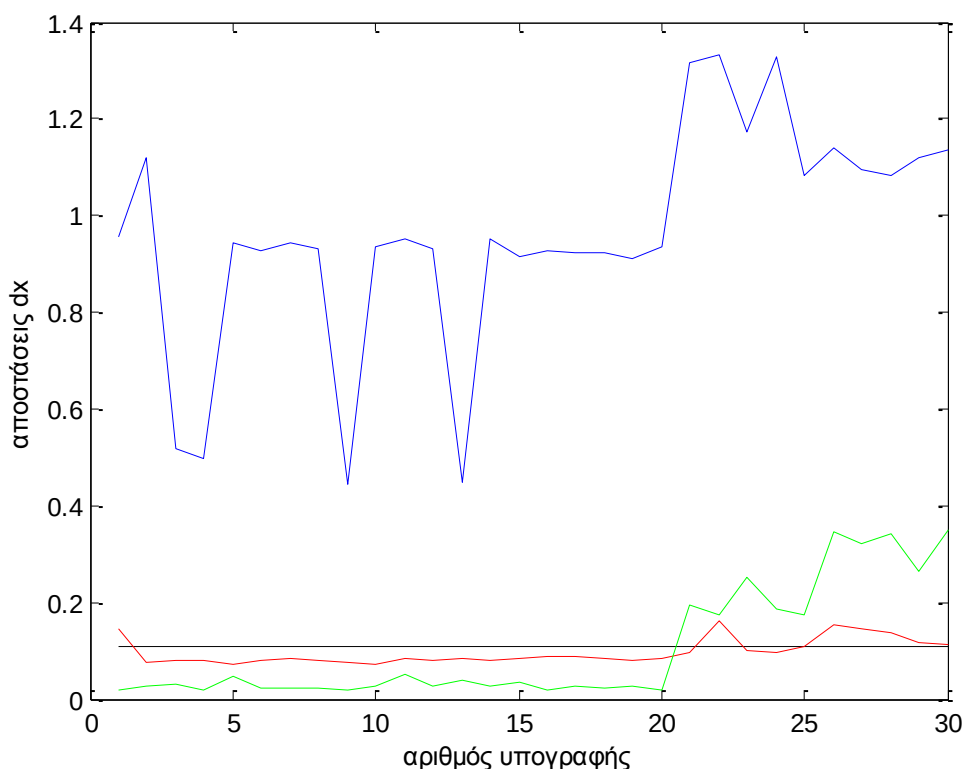
Όλη αυτή η διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί για κάθε πρόσωπο της βάσης δεδομένων. Έτσι, θα έχουμε ένα διαφορετικό όριο για κάθε πρόσωπο, καθώς και διαφορετικές τιμές για το EER. Αυτό όμως αποτελεί πολύπλοκη διαδικασία που θα έκανε το πρόγραμμα μας δύσχρηστο. Αν, για παράδειγμα, μία τράπεζα με πολλούς πελάτες σκοπεύει να χρησιμοποιήσει το πρόγραμμα, για να ελέγχει την γνησιότητα στις υπογραφές των πελατών της θα ήταν δύσκολο να έχει διαφορετικό EER για κάθε πελάτη της. Κάτι τέτοιο θα έκανε το πρόγραμμα πολύ αργό και άβολο στην χρήση, γιατί θα έπρεπε για κάθε νέο χρήστη να συλλέγονται γνήσιες και πλαστές υπογραφές του προσώπου, ώστε να εξάγουμε την τιμή του ορίου. Οπότε, θα ήταν προτιμότερο να εξάγουμε ένα κοινό όριο (global threshold) που θα είναι κοινό για όλους τους χρήστες και από αυτό να εξάγουμε και ένα κοινό EER.

Ένα global threshold θα έκανε το πρόγραμμα πιο εύχρηστο, αλλά τα αποτελέσματα που θα μας δώσει θα έχουν μεγαλύτερα ποσοστά αποτυχίας όπως θα δούμε και στην συνέχεια. Το γεγονός αυτό είναι λογικό και το περιμένουμε, γιατί όπως μπορούμε να φανταστούμε οι αποστάσεις που θα έχουμε των γνήσιων υπογραφών από τις πρότυπες, αλλά και των πλαστών από τις πρότυπες θα εκτείνονται σε μία μεγαλύτερη γκάμα, σε σχέση με το αν θα συγκρίναμε τις υπογραφές ενός και μόνο προσώπου με τις γνήσιες υπογραφές αυτού.

Το global threshold θα το υπολογίσουμε με την ίδια λογική που βρήκαμε και το όριο για κάθε πρόσωπο ξεχωριστά. Σε αυτή την περίπτωση θα θέτουμε διαδοχικά, για καθένα από τα 94 πρόσωπα, όλες τις αποστάσεις των γνήσιων αλλά και των πλαστών υπογραφών από τις πρότυπες υπογραφές ως όριο. Θα συγκρίνουμε αυτό το όριο κάθε φορά με όλες τις αποστάσεις των διάφορων χαρακτηριστικών μιας υπογραφής από το αντίστοιχο χαρακτηριστικό των πρότυπων υπογραφών και από το πλήθος των γνήσιων υπογραφών

όλων των προσώπων, που υπερβαίνουν το όριο, θα υπολογίζουμε το ποσοστό FRR. Ομοίως θα υπολογίζουμε το ποσοστό FAR, βρίσκοντας το πλήθος όλων των αποστάσεων των πλαστών υπογραφών, είτε είναι τυχαίας είτε ειδικευμένης πλαστογραφίας, από τις πρότυπες υπογραφές.

Στην συνέχεια θα βρούμε για ποία τιμή του ορίου η απόλυτη διαφορά μεταξύ των ποσοστών FRR και FAR παίρνει την ελάχιστη απόλυτη τιμή της. Και για την συγκεκριμένη τιμή του ορίου θα υπολογίσουμε και το ποσοστό EER, που είναι το ημίαθροισμα των FRR και FAR.



Σχήμα 4.9: Αποστάσεις των χαρακτηριστικών dx από τις πρότυπες υπογραφές, 3 προσώπων και το global threshold, για το πρωτόκολλο της ειδικευμένης πλαστογραφίας.

Στην γραφική παράσταση 4,9 βλέπουμε με μαύρο χρώμα το global threshold, όπως αυτό έχει προκύψει για όλα τα πρόσωπα της βάσης δεδομένων, ενώ με μπλε, κόκκινο και πράσινο τις αποστάσεις των χαρακτηριστικών dx από τις πρότυπες υπογραφές, 3 τυχαίων προσώπων της βάσης.

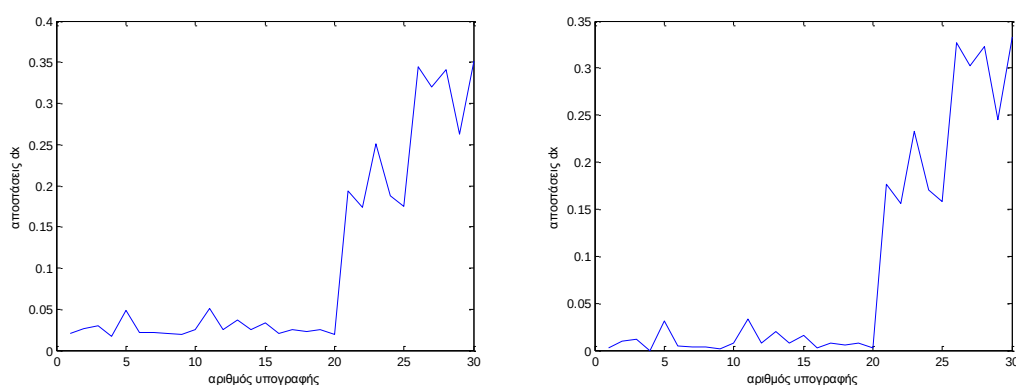
4.6.5 Βελτιωμένο ολικό κατώφλι

Προσπαθήσαμε να βελτιώσουμε τα αποτελέσματα που μας δίνει το global threshold και να μειώσουμε το ποσοστό EER, ώστε να έχουμε μεγαλύτερα ποσοστά λανθασμένης αναγνώρισης μιας υπογραφής.

Σκεφτήκαμε ότι οι αποστάσεις ενός χαρακτηριστικού μιας υπογραφής από το αντίστοιχο χαρακτηριστικό των πρότυπων υπογραφών, μπορεί να πάρει μία οποιαδήποτε τιμή χωρίς κανέναν περιορισμό. Θα εξαρτάται βέβαια από το πόσο κοντά είναι η υπογραφή που εξετάζουμε κάθε φορά στην πρότυπη υπογραφή. Αν για παράδειγμα, σε ένα πίνακα οι αποστάσεις των γνήσιων υπογραφών από τις πρότυπες κυμαίνονται από 0,5 μέχρι 1, ενώ σε ένα άλλο πίνακα αποστάσεων, για μια άλλη υπογραφή άλλου προσώπου, οι αποστάσεις των γνήσιων υπογραφών από τις πρότυπες παίρνουν τιμές από 1 μέχρι 1,5, θα έπρεπε το global threshold να έχει μία τιμή πάνω από 1,5 για να δέχεται όλες τις γνήσιες υπογραφές ως σωστές. Όμως αν οι τιμές στις πλαστές υπογραφές καλύτερης απομίμησης, για την πρώτη υπογραφή, ξεκινούσαν από 1,3 κάποιες από αυτές θα θεωρούνταν από το σύστημα ως γνήσιες υπογραφές, κάτι που φυσικά δεν θέλουμε.

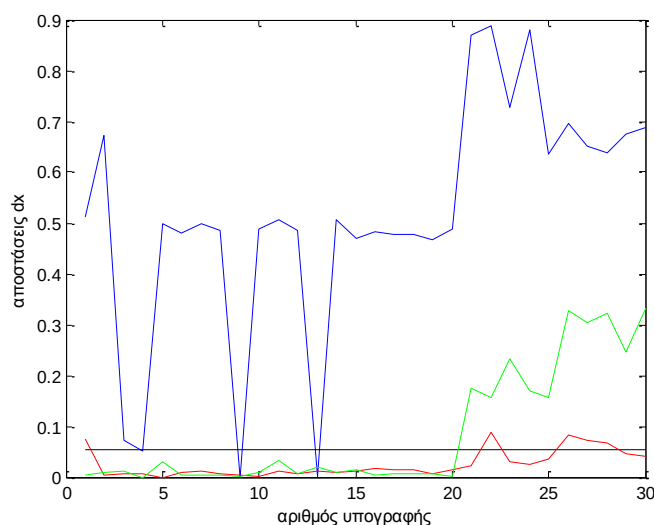
Στην προσπάθειά μας να βελτιώσουμε αυτό το πρόβλημα και να πετύχουμε ένα καλύτερο global threshold, που θα δίνει με την σειρά του καλύτερα τιμή στο ποσοστό EER, σκεφτήκαμε να τροποποιήσουμε τους πίνακες των αποστάσεων ως εξής: Για έναν πίνακα που έχει τις 30 αποστάσεις (γνήσιων και πλαστών υπογραφών) από τις πρότυπες, είτε για ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό είτε για συνδυασμό χαρακτηριστικών, βρίσκουμε την ελάχιστη τιμή του πίνακα και την αφαιρούμε από όλες τις τιμές του πίνακα. Την ίδια διαδικασία ακολουθούμε για τους πίνακες αποστάσεων όλων των προσώπων. Με αυτό πετυχαίνουμε να τροποποιήσουμε τους πίνακες έτσι ώστε η μικρότερη απόσταση του κάθε πίνακα να πάρει μηδενική τιμή, αλλά και να διατηρήσουμε και τις αναλογίες που έχουν οι αποστάσεις μεταξύ τους.

Αφού τροποποιήσουμε όλους τους πίνακες αποστάσεων, θα επαναλάβουμε την διαδικασία υπολογισμού του global threshold όπως την περιγράψαμε στην προηγούμενη ενότητα. Και θα υπολογίσουμε και το ποσοστό EER. Όπως θα αναλύσουμε και σε επόμενη ενότητα το ποσοστό EER που υπολογίζουμε με το global threshold, που βρήκαμε με τον τρόπο που μόλις περιγράψαμε, παίρνει μικρότερες τιμές.



Σχήμα 4.10: Οι αποστάσεις, από τις πρότυπες, των χαρακτηριστικών dx για ένα πρόσωπο πριν και μετά την τροποποίηση του πίνακα των αποστάσεων.

Στο σχήμα 4.10 φαίνεται η γραφική παράσταση των αποστάσεων από τις πρότυπες των χαρακτηριστικών dx για ένα πρόσωπο πριν και μετά την τροποποίηση του πίνακα των αποστάσεων.



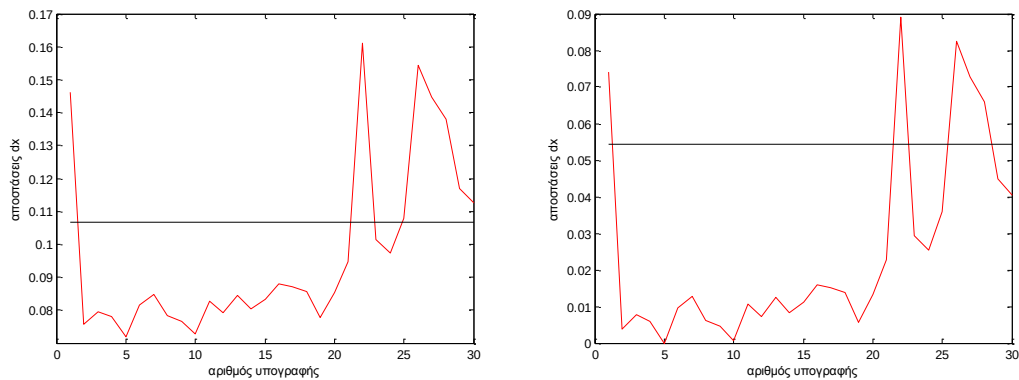
Σχήμα 4.11: Αποστάσεις των χαρακτηριστικών dx από τις πρότυπες υπογραφές, 3 προσώπων και το βελτιωμένο global threshold, για το πρωτόκολλο της ειδικευμένης πλαστογράφησης.

Στο σχήμα 4.11 βλέπουμε με μαύρο χρώμα το βελτιωμένο global threshold, όπως αυτό έχει προκύψει από τους υπολογισμούς για όλα τα πρόσωπα της βάσης δεδομένων. Με μπλε, κόκκινο και πράσινο χρώμα παριστάνονται οι αποστάσεις των χαρακτηριστικών dx από τις πρότυπες υπογραφές, όπως αυτές προέκυψαν μετά την τροποποίηση των πινάκων των αποστάσεων.

Συγκρίνοντας τα σχήματα 4.9 και 4.11 παρατηρούμε ότι έχουμε τροποποιήσει τους πίνακες των αποστάσεων έτσι ώστε η μικρότερη απόσταση να έχει αφαιρεθεί από όλες τις τιμές του πίνακα των αποστάσεων, με αποτέλεσμα και η νέα μικρότερη τιμή να είναι τώρα το μηδέν αλλά και οι υπόλοιπες τιμές να διατηρούν τις αναλογίες μεταξύ τους, όπως περιγράφηκε παραπάνω. Όπως βλέπουμε στο σχήμα 4.9, η μπλε γραμμή που αναπαριστά τις αποστάσεις των dx μιας υπογραφής από τις πρότυπες υπογραφές, βρίσκεται ολόκληρη πάνω από το όριο. Αντιλαμβανόμαστε, λοιπόν, ότι για το global threshold του σχήματος 4.9 όλες οι υπογραφές, είτε γνήσιες είτε πλαστές για το συγκεκριμένο πρόσωπο, θα απορρίπτονταν από το πρόγραμμα ως πλαστές υπογραφές. Κάτι που φυσικά δεν μας αρέσει καθόλου. Αντίθετα, στο σχήμα 4.11 παρατηρούμε ότι κάποιες γνήσιες υπογραφές για το ίδιο πρόσωπο, που φαίνονται με μπλε γραμμή, θα γίνονταν σωστά αποδεκτές ως γνήσιες από το πρόγραμμα, με το βελτιωμένο global threshold.

Από την άλλη πλευρά όμως αν παρατηρήσουμε την κόκκινη γραμμή που είναι οι αποστάσεις dx από τις πρότυπες υπογραφές ενός άλλου προσώπου της βάσης δεδομένων, θα δούμε ότι με το βελτιωμένο global threshold το σύστημα αποδέχεται περισσότερες από τις πλαστές υπογραφές ως γνήσιες. Παραθέτουμε στην συνέχεια ένα σχήμα που δείχνει

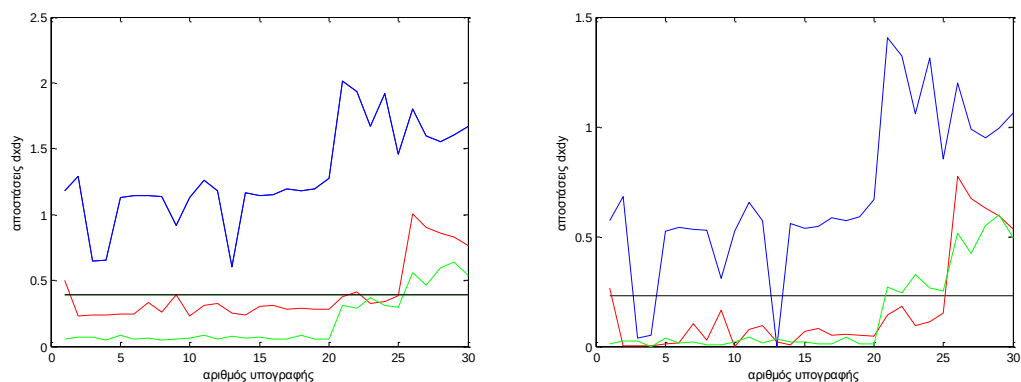
μόνο την κόκκινη γραμμή μαζί με το global threshold ώστε να φανεί καλύτερα αυτό που είπαμε παραπάνω (σχήμα 4.12).



Σχήμα 4.12 Αποστάσεις του χαρακτηριστικού dx από τις πρότυπες υπογραφές, για ένα πρόσωπο της βάσης δεδομένων σε σχέση με το global threshold (αριστερά) και το βελτιωμένο global threshold (δεξιά).

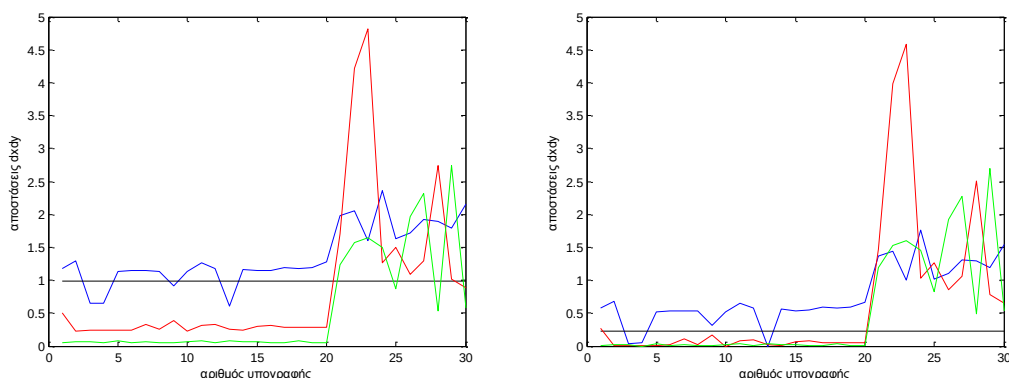
Στο σχήμα 4.12 φαίνονται οι αποστάσεις του χαρακτηριστικού dx από τις πρότυπες υπογραφές, για ένα πρόσωπο της βάσης δεδομένων σε σχέση με το global threshold (αριστερά) και το βελτιωμένο global threshold (δεξιά).

Στην συνέχεια παραθέτουμε κάποια ενδεικτικά σχήματα που δείχνουν το global threshold, όπως αυτό υπολογίστηκε για το πρώτο πρωτόκολλο και για το δεύτερο πρωτόκολλο (ειδικευμένη και τυχαία πλαστογράφηση, αντίστοιχα), για πίνακες αποστάσεων με διαφόρους συνδυασμούς χαρακτηριστικών. Στα σχήματα που ακολουθούν, παρατηρούμε ότι το ποσοστό του EER, για το δεύτερο πρωτόκολλο της τυχαίας πλαστογράφησης είναι σημαντικά μικρότερο από το αντίστοιχο του πρώτο πρωτοκόλλου της ειδικευμένης πλαστογράφησης, κάτι που είναι λογικό. Επίσης παρατηρούμε ότι στους πίνακες αποστάσεων που εμπεριέχεται και το χαρακτηριστικό του χρόνου t , οι αποστάσεις των γνήσιων από τις πλαστές υπογραφές είναι πολύ μεγαλύτερες από τις περιπτώσεις που δεν εμπεριέχεται.



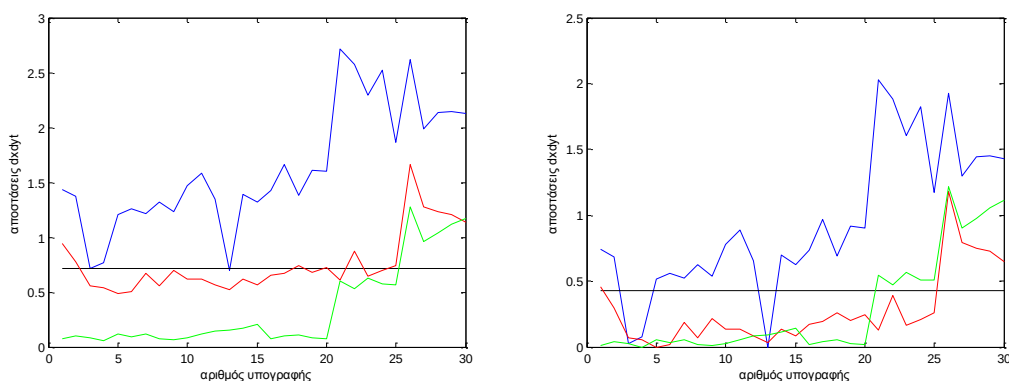
Σχήμα 4.13 Αποστάσεις του συνδυασμού των χαρακτηριστικών dx , dy από τις πρότυπες υπογραφές, 3 προσώπων της βάσης σε σχέση με το global threshold (αριστερά) και με το βελτιωμένο global threshold (δεξιά), για το πρωτόκολλο της ειδικευμένης πλαστογράφησης.

Στο σχήμα 4.13 φαίνονται οι πίνακες αποστάσεων για τον συνδυασμό των χαρακτηριστικών dx , dy , 3 τυχαίων προσώπων από την βάση δεδομένων σε σχέση με το global threshold (αριστερά) και με το βελτιωμένο global threshold (δεξιά).



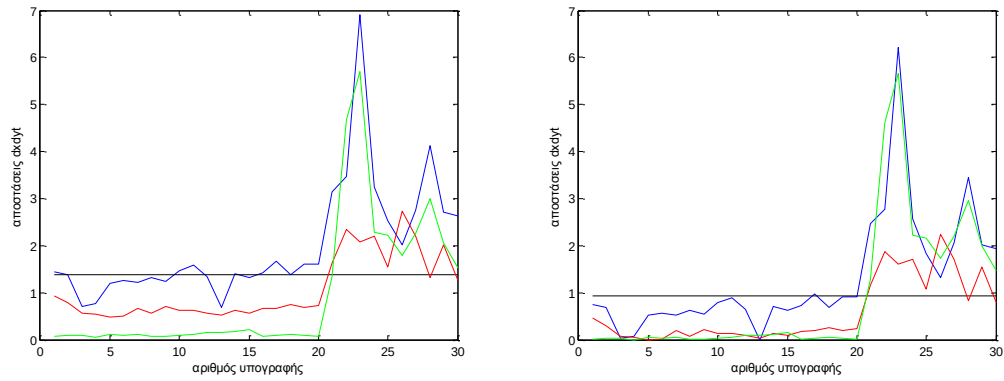
Σχήμα 4.14 Αποστάσεις του συνδυασμού των χαρακτηριστικών dx , dy από τις πρότυπες υπογραφές, 3 προσώπων της βάσης σε σχέση με το global threshold (αριστερά) και με το βελτιωμένο global threshold (δεξιά), για το πρωτόκολλο της τυχαίας πλαστογράφησης.

Στο σχήμα 4.14 φαίνονται οι πίνακες των αποστάσεων για τον συνδυασμό των χαρακτηριστικών dx , dy , 3 τυχαίων προσώπων από την βάση δεδομένων για το δεύτερο πρωτόκολλο της τυχαίας πλαστογράφησης, σε σχέση με το global threshold (αριστερά) και με το βελτιωμένο global threshold (δεξιά).



Σχήμα 4.15 Αποστάσεις του συνδυασμού των χαρακτηριστικών dx , dy , t από τις πρότυπες υπογραφές, 3 προσώπων της βάσης σε σχέση με το global threshold (αριστερά) και με το βελτιωμένο global threshold (δεξιά), για το πρωτόκολλο της ειδικευμένης πλαστογράφησης.

Στο σχήμα 4.15 φαίνονται οι πίνακες αποστάσεων για τον συνδυασμό των χαρακτηριστικών dx , dy , t , 3 τυχαίων προσώπων από την βάση δεδομένων σε σχέση με το global threshold (αριστερά) και με το βελτιωμένο global threshold (δεξιά).



Σχήμα 4.16 Αποστάσεις του συνδυασμού των χαρακτηριστικών dx , dy , t από τις πρότυπες υπογραφές, 3 προσώπων της βάσης σε σχέση με το global threshold (αριστερά) και με το βελτιωμένο global threshold (δεξιά), για το πρωτόκολλο της τυχαίας πλαστογράφησης.

Τέλος, στο σχήμα 4.16 φαίνονται οι πίνακες των αποστάσεων για τον συνδυασμό των χαρακτηριστικών dx , dy , t , 3 τυχαίων προσώπων από την βάση δεδομένων για το δεύτερο πρωτόκολλο της τυχαίας πλαστογράφησης, σε σχέση με το global threshold (αριστερά) και με το βελτιωμένο global threshold (δεξιά).

ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλύσουμε τα αποτελέσματα που μας έδωσε το πρόγραμμα που δημιουργήσαμε και περιγράψαμε στην προηγούμενη ενότητα, καθώς και τα προβλήματα, υπολογιστικής πολυπλοκότητας που αντιμετωπίσαμε. Και στην συνέχεια θα τα συγκρίνουμε με τα αποτελέσματα που έβγαλαν άλλες έρευνες, είτε χρησιμοποιώντας την ίδια βάση δεδομένων (SUSIG) είτε κάποια άλλη βάση δεδομένων, με σκοπό την online αναγνώριση υπογραφών.

5.1 Αποτελέσματα

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήσαμε online αναγνώριση υπογραφών χρησιμοποιώντας διάφορα χαρακτηριστικά καθώς και συνδυασμούς τους και εργαστήκαμε με βάση δύο πρωτόκολλα, για αντιμετώπιση της ειδικευμένης και της τυχαίας πλαστογράφησης.

5.1.1 Ειδικευμένη πλαστογράφηση

Για το πρώτο πρωτόκολλο που έχει σαν σκοπό την αντιμετώπιση της ειδικευμένης πλαστογράφησης έχουμε χρησιμοποιήσει τα χαρακτηριστικά dx , dy , t καθώς και συνδυασμούς αυτών. Στο πίνακα 5.1 που ακολουθεί φαίνονται τα ποσοστά του EER, όπως αυτά προέκυψαν για την τιμή του global threshold και του βελτιωμένου global threshold.

Χαρακτηριστικά	EER (%) για το global threshold	EER (%) για το βελτιωμένο global threshold
dx	33.28	25.23
dy	33.85	24.92
t	34.14	29.54
t^*	6.27	5.39
dx, dy	30.71	21.59
dx, t	30.10	19.33
dy, t	28.64	20.63
dx, dy, t	26.91	18.61

Πίνακας 5.1: Τιμές του ποσοστού EER, σύμφωνα με το πρωτόκολλο της ειδικευμένης πλαστογράφησης, για το global threshold και το βελτιωμένο global threshold.

Στον πίνακα 5.1 με t^* φαίνονται τα αποτελέσματα που παίρνουμε αν τρέξουμε το πρόγραμμα χωρίς να κάνουμε κανονικοποίηση στην τιμή του χρόνου t . Ενώ με t έχουμε συμβολίσει τον χρόνο μετά την κανονικοποίηση.

Παρατηρούμε ότι οι τιμές του ποσοστού EER που παίρνουμε για τις τιμές του χρόνου t^* (6.27%), για το global threshold, είναι σημαντικά μικρότερες από τις τιμές που μας δίνει

οποιοδήποτε άλλο χαρακτηριστικό ή συνδυασμός αυτών (της τάξης του 30% περίπου). Το γεγονός αυτό είναι κάτι που το περιμέναμε γιατί έχει παρατηρηθεί ότι στην προσπάθεια κάποιου να πλαστογραφήσει μία υπογραφή κάνει σημαντικά περισσότερο χρόνο από το κάτοχο της υπογραφής. Επιπλέον, βλέπουμε ότι με την κανονικοποίηση της τιμής του χρόνου χάνουμε σημαντική πληροφορία, αφού «αναγκάζουμε» τον χρόνο να πάρει τιμές από 0 έως 1.

Από την άλλη, τα χαρακτηριστικά dx , dy και t δίνουν παρεμφερείς τιμές για το ποσοστό του EER, υπολογισμένο με το global threshold, ενώ όταν χρησιμοποιούμε συνδυασμό των χαρακτηριστικών dx , dy και t η τιμή του ποσοστού EER μειώνεται κατά 3 με 7 ποσοστιαίες μονάδες από 33-34% στο 26-30%, με μεγαλύτερες μειώσεις στο ποσοστό EER να παρατηρούνται για συνδυασμούς χαρακτηριστικών που περιέχουν μέσα τον χρόνο t .

Παρόμοια αποτελέσματα με το global threshold παρατηρούνται και για το βελτιωμένο global threshold, με την διαφορά ότι τώρα οι τιμές του ποσοστού EER, για κάθε χαρακτηριστικό ή συνδυασμό αυτών, είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες για το global threshold με το ποσοστό EER να παίρνει την μικρότερη τιμή του, για την τιμή του χρόνου t^* , 5.39%. Αντίστοιχα για τα χαρακτηριστικά dx , dy και t οι τιμές είναι στο 24-29% και μειώνονται όταν χρησιμοποιούμε συνδυασμούς των χαρακτηριστικών αυτών 18-21%, με μεγαλύτερες μειώσεις στο ποσοστό EER να παρατηρούνται για συνδυασμούς χαρακτηριστικών που περιέχουν μέσα τον χρόνο t .

Επομένως για το πρώτο πρωτόκολλο που έχει σαν σκοπό την καταπολέμηση της ειδικευμένης πλαστογράφησης, τα καλύτερα αποτελέσματα για την τιμή του ποσοστού EER, τα παίρνουμε για το χαρακτηριστικό του χρόνου t^* .

5.1.2 Τυχαία πλαστογράφιση

Για το δεύτερο πρωτόκολλο που έχει σαν σκοπό την αντιμετώπιση της τυχαίας πλαστογράφησης, έχουμε χρησιμοποιήσει τα χαρακτηριστικά dx , dy , t καθώς και συνδυασμούς τους. Στο πίνακα 5.2 που ακολουθεί φαίνονται τα ποσοστά του EER, όπως αυτά προέκυψαν για την τιμή του global threshold και του βελτιωμένου global threshold.

Χαρακτηριστικά	EER (%) για το global threshold	EER (%) για το βελτιωμένο global threshold
dx	16.27	9.33
dy	19.14	13.51
t	30.10	25.77
t^*	21.70	20.13
dx, dy	13.05	7.36
dx, t	13.93	8.37
dy, t	15	10.66
dx, dy, t	10.98	6.70

Πίνακας 5.2: Τιμές του ποσοστού EER, σύμφωνα με το πρωτόκολλο της τυχαίας πλαστογράφησης, για το global threshold και το βελτιωμένο global threshold.

Στον πίνακα 5.2, όπως και προηγουμένως, με t^* φαίνονται τα αποτελέσματα που παίρνουμε αν τρέξουμε το πρόγραμμα χωρίς να κάνουμε κανονικοποίηση στην τιμή του χρόνου t ενώ με t έχουμε συμβολίσει τον χρόνο μετά την κανονικοποίηση.

Παρατηρούμε ότι οι τιμές του ποσοστού EER, για το global threshold, παίρνουν μεγαλύτερες τιμές στις περιπτώσεις που το χαρακτηριστικό που χρησιμοποιούμε είναι ο χρόνος t^* (21.70%), αλλά και ο κανονικοποιημένος χρόνος t (30.10%), σε σχέση με χαρακτηριστικά ή συνδυασμούς χαρακτηριστικών που περιέχουν μέσα μόνο τα χαρακτηριστικά dx και dy .

Για το χαρακτηριστικό dx , το ποσοστό EER παίρνει την τιμή του 16.27% , ενώ για το χαρακτηριστικό dy , το ποσοστό EER παίρνει λίγο μεγαλύτερη τιμή (19.14%). Ο συνδυασμός των χαρακτηριστικών dx , dy μειώνει την τιμή του ποσοστού EER στο 13.05%.

Για το βελτιωμένο global threshold, παρατηρούμε το ίδιο φαινόμενο στις τιμές του EER που έχουν υπολογιστεί για χαρακτηριστικά που περιέχουν και τον χρόνο t^* και τον χρόνο t , μόνο που τώρα το ποσοστό είναι μειωμένο κατά 1 και 5 ποσοστιαίες μονάδες αντίστοιχα. Παρόμοια συμπεριφέρονται οι τιμές του EER και για τα χαρακτηριστικά dx , dy (9.33% και 13.51% αντίστοιχα), που ο συνδυασμός τους μας δίνει μια τιμή μικρότερη, από ότι για το κάθε χαρακτηριστικό ξεχωριστά, της τάξης του 7.36%.

Συμπεραίνουμε λοιπόν σύμφωνα με τον πίνακα 5.2, ότι καλύτερα αποτελέσματα για την τιμή του ποσοστού EER, για το δεύτερο πρωτόκολλο που έχει σαν σκοπό την καταπολέμηση της τυχαιάς πλαστογράφησης, παίρνουμε για το βελτιωμένο global threshold και για τον συνδυασμό των χαρακτηριστικών dx , dy και t .

5.1.3 Σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο πρωτοκόλλων

Ο πίνακας 5.3 που ακολουθεί είναι ένας συγκεντρωτικός πίνακας που φαίνονται τα αποτελέσματα που περιγράψαμε παραπάνω και για τα δύο πρωτόκολλα.

Χαρακτηριστικά	Global threshold		Βελτιωμένο global threshold	
	EER(%) για ειδικευμένη πλαστογράφιση	EER (%) για τυχαία πλαστογράφιση	EER(%) για ειδικευμένη πλαστογράφιση	EER(%) για τυχαία πλαστογράφιση
dx	33.28	16.27	25.23	9.33
dy	33.85	19.14	24.92	13.51
t	34.14	30.10	29.54	25.77
t^*	6.27	21.70	5.39	20.13
dx, dy	30.71	13.05	21.59	7.36
dx, t	30.10	13.93	19.33	8.37
dy, t	28.64	15	20.63	10.66
dx, dy, t	26.91	10.98	18.61	6.70

Πίνακας 5.3: Τιμές του ποσοστού EER, για το global threshold και το βελτιωμένο global threshold και για τα δύο πρωτόκολλα.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που έχουμε εξάγει και για τα δύο πρωτόκολλα μπορούμε να κάνουμε κάποιες ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις. Καταρχήν παρατηρούμε ότι και στα δύο πρωτόκολλα οι τιμές του ποσοστού EER για το global threshold είναι αρκετά υψηλότερες από τις αντίστοιχες τιμές για το βελτιωμένο global threshold. Τις μεγαλύτερες διαφορές τις παρατηρούμε για τα χαρακτηριστικά dx , dy και t καθώς και για τον συνδυασμό αυτών των χαρακτηριστικών που παρατηρούμε την τιμή του EER να μειώνεται ως και 21 ποσοστιαίες μονάδες. Μικρότερη μείωση παρατηρούμε στην τιμή του EER που έχει υπολογιστεί για το χαρακτηριστικό του χρόνου t^* .

Επίσης παρατηρούμε ότι οι τιμές του EER, για το πρώτο πρωτόκολλο της ειδικευμένης πλαστογράφησης, για τα χαρακτηριστικά dx , dy αλλά και για τον συνδυασμό αυτών είναι σημαντικά μεγαλύτερες από τα αντίστοιχες τιμές του ποσοστού EER για το δεύτερο πρωτόκολλο της τυχαίας πλαστογράφησης. Αυτό το γεγονός είναι κάτι που περιμέναμε, γιατί είναι λογικό οι αποστάσεις των ειδικευμένων υπογραφών να είναι πιο κοντά στις πρότυπες υπογραφές, τις οποίες και προσπαθούν να μιμηθούν, σε σχέση με γνήσιες υπογραφές τυχαία επιλεγμένων προσώπων από την βάση δεδομένων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να είναι περισσότερες οι ειδικευμένες υπογραφές από το πρώτο πρωτόκολλο που λανθασμένα θεωρούνται γνήσιες από το σύστημα σε σχέση με τις τυχαίες υπογραφές άλλων προσώπων του δεύτερου πρωτοκόλλου και αντίστοιχα περισσότερες οι γνήσιες που απορρίπτονται ως πλαστές για το πρώτο πρωτόκολλο σε σχέση με το δεύτερο. Άρα και το ποσοστό του EER να βγαίνει αρκετά μεγαλύτερο για το πρώτο πρωτόκολλο της ειδικευμένης πλαστογράφησης, σε σχέση με το πρωτόκολλο της τυχαίας πλαστογράφησης.

Επιπλέον, ένα άλλο φαινόμενο που παρατηρείται και αρχικά φαίνεται πολύ παράδοξο, είναι ότι η τιμή του EER, για το πρώτο πρωτόκολλο της ειδικευμένης πλαστογράφησης για το χαρακτηριστικό t^* είναι σημαντικά μικρότερη σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή του EER για το δεύτερο πρωτόκολλο της τυχαίας πλαστογράφησης. Μας φαίνεται πολύ παράξενο το πρόγραμμα να δίνει καλύτερα αποτελέσματα όταν προσπαθεί να αντιμετωπίσει την ειδικευμένη πλαστογράφηση, σε σχέση με την τυχαία πλαστογράφηση, που στην πραγματικότητα δεν είναι καν προσπάθεια πλαστογράφησης, αλλά γνήσιες υπογραφές άλλων προσώπων. Μπορούμε όμως να το κατανοήσουμε γιατί από μελέτες που έχουν γίνει, ξέρουμε ότι οι πλαστές υπογραφές καθώς και οι πλαστές υπογραφές καλύτερης απομίμησης διαρκούν ως και δύο φορές περισσότερο σε σχέση με τις γνήσιες υπογραφές [1]. Επομένως, μια γνήσια υπογραφή που χρησιμοποιούμε για το πρωτόκολλο της τυχαίας πλαστογράφησης απέχει λιγότερο με βάση το χαρακτηριστικό του χρόνου t^* , σε σχέση με μία ειδικευμένη πλαστή υπογραφή. Επίσης, γνωρίζουμε ότι για ανθρώπους με μεγάλη ανομοιομορφία στις υπογραφές τους, υπογραφές τυχαίας πλαστογράφησης είναι πιθανόν να δέχονται σαν γνήσιες υπογραφές όπως και οι πλαστές υπογραφές καλύτερης απομίμησης [1].

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι για την αντιμετώπιση της ειδικευμένης πλαστογράφησης, σύμφωνα με το πρώτο πρωτόκολλο, παίρνουμε καλύτερα αποτελέσματα για το χαρακτηριστικό του χρόνου t^* , με την χρήση του βελτιωμένου global threshold. Αντίθετα για την αντιμετώπιση της τυχαίας πλαστογράφησης καλύτερα αποτελέσματα λαμβάνουμε για τον συνδυασμό των χαρακτηριστικών dx , dy και t , για το βελτιωμένο global threshold.

5.3 Αποτελέσματα άλλων ερευνών

Στο παρελθόν έχουν γίνει και άλλες έρευνες για την online αναγνώριση υπογραφών. Σε αυτή την ενότητα θα αναφέρουμε τα αποτελέσματα που έχουν εξάγει αυτές οι έρευνες είτε αυτές χρησιμοποιούσαν την ίδια βάση δεδομένων με αυτή που χρησιμοποιήσαμε στην πατούσα εργασία (SUSIG) είτε άλλες βάσεις δεδομένων.

Στον πίνακα 5.4 που ακολουθεί [1], φαίνονται οι τιμές για το EER για την βάση δεδομένων SUSIG, για διάφορα πρωτόκολλα που έχουν χρησιμοποιηθεί. Παρατηρούμε ότι καλύτερα αποτελέσματα παίρνουμε όταν προσπαθούμε να αντιμετωπίσουμε την ειδικευμένη πλαστογράφιση με απλά πλαστογραφημένες υπογραφές. Επίσης, βλέπουμε ότι και σε αυτή την έρευνα όπως και στην δικιά μας η τυχαία πλαστογράφιση δίνει μεγαλύτερα αποτελέσματα από ότι δίνει η ειδικευμένη πλαστογράφιση.

Protocol	Subcorpus	EER (%)
Single-session	Visual	1.41
Across-session	Visual	2.12
Base	Visual	2.10
Skilled forgery	Visual	0.30
Highly skilled forgery	Visual	3.36
Random forgery	Visual	4.08
Base	Blind	2.85
Random forgery	Blind	2.82

Πίνακας 5.4 [1]: Τιμές του ποσοστού EER για την βάση δεδομένων της SUSIG, σύμφωνα με διάφορα πρωτόκολλα.

Με έντονα γράμματα φαίνονται στον πίνακα 5.4 τα πρωτόκολλα τα οποία έχουμε χρησιμοποιήσει και εμείς στην παρούσα εργασία, για την βάση δεδομένων μας. Βλέπουμε ότι οι τιμές του ποσοστού EER που φαίνονται στον πίνακα 5.4 είναι μικρότερες από τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το δικό μας πρόγραμμα (βλ. πίνακα 5.3). Αυτό πιθανόν οφείλεται στα χαρακτηριστικά και στους συνδυασμούς των χαρακτηριστικών που χρησιμοποίησαν, αλλά και στην μεθοδολογία που ακολούθησαν, προκειμένου να εξάγουν τις τιμές του EER που φαίνονται στον πίνακα 5.4.

Στην συνέχεια έχουμε έναν πίνακα που φαίνονται τα αποτελέσματα για το ποσοστό EER που έχουν προκύψει από άλλες έρευνες για δύο βάσεις δεδομένων [6], την SVC 2004 Task1 και για το οπτικό υποσύνολο της SUSIG, για πληθώρα χαρακτηριστικών αλλά και συνδυασμό αυτών.

	SVC 2004 Task1		SUSIG Visual Subcorpus	
	Random	Skilled	Random	Skilled
$[x\ y]$	0.34	11.93	0.31	3.27
$[x\ y\ t]$	0.94	12.6	0.55	1.9
$[dx\ dy]$	7.88	13.91	9.68	2.46
$[vel]$	10.76	18.57	6.12	2.03
$[acc]$	18.3	23.3	13.44	6.58
$[\alpha]$	0.44	8.21	0.1	1
$[\alpha\ \Delta\alpha]$	0.13	8.09	0.17	1.6
$[sin\alpha\ cos\alpha]$	0	7.21	0	2.61
$[sin\alpha\ cos\alpha\ dx\ dy]$	0	6.8	0	3.04
TAS (for best r)	0	6.3	0	0.5
$TASS$ (for best $[r1\ r2]$)	0	5.33	0	0.52

Πίνακας 5.5 [6]: Τιμές του ποσοστού EER για δύο βάσεις δεδομένων, τις SVC 2004 Task1 (αριστερά) και της SUSIG (δεξιά), για πληθώρα χαρακτηριστικών των υπογραφών.

Παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα που έχουμε για την SUSIG είναι καλύτερα σχεδόν για όλα τα χαρακτηριστικά που έχουν χρησιμοποιήσει στις δύο αυτές έρευνες.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

6.1 Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την παρούσα έρευνα υποστηρίζουν ότι η επιβεβαίωση online υπογραφής είναι μία τεχνική που στο μέλλον θα μπορεί να βρει εφαρμογή σε πολλούς τομείς της καθημερινότητας με αρκετά αξιόπιστα αποτελέσματα. Καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι για την αντιμετώπιση της ειδικευμένης πλαστογράφησης, σύμφωνα με το πρώτο πρωτόκολλο, παίρνουμε καλύτερα αποτελέσματα για το ποσοστό του EER για το χαρακτηριστικό του χρόνου t^* , ενώ για την αντιμετώπιση της τυχαίας πλαστογράφησης παίρνουμε καλύτερα αποτελέσματα για το ποσοστό του EER για τον συνδυασμό των χαρακτηριστικών dx , dy και t .

6.2 Προτάσεις για μελλοντική εργασία

Στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιήσαμε σαν πρότυπες υπογραφές τις 5 πρώτες γνήσιες υπογραφές για κάθε πρόσωπο. Θα μπορούσε να επιλεγεί το σύνολο των πρότυπων υπογραφών, ώστε να είναι όσο το δυνατόν καλύτερο το αποτέλεσμα. Για παράδειγμα, θα μπορούσαν να βρεθούν οι αποστάσεις κάθε γνήσιας υπογραφής, από όλες τις άλλες γνήσιες υπογραφές και να χρησιμοποιηθούν σαν πρότυπες υπογραφές, ένα πλήθος γνήσιων υπογραφών (π.χ. 5 από αυτές), που θα απέχουν κατά μέσο όρο λιγότερο από τις υπόλοιπες γνήσιες υπογραφές.

Επιπλέον, προτείνεται να αξιοποιηθούν και άλλα δυναμικά χαρακτηριστικά της υπογραφής, πέρα από τις συντεταγμένες x , y και την τιμή του χρόνου t , όπως το ύψος, το αζιμούθιο, τα επίπεδα της πίεσης (αν και αυτό το χαρακτηριστικό δεν έχει αποδειχτεί πολύ χρήσιμο στην αναγνώριση υπογραφών [2]), καθώς και πληθώρα άλλων χαρακτηριστικών που θα μπορούσαν να εξαχθούν από τα δυναμικά χαρακτηριστικά μιας υπογραφής, όπως η ταχύτητα και η γωνιακή ταχύτητα.

Τέλος, προτείνεται να αντιμετωπιστεί και το πρόβλημα του rotation στην διαδικασία του preprocessing, ώστε όλες οι υπογραφές να έχουν την ίδια κλίση ως προς τον οριζόντιο άξονα, με την χρήση της τεχνικής PCA.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Alisher Kholmatov, Berrin Yanikoglu. (2009). SUSIG: an on-line signature database, associated protocols and benchmark results.
- [2] Alisher Kholmatov, Berrin Yanikoglu. (2005). Identity authentication using improved online signature verification method.
- [3] MeinardMüller. (2007). Information Retrieval for Music and Motion.
- [4] Muhammad Talal Ibrahim, Matthew Kyan, M. Aurangzeb Khan, Khurram Saleem Alimgeer, Ling Guan. (2009). On-Line Signature Verification: Directional Analysis of a Signature Using Weighted Relative Angle Partitions for Exploitation of Inter-Feature Dependencies.
- [5] Zhaoxiang Zhang, Kaiyue Wang, Yunhong Wang. (2011). A Survey of On-line Signature Verication.
- [6] http://www.biometria.upatras.gr/pdf/kwnstantina_signature.pdf
- [7] <http://en.wikipedia.org/wiki/Biometrics>
- [8] <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/6516-dynamic-time-warping/content/dtw.m>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Στο παρόν παράρτημα υπάρχει ο κώδικας σε λογισμικό MATLAB τον οποίο έχουμε περιγράψει σε προηγούμενα κεφάλαιο και με τον οποίο κάνουμε online αναγνώριση υπογραφής και υπολογίζουμε τα ποσοστά EER, για τα πρωτόκολλα της ειδικευμένης και της τυχαίας πλαστογράφησης.

Συνάρτηση DTW [8]

Την συνάρτηση του DTW, την πήραμε έτοιμη και την χρησιμοποιήσαμε στο πρόγραμμά μας για να βρούμε τις αποστάσεις.

```
function [Dist,D,k,w]=dtw1(t,r)
%Dynamic Time Warping Algorithm
%Dist is unnormalized distance between t and r
%D is the accumulated distance matrix
%k is the normalizing factor
%w is the optimal path
%t is the vector you are testing against
%r is the vector you are testing

% input from seq to phase space is mxd and nxd.
% this algorithm works with dxm and dxn
%t=t'; %konni
%r=r'; %konni

[rows,N]=size(t);
[rows,M]=size(r);
%for n=1:N
%   for m=1:M
%       d(n,m)=(t(n)-r(m))^2;
%   end
%end

%d=(repmat(t(:),1,M)-repmat(r(:)',N,1))^2; %this replaces the nested
for
%loops from above Thanks Georg Schmitz
% konni - square of euclidean distance
tt=sum(t.*t,1); rr=sum(r.*r,1); tr=t'*r;
d = (repmat(tt',[1 size(rr,2)]) + repmat(rr,[size(tt,2) 1]) - 2*tr);

D=zeros(size(d));
D(1,1)=d(1,1);

for n=2:N
    D(n,1)=d(n,1)+D(n-1,1);
end
for m=2:M
    D(1,m)=d(1,m)+D(1,m-1);
end
for n=2:N
    for m=2:M
        D(n,m)=d(n,m)+min([D(n-1,m),D(n-1,m-1),D(n,m-1)]);
    end
end
```

```

end

Dist=D(N,M);
n=N;
m=M;
k=1;
w=[];
w(1,:)=N,M;
while (n+m)~=2
    if (n-1)==0
        m=m-1;
    elseif (m-1)==0
        n=n-1;
    else
        [values,number]=min([D(n-1,m),D(n,m-1),D(n-1,m-1)]);
        switch number
            case 1
                n=n-1;
            case 2
                m=m-1;
            case 3
                n=n-1;
                m=m-1;
        end
    end
    k=k+1;
    w=cat(1,w,[n,m]);
end

```

Συνάρτηση ReadSignature

Η συνάρτηση ReadSignature μας βοηθάει να διαβάσουμε από την βάση δεδομένων τα χαρακτηριστικά των υπογραφών.

```

%This function is provided as it is, without any warranty.
% Parameters:
% FileName: file name of the signature.
% ShowSig : if set to non 0 value displays signature.

% Output:
% X          : x coordinates
% Y          : y coordinates
% TStamps    : point acquisition time in msec (relative to 1'st
point)
% Pressure   : self explanatory
% EndPts     : 1 indicates end of a signature segment, 0 other
wise

function [X Y TStamp Pressure EndPts]=ReadSignature(FileName,ShowSig)

    FID=fopen(FileName,'r');

    if FID==-1
        error(strcat('could not open signature file: ',
FileName));
    else
        fgets(FID); %discard info line
        fgets(FID,10); %discard
    end

```

```

NumOfPoints=fscanf(FID,'%d',1);

%read sig. data
SigData=fscanf(FID,'%d%d%d%d%d',NumOfPoints*5);

%parse data
i=5*[0:NumOfPoints-1];
X=SigData(1+i);
Y=SigData(2+i);
TStamp=SigData(3+i);
Pressure=SigData(4+i);
EndPts=SigData(5+i);

if ShowSig
    eInd=find(EndPts==1);
    Xtmp=X; Ytmp=-Y;
    Xtmp(eInd)=nan; Ytmp(eInd)=nan;
    %figure,plot(Xtmp,Ytmp,'.'); hold on;
    plot(Xtmp,Ytmp,'k. '); hold on;
    plot(Xtmp,Ytmp,'k ');
    xlabel('X'); ylabel('Y');
    warning off;
    %title(FileName);

    grid off;
    set(gca,'YTickLabel',[])
    set(gca,'YTick',[])
    set(gca,'XTickLabel',[])
    set(gca,'XTick',[])
end

end

fclose(FID);

```

Συνάρτηση Preprocessing

Η συνάρτηση Preprocessing παίρνει από το κυρίως πρόγραμμα τον πίνακα των μεταβλητών x και y , αντιμετωπίζει το translation problem και το scaling problem και επιστρέφει τους καινούργιους πίνακες στο πρόγραμμα.

```

function [X Y]=Preprocessing(X,Y)
    X=X-mean(X);
    K=max(abs(X));
    X=X/K;
    Y=Y-mean(Y);
    Y=Y/K;

```

Συνάρτηση voitheia

Η συνάρτηση voitheia, είναι μια βοηθητική συνάρτηση που διαβάζει τις υπογραφές από το πρόγραμμα, κάνει preprocessing και βρίσκει και τα χαρακτηριστικά dx και dy .

```

function [DX,DY,Tn]=voitheia(input_sign)

[X Y T]=ReadSignature(input_sign,0);
[X,Y]=Preprocessing(X,Y);
DX=[X(2:end)-X(1:end-1)'];

```

```
DY=[Y(2:end)-Y(1:end-1)]';  
Tn=[T(1:end-1)]';  
K1=max(abs(Tn));  
Tn=Tn/K1;
```

Συνάρτηση eer_global_theshold

Η συνάρτηση eer_global_threshold υπολογίζει το ποσοστό EER για όλα τα πρόσωπα της βάσης δεδομένων.

```
function [eer thres]=eer_global_threshold(dist_feature)  
  
dif=101;  
thres=0;  
imin=0;  
jmin=0;  
  
for i=1:94  
    for j=1:30  
  
        threshold(i,j)=dist_feature(i,j);  
  
        sum1=0;  
        sum2=0;  
  
        for l=1:94  
            for k=1:30  
  
                if dist_feature(l,k)>threshold(i,j) && k<=20  
                    sum1=sum1+1;  
                elseif dist_feature(l,k)<threshold(i,j) && k>20  
                    sum2=sum2+1;  
                end  
            end  
        end  
  
        FRR(i,j)=sum1*100/(20*94);  
        FAR(i,j)=sum2*100/(10*94);  
        difference(i,j)=abs(FRR(i,j)-FAR(i,j));  
  
        if difference(i,j)<dif  
            dif=difference(i,j);  
            thres=threshold(i,j);  
            imin=i;  
            jmin=j;  
        end  
    end  
end  
  
eer=(FRR(imin,jmin)+FAR(imin,jmin))/2;
```

Συνάρτηση eer_global_threshold_veltiomeno

Η συνάρτηση eer_global_threshold_veltiomeno υπολογίζει το ποσοστό EER για όλα τα πρόσωπα της βάσης δεδομένων.

```
function [eer thres]=eer_global_threshold_veltiomeno(dist_feat)
```

```

for i=1:94
    mini(i)=min(dist_feat(i,1:30));
    dist_feature(i,1:30)=dist_feat(i,1:30)-mini(i);
end

dif=101;
thres=0;
imin=0;
jmin=0;

for i=1:94
    for j=1:30

        threshold(i,j)=dist_feature(i,j);

        sum1=0;
        sum2=0;

        for l=1:94
            for k=1:30

                if dist_feature(l,k)>threshold(i,j) && k<=20
                    sum1=sum1+1;
                elseif dist_feature(l,k)<threshold(i,j) && k>20
                    sum2=sum2+1;
                end
            end
        end

        FRR(i,j)=sum1*100/(20*94);
        FAR(i,j)=sum2*100/(10*94);
        difference(i,j)=abs(FRR(i,j)-FAR(i,j));

        if difference(i,j)<dif
            dif=difference(i,j);
            thres=threshold(i,j);
            imin=i;
            jmin=j;
        end
    end
end

eer=(FRR(imin,jmin)+FAR(imin,jmin))/2;

```

Πρόγραμμα για τα χαρακτηριστικά dx και dy

Το πρόγραμμα που υπολογίζει τα EER, για το global threshold και το βελτιωμένο global threshold και για τα δύο πρωτόκολλα της ειδικευμένης και της τυχαίας πλαστογράφησης, για τα χαρακτηριστικά dx και dy.

```

for i=1:94

    i
    [distx_skilled(i,1:30) disty_skilled(i,1:30) distx_random(i,1:30)
    disty_random(i,1:30)]=random_skilled_forger(i);

```

end

```
[eer_xskilled thres_xskilled]=eer_global_threshold(distx_skilled);
[eer_yskilled thres_yskilled]=eer_global_threshold(disty_skilled);
```

```
[eer_xlskilled
thres_xlskilled]=eer_global_threshold_veltiomeno(distx_skilled);
[eer_ylskilled
thres_ylskilled]=eer_global_threshold_veltiomeno(disty_skilled);
```

```
[eer_xrandom thres_xrandom]=eer_global_threshold(distx_random);
[eer_yrandom thres_yrandom]=eer_global_threshold(disty_random);
```

```
[eer_xlrandom
thres_xlrandom]=eer_global_threshold_veltiomeno(distx_random);
[eer_ylrandom
thres_ylrandom]=eer_global_threshold_veltiomeno(disty_random);
```

Η συνάρτηση `random_skilled_forgery` υπολογίζει τις αποστάσεις των χαρακτηριστικών dx και dy από τις πρότυπες υπογραφές.

```
function [distx_skilled disty_skilled distx_random
disty_random]=random_skilled_forgery(pers)
```

```
person(1:10) =[001 002 003 004 008 009 010 011 013 014];
person(11:20)=[015 016 018 019 020 021 022 023 024 025];
person(21:30)=[026 028 029 032 034 036 037 038 039 040];
person(31:40)=[042 044 046 053 054 055 056 057 058 059];
person(41:50)=[060 061 062 063 064 065 066 067 069 070];
person(51:60)=[071 072 073 074 075 076 077 078 079 080];
person(61:70)=[081 082 083 084 085 086 087 088 089 090];
person(71:80)=[091 092 093 094 095 096 097 098 099 100];
person(81:90)=[101 102 103 104 105 106 107 108 109 110];
person(91:94)=[111 113 114 115];
```

```
x=rand(1);
x=x*94;
x=ceil(x);
pers=person(pers);
j=pers;
for i=1:10;

    k(i)=rem(x+i-2,94)+1;

    if k(i)==j
        k(i)=k(i)+1;
        j=j+1;
    end
end
```

```
path='C:\Users\user\Documents\MATLAB\PTYXIAKH\susig_original';
```

```
if pers<10
    pers=['00' num2str(pers)];
elseif pers<100
```

```

        pers=['0' num2str(pers)];
    else
        pers=num2str(pers);
end

for i=1:10

    input_sign=[path '\GENUINE\SESSION1\' pers '_1_' num2str(i)
'.sig'];
    [DX1s DY1s Tn1s]=voitheia(input_sign);

    input_sign=[path '\GENUINE\SESSION2\' pers '_2_' num2str(i)
'.sig'];
    [DX2s DY2s Tn2s]=voitheia(input_sign);

    input_sign=[path '\FORGERY\' pers '_f_' num2str(i) '.sig'];
    [DXf DYf Tnf]=voitheia(input_sign);

    name=person(k(i));

    if name<10
        person_claimed=['00' num2str(name)];
    elseif name<100
        person_claimed=['0' num2str(name)];
    else
        person_claimed=num2str(name);
    end

    input_sign=[path '\GENUINE\SESSION1\' person_claimed
'_1_1.sig'];
    [DXrf DYrf Tnrf]=voitheia(input_sign);

    for j=1:5
        input_sign=[path '\GENUINE\SESSION1\' pers '_1_' num2str(j)
'.sig'];
        [DX DY Tn]=voitheia(input_sign);
        distx1s(j)=dtw1(DX1s,DX);
        disty1s(j)=dtw1(DY1s,DY);
        distx2s(j)=dtw1(DX2s,DX);
        disty2s(j)=dtw1(DY2s,DY);
        distxf(j)=dtw1(DXf,DX);
        distyf(j)=dtw1(DYf,DY);
        distxrf(j)=dtw1(DXrf,DX);
        distyrf(j)=dtw1(DYrf,DY);
    end

    distx_df(i)=mean(distxf);
    disty_df(i)=mean(distyf);
    distx_drf(i)=mean(distxrf);
    disty_drf(i)=mean(distyrf);
    distx_d2s(i)=mean(distx2s);
    disty_d2s(i)=mean(disty2s);
    distx_d1s(i)=mean(distx1s);
    disty_d1s(i)=mean(disty1s);

end

distx_skilled=[distx_d1s distx_d2s distx_df];
disty_skilled=[disty_d1s disty_d2s disty_df];

```



```
distx_random=[distx_d1s distx_d2s distx_drf];
disty_random=[disty_d1s disty_d2s disty_drf];
```

Πρόγραμμα για το χαρακτηριστικό t

Το πρόγραμμα που υπολογίζει τα EER, για το global threshold και το βελτιωμένο global threshold και για τα δύο πρωτόκολλα της ειδικευμένης και της τυχαίας πλαστογράφησης, για τα χαρακτηριστικά t.

```
for i=1:94
    i
    [dist_t_skilled(i,1:30)
dist_t_random(i,1:30)]=skilled_random_dist_t(i);

end

[eer_tskilled thres_tskilled]=eer_global_threshold(dist_t_skilled);
[eer_t1skilled
thres_t1skilled]=eer_global_threshold_veltiomeno(dist_t_skilled);

[eer_trandom thres_trandom]=eer_global_threshold(dist_t_random);
[eer_t1random
thres_t1random]=eer_global_threshold_veltiomeno(dist_t_random);
```

Η συνάρτηση skilled_random_dist_t υπολογίζει τις αποστάσεις του χαρακτηριστικού t από τις πρότυπες υπογραφές.

```
function [dist_t_skilled dist_t_random]=skilled_random_dist_t(pers)

person(1:10)=[001 002 003 004 008 009 010 011 013 014];
person(11:20)=[015 016 018 019 020 021 022 023 024 025];
person(21:30)=[026 028 029 032 034 036 037 038 039 040];
person(31:40)=[042 044 046 053 054 055 056 057 058 059];
person(41:50)=[060 061 062 063 064 065 066 067 069 070];
person(51:60)=[071 072 073 074 075 076 077 078 079 080];
person(61:70)=[081 082 083 084 085 086 087 088 089 090];
person(71:80)=[091 092 093 094 095 096 097 098 099 100];
person(81:90)=[101 102 103 104 105 106 107 108 109 110];
person(91:94)=[111 113 114 115];

x=rand(1);
x=x*94;
x=ceil(x);
pers=person(pers);
j=pers;
for i=1:10;

    k(i)=rem(x+i-2,94)+1;

    if k(i)==j
        k(i)=k(i)+1;
        j=j+1;
        if k(i)>=95;
            k(i)=k(i)-94;
```

```

        end
    end
end

path='C:\Users\user\Documents\MATLAB\PTYXIAKH\susig_original';

if pers<10
    pers=['00' num2str(pers)];
elseif pers<100
    pers=['0' num2str(pers)];
else
    pers=num2str(pers);
end

for i=1:10

    input_sign=[path '\GENUINE\SESSION1\' pers '_1_' num2str(i)
'.sig'];
    [DX1s DY1s Tn1s]=voitheia(input_sign);

    input_sign=[path '\GENUINE\SESSION2\' pers '_2_' num2str(i)
'.sig'];
    [DX2s DY2s Tn2s]=voitheia(input_sign);

    input_sign=[path '\FORGERY\' pers '_f_' num2str(i) '.sig'];
    [DXf DYf Tnf]=voitheia(input_sign);

    name=person(k(i));

    if name<10
        person_claimed=['00' num2str(name)];
    elseif name<100
        person_claimed=['0' num2str(name)];
    else
        person_claimed=num2str(name);
    end

    input_sign=[path '\GENUINE\SESSION1\' person_claimed
'_1_1.sig'];
    [DXrf DYrf Tnrf]=voitheia(input_sign);

    for j=1:5
        input_sign=[path '\GENUINE\SESSION1\' pers '_1_' num2str(j)
'.sig'];
        [DX DY Tn]=voitheia(input_sign);
        distTn1s(j)=dtw1(Tn1s,Tn);
        distTn2s(j)=dtw1(Tn2s,Tn);
        distTnf(j)=dtw1(Tnf,Tn);
        distTnrf(j)=dtw1(Tnrf,Tn);
    end

    dist_d1s(i)=mean(distTn1s);
    dist_d2s(i)=mean(distTn2s);
    dist_df(i)=mean(distTnf);
    dist_drf(i)=mean(distTnrf);

end

```

```
dist_t_skilled=[dist_d1s dist_d2s dist_df];
dist_t_random=[dist_d1s dist_d2s dist_drf];
```

Πρόγραμμα για τον συνδυασμό των χαρακτηριστικών dx και dy

Το πρόγραμμα που υπολογίζει τα EER, για το global threshold και το βελτιωμένο global threshold και για τα δύο πρωτόκολλα της ειδικευμένης και της τυχαίας πλαστογράφησης, για τον συνδυασμό των χαρακτηριστικών dx και dy.

```
for i=1:94
    i
    [dist_dxdy_skilled(i,1:30)
dist_dxdy_random(i,1:30)]=skilled_random_dist_dxdy(i);
end

[eer_dxdyskilled
thres_dxdyskilled]=eer_global_threshold(dist_dxdy_skilled);
[eer_dxdylskilled
thres_dxdylskilled]=eer_global_threshold_veltiomeno(dist_dxdy_skilled
);

[eer_dxdyrandom
thres_dxdyrandom]=eer_global_threshold(dist_dxdy_random);
[eer_dxdylrandom
thres_dxdylrandom]=eer_global_threshold_veltiomeno(dist_dxdy_random);
```

Η συνάρτηση `skilled_random_dist_dxdy` υπολογίζει τις αποστάσεις του συνδυασμού των χαρακτηριστικών dx και dy, από τις πρότυπες υπογραφές.

```
function [dist_dxdy_skilled
dist_dxdy_random]=skilled_random_dist_dxdy(pers)

person(1:10) =[001 002 003 004 008 009 010 011 013 014];
person(11:20)=[015 016 018 019 020 021 022 023 024 025];
person(21:30)=[026 028 029 032 034 036 037 038 039 040];
person(31:40)=[042 044 046 053 054 055 056 057 058 059];
person(41:50)=[060 061 062 063 064 065 066 067 069 070];
person(51:60)=[071 072 073 074 075 076 077 078 079 080];
person(61:70)=[081 082 083 084 085 086 087 088 089 090];
person(71:80)=[091 092 093 094 095 096 097 098 099 100];
person(81:90)=[101 102 103 104 105 106 107 108 109 110];
person(91:94)=[111 113 114 115];

x=rand(1);
x=x*94;
x=ceil(x);
pers=person(pers);
j=pers;
for i=1:10;

    k(i)=rem(x+i-2,94)+1;

    if k(i)==j
        k(i)=k(i)+1;
        j=j+1;
```

```

        if k(i)>=95;
            k(i)=k(i)-94;
        end
    end
end

path='C:\Users\user\Documents\MATLAB\PTYXIAKH\susig_original';

if pers<10
    pers=['00' num2str(pers)];
elseif pers<100
    pers=['0' num2str(pers)];
else
    pers=num2str(pers);
end

for i=1:10

    input_sign=[path '\GENUINE\SESSION1\' pers '_1_' num2str(i)
'.sig'];
    [DX1s DY1s Tn1s]=voitheia(input_sign);
    dx_dy_1=[DX1s;DY1s];

    input_sign=[path '\GENUINE\SESSION2\' pers '_2_' num2str(i)
'.sig'];
    [DX2s DY2s Tn2s]=voitheia(input_sign);
    dx_dy_2=[DX2s;DY2s];

    input_sign=[path '\FORGERY\' pers '_f_' num2str(i) '.sig'];
    [DXf DYf Tnf]=voitheia(input_sign);
    dx_dy_f=[DXf;DYf];

    name=person(k(i));

    if name<10
        person_claimed=['00' num2str(name)];
    elseif name<100
        person_claimed=['0' num2str(name)];
    else
        person_claimed=num2str(name);
    end

    input_sign=[path '\GENUINE\SESSION1\' person_claimed
'_1_1.sig'];
    [DXrf DYrf Tnrf]=voitheia(input_sign);
    dx_dy_rf=[DXrf;DYrf];

    for j=1:5
        input_sign=[path '\GENUINE\SESSION1\' pers '_1_' num2str(j)
'.sig'];
        [DX DY Tn]=voitheia(input_sign);
        dx_dy=[DX;DY];

        dist_dx_dy_1(j)=dtw1(dx_dy_1,dx_dy);
        dist_dx_dy_2(j)=dtw1(dx_dy_2,dx_dy);
        dist_dx_dy_f(j)=dtw1(dx_dy_f,dx_dy);
        dist_dx_dy_rf(j)=dtw1(dx_dy_rf,dx_dy);
        distTn1s(j)=dtw1(Tn1s,Tn);
    end
end

```

```

end

dist_dxdy_1(i)=mean(dist_dx_dy_1);
dist_dxdy_2(i)=mean(dist_dx_dy_2);
dist_dxdy_f(i)=mean(dist_dx_dy_f);
dist_dxdy_rf(i)=mean(dist_dx_dy_rf);

end

dist_dxdy_skilled=[dist_dxdy_1 dist_dxdy_2 dist_dxdy_f];
dist_dxdy_random=[dist_dxdy_1 dist_dxdy_2 dist_dxdy_rf];

```

Πρόγραμμα για τον συνδυασμό των χαρακτηριστικών dx και t

Το πρόγραμμα που υπολογίζει τα EER, για το global threshold και το βελτιωμένο global threshold και για τα δύο πρωτόκολλα της ειδικευμένης και της τυχαίας πλαστογράφησης, για τον συνδυασμό των χαρακτηριστικών dx και t.

```

for i=1:94
    i
    [dist_dxt_skilled(i,1:30)
dist_dxt_random(i,1:30)]=skilled_random_dist_dxt(i);
end

[eer_dxtskilled
thres_dxtskilled]=eer_global_threshold(dist_dxt_skilled);
[eer_dxtlskilled
thres_dxtlskilled]=eer_global_threshold_veltiomeno(dist_dxt_skilled);

[eer_dxtrandom
thres_dxtrandom]=eer_global_threshold(dist_dxt_random);
[eer_dxtlrandom
thres_dxtlrandom]=eer_global_threshold_veltiomeno(dist_dxt_random);

```

Η συνάρτηση `skilled_random_dist_dxt` υπολογίζει τις αποστάσεις του συνδυασμού των χαρακτηριστικών dx και t, από τις πρότυπες υπογραφές.

```

function [dist_dxt_skilled
dist_dxt_random]=skilled_random_dist_dxt(pers)

person(1:10)=[001 002 003 004 008 009 010 011 013 014];
person(11:20)=[015 016 018 019 020 021 022 023 024 025];
person(21:30)=[026 028 029 032 034 036 037 038 039 040];
person(31:40)=[042 044 046 053 054 055 056 057 058 059];
person(41:50)=[060 061 062 063 064 065 066 067 069 070];
person(51:60)=[071 072 073 074 075 076 077 078 079 080];
person(61:70)=[081 082 083 084 085 086 087 088 089 090];
person(71:80)=[091 092 093 094 095 096 097 098 099 100];
person(81:90)=[101 102 103 104 105 106 107 108 109 110];
person(91:94)=[111 113 114 115];

x=rand(1);
x=x*94;

```

```
x=ceil(x);
pers=person(pers);
j=pers;
for i=1:10;

    k(i)=rem(x+i-2,94)+1;

    if k(i)==j
        k(i)=k(i)+1;
        j=j+1;
        if k(i)>=95;
            k(i)=k(i)-94;
        end
    end
end

path='C:\Users\user\Documents\MATLAB\PTYXIAKH\susig_original';

if pers<10
    pers=['00' num2str(pers)];
elseif pers<100
    pers=['0' num2str(pers)];
else
    pers=num2str(pers);
end

for i=1:10

    input_sign=[path '\GENUINE\SESSION1\' pers '_1_' num2str(i)
'.sig'];
    [DX1s DY1s Tn1s]=voitheia(input_sign);
    dx_t_1=[DX1s;Tn1s];

    input_sign=[path '\GENUINE\SESSION2\' pers '_2_' num2str(i)
'.sig'];
    [DX2s DY2s Tn2s]=voitheia(input_sign);
    dx_t_2=[DX2s;Tn2s];

    input_sign=[path '\FORGERY\' pers '_f_' num2str(i) '.sig'];
    [DXf DYf Tnf]=voitheia(input_sign);
    dx_t_f=[DXf;Tnf];

    name=person(k(i));

    if name<10
        person_claimed=['00' num2str(name)];
    elseif name<100
        person_claimed=['0' num2str(name)];
    else
        person_claimed=num2str(name);
    end

    input_sign=[path '\GENUINE\SESSION1\' person_claimed
'_1_1.sig'];
    [DXrf DYrf Tnrf]=voitheia(input_sign);
    dx_t_rf=[DXrf;Tnrf];

    for j=1:5
```

```

        input_sign=[path '\GENUINE\SESSION1\' pers '_1_' num2str(j)
        '.sig'];
        [DX DY Tn]=voitheia(input_sign);
        dx_t=[DX;Tn];

        dist_dx_t_1(j)=dtw1(dx_t_1,dx_t);
        dist_dx_t_2(j)=dtw1(dx_t_2,dx_t);
        dist_dx_t_f(j)=dtw1(dx_t_f,dx_t);
        dist_dx_t_rf(j)=dtw1(dx_t_rf,dx_t);

    end

    dist_dxt_1(i)=mean(dist_dx_t_1);
    dist_dxt_2(i)=mean(dist_dx_t_2);
    dist_dxt_f(i)=mean(dist_dx_t_f);
    dist_dxt_rf(i)=mean(dist_dx_t_rf);

end

dist_dxt_skilled=[dist_dxt_1 dist_dxt_2 dist_dxt_f];
dist_dxt_random=[dist_dxt_1 dist_dxt_2 dist_dxt_rf];

```

Πρόγραμμα για τον συνδυασμό των χαρακτηριστικών dy και t

Το πρόγραμμα που υπολογίζει τα EER, για το global threshold και το βελτιωμένο global threshold και για τα δύο πρωτόκολλα της ειδικευμένης και της τυχαίας πλαστογράφησης, για τον συνδυασμό των χαρακτηριστικών dy και t.

```

for i=1:94
    i
    [dist_dyt_skilled(i,1:30)
dist_dyt_random(i,1:30)]=skilled_random_dist_dyt(i);
end

[eer_dytskilled
thres_dytskilled]=eer_global_threshold(dist_dyt_skilled);
[eer_dytlskilled
thres_dytlskilled]=eer_global_threshold_veltiomeno(dist_dyt_skilled);

[eer_dytrandom
thres_dytrandom]=eer_global_threshold(dist_dyt_random);
[eer_dytlrandom
thres_dytlrandom]=eer_global_threshold_veltiomeno(dist_dyt_random);

```

Η συνάρτηση `skilled_random_dist_dyt` υπολογίζει τις αποστάσεις του συνδυασμού των χαρακτηριστικών dy και t, από τις πρότυπες υπογραφές.

```

function [dist_dyt_skilled
dist_dyt_random]=skilled_random_dist_dyt(pers)

person(1:10) =[001 002 003 004 008 009 010 011 013 014];
person(11:20)=[015 016 018 019 020 021 022 023 024 025];
person(21:30)=[026 028 029 032 034 036 037 038 039 040];
person(31:40)=[042 044 046 053 054 055 056 057 058 059];
person(41:50)=[060 061 062 063 064 065 066 067 069 070];

```

```
person(51:60)=[071 072 073 074 075 076 077 078 079 080];
person(61:70)=[081 082 083 084 085 086 087 088 089 090];
person(71:80)=[091 092 093 094 095 096 097 098 099 100];
person(81:90)=[101 102 103 104 105 106 107 108 109 110];
person(91:94)=[111 113 114 115];

x=rand(1);
x=x*94;
x=ceil(x);
pers=person(x);
j=pers;
for i=1:10;

    k(i)=rem(x+i-2,94)+1;

    if k(i)==j
        k(i)=k(i)+1;
        j=j+1;
        if k(i)>=95;
            k(i)=k(i)-94;
        end
    end
end

path='C:\Users\user\Documents\MATLAB\PTYXIAKH\susig_original';

if pers<10
    pers=['00' num2str(pers)];
elseif pers<100
    pers=['0' num2str(pers)];
else
    pers=num2str(pers);
end

for i=1:10

    input_sign=[path '\GENUINE\SESSION1\' pers '_1_' num2str(i)
'.sig'];
    [DX1s DY1s Tn1s]=voitheia(input_sign);
    dy_t_1=[DY1s;Tn1s];

    input_sign=[path '\GENUINE\SESSION2\' pers '_2_' num2str(i)
'.sig'];
    [DX2s DY2s Tn2s]=voitheia(input_sign);
    dy_t_2=[DY2s;Tn2s];

    input_sign=[path '\FORGERY\' pers '_f_' num2str(i) '.sig'];
    [DXf DYf Tnf]=voitheia(input_sign);
    dy_t_f=[DYf;Tnf];

    name=person(k(i));

    if name<10
        person_claimed=['00' num2str(name)];
    elseif name<100
        person_claimed=['0' num2str(name)];
    else
```



```

        person_claimed=num2str(name);
    end

    input_sign=[path '\GENUINE\SESSION1\' person_claimed
'_1_1.sig'];
    [DXrf DYrf Tnrf]=voitheia(input_sign);
    dy_t_rf=[DYrf;Tnrf];

    for j=1:5
        input_sign=[path '\GENUINE\SESSION1\' pers '_1_' num2str(j)
'.sig'];
        [DX DY Tn]=voitheia(input_sign);
        dy_t=[DY;Tn];

        dist_dy_t_1(j)=dtw1(dy_t_1,dy_t);
        dist_dy_t_2(j)=dtw1(dy_t_2,dy_t);
        dist_dy_t_f(j)=dtw1(dy_t_f,dy_t);
        dist_dy_t_rf(j)=dtw1(dy_t_rf,dy_t);

    end

    dist_dyt_1(i)=mean(dist_dy_t_1);
    dist_dyt_2(i)=mean(dist_dy_t_2);
    dist_dyt_f(i)=mean(dist_dy_t_f);
    dist_dyt_rf(i)=mean(dist_dy_t_rf);

end

dist_dyt_skilled=[dist_dyt_1 dist_dyt_2 dist_dyt_f];
dist_dyt_random=[dist_dyt_1 dist_dyt_2 dist_dyt_rf];

```

Πρόγραμμα για τον συνδυασμό των χαρακτηριστικών dx, dy, t

Το πρόγραμμα που υπολογίζει τα EER, για το global threshold και το βελτιωμένο global threshold και για τα δύο πρωτόκολλα της ειδικευμένης και της τυχαίας πλαστογράφησης, για τον συνδυασμό των χαρακτηριστικών dx, dy, t.

```

for i=1:94
    i
    [dist_dxdyt_skilled(i,1:30)
dist_dxdyt_random(i,1:30)]=skilled_random_dist_dxdyt(i);
end

[eer_dxdytskilled
thres_dxdyskilled]=eer_global_threshold(dist_dxdyt_skilled);
[eer_dxdytlskilled
thres_dxdylskilled]=eer_global_threshold_veltiomeno(dist_dxdyt_skilled);

[eer_dxdytrandom
thres_dxdyrandom]=eer_global_threshold(dist_dxdyt_random);
[eer_dxdytlrandom
thres_dxdylrandom]=eer_global_threshold_veltiomeno(dist_dxdyt_random);
;

```

Η συνάρτηση `skilled_random_dist_dxdyt` υπολογίζει τις αποστάσεις του συνδυασμού των χαρακτηριστικών dx , dy , t , από τις πρότυπες υπογραφές.

```
function [dist_dxdyt_skilled
dist_dxdyt_random]=skilled_random_dist_dxdyt(pers)

person(1:10) =[001 002 003 004 008 009 010 011 013 014];
person(11:20)=[015 016 018 019 020 021 022 023 024 025];
person(21:30)=[026 028 029 032 034 036 037 038 039 040];
person(31:40)=[042 044 046 053 054 055 056 057 058 059];
person(41:50)=[060 061 062 063 064 065 066 067 069 070];
person(51:60)=[071 072 073 074 075 076 077 078 079 080];
person(61:70)=[081 082 083 084 085 086 087 088 089 090];
person(71:80)=[091 092 093 094 095 096 097 098 099 100];
person(81:90)=[101 102 103 104 105 106 107 108 109 110];
person(91:94)=[111 113 114 115];

x=rand(1);
x=x*94;
x=ceil(x);
pers=person(pers);
j=pers;

for i=1:10;

    k(i)=rem(x+i-2,94)+1;

    if k(i)==j
        k(i)=k(i)+1;
        j=j+1;
        if k(i)>=95;
            k(i)=k(i)-94;
        end
    end
end

path='C:\Users\user\Documents\MATLAB\PTYXIAKH\susig_original';

if pers<10
    pers=['00' num2str(pers)];
elseif pers<100
    pers=['0' num2str(pers)];
else
    pers=num2str(pers);
end

for i=1:10

    input_sign=[path '\GENUINE\SESSION1\' pers '_1_' num2str(i)
'.sig'];
    [DX1s DY1s Tn1s]=voitheia(input_sign);
    dx_dy_t_1=[DX1s;DY1s;Tn1s];

    input_sign=[path '\GENUINE\SESSION2\' pers '_2_' num2str(i)
'.sig'];
    [DX2s DY2s Tn2s]=voitheia(input_sign);
    dx_dy_t_2=[DX2s;DY2s;Tn2s];
```

```
input_sign=[path '\FORGERY\' pers '_f_' num2str(i) '.sig'];
[DXf DYf Tnf]=voitheia(input_sign);
dx_dy_t_f=[DXf;DYf;Tnf];

name=person(k(i));

if name<10
    person_claimed=['00' num2str(name)];
elseif name<100
    person_claimed=['0' num2str(name)];
else
    person_claimed=num2str(name);
end

input_sign=[path '\GENUINE\SESSION1\' person_claimed
'_1_1.sig'];
[DXrf DYrf Tnrf]=voitheia(input_sign);
dx_dy_t_rf=[DXrf;DYrf;Tnrf];

for j=1:5
    input_sign=[path '\GENUINE\SESSION1\' pers '_1_' num2str(j)
'.sig'];
    [DX DY Tn]=voitheia(input_sign);
    dx_dy_t=[DX;DY;Tn];

    dist_dx_dy_t_1(j)=dtw1(dx_dy_t_1,dx_dy_t);
    dist_dx_dy_t_2(j)=dtw1(dx_dy_t_2,dx_dy_t);
    dist_dx_dy_t_f(j)=dtw1(dx_dy_t_f,dx_dy_t);
    dist_dx_dy_t_rf(j)=dtw1(dx_dy_t_rf,dx_dy_t);

end

dist_dxdyt_1(i)=mean(dist_dx_dy_t_1);
dist_dxdyt_2(i)=mean(dist_dx_dy_t_2);
dist_dxdyt_f(i)=mean(dist_dx_dy_t_f);
dist_dxdyt_rf(i)=mean(dist_dx_dy_t_rf);

end

dist_dxdyt_skilled=[dist_dxdyt_1 dist_dxdyt_2 dist_dxdyt_f];
dist_dxdyt_random=[dist_dxdyt_1 dist_dxdyt_2 dist_dxdyt_rf];
```