

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΜΜΕ

**Ανάπτυξη συστήματος αναγνώρισης ανθρώπινων
βιομετρικών χαρακτηριστικών και εφαρμογή του στην
αναγνώριση δακτυλικών αποτυπωμάτων**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑ: Ιοκάστη Πρέγκλερ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΚΟΥΤΡΑΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

Πύργος, 2015

Περιεχόμενα

Λίστα Εικόνων	4
Λίστα Πινάκων	5
Περίληψη	6
Abstract	6
1 Εισαγωγή.....	7
1.1 Εισαγωγή.....	7
1.2 Βιομετρικά χαρακτηριστικά και Βιομετρικά συστήματα	7
1.2.1 Βιομετρικά χαρακτηριστικά	7
1.2.2 Βιομετρικά συστήματα	8
1.2.3 Παραδείγματα βιομετρικών χαρακτηριστικών	9
1.3 Προσδοκίες από βιομετρικές τεχνολογίες	15
2 Δακτυλικά αποτυπώματα	17
2.1 Ιστορική Αναδρομή.....	17
2.2 Αναγνώριση Αποτυπωμάτων.....	19
2.3 Το δακτυλικό αποτύπωμα ως βιομετρικό χαρακτηριστικό.....	19
3 Βάσεις δεδομένων – Υλικό	23
3.1 Βάσεις δεδομένων	23
3.1.1 INTERPOL.....	23
3.1.2 IAFIS.....	24
3.1.3 Άλλες Βάσεις	25
3.2 Scanner	25
3.3 Αυτοματοποιημένο Σύστημα Αναγνώρισης Δακτυλικών Αποτυπωμάτων (AFIS) ...	28
3.4 Άλλες μέθοδοι.....	29
4 Αναγνώριση Αποτυπωμάτων.....	32
4.1 Επίπεδο σχεδιασμού του συστήματος	32
4.2 Προεπεξεργασία	33
4.2.1 Ενίσχυση εικόνας.....	33
4.2.2 Ιστόγραμμα Εξισορρόπησης	33
4.2.3 Δυαδικοποίηση	34
4.3 Τμηματοποίηση εικόνων δακτυλικών αποτυπωμάτων	35

4.3.1	Εκτίμηση κατεύθυνσης του Block.....	35
4.3.2	Εξαγωγή περιοχής ενδιαφέροντος με χρήση μορφολογικών μεθόδων.....	36
4.4	Εξαγωγή μικρολεπτομερειών	36
4.4.1	Αραίωση κορυφογραμμών δακτυλικών αποτυπωμάτων	36
4.4.2	Ανίχνευση μικρολεπτομερειών	36
4.5	Μετεπεξεργασία	37
4.5.1	Αφαίρεση λανθάνον μικρολεπτομερειών	37
4.6	Ταυτοποίηση Λεπτομερειών	38
5	Πειραματικά αποτελέσματα.....	40
5.1	Βάση δεδομένων	40
5.2	Πειραματική διαδικασία.....	40
5.3	Εκτίμηση του συστήματος	47
5.4	Συμπεράσματα.....	48
	Αναφορές.....	49

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1-1 Χωρική σχέση των θέσεων των χαρακτηριστικών του προσώπου	9
Εικόνα 1-2 Παράδειγμα αναγνώρισης ίριδας	10
Εικόνα 1-3 Παράδειγμα ενός συστήματος αναγνώρισης φωνής	11
Εικόνα 1-4 Παράδειγμα σαρωτή αποτυπωμάτων παλάμης.....	12
Εικόνα 1-5 Χαρακτηριστικά δακτύλων.....	12
Εικόνα 1-6 Pen Pad.....	13
Εικόνα 1-7 DNA	14
Εικόνα 2-1 Κάρτα μετρήσεων σώματος Bertillion	17
Εικόνα 2-2 Κάρτα μετρήσεων σώματος Bertillion	18
Εικόνα 4-1 Σύστημα Αναγνώρισης Αποτυπωμάτων	32
Εικόνα 4-2 Ιστόγραμμα εξισορρόπησης	34
Εικόνα 5-1 Αριστερά: Αρχική εικόνα, Δεξιά: εικόνα μετά το ιστόγραμμα εξισορρόπησης.....	41
Εικόνα 5-2 Δεξιά: αρχική εικόνα , Αριστερά: Δυναμικοποιημένη εικόνα	41
Εικόνα 5-3 Το δεξί μέρος δείχνει την κατεύθυνση του μπλοκ της εικόνας στο αριστερό μέρος.....	42
Εικόνα 5-4 Εξαγωγή περιοχής.....	43
Εικόνα 5-5 Στο δεξί μέρος φαίνεται η αραίωση κορυφογραμμών.....	44
Εικόνα 5-6 Ανίχνευση μικρολεπτομεριών.....	44
Εικόνα 5-7 Αφαίρεση λανθανόντων πληροφοριών	45

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1 Πίνακας ταυτοποίησης δακτυλικού αποτυπώματος ίδιου ατόμου	46
Πίνακας 2 Αποτελέσματα ταυτοποίησης του δακτυλικού αποτυπώματος του ατόμου 101	47

Περίληψη

Οι μέχρι τώρα μέθοδοι αναγνώρισης ταυτότητας που βασίζονται σε πιστοποιητικά (κωδικοί πρόσβασης, ταυτότητες) δεν είναι σε θέση να ανταποκριθούν στις συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις για καλύτερη ασφάλεια σε εφαρμογές όπως διέλευση συνόρων, κυβερνητικά επιδόματα και άλλα. Ως αποτέλεσμα η βιομετρική αναγνώριση ή απλώς τα βιομετρικά χαρακτηριστικά τα οποία βασίζονται στα φυσιολογικά και συμπεριφοριστικά χαρακτηριστικά ενός ατόμου, χρησιμοποιούνται και χαρτογραφούνται όλο και περισσότερο σε γρήγορα αναπτυσσόμενες εφαρμογές. Σε αντίθεση με τα πιστοποιητικά (PIN, ταυτότητες) τα βιομετρικά χαρακτηριστικά δεν μπορούν να χαθούν, να κλαπούν ή ακόμα και να πλαστογραφηθούν. Επίσης θεωρούνται ότι είναι ανθεκτικά στο πέρασμα του χρόνου και μοναδικά στον καθένα. Η εργασία αυτή περιγράφει έναν τρόπο επεξεργασίας εικόνων αποτυπωμάτων που παρνάει το αποτύπωμα από αρκετά στάδια συμπεριλαμβανομένων την ενίσχυση εικόνας και δυαδικοποίησης.

Abstract

The so far identification methods based on certificates (passwords, ID cards) are not able to meet the increasing demands for improved safety in applications such as border crossings, government benefits and more. As a result of biometric identification or merely biometric characteristics which are based on physiological and behavioral characteristics of an individual used and mapped increasingly rapidly developing applications. Unlike certificates (PIN, identities) biometrics cannot be lost, stolen or even faked. Also considered to be resistant to the passage of time and unique to everyone. This paper describes a way of image processing fingerprint goes through several steps including the image amplification and binarization. In this paper those methods and other methods and biometric systems are going to be studied.

1 Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

Εδώ και χιλιάδες χρόνια οι άνθρωποι με σκοπό να αναγνωρίζουν ο ένας τον άλλον χρησιμοποιούν τα χαρακτηριστικά του κάθε ανθρώπου όπως το πρόσωπο, η φωνή και πολλές φορές το βάδισμα.

Ο επικεφαλής του ποινικού τμήματος αναγνώρισης του αστυνομικού τμήματος στο Παρίσι, Alphonse Bertillon ανέπτυξε και στην συνέχεια εφάρμοσε την ιδέα να γίνει χρήση μιας σειράς μετρήσεων του σώματος με σκοπό τον εντοπισμό εγκληματιών στα μέσα του 19ου αιώνα. Το σύστημα αυτό όμως δεν διήρκεσε πολύ. Αμέσως μετά την εισαγωγή του καθιερώθηκε η μοναδικότητα των ανθρώπινων δακτυλικών αποτυπωμάτων. Και έτσι από τα μέσα του 1900 καθιερώθηκε η χρήση των δακτυλικών αποτυπωμάτων ως μία από της δημοφιλής και αποδεκτές μέθοδοι σε ιατροδικαστικές έρευνες για τον εντοπισμό εγκληματιών. ([1]Jain, Ross, Prebhakar2004)

Στην εποχή μας όλες οι υπηρεσίες επιβολής του νόμου παγκοσμίως χρησιμοποιούν το σύστημα αυτόματης αναγνώρισης αποτυπωμάτων (Automatic Fingerprint Identification Systems, AFIS,). Λόγω όμως των αυξανόμενων κινδύνων για τρομοκρατικές ενέργειες, παραβιάσεις ασφαλείας και διαφόρων ειδών οικονομικής απάτης υπήρξε απαίτηση για χρήση και άλλων ανθρώπινων χαρακτηριστικών για την αναγνώριση κάποιων προσώπων. Αυτά τα ιδιαίτερα βιομετρικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν την ίριδα, την παλάμη, τη φωνή κα.

1.2 Βιομετρικά χαρακτηριστικά και Βιομετρικά συστήματα

1.2.1 Βιομετρικά χαρακτηριστικά

DNA, πρόσωπο, ίριδα, παλάμη, γεωμετρία χεριού, φωνή, υπογραφή, φλέβες χεριών και αποτυπώματα (με τα οποία θα ασχοληθούμε σε αυτή την εργασία) και γενικά κάθε βιολογική μέτρηση για να θεωρηθεί βιομετρική θα πρέπει να πληρεί τις εξής προϋποθέσεις:

- **Παγκοσμιότητα:** κάθε άνθρωπος θα πρέπει να κατέχει το χαρακτηριστικό
- **Μοναδικότητα:** το χαρακτηριστικό θα πρέπει να είναι μοναδικό στον καθένα
- **Ιδιαιτερότητα:** το χαρακτηριστικό θα πρέπει να είναι επαρκώς αμετάβλητο κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου και
- **Εισπραξιμότητα:** το χαρακτηριστικό να μπορεί να μετρηθεί ποσοτικά. (Jain, Ross, Prebhakar 2004)

1.2.2 Βιομετρικά συστήματα

Ένα βιομετρικό σύστημα είναι ουσιαστικά ένα σύστημα αναγνώρισης προτύπων που λειτουργεί με την απόκτηση βιομετρικών δεδομένων από ένα άτομο, αποσπώντας ένα σύνολο χαρακτηριστικών κατά το πρότυπο από τη βάση δεδομένων. Ωστόσο όπως και για τα βιομετρικά χαρακτηριστικά έτσι και για τα βιομετρικά συστήματα υπάρχουν ορισμένα θέματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη, όπως:

- **Απόδοση:** το οποίο αναφέρεται στην δυνατότητα ακριβούς αναγνώρισης και ταχύτητας, στους πόρους που απαιτούνται για να επιτευχθεί η επιθυμητή ακρίβεια της αναγνώρισης και ταχύτητας καθώς και τον επιχειρησιακό και περιβαλλοντικό παράγοντα που επηρεάζει την ταχύτητα και την ακρίβεια.
- **Αποδοχή:** η οποία δείχνει τον βαθμό στον οποίο οι άνθρωποι είναι πρόθυμοι να δεχτούν τη χρήση ενός βιομετρικού συστήματος αναγνώρισης χαρακτηριστικών στην καθημερινή τους ζωή.
- **Καταστρατήγηση:** που αντανακλά το πόσο εύκολα μπορεί να ξεγελαστεί το σύστημα χρησιμοποιώντας δόλιες μεθόδους. ([2]Savvides, Mellon Univ)

Ανάλογα με το πλαίσιο εφαρμογής ένα βιομετρικό σύστημα μπορεί να λειτουργήσει είτε σε κατάσταση επαλήθευσης είτε σε λειτουργία αναγνώρισης.

Στην **λειτουργία επαλήθευσης** το σύστημα επικυρώνει την ταυτότητα ενός ατόμου συγκρίνοντας τα δεδομένα που έλαβε με τα δεδομένα που είναι αποθηκευμένα στη βάση δεδομένων. Σε ένα τέτοιο σύστημα, ένα άτομο που επιθυμεί να αναγνωριστεί υποστηρίζει μια ταυτότητα, συνήθως μέσω ενός ονόματος ή ενός κωδικού πρόσβασης, και το σύστημα διεξάγει μία 1-1 σύγκριση για να προσδιορίσει αν ο ισχυρισμός είναι αληθής ή όχι. Η επαλήθευση ταυτότητας συνήθως χρησιμοποιείται για θετική αναγνώριση, όπου ο στόχος είναι να αποφεύγεται να χρησιμοποιείται μία ταυτότητα από πολλούς ανθρώπους.

Στη **λειτουργία αναγνώρισης**, το σύστημα αναγνωρίζει ένα άτομο από την αναζήτηση των προτύπων όλων των χρηστών που είναι εγγεγραμμένοι στην βάση δεδομένων για ένα ταίριασμα. Ως εκ τούτου, το σύστημα διεξάγει μία σύγκριση ένα-προς-πολλά προς απόδειξη της ταυτότητας των ατόμων. Το σύστημα αναγνώρισης είναι ένα κρίσιμο συστατικό σε αρνητικές εφαρμογές αναγνώρισης, όταν το σύστημα καθορίζει εάν το άτομο είναι αυτός που αρνείται ότι είναι. Ο σκοπός της αρνητικής αναγνώρισης είναι να εμποδίσει ένα μόνο άτομο από την χρήση πολλαπλών ταυτοτήτων. Η εξακρίβωση της ταυτότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε θετική αναγνώριση για λόγους ευκολίας. Ενώ οι παραδοσιακές μέθοδοι όπως κλειδιά, κωδικοί πρόσβασης μπορούν να λειτουργήσουν ως θετική αναγνώριση, η αρνητική αναγνώριση μπορεί να αποδεχτεί μόνο μέσω βιομετρικών στοιχείων. (Jain, Ross, Prebhakar 2004:1)

1.2.3 Παραδείγματα βιομετρικών χαρακτηριστικών

Τα πιο δημοφιλή βιομετρικά χαρακτηριστικά είναι:

- Το πρόσωπο:** Οι άνθρωποι έχουν την αξιοσημείωτη δυνατότητα να αναγνωρίζουν συνανθρώπους από το πρόσωπο τους. Έτσι το πρόσωπο είναι ένα φυσικό ανθρώπινο χαρακτηριστικό για την αυτοματοποιημένη βιομετρική αναγνώριση. Τα συστήματα αυτά συνήθως χρησιμοποιούν τη χωρική σχέση μεταξύ των θέσεων των χαρακτηριστικών του προσώπου όπως τα μάτια, η μύτη, τα χείλη και το πηγούνι (όπως φαίνεται στην εικόνα 1-1). Οι ιατροδικαστικές αλλά και ιδιωτικές εφαρμογές των τεχνολογιών αναγνώρισης προσώπου θέτουν μια σειρά από τεχνικές προκλήσεις τόσο για την στατική φωτογραφία όσο και για το συνεχούς ροής βίντεο. Τα προβλήματα που σχετίζονται με το φωτισμό, τις χειρονομίες, το μακιγιάζ, την απόσταση των δοντιών και τις διαφορετικές στάσεις το σώματος επηρεάζουν αρνητικά την απόδοση του συστήματος. Ενώ η αναγνώριση προσώπου είναι μη παρεμβατική έχει υψηλή αποδοχή από το χρήστη και παρέχει αποδεκτά επίπεδα απόδοσης σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα ενώ η ισχυρή αναγνώριση προσώπου σε μη ιδανικές καταστάσεις συνεχίζει να δημιουργεί προκλήσεις.



Εικόνα 1-1 Χωρική σχέση των θέσεων των χαρακτηριστικών του προσώπου

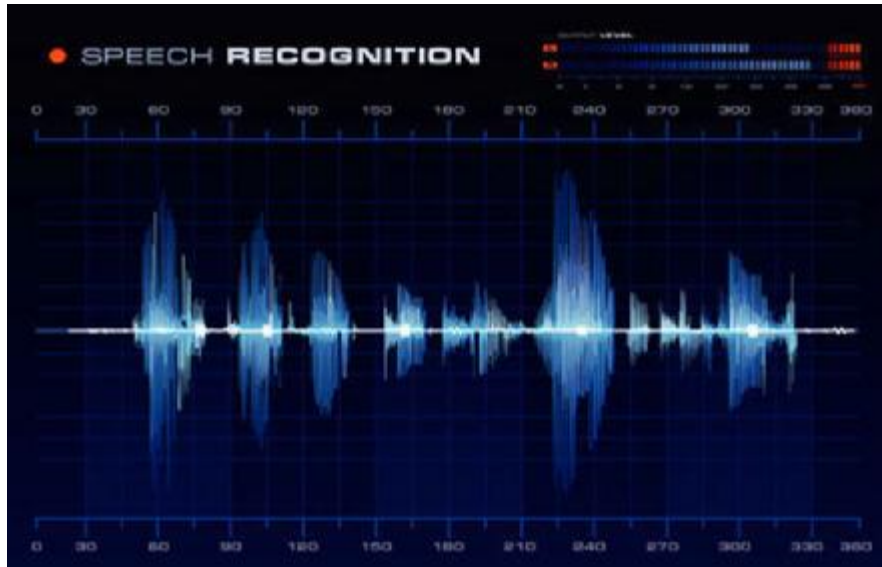
- Ίριδα:** Πρόκειται για το χρωματιστό δακτύλιο που περιβάλλει την κόρη. Οι εικόνες αυτές της ίριδας που αποκτούνται κάτω από υπέρυθρο φωτισμό αποτελούνται από ένα πολύπλοκο πρότυπο υφής με πολλές ατομικές ιδιότητες. Πχ ρίγες, λάκκους και αυλάκια τα οποία επιτρέπουν την εξαιρετικά αξιόπιστη προσωπική ταυτοποίηση (όπως φαίνεται στην εικόνα 1-2). Η ίριδα είναι ένα προστατευμένο εσωτερικό όργανο του οποίου το πρότυπο είναι σταθερό και διακριτό, ακόμα και μεταξύ πανομοιότυπων διδύμων και είναι εξαιρετικά δύσκολο να ξεγελαστεί χειρουργικά. Πρώτος ανακάλυψε τη χρησιμότητα του ο John Daugman και εμπορευματοποιήθηκε στα τέλη το 1900. Τόσο η ακρίβεια όσο και η αντίστοιχη των διαθέσιμων σήμερα συστημάτων αναγνώρισης ίριδας είναι πολύ υψηλή. Η αναγνώριση αυτή έχει ενσωματωθεί σε συστήματα ταυτοποίησης αρκετά μεγάλης κλίμακας. Για παράδειγμα από το 2014 η ίριδα έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές

εφαρμογές αναγνώρισης όπως οι έλεγχοι διέλευσης των συνόρων στα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα και χωρίς διαβατήριο μετανάστευσης στο Ηνωμένο Βασίλειο, την Ολλανδία και σε άλλες χώρες. Αρκετές επίσης προσπάθειες έχουν γίνει για να συλληφθεί ίριδα από απόσταση. Ωστόσο το υψηλό κόστος του σένσορα μαζί με το σχετικό μεγάλο ποσοστό αποτυχίας εγγραφής καθώς και η έλλειψη της βάσης δεδομένων μπορεί να περιορίσει τη χρήση του σε κάποιες μεγάλης κλίμακας κυβερνητικής εφαρμογής.



Εικόνα 1-2 Παράδειγμα αναγνώρισης ίριδας

- **Φωνή:** Τα συστήματα αναγνώρισης ομιλίας και φωνής για να αναγνωρίσουν κάποιον χρησιμοποιούν τον προφορικό λόγο. Η παραγωγή της ανθρώπινης φωνής περιλαμβάνει ένα συνδυασμό χαρακτηριστικών συμπεριφοράς και φυσικότητας. Η φυσική συνιστώσα της παραγωγής της φωνής εξαρτάται από το σχήμα και το μέγεθος των φωνητικών χαρακτηριστικών όπως τα χείλη, η ρινική κοιλότητα και το στόμα. Η κίνηση των χειλιών, ο ουρανίσκος, ο λάρυγγας και η γλώσσα αποτελούν τα συστατικά συμπεριφοράς της φωνής που μπορούν να μεταβληθούν με την πάροδο του χρόνου ανάλογα με την ηλικία και την κατάσταση υγείας του κάθε ατόμου. Το φασματικό περιεχόμενο της φωνής αναλύεται για να εξαχθεί η ένταση, η διάρκεια, η ποιότητα και ο τόνος το οποίο χρησιμοποιείται για την κατασκευή ενός μοντέλου για την αναγνώριση του ομιλητή. Η αναγνώριση ομιλητή είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για εφαρμογές όπως τηλεφωνικές συναλλαγές αλλά είναι και αρκετά ευαίσθητες στο θόρυβο και στην πλαστογράφιση. Τέλος η φωνή ως βιομετρικό χαρακτηριστικό χρησιμοποιείται κυρίως στη λειτουργία επαλήθευσης.



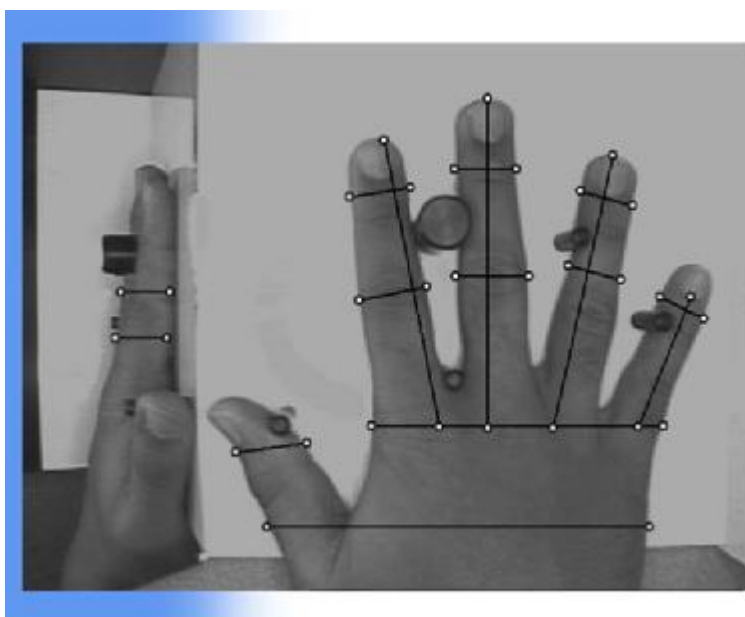
Εικόνα 1-3 Παράδειγμα ενός συστήματος αναγνώρισης φωνής

- **Παλάμη:** Η εικόνα της παλάμης ενός ανθρώπου αποτελείται από κορυφογραμμές και καμπές. Η αναγνώριση λανθανόντων αποτυπωμάτων παλάμης έχει ιδιαίτερα μεγάλη σημασία σε ιατροδικαστικές εφαρμογές δεδομένου ότι το 30% των αποτυπωμάτων που έχουν αρθεί από σκηνές εγκλήματος (όπλα, τιμόνι αυτοκινήτου, εργαλεία) είναι από παλάμες και όχι δακτύλων. Παρομοίως με τα δακτυλικά αποτυπώματα έτσι και τα συστήματα που χρησιμοποιούν λανθάνοντα αποτυπώματα παλάμης χρησιμοποιούν μικρολεπτομέρειες και τσακίσεις για το ταίριασμα. Ενώ η αστυνομία και τα εγκληματολογικά εργαστήρια πάντα σύλλεξαν δακτυλικά αποτυπώματα μόνο τα τελευταία χρόνια έγινε διαθέσιμη η βάση δεδομένων των αποτυπωμάτων παλάμης. Με βάση την επιτυχία των δακτυλικών αποτυπωμάτων σε πολιτικές εφαρμογές έχουν γίνει κάποιες προσπάθειες να χρησιμοποιηθούν εικόνες παλάμης χαμηλής ανάλυσης για εφαρμογές ελέγχου πρόσβασης. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν χαρακτηριστικά υφής που είναι παρόμοια με εκείνα που χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση ίριδας. Βέβαια τα συστήματα αναγνώρισης παλάμης δεν έχουν μέχρι τώρα αναπτυχθεί για πολιτικές εφαρμογές κυρίως λόγω του μεγάλου μεγέθους και του ότι για να γίνει η αναγνώριση θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν μεγάλοι συμπαγείς αισθητήρες. Στην εικόνα 1-4 φαίνεται ένα παράδειγμα σαρωτή παλάμης.



Εικόνα 1-4 Παράδειγμα σαρωτή αποτυπωμάτων παλάμης

- **Γεωμετρία χεριού** : Έχει ισχυριστεί πως ο άνθρωπος μπορεί να αναγνωριστεί από το σχήμα των χεριών του. Η αναγνώριση κάποιου με την γεωμετρία των χεριών γίνεται με τη χρήση εικόνων χαμηλής ανάλυσης ώστε να εξαχθούν κάποια χαρακτηριστικά όπως το μήκος, το πάχος, το πλάτος και η περίμετρος των δακτύλων (όπως φαίνεται στην εικόνα 1-5). Η διακριτή εξουσία αυτών των χαρακτηριστικών είναι αρκετά περιορισμένη και για αυτό το λόγο τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται μόνο για επαλήθευση και στον έλεγχο πρόσβασης ασφάλειας χαμηλού επιπέδου. Τα συστήματα γεωμετρίας χεριού έχουν μεγάλο μέγεθος και δεν μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν στα υπάρχοντα συστήματα ασφαλείας.



Εικόνα 1-5 Χαρακτηριστικά δακτύλων

- **Υπογραφή:** Η υπογραφή είναι μια συμπεριφοριστική βιομετρική μορφή που χρησιμοποιείται σε καθημερινές συναλλαγές. Παρόλο αυτά οι προσπάθειες που έχουν γίνει μέχρι τώρα για την ανάπτυξη ενός συστήματος αναγνώρισης υπογραφής υψηλής ακρίβειας δεν ήταν επιτυχείς. Αυτό οφείλεται στις αλλαγές που μπορούν να προκύψουν στις υπογραφές ενός ατόμου με το πέρασμα του χρόνου. Έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες να βελτιωθεί η απόδοση του συστήματος με τη σύλληψη δυναμικής και online υπογραφής που απαιτεί ειδικό στυλό (pen-pad) ευαίσθητο στην πίεση. Οι δυναμικές υπογραφές βοηθούν στην απόκτηση της ταχύτητας, του σχήματος, της πίεσης του στυλό, την τάξη και την ταχύτητα των εγκεφαλικών επεισοδίων κατά τη διάρκεια της πραγματικής υπογραφής (όπως φαίνεται στην εικόνα 1-6).



Εικόνα 1-6 Pen Pad

- **DNA:** Το DNA είναι ένα αρκτικόλεξο για δε (σ) οξυριβο (ζο) νουκλει (νι) κο οξύ το οποίο είναι παρόν στον πυρήνα κάθε κυττάρου του ανθρώπινου σώματος και ως εκ τούτου ένα πολύ σταθερό βιομετρικό αναγνωριστικό στοιχείο που αντιπροσωπεύει τα φυσιολογικά χαρακτηριστικά. Η δομή του DNA κάθε ανθρώπου είναι μοναδική, εκτός από πανομοιότυπα δίδυμα, και αποτελείται από γονίδια που καθορίζουν τα φυσικά χαρακτηριστικά όπως το χρώμα των ματιών και των μαλλιών. Δείγματα ανθρώπινου DNA μπορούν να αποκτηθούν από μια ευρεία ποικιλία πηγών. Για παράδειγμα από τα μαλλιά, το σάλιο, το αίμα και τα νύχια. Η αναγνώριση με βάση το DNA απαιτεί πρώτα την απομόνωση από την πηγή/δείγμα και ενισχύοντας το για τη δημιουργία πολλαπλών αντιγράφων της αλληλουχίας που θέλουμε που ακολουθείτε από την αλληλουχία που δημιουργεί ένα μοναδικό προφίλ DNA. Η αντιστοίχιση/ταίριασμα του DNA είναι αρκετά δημοφιλής για εφαρμογές ιατροδικαστικές και επιβολής του νόμου. Ωστόσο αυτό απαιτεί απτά δείγματα και δεν μπορεί να γίνει σε πραγματικό χρόνο. Μέχρι τώρα δεν είναι όλα τα βήματα αυτοματοποιημένα και ως εκ τούτου τα αποτελέσματα μπορεί να είναι λάθος αν η διαδικασία δεν διεξάγεται σωστά ή αν τα δείγματα έχουν μολυνθεί. Εν συντομία η διαδικασία αντιστοίχισης DNA είναι δαπανηρή, χρονοβόρα και για αυτό δεν είναι ακόμα κατάλληλες για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας.



Εικόνα 1-7 DNA

- **Φλέβες χεριού:** Το μοτίβο των αιμοφόρων αγγείων που βρίσκονται κρυμμένα κάτω από το δέρμα είναι διαφορετικό σε κάθε άνθρωπο ακόμα και μεταξύ πανομοιότυπων διδύμων , επίσης είναι σταθερό στο πέρασμα του χρόνου. Η πρωταρχική λειτουργία των φλεβών είναι να μεταφέρουν το αίμα από το ένα μέρος του σώματος στο άλλο και ως εκ τούτου το αγγειακό μοτίβο εξαπλώνεται σε όλο το σώμα . Οι φλέβες που υπάρχουν στα χέρια δηλαδή στην παλάμη, το δάχτυλο και την πίσω πλευρά του χεριού είναι εύκολο να αποκτηθούν (χρησιμοποιώντας υπέρυθρο φωτισμό) και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για βιομετρική αναγνώριση. Τα πρότυπα φλεβών είναι γενικά σταθερά στους ενήλικες αλλά αρχίζουν να συρρικνώνονται αργότερα λόγω μείωσης στη δύναμη των οστών και των μυών. Υπάρχουν πολλές ασθένειες όπως ο διαβήτης, η αθηροσκλήρωση ή όγκοι οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν τα πρότυπα φλεβών και να τα κάνουν πιο λεπτά ή χοντρά. Τα βιομετρικά συστήματα ελέγχου ταυτότητας χρησιμοποιώντας το δάχτυλό και τις φλέβες της παλάμης είναι τώρα διαθέσιμα για ορισμένες εμπορικές εφαρμογές. Προς το παρόν δεν υπάρχει κανένα γνωστό μεγάλης κλίμακας αγγειακό βιομετρικό σύστημα. ([3]Jain, Kumar 2010)
- **Αυτί:** Έχει προταθεί ότι το σχήμα του αυτιού και η δομή του ιστού του χόνδρου του λοβού είναι ξεχωριστά. Οι προσεγγίσεις αναγνώρισης αυτιού βασίζονται στο ταίριασμα της απόστασης των βασικών σημείων στο λοβό από μια τοποθεσία ορόσημο στο αυτί. Τα χαρακτηριστικά του αυτιού δεν αναμένονται να είναι πολύ ξεχωριστά στην εξακρίβωση της ταυτότητας ενός ατόμου.
- **Βάδισμα:** Το βάδισμα είναι ο περίεργος και ξεχωριστός τρόπος που περπατά κανείς και είναι ένα συγκρότημα χωροχρονικών βιομετρικών.

1.3 Προσδοκίες από βιομετρικές τεχνολογίες

Οι αυξανόμενες απαιτήσεις για την ασφάλεια σε πολλούς τομείς της κοινωνίας μας, έχουν δημιουργήσει ένα τεράστιο ενδιαφέρον για τη χρήση βιομετρικών στοιχείων. Αυτό έχει επίσης αυξήσει τις προσδοκίες προς τις βιομετρικές τεχνολογίες. Αυτές οι προσδοκίες μπορούν να συνοψιστούν σε πέντε κατηγορίες: απόδοση, κόστος, την ευκολία χρήσης, την διαλειτουργικότητας και την ασφάλειας του συστήματος.

- **Απόδοση:** Η απόδοση της αναγνώρισης μπορεί να επιτευχθεί από ένα βιομετρικό σύστημα υψίστου ενδιαφέροντος για την ανάπτυξη βιομετρικών συστημάτων. Ένα βιομετρικό σύστημα είναι επιρρεπές σε πολλά λάθη. Η απόδοση του συστήματος χαρακτηρίζεται περαιτέρω από την άποψη του χρόνου συναλλαγής ή διακίνησης. Η ακρίβεια ενός βιομετρικού συστήματος δεν είναι στατική, αλλά τα δεδομένα του εξαρτώνται και επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες: (α) ποιότητα βιομετρικών, η οποία σχετίζεται με την ποιότητα του ληφθέντος σήματος / εικόνας, (β) τη σύνθεση του πληθυσμού των χρηστών στον οποίο στοχεύουμε (π.χ., η γένος, τη φυλή, την ηλικία και το επάγγελμα), (γ) το μέγεθος της βάσης δεδομένων (δηλαδή, αριθμός των ατόμων που εγγράφονται στο σύστημα), (δ) χρονικό διάστημα μεταξύ εγγραφής και δεδομένα επαλήθευσης, (ε) μεταβολές στο περιβάλλον λειτουργίας (π.χ., θερμοκρασία, υγρασία, και φωτισμό), (στ) την ευρωστία των απασχολουμένων αλγόριθμων (δηλαδή, κατάτμηση, χαρακτηριστικό εξαγωγών, και αλγόριθμοι ταυτοποίησης).
- **Κόστος:** Το κόστος ανάπτυξης και εγκατάστασης ενός βιομετρικού συστήματος συχνά εκτιμάται από τα άμεσα και έμμεσα συστατικά της. Η άμεση συνιστώσα περιλαμβάνει τα στοιχεία του υλικού (αισθητήρα, επεξεργαστή, μνήμη) και τις ενότητες λογισμικού (GUI και matcher). Ο αισθητήρας θα πρέπει να είναι χαμηλού κόστους και θα πρέπει να είναι εύκολο να το ενσωματώσετε στην υπάρχουσα υποδομή ασφαλείας. Υπάρχουν πολύπλευρα συστατικά που αποτελούν το έμμεσο κόστος για τη χρήση του βιομετρικού συστήματος. Αυτές περιλαμβάνουν την εγκατάσταση του συστήματος, τις ανάγκες κατάρτισης / συντήρησης, και το πιο σημαντικό, την αποδοχή του χρήστη. Στο τέλος, η απόδοση των επενδύσεων ή η ανάλυση κόστους-οφέλους είναι ζωτικής σημασίας για την πραγματοποίηση μια υπόθεσης για τα βιομετρικά συστήματα στις περισσότερες εφαρμογές
- **Διαλειτουργικότητα:** Όπως βιομετρικά συστήματα αναπτύσσονται όλο και περισσότερο και εισέρχονται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, είναι απαραίτητο το σύστημα να είναι διαλειτουργικό μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών βιομετρίας. Ένα βιομετρικό σύστημα δεν μπορεί πλέον να λειτουργεί υπό την προϋπόθεση πως ο ίδιος αισθητήρας, οι ίδιοι αλγόριθμοι, ή ίδιες συνθήκες λειτουργίας θα είναι πάντα διαθέσιμες κατά τη διάρκεια της ζωής του. Το σύστημα θα πρέπει να είναι ιδιαίτερα διαλειτουργικό να ταυτοποιεί τα άτομα που χρησιμοποιούν αισθητήρες

από διαφορετικούς προμηθευτές και να τροποποιεί ανάλογα τις πλατφόρμες του λογισμικού και του hardware.

- **Ευκολία χρήσης:** Ένα βιομετρικό χαρακτηριστικό θα πρέπει να είναι φιλικό προς τον χρήστη. Εάν υπάρξουν ανησυχίες για την υγεία ή την υγιεινή συνεχής χρήσης βιομετρικών αισθητήρων αυτό μπορεί να επιρεάσει την αποδοχή του χρήστη. Υγιεινή, καθώς και η ασφάλεια ήταν ένα από τα κίνητρα για την ανάπτυξη αισθητήρων δακτυλικών αποτυπωμάτων χωρίς να χρειάζεται να ακουμπήσουμε τον αισθητήρα. Ορισμένες βιομετρικές λεπτομέρειες είναι πιο εύκολο να αποκτηθούν από τους άλλους και απαιτούν λιγότερη συνεργασία από την πλευρά του χρήστη κατά τη διάρκεια της συλλογής δεδομένων. Ανθρώπινοι παράγοντες και εργονομικά ζητήματα θα συνεχίσουν να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ευρεία διάδοση των βιομετρικών συστημάτων σε μη κυβερνητικές εφαρμογές.
- **Ασφάλεια:** Τα βιομετρικά συστήματα είναι ευάλωτα σε πιθανές παραβιάσεις της ασφάλειας από απάτες και κακόβουλες επιθέσεις. Τα συστήματα αυτά θα πρέπει επομένως να προσφέρουν ένα υψηλό επίπεδο προστασίας των διαφόρων τρωτών σημείων που προκύπτουν από τις εγγενείς αδυναμίες της και αντίπαλες επιθέσεις. Ένα από τα σημαντικότερα συστήματα ασφαλείας ασχολείται με τη βιομετρική ασφάλεια προτύπου. Τα πρωτόκολλα πρόσβασης και η αποθήκευση των βιομετρικών και άλλων ειδικών δεδομένων του χρήστη θα πρέπει να παρέχεται με το υψηλότερο επίπεδο ασφάλειας. ([3]Jain, Kumar 2010)

2 Δακτυλικά αποτυπώματα

2.1 Ιστορική Αναδρομή

Ένας από τους πιο διαδεδομένους τρόπους αναγνώρισης ενός προσώπου είναι το δακτυλικό αποτύπωμα.

Η ιστορία του ξεκινά το 1858 όταν ο Sir William Herschel, Βρετανός περιφερειακός διοικητής στην Ινδία, απαίτησε δακτυλικά αποτυπώματα και υπογραφές σε αστικές συμβάσεις. Όμως η επόμενη ανακάλυψη άργησε λίγο να γίνει αφού μετά από 22 χρόνια το 1880 πιο συγκεκριμένα ο Δρ. Henry Faulds, Σκωτσέζος γιατρός στο Τόκυο, δημοσίευσε ένα άρθρο στο επιστημονικό περιοδικό "Nature" στο οποίο συζητήθηκαν τα δακτυλικά αποτυπώματα ως μέσο αναγνώρισης καθώς και η χρήση μελάνης για την λήψη αυτών των αποτυπωμάτων.

Δύο χρόνια αργότερα ο Alphonse Bertillion, Γάλλος ανθρωπολόγος, επινόησε μια μέθοδο μέτρησης του σώματος για την παραγωγή μιας φόρμουλας που χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση των ατόμων. Η φόρμουλα/πρότυπο του Bertillion περιελάμβανε τις μετρήσεις του σώματος ενός ανθρώπου οι οποίες καταγράφονταν σε κάρτες όπως φαίνεται στις εικόνες 2-1 και 2-2 . Αυτή η μέθοδος έγινε γνωστή ως μέθοδος Bertillion.



Εικόνα 2-1 Κάρτα μετρήσεων σώματος Bertillion



Εικόνα 2-2 Κάρτα μετρήσεων σώματος Bertillion

Το 1891 ξεκίνησε για πρώτη φορά η καταγραφή δακτυλικών αποτυπωμάτων εγκληματιών από τον Αργεντινό αξιωματούχο της αστυνομίας Juan Vucetich. Για την ακρίβεια ήταν αυτός που έκανε την πρώτη αναγνώριση του αποτυπώματος μιας γυναίκας που δολοφόνησε τους δυο γιους της και μετά αυτοκτόνησε σε μια προσπάθεια να παραπλανήσει την αστυνομία και να την κατευθύνει προς τρίτο πρόσωπο. Το ματωμένο αποτύπωμα της βρέθηκε στο κάσωμα της πόρτας αποδεικνύοντας έτσι την ενοχής της.

Την ίδια περίπου χρονική περίοδο γίνεται μια από τις πιο σημαντικές ανακαλύψεις στο χώρο των αποτυπωμάτων η οποία θα χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα. Ο Sir Francis Galton, Βρετανός ανθρωπολόγος, ψυχολόγος, ερευνητής, γεωγράφος, εξερευνητής, μετεωρολόγος, και γενετιστής δημοσιεύει το πρώτο βιβλίο για δακτυλικά αποτυπώματα. Στο βιβλίο αυτό ο Galton αναγνωρίζει τη μοναδικότητα και ατομικότητα των δακτυλικών αποτυπωμάτων. Τα μοναδικά χαρακτηριστικά των δακτυλικών αποτυπωμάτων όπως προσδιορίστηκαν από τον Galton, θα γίνουν επισήμως γνωστά ως μικρολεπτομέρειες, όμως μερικές φορές αναφέρονται και ως "λεπτομέρειες του Galton. ([4]Francis Galton, Wikipedia).

Το 1901 ο Sir Edward Henry, γενικός επιθεωρητής της αστυνομίας της Βεγγάλης στην Ινδία αναπτύσσει το πρώτο σύστημα ταξινόμησης των δακτυλικών αποτυπωμάτων. Υιοθετήθηκε για πρώτη φορά ως επίσημο σύστημα στην Αγγλία και τελικά σε ολόκληρο τον κόσμο. Δύο χρόνια αργότερα μία υπόθεση άλλαξε το πώς ταξινομούνται και ταυτοποιούνται οι άνθρωποι. Ο λόγος γίνεται για την υπόθεση William West – Will West στην Ομοσπονδιακή φυλακή Leavenworth στο Kansas. Όταν ένας άνδρας ονόματι Will West εισήχθη στο σύστημα της φυλακής. Το 1903, εισήχθη στη φυλακή, το πρόσωπό του φωτογραφήθηκε, και οι μετρήσεις Bertillion ελήφθησαν. Μετά την ολοκλήρωση αυτής της διαδικασίας, σημειώθηκε ότι ένας άλλος τρόφιμος, γνωστός ως ο William West, ο οποίος είχε ήδη φυλακιστεί σε Λίβενγουορθ, είχε το ίδιο όνομα, ακόμα και οι μετρήσεις Bertillion, έφεραν μια εντυπωσιακή ομοιότητα με το Will West. Το συμβάν αυτό αμφισβήτησε την αξιοπιστία

του συστήματος Bertillion και αποφασίστηκε πως χρειαζόταν ένα πιο θετικό μέσο αναγνώρισης. Καθώς το σύστημα Bertillion άρχισε να παρακμάζει η χρήση των δακτυλικών αποτυπωμάτων για τον εντοπισμό και την ταξινόμηση των ατόμων άρχισε να αυξάνεται.

Εν συνεχεία το 1905 ο Στρατός των ΗΠΑ κάνει χρήση των δακτυλικών αποτυπωμάτων και λίγο αργότερα εγκρίνεται και η χρήση τους και από την Αστυνομία. Λίγο αργότερα το 1917 γίνεται η πρώτη αναγνώριση αποτυπώματος παλάμης στην Νεβάδα. Τέλος το 1980 αναπτύχθηκε η πρώτη ψηφιακή βάση δακτυλικών αποτυπωμάτων η οποία έγινε γνωστή ως Αυτοματοποιημένο Σύστημα Αναγνώρισης Δακτυλικών Αποτυπωμάτων (AFIS). Σήμερα υπάρχουν σχεδόν 70 εκατομμύρια κάρτες, ή σχεδόν 700 εκατομμύρια ατομικά δακτυλικά αποτυπώματα που εγγράφονται στο AFIS. (Crime scene Forensics LLC.).

2.2 Αναγνώριση Αποτυπωμάτων

Η αναγνώριση δακτυλικών αποτυπωμάτων είναι μια από τις πιο γνωστές και δημοφιλείς βιομετρικές τεχνολογίες. Τα αυτοματοποιημένα συστήματα έχουν εμπορευματοποιηθεί από τις αρχές του 1970 και μέχρι σήμερα μετράμε μέχρι και 75 εταιρείες που ειδικεύονται στις τεχνολογίες αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων. Μέχρι πρότινος η αναγνώριση αποτυπωμάτων χρησιμοποιούταν κατά κύριο λόγο σε Αστυνομικές υποθέσεις.

Η τεχνολογία αναγνώρισης αποτυπωμάτων αποσπά χαρακτηριστικά από τις εμφανίσεις που αφήνουν οι διακριτές κορυφογραμμές στις άκρες των δακτύλων. Τα αποτυπώματα μπορεί να είναι επίπεδα ή να περιλαμβάνουν και τα πλαϊνά μέρη του δακτύλου. Το επίπεδο αποτύπωμα συλλαμβάνει μόνο την πληροφορία που εμφανίζεται στη κεντρική περιοχή μεταξύ του δακτύλου και της πρώτης άρθρωσης, ενώ στην άλλη περίπτωση λαμβάνει πληροφορίες και τις δύο πλευρές του δακτύλου.

2.3 Το δακτυλικό αποτύπωμα ως βιομετρικό χαρακτηριστικό

Η αναγνώριση με βάση τα δακτυλικά αποτυπώματα υπήρξε μια από τις πιο δημοφιλείς και επιτυχημένες μεθόδους ταυτοποίησης ενός ατόμου. Υπάρχουν πολυάριθμες ιστορικές μαρτυρίες που υποστηρίζουν πως τα δακτυλικά αποτυπώματα χρησιμοποιούνταν τουλάχιστον από το 500 ΠΧ στις εμπορικές συναλλαγές στη Βαβυλώνα και αργότερα από Κινέζους αξιωματούχους για την σφράγιση επίσημων εγγράφων τον 3ο αιώνα ΠΧ. Τα δακτυλικά αποτυπώματα συνίστανται από ένα μοτίβο υφής που αποτελούνται από κορυφογραμμές και κοιλάδες. Αυτές οι ράχες χαρακτηρίζονται από διάφορα ορόσημα σημεία, που είναι γνωστά ως μικρολεπτομέρειες, οι οποίες είναι ως επί το πλείστον με τη μορφή των απολήξεων πτυχών και διακλαδώσεων .

Οι μικρολεπτομέρειες είναι το βασικό και πιο σημαντικό χαρακτηριστικό στα δακτυλικά αποτυπώματα, είναι το κλειδί στο οποίο βασίζονται όλα τα συστήματα αναγνώρισης. Αυτές οι μικρολεπτομέρειες χωρίζονται σε κατηγορίες όπως για παράδειγμα:

- Διακλάδωση κορυφογραμμής (ridge bifurcation) :Μία κορυφογραμμή που χωρίζεται σε δύο άλλες.



- Καταλήξεις κορυφογραμμών (ridge endings) :Μια κορυφογραμμή τελειώνει απότομα



- Περιβλήματα κορυφογραμμής (ridge enclosures) :Μια κορυφογραμμή διακλαδώνεται για λίγο και ξαναενώνεται σε μια κορυφογραμμή



- Ώθηση (spur) : Μία διακλάδωση με μια μικρή κορυφογραμμή που διακλαδώνεται από μία μεγαλύτερη κορυφογραμμή



- Μικρή κορυφογραμμή, νησί ή ανεξάρτητη κορυφογραμμή (short ridges, island or independent ridge): Μια κορυφογραμμή που αρχίζει συνεχίζει για λίγο και μετά τελειώνει.

- Γέφυρα (crossover or bridge): Μια κορυφογραμμή που ενώνει δύο παράλληλες κορυφογραμμές



Οι μικρολεπτομέρειες αναφέρονται σε κάθε μικρή ή μεγάλη λεπτομέρεια . Αλλά στο ταίριασμα σημαντικές είναι δύο μικρολεπτομέρειες: η διακλάδωση κορυφογραμμής και η κατάληξη κορυφογραμμών. (Berham, 2011).

Τα δακτυλικά αποτυπώματα επίσης μπορούν να χωριστούν σε 3 κατηγορίες:

Υπόδειγμα

Παράδειγμα εκτύπωσης ή γνωστή εκτύπωση είναι το όνομα που δίνεται σε δακτυλικά αποτυπώματα που συλλέγονται σκόπιμα από ένα άτομο, είτε για σκοπούς εγγραφής στο σύστημα είτε λόγω σύλληψης για ποινικό αδίκημα. Κατά τη διάρκεια συλλήψεων, μία σειρά εκτυπώσεων συνήθως περιλαμβάνει μία εκτύπωση από κάθε δάκτυλο. Οι εκτυπώσεις αυτές μπορούν να συλλεχθούν είτε με τη χρήση σκάνερ είτε με τη χρήση μελάνης.

Λανθάνον

Αν και η λέξη λανθάνουσα σημαίνει κρυφό ή αόρατο, στην σύγχρονη χρήση για την εγκληματολογική επιστήμη ο όρος λανθάνουσα εκτύπωση εννοεί κάθε τυχαία εντύπωση που μπορεί να άφησε ένα δακτυλικό αποτύπωμα πάνω σε μία επιφάνεια ανεξάρτητα αν είναι ορατή ή αόρατη κατά τη διάρκεια της κατάθεσης. Ηλεκτρονικές, χημικές και φυσικές τεχνικές επεξεργασίας επιτρέπουν την οπτικοποίηση των λανθανόντων εκτυπώσεων ανεξαρτήτως εάν είναι από ιδρώτα στο δέρμα ή από άλλες ουσίες όπως το λάδι κινητήρα, το αίμα, μελάνη, χρώμα ή κάποιος άλλου είδους βρωμιάς. Οι λανθάνουσες εκτυπώσεις μπορεί να εμφανίζουν μόνο ένα μικρό τμήμα της επιφάνειας του δακτύλου και αυτό μπορεί να είναι λερωμένο, στρεβλωμένο ή να επικαλύπτεται από άλλες εκτυπώσεις του ίδιου ή άλλων ατόμων.

Για το λόγο αυτό, οι λανθάνουσες εκτυπώσεις παρουσιάζουν συνήθως μια αναπόφευκτη πηγή σφάλματος στην πραγματοποίηση συγκρίσεων, όπως γενικά περιέχουν λιγότερη σαφήνεια, λιγότερο περιεχόμενο, και λιγότερες ανόθευτες πληροφορίες από ένα δακτυλικό αποτύπωμα που λαμβάνεται κάτω από ελεγχόμενες

συνθήκες, και πολύ λιγότερες λεπτομέρειες σε σύγκριση με τις πραγματικές ράχες και αυλακώσεις ενός δακτύλου.

Φανερά

Οι φανερές εκτυπώσεις είναι εντυπώσεις κορυφογραμμών τριβής που είναι εμφανής στο ανθρώπινο μάτι και οι οποίες έχουν προκληθεί από τη μεταφορά ξένου υλικού από το δάκτυλο στην επιφάνεια. Μερικά προφανή παραδείγματα είναι οι εντυπώσεις από αλεύρι και υγρό πηλό. Επειδή είναι ήδη ορατές δεν έχουν ανάγκη από ενίσχυση και γενικά φωτογραφούνται αντί να αρθούν με τον τρόπο των λανθανόντων εκτυπώσεων. Μια προσπάθεια να διατηρηθεί η πραγματική εκτύπωση γίνεται πάντα για την παρουσίαση στο δικαστήριο, και υπάρχουν πολλές τεχνικές που χρησιμοποιούνται για να γίνει αυτό.

Εύπλαστα

Μία πλαστική εκτύπωση είναι η εντύπωση μίας κορυφογραμμής που έχει μείνει σε ένα υλικό που διατηρεί τις μικρολεπτομέρειες του αποτυπώματος. Παρόλα αυτά πολύ λίγοι εγκληματίες θα είναι τόσο απρόσεκτοι ώστε να αφήσουν αποτυπώματα τους σε ένα κομμάτι υγρού πηλού. Απαντώνται συχνά παραδείγματα σε λιωμένο κερί, στόκο που αφαιρούνται από την περίμετρο των παραθύρων και παχιές καταθέσεις γράσο σε ανταλλακτικά αυτοκινήτων. Αυτές οι εκτυπώσεις είναι ήδη ορατές και δεν χρειάζονται βελτίωση. ([7]Fingerprint , Wikipedia)

Ηλεκτρονική καταγραφή

Ενα δημοσίευμα εφημερίδας ανέφερε πως ένας άνδρας πωλούσε κλεμμένα ρολόγια και έστειλε εικόνες τους με ένα κινητό τηλέφωνο, αυτές οι εικόνες στις οποίες περιλαμβάνονται τμήματα από τα χέρια του σε αρκετή λεπτομέρεια έδωσε στην αστυνομία τη δυνατότητα να αναγνωρίσει τα πρότυπα δακτυλικών αποτυπωμάτων. Πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι η βελτίωση των καμερών με την αύξηση της ανάλυσης των σημερινών κινητών θα μπορούσαν να έχουν σημαντικές επιπτώσεις για την ασφάλεια των χρηστών. Η κάμερα οπισθοπορείας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συλλάβει μια εικόνα του δείκτη ενός χρήστη, το οποίο σε smartphones χρησιμοποιείται συχνά για τον έλεγχο ταυτότητας ενός χρήστη.

3 Βάσεις δεδομένων – Υλικό

3.1 Βάσεις δεδομένων

Οι βάσεις δεδομένων είναι ένα από τα πιο σημαντικά κομμάτια ενός συστήματος αναγνώρισης. Αυτό γίνεται γιατί όταν έχουμε ένα αποτύπωμα και πρέπει να γίνει ταυτοποίηση, τότε το αποτύπωμα αυτό περνά από κάποια επεξεργασία (που θα αναφερθεί στο κεφάλαιο 4) και συγκρίνεται ένα-ένα με όλα τα αποτυπώματα της βάσης δεδομένων. Άρα το πρώτο πράγμα που πρέπει να γίνει σε όλα τα συστήματα είναι η κατασκευή της βάσης δεδομένων.

Υπάρχουν πολλά είδη βάσεων αποτυπωμάτων, μικρές και μεγάλες. Ως μικρή βάση δεδομένων μπορεί να θεωρηθεί η βάση μίας εταιρείας που περιλαμβάνει τα αποτυπώματα των εργαζομένων της έτσι ώστε όταν εισέρχονται σε ευαίσθητα σημεία του κτιρίου να μην χρειάζονται κωδικούς πρόσβασης. Από την άλλη μεγάλες βάσεις μπορούν να θεωρηθούν αυτές που χρησιμοποιούνται για ιατροδικαστικές και αστυνομικές υποθέσεις. Φυσικά η βάση του FBI είναι η μεγαλύτερη και αμέσως μετά η βάση αποτυπωμάτων της Interpol.

3.1.1 INTERPOL

Στην Interpol διατηρούν βάσεις δεδομένων δακτυλικών αποτυπωμάτων και DNA, επιτρέποντας έτσι τα αστυνομικά τμήματα όλου του κόσμου να κάνουν συνδέσεις μεταξύ εγκληματιών αλλά και σκηνών εγκλήματος. Επίσης παρέχουν εκπαίδευση στις αστυνομίες των χωρών μελών της, για να εξασφαλιστεί έτσι πως οι αξιωματικοί τους έχουν τις κατάλληλες γνώσεις και δεξιότητες που είναι απαραίτητες για αξιολόγηση, διατήρηση, και τη δυνατότητα να μοιραστούν αποδεικτικά στοιχεία με τις βέλτιστες πρακτικές. Στην INTERPOL, διαχειρίζονται μια βάση δεδομένων, που περιέχουν πάνω από 189.000 αρχεία δακτυλικών αποτυπωμάτων. Οι εξουσιοδοτημένοι χρήστες των χωρών μελών της έχουν την δυνατότητα να δουν, να υποβάλουν και να διασταυρώσουν τα στοιχεία τους με τη χρήση ενός ασφαλούς παγκοσμίου δικτύου της αστυνομίας μέσω ενός αυτόματου συστήματος αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων φιλικό προς τον χρήστη. Οι αξιωματικοί μπορούν είτε να πάρουν τα δακτυλικά αποτυπώματα χρησιμοποιώντας μια ηλεκτρονική συσκευή είτε να τα πάρουν με το χέρι χρησιμοποιώντας χαρτί και μελάνη στη συνέχεια χρησιμοποιούν ένα ειδικό σαρωτή για να αποθηκεύσουν τα ηλεκτρονικά δεδομένα με την κατάλληλη μορφή. Στην συνέχεια υποβάλει τα στοιχεία στη Γενική Γραμματεία της INTERPOL για να φορτωθούν στη βάση δεδομένων. Οι εγγραφές αποθηκεύονται και ανταλλάσσονται με τη μορφή που καθορίζεται από το Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας (NIST).

Η INTERPOL ενθαρρύνει ενεργά τις χώρες μέλη να χρησιμοποιούν τη βάση δεδομένων όσο το δυνατόν ευρύτερα, σύμφωνα με τον κανονισμό της Interpol για την επεξεργασία των δεδομένων, καθώς και την αύξηση του αριθμού των δακτυλικών αποτυπωμάτων στο σύστημα. Η INTERPOL το 2013, έκανε πάνω από 1200 ταυτοποιήσεις ως αποτέλεσμα της αυξημένης ανταλλαγής των δεδομένων και τη σύγκριση με τις χώρες μέλη. Η μονάδα αποτυπωμάτων της INTERPOL παρέχει μια υπηρεσία που ονομάζεται AFIS πύλη η οποία

επιτρέπει στις χώρες μέλη να υποβάλουν εξ' αποστάσεως μία αναζήτηση δακτυλικών αποτυπωμάτων με τη βάση της INTERPOL και να λάβει μια αυτοματοποιημένη απάντηση. Η αυτοματοποιημένη επαλήθευση εκτύπωσης δέκα δακτύλων έχει εισαχθεί, μαζί με μια μηχανή αναζήτησης μεγάλου όγκου που επιτρέπει σε περισσότερες από 1.000 συγκρίσεις ανά ημέρα με τη βάση δεδομένων δακτυλικών αποτυπωμάτων της INTERPOL να λειτουργεί 24 ώρες την ημέρα, επτά ημέρες την εβδομάδα.(INTERPOL, Official website).

3.1.2 IAFIS

Το ολοκληρωμένο αυτοματοποιημένο σύστημα αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων είναι ένα εθνικό σύστημα δακτυλικών αποτυπωμάτων που ανταποκρίνεται σε αιτήματα 24 ώρες την ημέρα, 365 μέρες το χρόνο για να βοηθήσει τις τοπικές και ομοσπονδιακές αρχές για την επίλυση και πρόληψη εγκλημάτων και την σύλληψη εγκληματιών και τρομοκρατών. Το IAFIS παρέχει αυτοματοποιημένες δυνατότητες αναζήτησης δακτυλικών αποτυπωμάτων, ηλεκτρονική αποθήκευση της εικόνας, και ηλεκτρονική ανταλλαγή δακτυλικών αποτυπωμάτων και των αποτελεσμάτων. Το IAFIS δεν περιέχει μόνο δακτυλικά αποτυπώματα αλλά και ποινικά μητρώα, φωτογραφίες σύλληψη, ουλές και τατουάζ καθώς και φυσικά χαρακτηριστικά όπως ύψος, βάρος, χρώμα μαλλιών και ματιών. Το σύστημα επίσης περιλαμβάνει αποτυπώματα πολιτών κυρίως πρώην ή νυν στρατιωτικών και ανθρώπων που τώρα ή κάποια στιγμή στο παρελθόν έχουν δουλέψει ως ομοσπονδιακοί υπάλληλοι.

Το IAFIS είναι η μεγαλύτερη ποινική βάση δακτυλικών αποτυπωμάτων στον κόσμο, στεγάζουν τα δακτυλικά αποτυπώματα και τα ποινικά μητρώα τουλάχιστον 70 εκατομμυρίων εγκληματιών καθώς και 30 εκατομμύρια πολιτών. Σε αυτά τα νούμερα περιλαμβάνονται τα αποτυπώματα 73,000 γνωστών και υπόπτων τρομοκρατών που έχουν επεξεργαστεί από τις ΗΠΑ ή από διεθνείς υπηρεσίες επιβολής του νόμου που συνεργάζονται με τις ΗΠΑ. Ο μέσος χρόνος απόκρισης ποινικών δακτυλικών αποτυπωμάτων είναι περίπου 27 λεπτά ενώ για επεξεργασία αποτυπωμάτων πολιτών είναι 1 ώρα και 12 λεπτά. Το σύστημα αυτό επεξεργάζεται περίπου 61 εκατομμύρια σετ εκτυπώσεων κατά τη διάρκεια του 2010.

Το IAFIS ξεκίνησε τη λειτουργία στις 28 Ιουλίου του 1999 Πριν γίνει αυτό η επεξεργασία των δακτυλικών αποτυπωμάτων ήταν σε μεγάλο βαθμό ένα εγχειρίδιο, διαδικασία υψηλής έντασης εργατικού δυναμικού, λαμβάνοντας εβδομάδες ή μήνες για να επεξεργαστεί μια ενιαία υποβολή. Το FBI έχει γίνει ο εθνικός χώρος εναπόθεσης για τα δακτυλικά αποτυπώματα και τα δεδομένα που σχετίζονται με την ποινική ιστορία από το 1924, όταν περισσότερες από 800.000 εγγραφές δακτυλικών αποτυπωμάτων από το Εθνικό Γραφείο του Ποινικού Ταυτοποίηση και σωφρονιστικού συστήματος Λέβενγουορθ ενοποιήθηκαν με τα αρχεία του FBI. Η πρώτη χρήση των υπολογιστών για την αναζήτηση δακτυλικών αποτυπωμάτων αρχεία πραγματοποιήθηκε Οκτώβριο του 1980.(FBI, Official database).

3.1.3 Άλλες Βάσεις

Μία ακόμα μεγάλη βάση δεδομένων είναι η IDENT1 η οποία είναι μία ενιαία εύχρηστη βάση για την Ηπειρωτική χώρα του Ηνωμένου Βασιλείου που περιλαμβάνει αποτυπώματα δακτύλων και παλάμης . Είναι το αποτέλεσμα εργασίας πολλών χρόνων από την Αστυνομία Οργανισμού Πληροφορικής και την Πρώην Υπηρεσία δακτυλικών αποτυπωμάτων της Σκωτίας. Στη Σκωτία, η αστυνομία έχει την εξουσία να λαμβάνει ιατροδικαστικά δείγματα (δακτυλικά αποτυπώματα , DNA) από τον καθένα που έχει συλληφθεί ή που κρατείται ως ύποπτος για τη διάπραξη κάποιου αδικήματος. Στην Αγγλία και την Ουαλία αυτό ισχύει για κάθε άτομο που συλλαμβάνεται για ένα εγγράψιμο αδίκημα. Τα δακτυλικά αποτυπώματα ή αποτυπώματα παλάμης που λαμβάνονται καταχωρούνται στη βάση δεδομένων. Αντί όμως να συγκρίνουν τα αποτυπώματα που βρέθηκαν σε μια σκηνή εγκλήματος εναντίον της βάση δεδομένων της Σκωτίας που περιλαμβάνει 360.000 κάρτες αποτυπωμάτων, η Αστυνομική Αρχή Σκωτίας μπορεί να αναζητήσει από μια εθνική βάση δεδομένων των 6.500.000 καρτών, παρέχοντας έτσι τη δυνατότητα για πιο γρήγορο εντοπισμό. Η εθνική βάση δεδομένων δίνει στην Αστυνομία του Ηνωμένου Βασιλείου μεγαλύτερη δύναμη για τον εντοπισμό ατόμων που εμπλέκονται σε διασυνοριακά εγκλήματα. (The Scottish government Official website)

Τέλος η Ινδική κυβέρνηση έχει εντείνει τις προσπάθειες της για τη σάρωση δακτυλικών αποτυπωμάτων και ίριδας όλων των πολιτών της που είναι περίπου 1.200.000.000 σε ένα φιλόδοξο σχέδιο να εκδοθούν ταυτότητες με βιομετρικά στοιχεία. Το πρόγραμμα αυτό έχει μέχρι στιγμής οδηγήσει στην εγγραφή 110 εκατομμύριων ανθρώπων . Το έργο αυτό προέρχεται από δύο ξεχωριστά, επικαλυπτόμενα προγράμματα, πρώτον το πρόγραμμα μοναδικής ταυτοποίησης , με στόχο την παροχή 200 εκατομμύριων φτωχών πολιτών της Ινδίας με ασφαλής πρόσβαση στο σύστημα κοινωνικής ασφάλισης της χώρας, και δεύτερον το Εθνικό Δημοτολόγιο, με στόχο την παροχή εθνικού δελτίου ταυτότητας για να βοηθήσει τον εντοπισμό και την απέλαση μεταναστών χωρίς χαρτιά. (Corbett 2012)

3.2 Scanner

Ένας αισθητήρας δακτυλικών αποτυπωμάτων είναι μια ηλεκτρονική συσκευή που χρησιμοποιείται για να συλλάβει μια ψηφιακή εικόνα του προτύπου δακτυλικών αποτυπωμάτων. Η καταγεγραμμένη εικόνα ονομάζεται ζωντανή σάρωση. Αυτή η ζωντανή σάρωση επεξεργάζεται ψηφιακά για να δημιουργήσει ένα βιομετρικό πρότυπο (μια συλλογή των εξαχθέντων χαρακτηριστικών), η οποία αποθηκεύεται και χρησιμοποιείται για την αντιστοίχιση.

Σήμερα οι συσκευές σάρωσης δακτυλικών αποτυπωμάτων είναι μακράν η πιο δημοφιλής μορφή των βιομετρικών ασφαλείας που χρησιμοποιούνται, σε μια ποικιλία συστημάτων στην αγορά που προορίζεται για γενική και μαζική χρήση. Πλέον έχουν ξεπεραστεί οι τεράστιοι ογκώδεις σαρωτές δακτυλικών αποτυπωμάτων όμως τώρα μια συσκευή σάρωσης δακτυλικού αποτυπώματος μπορεί να είναι αρκετά μικρή για να ενσωματωθεί σε ένα φορητό υπολογιστή. Η σάρωση δακτυλικών αποτυπωμάτων παρέχει ουσιαστικά μία

ταυτοποίηση ενός προσώπου με βάση την απόκτηση και την αναγνώριση εκείνων των μοναδικών μοτίβων και κορυφογραμμών σε ένα δακτυλικό αποτύπωμα.

Η διαδικασία αυτή αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων είναι κατά βάση ίδια με λίγες παραλλαγές μεταξύ των διαφόρων προϊόντων και συστημάτων. Η βάση της διαδικασίας αναγνώρισης, ωστόσο, είναι σχεδόν πάντα ίδια. Τα τυποποιημένα συστήματα αποτελούνται από: ένα αισθητήρα για τη σάρωση των αποτυπωμάτων, έναν επεξεργαστή που είναι αποθηκευμένη η βάση δεδομένων των δακτυλικών αποτυπωμάτων και το λογισμικό το οποίο συγκρίνει και ταιριάζει το δακτυλικό αποτύπωμα με την προκαθορισμένη βάση δεδομένων. Εντός της βάσης δεδομένων, ένα δακτυλικό αποτύπωμα συνήθως συνδυάζεται με έναν αριθμό αναφοράς, ή τον αριθμό PIN ο οποίος στη συνέχεια συνδυάζεται με το όνομα ή το λογαριασμό ενός ατόμου. Σε ζητήματα ασφαλείας η ταυτοποίηση συνήθως χρησιμοποιείται για να επιτραπεί ή να απαγορευτεί η πρόσβαση ενός ατόμου στα κτίρια μιας εταιρείας ή πιο συγκεκριμένα σε κάποιο μέρος του κτιρίου, αλλά σήμερα αυτό μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για κάτι τόσο απλό όσο ένα ρολόι ή την πρόσβαση σε λογαριασμούς μισθοδοσίας.

Σε μεγάλους κρατικούς οργανισμούς και επιχειρήσεις, η χρήση βιομετρικών χαρακτηριστικών παίζει τεράστιο ρόλο στην αναγνώριση και την ασφάλεια των εργαζομένων. Επιπλέον, ορισμένα κέντρα δεδομένων έχουν κάνει μεγάλο άλμα και έχουν εφαρμόσει βιομετρικούς σαρωτές για την ενίσχυση απομακρυσμένης πρόσβασης και διαχείρισης, προσθέτοντας άλλο ένα επίπεδο ασφάλειας δικτύου για τους διαχειριστές του συστήματος. Δυστυχώς, το κόστος της εφαρμογής αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων αλλά και άλλων βιομετρικών χαρακτηριστικών σε κέντρα δεδομένων εξακολουθεί να είναι αρκετά ακριβό, και για αυτό το λόγο πολλά κέντρα εξακολουθούν να βασίζονται σε ταυτότητες, ενώ περιμένουν έως ότου η βιομετρική τεχνολογία γίνει λίγο πιο φιλική στην τσέπη του καταναλωτή.

Σήμερα, οι επιχειρήσεις έχουν συνειδητοποιήσει ότι η σάρωση δακτυλικών αποτυπωμάτων είναι ένα αποτελεσματικό μέσο για την ασφάλεια. Ενώ το κόστος της εφαρμογής βιομετρικών σαρωτές σε μεγαλύτερους οργανισμούς και κέντρα δεδομένων εξακολουθεί να είναι αρκετά δαπανηρή, βρίσκουμε διάφορες συσκευές σάρωσης δακτυλικών αποτυπωμάτων που θα ταίριαζε στον προϋπολογισμό πολλών μικρών γραφείων και οικιακούς χρήστες.

Τα τελευταία χρόνια η χρήση σαρωτών δακτυλικών αποτυπωμάτων έχει εξαπλωθεί και μπορούμε να βρούμε σαρωτές από τα μεγάλα κυβερνητικά κτίρια μέχρι και τελεταιο μοντελο κινητου της apple. Τον μεγάλο αυτό αριθμό των σαρωτών μπορούμε να τον χωρίσουμε σε 4 κατηγορίες:

1. **Οπτικοί σαρωτές:** οι οποίοι λαμβάνουν μία εικόνα ενός δακτυλικού αποτυπώματος χρησιμοποιώντας μια ψηφιακή φωτογραφική μηχανή. Αυτοί οι σαρωτές δακτυλικών αποτυπωμάτων έρχονται σε πολύ χαμηλές τιμές, αλλά επίσης να έχουν κάποια μειονεκτήματα. Οι οπτικοί σαρωτές είναι πιο εύκολο να ξεγελαστούν από άλλους σαρωτές δακτυλικών αποτυπωμάτων και είναι πιο επιρρεπής στα λανθασμένα αποτελέσματα σε μη ιδανικές συνθήκες

2. **Χωρητικοί ή CMOS σαρωτές:** χρησιμοποιούν πυκνωτές και έτσι ηλεκτρικό ρεύμα για να σχηματίσουν μια εικόνα ενός δακτυλικού αποτυπώματος, η οποία βασίζεται στο πραγματικό σχήμα του αποτυπώματος. Ως εκ τούτου οι CMOS σαρωτές είναι πιο δύσκολο να ξεγελαστούν τους από την οπτικούς, ενώ παραμένουν εξίσου φθηνοί με την τιμή τους να ξεκινά κάτω από 100 ευρώ

3. **Υπέρηχοι σαρωτές:** Οι οποίοι λειτουργούν με τη χρήση υψηλής συχνότητας ηχητικών κυμάτων για να διεισδύσουν το εξωτερικό επιδερμικό στρώμα του δακτύλου. Δεν διαβάζουν το δακτυλικό αποτύπωμα στο εξωτερικό στρώμα του δέρματος και με αυτό τον τρόπο εξαλειφθούν ψευδείς απορρίψεις που μπορούν να οφείλονται σε ουλές ή βρώμικα χέρια. Αυτοί οι σαρωτές δακτυλικών αποτυπωμάτων υποτίθεται ότι είναι πολύ δύσκολο να ξεγελάσουν, γεγονός που τους καθιστά πολύ δημοφιλή, ακόμη και αν η τιμή τους είναι σημαντικά υψηλότερη από ό, τι για έναν χωρητικό σαρωτή

4. **Θερμικοί σαρωτές:** ανιχνεύουν τις διαφορές θερμοκρασίας στην επιφάνεια επαφής μεταξύ των κορυφογραμμών, των κοιλάδων και γενικά των μικρολεπτομεριών των δακτυλικών αποτυπωμάτων. Το γεγονός ότι οι θερμικοί σαρωτές έχουν ένα αριθμό μειονεκτημάτων τους καθιστά πολύ λιγότερο δημοφιλής από τους προηγούμενους τύπους. Επίσης αυτοί οι σαρωτές έχουν υψηλή κατανάλωση ενέργειας που τους καθιστά δύσκολους για χρήση σε κινητές εφαρμογές, και η απόδοση τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος

Τέλος οι τέσσερις αυτοί τύποι σαρωτών δακτυλικών αποτυπωμάτων χωρίζονται σε σαρωτές αφής και χτυπήματος. Ένας σαρωτής χτύπηματος έχει μια μικρή επιφάνεια επαφής πάνω στο οποίο μπορούμε να σαρώσουμε το δακτυλικό μας αποτύπωμα. Σε έναν αναγνώστη αφής, απλά πρέπει να πιέσουμε και να αφήσουμε το δάχτυλό μας. [(Fingerprint readers, Biometric-Solutions.com)]

3.3 Αυτοματοποιημένο Σύστημα Αναγνώρισης Δακτυλικών Αποτυπωμάτων (AFIS)

Όπως έχουμε πει και σε προηγούμενο κεφάλαιο αυτή της εργασίας, η χρήση δακτυλικών αποτυπωμάτων ως μέθοδος ταυτοποίησης χρησιμοποιούνταν από τα τέλη του δέκατου ένατου αιώνα όταν ο Sir Francis Galton όρισε μερικά σημεία ή χαρακτηριστικά από τα οποία μπορούν να αναγνωριστούν τα δακτυλικά αποτυπώματα. Αυτά τα "Σημεία Galton" είναι το θεμέλιο για την επιστήμη των δακτυλικών αποτυπωμάτων αναγνώρισης, η οποία έχει επεκταθεί και εξελιχθεί κατά το τελευταίο αιώνα. Η αναγνώριση αποτυπωμάτων άρχισε τη μετάβασή προς την αυτοματοποίηση στα τέλη της δεκαετίας του 1960, μαζί με την εμφάνιση της τεχνολογίας της πληροφορικής. Με την έλευση των υπολογιστών, ένα υποσύνολο των σημείων Galton, που αναφέρονται ως μικρολεπτομέρειες, χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη της αυτοματοποιημένης τεχνολογίας των δακτυλικών αποτυπωμάτων.

Το 1969, υπήρξε μια σημαντική ώθηση από το Ομοσπονδιακό Γραφείο Ερευνών (FBI) να αναπτύξει ένα σύστημα για την αυτοματοποίηση της διαδικασίας αναγνώρισης των δακτυλικών αποτυπωμάτων, η οποία είχε γίνει γρήγορα δυσβάσταχτη και απαιτούνταν πολλές εργατοώρες για την χειροκίνητη διαδικασία. Το FBI ανέθεσε στο Εθνικό Γραφείο Προτύπων (NBS), το οποίο σήμερα ονομάζεται Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας (NIST), να μελετήσει τη διαδικασία αυτοματοποίησης ταξινομημένων δακτυλικών αποτυπωμάτων, την αναζήτηση και το ταίριασμα. Το NIST προσδιόρισε δύο βασικές προκλήσεις: 1) η σάρωση καρτών δακτυλικών αποτυπωμάτων και εξόρυξη μικρολεπτομερειών από κάθε δακτυλικό αποτύπωμα και 2) αναζήτηση, σύγκριση και αντιστοιχία των καταλόγων των μικρολεπτομερειών εναντίον μεγάλων βάσεων δακτυλικών αποτυπωμάτων.

Το 1975, το FBI χρηματοδότησε την ανάπτυξη σαρωτών δακτυλικών αποτυπωμάτων για την αυτοματοποιημένους ταξινομητές και για τεχνολογία εξαγωγής μικρολεπτομερειών, η οποία οδήγησε στην ανάπτυξη του ενός πρωτότυπου σαρωτή. Αυτό ο πρόωρος αναγνώστης χρησιμοποιούσε χωρητική τεχνική για τη συλλογή μικρολεπτομερειών δακτυλικών αποτυπωμάτων. Εκείνη την εποχή, μόνο τα βιογραφικά στοιχεία του ατόμου, τα δεδομένα ταξινόμησης δακτυλικών αποτυπωμάτων, καθώς και οι μικρολεπτομέρειες αποθηκεύονταν επειδή το κόστος της αποθήκευσης της ψηφιακής εικόνας των δακτυλικών αποτυπωμάτων ήταν απαγορευτικό. Κατά τη διάρκεια των επόμενων δεκαετιών, το NIST επικεντρώθηκε και οδήγησε σε εξελίξεις σε αυτόματες μεθόδους ψηφιοποίησης εμποτισμένων με μελάνι δακτυλικών αποτυπωμάτων και στις επιπτώσεις στην ποιότητα των εικόνων μετά την συμπίεση τους καθώς και την ταξινόμηση, την εξαγωγή μικρολεπτομερειών, και το ταίριασμα.

Το έργο του NIST οδήγησε στην ανάπτυξη του αλγορίθμου M40, το πρώτο επιχειρησιακό αλγόριθμο αντιστοίχισης, που χρησιμοποιείται στο FBI για τον περιορισμό της αναζήτησης με χρήση ανθρώπινου δυναμικού. Τα αποτελέσματα που παράγονται από τον αλγόριθμο M40 δόθηκαν σε εκπαιδευμένους και εξειδικευμένους τεχνικούς, οι οποίοι αξιολόγησαν το σημαντικά μικρότερο σύνολο των υποψήφιων εικόνων. Η διαθέσιμη τεχνολογία δακτυλικών αποτυπωμάτων συνεχίζει τη βελτίωση της μέχρι και το 1981, όπου πέντε

συστήματα Αναγνώρισης Δακτυλικών Αποτυπωμάτων (AFIS) έχουν αναπτυχθεί. Διάφορα κρατικά συστήματα εντός των ΗΠΑ αλλά και άλλων χωρών είχαν εφαρμόσει τα δικά τους αυτόνομα συστήματα, που αναπτύχθηκε από διαφορετικούς προμηθευτές. Κατά τη διάρκεια αυτής της εξέλιξης, δεν υπήρχε επικοινωνία και ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των συστημάτων, πράγμα που σημαίνει ότι ένα δακτυλικό αποτύπωμα που συλλέγονται σε ένα σύστημα δεν θα μπορούσε να αναζητηθεί σε ένα άλλο σύστημα. Αυτές οι παραλείψεις οδήγησαν στην ανάγκη για ανάπτυξη κάποιων δακτυλικών προτύπων.

Καθώς η ανάγκη για ένα ολοκληρωμένο σύστημα αναγνώρισης εντός της κοινότητας ποινικής δικαιοσύνης μέσα στις ΗΠΑ γρήγορα έγινε εμφανής, το επόμενο στάδιο της αυτοματοποίησης των δακτυλικών αποτυπωμάτων συνέβη στο τέλος του Ολοκληρωμένου Αυτοματοποιημένου Συστήματος Αναγνώρισης Δακτυλικών Αποτυπωμάτων (IAFIS) το 1994. Ο διαγωνισμός εντοπίσε και διερευνήσε τρεις μεγάλες προκλήσεις: 1) ψηφιακή απόκτηση δακτυλικών αποτυπωμάτων, 2) εξόρυξη χαρακτηριστικών τοπικών κορυφογραμμών, και 3) ταυτοποίηση χαρακτηριστικών κορυφογραμμής.

Αποδεδειγμένα μοντέλα συστημάτων αξιολογήθηκαν με βάση κάποιες συγκεκριμένες απαιτήσεις. Ενώ ο Lockheed Martin επιλεχθηκε για την κατασκευή του τμήματος AFIS του έργου του FBI IAFIS και τα κύρια συστατικά IAFIS ήταν σε λειτουργία μέχρι το 1999. Επίσης, σε αυτό το χρονικό πλαίσιο, άρχισαν να εμφανίζονται διάφορα εμπορικά προϊόντα επαλήθευσης των δακτυλικών αποτυπωμάτων σε διάφορες ελέγχου πρόσβασης και σύνδεσης.

Όσον αφορά το software χρησιμοποιεί το AFIS τις δύο κύριες κατηγορίες αντιστοίχισης δακτυλικών αποτυπωμάτων που βασίζονται στην αντιστοίχιση μικρολεπτομεριών. Η ταύτιση προτύπων συγκρίνει απλά δύο εικόνες για να ανακαλύψει πόσο παρόμοιες είναι. Το ταίριασμα πρότυπων χρησιμοποιείται συνήθως σε συστήματα για την ανίχνευση διπλότυπων αποτυπωμάτων. Η τεχνική αναγνώρισης μικρολεπτομεριών που χρησιμοποιείται πιο συχνά, επικαλείται τα σημεία μικρολεπτομέρειες που περιγράφονται παραπάνω, τη συγκεκριμένα θέση τους και την κατεύθυνση του κάθε σημείου.

3.4 Άλλες μέθοδοι

Ο τομέας αυτός της αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων έχει αναπτυχθεί πολύ τα τελευταία χρόνια έχουν ανακαλυφθεί πολλές διαφορετικοί μέθοδοι αναγνώρισης αλλά και διάφορες μέθοδοι βελτίωσης των εικόνων και μείωσης του θορύβου ώστε να υπάρχουν καλύτερα αποτελέσματα.

Μία από αυτές τις έρευνες είναι η εργασία "Σύγχρονα στατιστικά μοντέλα για ιατροδικαστική εξέταση των δακτυλικών αποτυπωμάτων: Μια κριτική εξέταση" των Joshua Abraham, Christophe Champod, Chris Lennard και Claude Roux. Η εργασία αυτή παρέχει μια κριτική ανασκόπηση των πρόσφατων στατιστικών μοντέλων τόσο από πρακτική και θεωρητική προοπτική. Αυτό περιλαμβάνει την ανάλυση των μοντέλων με δύο διαφορετικές μεθοδολογίες: Η Πιθανότητα Τυχαίας αντιστοίχισης μοντέλων που εστιάζουν στους υπολογισμούς πιθανοτήτων εμφάνισης διαμορφωμένων δακτυλικών αποτυπωμάτων για έναν δεδομένο πληθυσμό, και η πιθανότητα αναλογίας των μοντέλων που χρησιμοποιούν

την ανάλυση των αντίστοιχων χαρακτηριστικών των δακτυλικών αποτυπωμάτων για τον προσδιορισμό της τιμής πιθανότητας που αντιπροσωπεύει την αποδεικτική σταθμισή για μια πιθανή πηγή. (Joshua A, Christophe C, Chris L, & Claude, 2013).

Στην εργασία «Ένα νέο πιθανοτικό μοντέλο που βασίζεται στον αλγόριθμο αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων» των προτείνεται ένας νέος αλγόριθμος αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων βασισμένος σε ένα πιθανολογικό γραφικό μοντέλο. Πρώτον μικρολεπτομέρειες των υποεξέταση αποτυπωμάτων θεωρούνται ως τυχαίες μεταβλητές με τις μικρολεπτομέρειες στο πρότυπο εκτύπωσης, ως επιτεύγματα. Σύμφωνα με τις τυχαίες μεταβλητές, ένα μοντέλο 2-δέντρο είναι χτισμένο με την επιλογή δύο σημείων σήματος από το εξεταζόμενο σύνολο. Δεύτερον, το μοντέλο μετατρέπεται σε ένα δέντρο διασταύρωσης, και οι δυνατότητες των κόμβων του δένδρου ορίζονται σύμφωνα με τους εγγενείς χαρακτήρες του δακτυλικού αποτυπώματος. Μετά από αυτό ο αλγόριθμος του κομβικού δένδρου εκτελείται για να αποκτηθεί η αντιστοίχιση των μικρολεπτομεριών των δύο ομάδων. Για να ασχοληθεί με πολλά-προς-ένα αντίστοιχο πρόβλημα που προκαλείται από τις ακραίες τιμές, επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία με την ανταλλαγή δύο σύνολα. Τέλος, η ομοιότητα των δύο δακτυλικών αποτυπώματος αξιολογείται χρησιμοποιώντας τον αριθμό των κοινών ταίριασμα και τη μέγιστη πιθανότητα υστέρων παράγεται από το JT αλγόριθμο. Πειράματα πραγματοποιήθηκαν με τη βάση δεδομένων της FVC2004 και υπήρξαν τα τέλεια αποτελέσματα.

Η ερευνητική εργασία «A Real Time Fingerprint Recognition System Based On Novel Fingerprint Matching Strategy» περιγράφει ένα σύστημα που έχει αναπτυχθεί για να είναι συμβατό με τα σημερινά ενσωματωμένα συστήματα ταυτοποίησης αποτυπωμάτων στα οποία απασχολούνται μικρές αισθητήρες περιοχής. Το σύστημα αποτελείται από ενίσχυση της εικόνας των αποτυπωμάτων, τον ποιοτικό έλεγχο και εξαγωγή χαρακτηριστικών, και την ταυτοποίηση χρησιμοποιώντας ένα νέο αλγόριθμο ταιριάσματος που ταιριάζουν, καθώς και σύνδεση με άλλα συστήματα αναγνώρισης. Για το πείραμα χρησιμοποιήθηκε η βάση FVC2002 και το αποτέλεσμα ήταν πως το σύστημα είναι γρήγορο, ακριβές και κατάλληλο για προσωπική αναγνώριση σε πραγματικό χρόνο.

Υπάρχει μια ακόμα θεωρία η οποία βασίζεται στη χρήση ενός μετασχηματισμού συνημιτόνου για την εξαγωγή χαρακτηριστικών. Πιο συγκεκριμένα εδώ χρησιμοποιείται ένας απλός και αποτελεσματικός αλγόριθμος δύο σταδίων. Το πρώτο είναι το στάδιο της προεπεξεργασίας της εικόνας και το δεύτερο είναι η εξαγωγή χαρακτηριστικών με βάση NCT. Τα αποκλειθέντα δεδομένα NCT χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη για τα νευρωνικά δίκτυα κατάρτισης για την προσωπική αναγνώριση. Τα αποτελέσματα του πειράματος δείχνουν ότι η κατάταξη της αναγνώρισης εικόνας δακτυλικών αποτυπωμάτων επιτυγχάνεται κατά μέσο όρο 98,7%.

Μια επίσης εργασία που προτείνει μια διαφορετική μέθοδο είναι η «Fingerprint Verification Using Haar Wavelet». Η οποία ασχολείται με μια νέα προσέγγιση της εικόνας με βάση για την επαλήθευση των δακτυλικών αποτυπωμάτων χρησιμοποιώντας Haar Wavelet μετασχηματισμό. Ο μετασχηματισμός αυτός χρησιμοποιείται για την αποσύνθεση της εικόνας δακτυλικού αποτυπώματος. Ο μετασχηματισμός πραγματοποιείται απευθείας στο το αποτύπωμα του γκρι της εικόνας χωρίς κανένα βήμα προεπεξεργασίας. Η βάση

δεδομένων που χρησιμοποιείται είναι η Biolab, του Πανεπιστημίου της Μπολόνια. Η επαλήθευση των δακτυλικών αποτυπωμάτων γίνεται με συνολικά 2.160 αποτυπώματα που λαμβάνονται με περιστροφή κάθε δακτυλικό αποτύπωμα του εξήντα θέματα από 0 ° έως 360 ° σε βήματα των 10 ° η κάθε μία. Απαιτεί 1 msec για την επαλήθευση μιας εικόνας. Πειραματικά αποτελέσματα παρουσιάζουν την καλύτερη συνολική επιτυχία ποσοστό 82,08 .

Μία τελευταία ερευνητική εργασία είναι «A NEW FINGERPRINT ENHANCEMENT ALGORITHM» η οποία προτείνει ένα καινούριο αλγόριθμο για την εκτίμηση τον προσανατολισμό στον τομέα των εικόνων των δακτυλικών αποτυπωμάτων με την οποία, τα δακτυλικά αποτυπώματα επισκευάζονται και το δυαδικοποιούνται . Πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι η προτεινόμενη μέθοδος μπορεί να ενιχύσει τις εικόνες δακτυλικών αποτυπωμάτων σωστά, ιδιαίτερα αυτές χαμηλής ποιότητας.

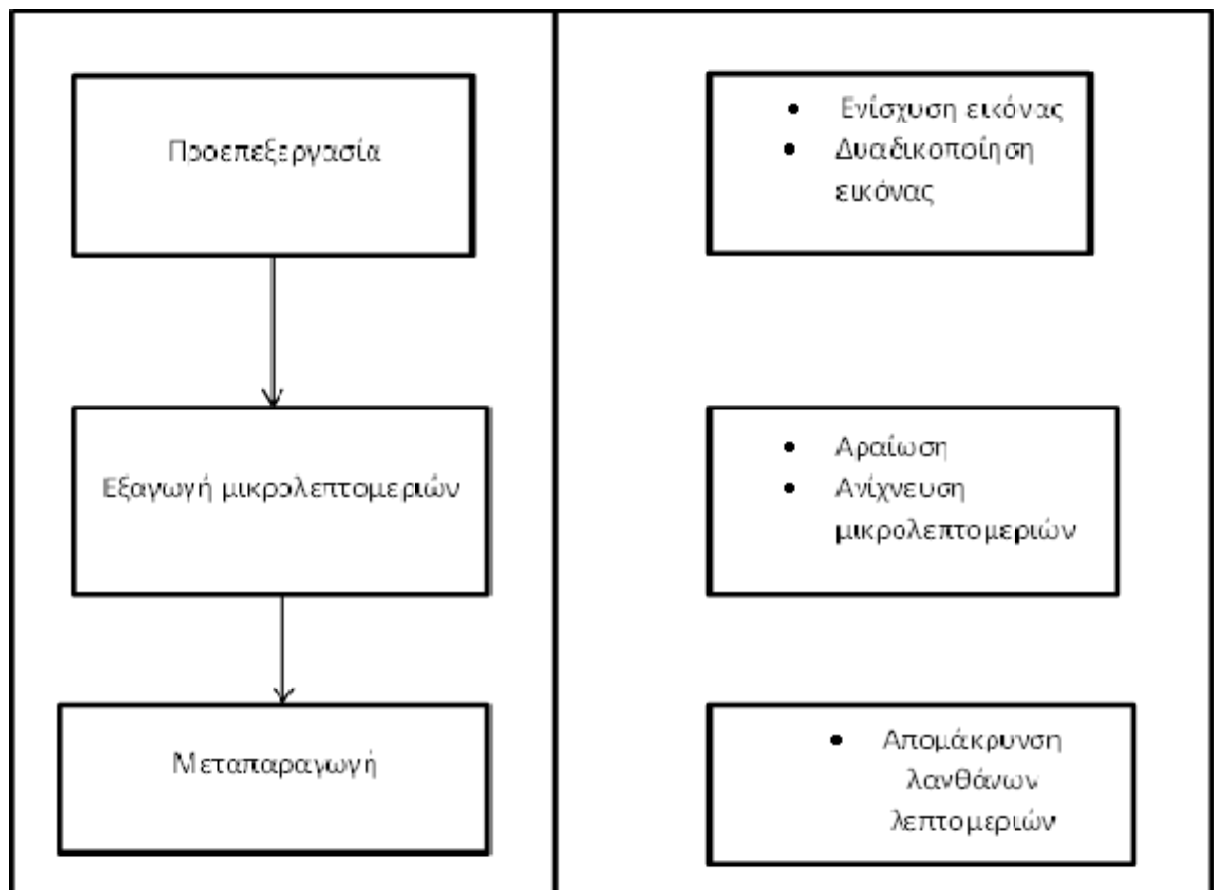
4 Αναγνώριση Αποτυπωμάτων

4.1 Επίπεδο σχεδιασμού του συστήματος

Ένα σύστημα αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων αποτελείται από έναν σαρωτή αποτυπωμάτων, έναν εξαγωγέα μικρολεπτομεριών καθώς και σύστημα ταυτοποίησης μικρολεπτομεριών. Για την απόκτηση των δακτυλικών αποτυπωμάτων, οι οπτικές ή χωρητικοί αισθητήρες χρησιμοποιούνται ευρέως.

Στόχος του σχεδιασμού αυτού του συστήματος αναγνώρισης είναι να εργαστεί υπό τις χειρότερες συνθήκες για υπάρξουν τα καλύτερα αποτελέσματα.

Για την εφαρμογή ενός εξαγωγέα μικρολεπτομεριών, χρησιμοποιείται ευρέως από ερευνητές μια προσέγγιση τριών σταδίων. Τα στάδια αυτά είναι: η προεπεξεργασία, η εξαγωγή μικρολεπτομεριών και το μεταπαραγωγικό στάδιο.



Εικόνα 4-1 Σύστημα Αναγνώρισης Αποτυπωμάτων

Για το πρώτο στάδιο, το στάδιο προεπεξεργασίας μία εικόνας δακτυλικών αποτυπωμάτων, χρησιμοποιείται το ιστόγραμμα εξισορρόπησης για την ενίσχυση της εικόνας. Μετά η εικόνα δυαδικοποιείται με τη μέθοδο τοποικού προσαρμοστικού ορίου. Στην συνέχεια η κατάτμηση της εικόνας γίνεται σε τρία στάδια: εκτίμηση κατευθυνσης μπλοκ, διαχωρισμός με ένταση κατευθυνσης και περιφέρεια ενδιαφέροντος με τη χρήση μορφολογικών επιχειρήσεων.

Για το στάδιο εξαγωγής μικρολεπτομεριών, χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος επαναληπτικής αραίωσης. Η σήμανση μικρολεπτομεριών είναι μια σχετικά μικρή υπόθεση. Για το στάδιο της μετ-επεξεργασίας χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος που αναπτυχθηκε για την αφαίρεση λανθάνον λεπτομεριών.

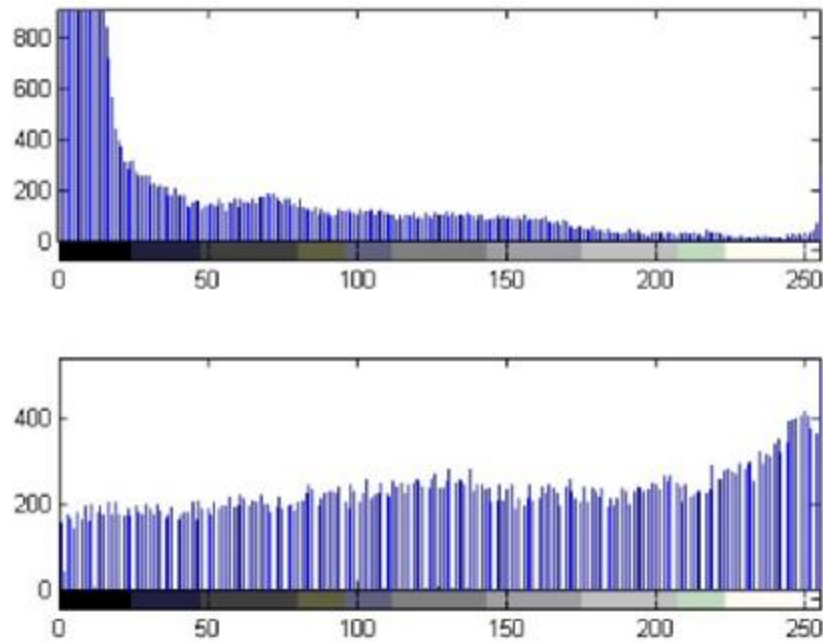
4.2 Προεπεξεργασία

4.2.1 Ενίσχυση εικόνας

Η ενίσχυση μιας εικόνας δακτυλικών αποτυπωμάτων χρησιμοποιείται για να κάνει την εικόνα πιο καθαρή, σαφή και να την προετοιμάσει για περαιτέρω επεξεργασία. Εφόσον οι εικόνες των αποτυπωμάτων εληφθησαν από σαρωτή ή με άλλο τρόπο δεν εξασφαλίζεται η άριστη ποιότητα τους, για αυτό το λόγο χρησιμοποιούμε μεθόδους ενίσχυσης ,για να αυξηθεί η αντίθεση μεταξύ κορυφογραμμών και κοιλάδων και για να συνδεθούν τα κομμένα σημεία των κορυφογραμμών που μπορεί να οφείλονται σε ανεπαρκή ποσότητα μελάνης, οι οποίες μέθοδοι είναι πολύ χρήσιμες για βελτιωθεί η ακρίβεια της αναγνώρισης αποτυπωμάτων. Αλλά μετά από δοκιμή αποδεικνύεται ότι το αποτέλεσμα ενός ανιχνευτή άκρων είναι μια εικόνα με τα σύνορα των οροσειρών τονισμένα. Η χρήση όμως ανίχνευσης ακμών θα απαιτούσε τη χρήση ενός επιπλέον βήματος για να συμπληρωθούν τα σχήματα τα οποία θα κατανάλωναν περισσότερο χρόνο επεξεργασίας και θα αύξανε η πολυπλοκότητα του κώδικα. Αυτό το επιπλέον βήμα.

4.2.2 Ιστόγραμμα Εξισορρόπησης

Το Ιστόγραμμα εξισορρόπησης χρησιμοποιείται για να επεκτείνει τη διανομή τιμής των pixels μιας εικόνα, έτσι ώστε να αυξηθεί η πληροφορία αντίληψης. Το αρχικό ιστόγραμμα από ένα δακτυλικό αποτύπωμα εικόνας παρουσιάζεται στο [σχήμα 4-1 πάνω μέρος], Το ιστόγραμμα μετά την εξίσωση ιστόγραμμα παρουσιάζεται στο [σχήμα 4-1 κάτω μέρος] .



Εικόνα 4-2 Ιστόγραμμα εξισορρόπησης

4.2.3 Δυαδικοποίηση

Το βήμα της δυαδικοποίησης ουσιαστικά δηλώνει το προφανές, ότι δηλαδή η αληθινή πληροφορία που θα μπορούσε να εξαχθεί από μια εκτύπωση είναι απλά δυαδική κορυφογραμμές εναντίον κοιλάδες. Αλλά είναι ένα πραγματικά σημαντικό βήμα στη διαδικασία της εξόρυξης κορυφογραμμών, αφόσον οι εκτυπώσεις έχουν ληφθεί ως ασπρόμαυρες εικόνες, έτσι κορυφογραμμές, γνωρίζοντας ότι είναι στην πραγματικότητα κορυφογραμμές, εξακολουθούν να διαφέρουν σε ένταση. Έτσι, δυαδικοποίηση μετατρέπει την εικόνα από μια εικόνα 256-επίπεδων, σε μια εικόνα 2 επιπέδων που δίνει τις ίδιες πληροφορίες.

Τυπικά σε κάθε ρίxel της εικόνας δίνεται μια τιμή "1", ενώ σε ένα ρίxel που αντιπροσωπεύει το φόντο δίνεται μια τιμή "0". Και έτσι δημιουργείται, μια δυαδική εικόνα που έχει δημιουργηθεί από το χρωματισμό κάθε ρίxel λευκό ή μαύρο, ανάλογα με την ετικέτα κάθε ρίxel (μαύρο για 0, λευκό για 1). Η δυσκολία στην εκτέλεση δυαδικοποίησης είναι ότι δεν έχουν όλες οι εικόνες δακτυλικών αποτυπωμάτων την ίδια χαρακτηριστικά έντασης, έτσι, δεν μπορεί να επιλεγεί ένα ενιαίο ανώτατο όριο της έντασης (παγκόσμιο κατώφλι).

Μία άλλη μέθοδος δυαδικοποίησης μίας εικόνας δακτυλικού αποτυπώματος είναι η εξής: η εικόνα διαιρείται σε μπλοκ(16x16) και η τιμή της μέσης έντασης υπολογίζεται για κάθε μπλοκ και μετά κάθε ρίxel παίρνει την τιμή 1 εάν η τιμή της έντασης του είναι μεγαλύτερη από την μέση τιμή της έντασης του τρέχον μπλοκ στο οποίο ανήκει το ρίxel.

4.3 Τμηματοποίηση εικόνων δακτυλικών αποτυπωμάτων

Σε γενικές γραμμές, μόνο μια περιοχή ενδιαφέροντος (ROI) είναι απαραίτητο να αναγνωριστεί για το καθένα δακτυλικών αποτυπωμάτων. Η περιοχή της εικόνας, χωρίς την αποτελεσματική πληροφορία κορυφογραμμών αρχικά απορρίπτεται δεδομένου ότι κατέχει μόνο βασικές πληροφορίες και πιθανότατα θόρυβος. Στη συνέχεια, το όριο της υπόλοιπης αποτελεσματικής περιοχής σκιαγραφείται δεδομένου ότι οι λεπτομέρειες της περιοχής εντός ορίων συγχέουν με εκείνες ψευδείς λεπτομέρειες που δημιουργούνται όταν οι κορυφογραμμές είναι εκτός της περιοχής που διαβάζει ο αισθητήρας. Για να εξαχθεί η περιοχή ενδιαφέροντος χρησιμοποιείται μία μέθοδος δύο σταδίων. Η πρώτη είναι η εκτιμώμενη κατεύθυνση του μπλοκ, και ο έλεγχος της επιταγής ποικιλία, ενώ η μέθοδος γίνεται με τη χρήση κάποιων μορφολογικών μεθόδων.

4.3.1 Εκτίμηση κατεύθυνσης του Block

Εκτιμούμε την κατεύθυνση του μπλοκ για κάθε μπλοκ της εικόνας του δακτυλικού αποτυπώματος με μέγεθος WXW , όπου το W έχει προεπιλεγμένη τιμή 16. Ο αλγόριθμος λειτουργεί ως ακολούθως:

- Υπολογίζει τις τιμές κλίσης κατά μήκος της κατεύθυνσης X και Y για κάθε pixel του μπλοκ. Για να γίνει αυτό χρησιμοποιούνται δυο φίλτρα Sobel
- Για κάθε μπλοκ χρησιμοποιείται ο ακόλουθος τύπος για να πάρθούν ελαχίστα τετραγώνια προσέγγιση της κατεύθυνσης μπλοκ.

$$\tan 2\beta = 2 \sum \sum (g_x * g_y) / \sum \sum (g_x^2 - g_y^2)$$

Για όλα τα pixel του κάθε block

Ο τύπος είναι ευκολο να γίνει αντιληπτος όσον αφορά τις τιμές κλίσης κατά μήκος της x -κατεύθυνσης και y -κατεύθυνσης της τιμής του ημιτόνου και του συνημιτόνου. Έτσι ώστε η αξία εφαιπτομένη της κατεύθυνσης μπλοκ υπολογίζεται σχεδόν το ίδιο με το τρόπο που απεικονίζεται από τον τύπο.

$$\tan 2\theta = 2 \sin \theta \cos \theta / (\cos^2 \theta - \sin^2 \theta)$$

Μετά την ολοκλήρωση της με την εκτίμηση της κάθε κατεύθυνση μπλοκ αυτά τα μπλοκ χωρίς σημαντικές πληροφορίες απορρίπτονται με βάση τους ακόλουθους τύπους.

$$E = \left\{ 2 \sum \sum (g_x * g_y) + \sum \sum (g_x^2 - g_y^2) \right\} / W * W * \sum \sum (g_x^2 + g_y^2)$$

Για κάθε μπλοκ αν ένα επίπεδο είναι κάτω από το όριο τότε το μπλοκ θεωρείται ως ένα μπλοκ φόντου.

4.3.2 Εξαγωγή περιοχής ενδιαφέροντος με χρήση μορφολογικών μεθόδων

Χρησιμοποιούνται δύο μορφολογικές πράξεις που ονομάζονται "ανοικτή" και "κλειστή". Η "ανοικτή" λειτουργία μπορεί να επεκτείνει τις εικόνες και να αφαιρέσει κορυφές στις οποίες έχει εισαχθεί θόρυβος. Η λειτουργία "κλειστό" μπορεί να συρρικνώσει τις εικόνες και να εξαφανίσει μικρές κοιλότητες.

Το όριο είναι η αφαίρεση της κλειστής περιοχής από την ανοικτή περιοχή. Στην αρχή ο αλγόριθμος εξαλείφει το αριστερό, πάνω, κάτω και δεξιό κομμάτι που είναι εκτός ορίου έτσι ώστε να πάρουμε μία σφικτά φραγμένη περιοχή που περιέχει ακριβώς το δεσμευμένο και εσωτερικό χώρο.

4.4 Εξαγωγή μικρολεπτομερειών

4.4.1 Αραίωση κορυφογραμμών δακτυλικών αποτυπωμάτων

Η αραίωση κορυφογραμμών χρησιμοποιείται για να εξαλειφθούν τα περιττά pixels στις κορυφογραμμές έτσι ώστε να έχουν ένα pixel πλάτους. Για τη δουλεία αυτή χρησιμοποιείται ένας επαναληπτικός, παράλληλος αλγόριθμος αραίωσης. Σε κάθε σάρωση της πλήρους εικόνας ενός δακτυλικού αποτυπώματος, ο αλγόριθμος σηματοδοτεί κάθε περιττό pixel σε κάθε παράθυρο μικρής εικόνας (3X3) και καταργεί όλα τα εκείνα τα pixels που εμφανίζονται μετά από πολλές σαρώσεις.

Ο αραιωμένος χάρτης κορυφογραμμών στη συνέχεια φιλτράρεται από άλλες μορφολογικές μέθοδους ώστε να αφαιρεθούν κάποια Η σπασίματα, μεμονομένα σημεία και αιχμές. Σε αυτό το βήμα, οποιαδήποτε ενιαία σημεία, είτε είναι μόνο σημείο κορυφογραμμών είτε σημεία κομμένα σε κορυφογραμμές καταργούνται, αφού θεωρούνται θόρυβος επεξεργασίας.

4.4.2 Ανίχνευση μικρολεπτομερειών

Μετά την αραίωση κορυφογραμμών η σήμανση κάποιων μικρολεπτομερειών είναι σχετικά εύκολο. Η έννοια της διασταύρωσης Αριθμών (Crossing Number) χρησιμοποιείται ευρέως για την εξαγωγή των μικρολεπτομερειών. Σε γενικές γραμμές για κάθε παράθυρο 3X3 εάν το κεντρικό pixel είναι 1 και έχει τρεις γείτονες με μοναδική αξία, τότε το κεντρικό pixel είναι ένα παρακλάδι κορυφογραμμής. Εάν το κεντρικό pixel είναι 1 και έχει μόνο ένα γείτον με μοναδική αξία τότε το κεντρικό εικονοστοιχείο είναι μια κορυφογραμμή που έληξε.

Επίσης η μέση κορυφογραμμή πλάτους D υπολογίζεται σε αυτό το στάδιο. Το πλάτος των μεταξύ κορυφογραμμών αναφέρεται στη μέση απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών κορυφογραμμών. Ο τρόπος για την προσέγγιση της τιμής αυτής είναι αρκετά απλός. Σαρώνω μία σειρά από την ήδη αραιωμένη εικόνα αποτυπώματος και συνοψίζω όλα τα εικονοστοιχεία στη σειρά των οποίων οι τιμές είναι 1. Στην συνέχεια αν διαιρέσω το μήκος της σειράς από το παραπάνω άθροισμα θα πάρω το πλάτος της ενδο-κορυφογραμμής. Για μεγαλύτερη ακρίβεια όπως το είδος της σειράς γίνεται και σε πολλές

άλλες σειρές και στήλες μπορεί επίσης να διεξαχθεί. Τελικά όλα τα πλάτη μπορούν να πάρουν τις τιμές D

4.5 Μετεπεξεργασία

4.5.1 Αφαίρεση λανθάνον μικρολεπτομερειών

Το στάδιο μετ-επεξεργασίας δεν καθορίζει συνήθως την τελική εικόνα των αποτυπωμάτων. Για παράδειγμα τα λανθάνον σπασίματα των κορυφογραμμών που οφείλονται σε ανεπαρκή ποσότητα μελανιού ή συνδέσεις κορυφογραμμών που οφείλονται σε υπερβολικό μελάνι δεν εξαφοντάται τελείως. Στην πραγματικότητα όλα ταπροηγούμενα στάδια περιστασιακά εισάγουν και αυτά με τη σειρά τους ορισμένα αντικείμενα τα οποία αργότερα μπορεί να οδηγήσουν σε ψευδείς λεπτομέρειες. Αυτές οι ψευδείς μικρολεπτομέρειες θα επηρεάσουν σημαντικά την ακρίβεια της αντιστοίχισης αν απλά θεωρηθούν ως γνήσιες μικρολεπτομέρειες.

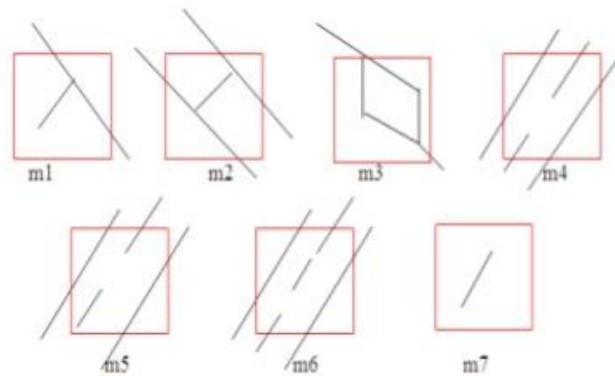
Έτσι ορισμένοι μηχανισμοί ειδικοί στην απομάκρυνση ψευδών λεπτομερειών είναι απαραίτητοι για τη διατήρηση των συστημάτων επαλήθευσης των δακτυλικών αποτυπωμάτων.

Υπάρχουν έξι τύποι ψευδών λεπτομερειών

- Μια ακίδα διαπερνά μια κοιλάδα
- Μια ακίδα συνδέει ψευδώς δλυο κορυφογραμμές
- Δύο διακλαδώσεις βρίσκονται δίπλα στην ίδια κορυφογραμμή
- Οι δύο σπασμένες κορυφογραμμές έχουν τον ίδιο προσανατολισμό για μια σύντομη αποσταση
- Μια σύντομη κορυφογραμμή που βρέθηκε στα όρια του παραθύρου
- Μια Τρίτη κορυφογραμμή βρίσκεται στη μέση δύο σπασμένων τμημάτων

Η διαδικασία για την απομάκρυνση των ψευδών λεπτομεριών αποτελείται από τα ακόλουθα:

- Αν η απόσταση μιας διασταύρωσης και μιας κατάληξης είναι είναι μικρότερη από D και οι δύο λεπτομέρειες βρίσκονται στην ίδια κορυφογραμμή. Αφαιρούνται και τα δύο. Οπου D είναι το μέσο πλάτος μεταξύ κορυφογραμμών που αντιπροσωπεύει το μέση απόσταση μεταξύ δύο παράλληλων γειτονικών κορυφογραμμών.
- Εάν η απόσταση μεταξύ δύο διακλαδώσεων είναι μικρότερο από το D και είναι στην ίδια κορυφογραμμή, αφαιρούμε τις δύο διακλαδώσεις
- Αν δύο απολήξεις βρίσκονται σε απόσταση D και οι κατευθύνσεις τους συμπίπτουν με μια μικρή παραλλαγή γωνίας. Αρκεί η κατάσταση ότι δεν υπάρχει οποιοσδήποτε άλλος τρόπος περάτωσης που να βρίσκεται ανάμεσα στις δύο απολήξεις. Στη συνέχεια, οι δύο απολήξεις θεωρούνται ως ψευδής μικρολεπτομέρειες που προέρχονται από μία σπασμένη κορυφογραμμή και απομακρύνονται
- Εάν δύο απολήξεις βρίσκονται σε μια μικρή κορυφογραμμή με μήκος μικρότερο από το D , αφαιρούμε τις δύο απολήξεις



Εικόνα 4-3 Τύπου λανθάνοντων μικρολεπτομερειών

Αυτή η διαδικασία απομάκρυνσης ψευδών λεπτομεριών έχει δύο πλεονεκτήματα. Το ένα είναι ότι η ταυτότητα κορυφογραμμής χρησιμοποιείται για να διακρίνει και τα επτά είδη των ψευδών λεπτομέρειων και να καθορίζονται αυστηρά. Το δεύτερο πλεονέκτημα είναι ότι η σειρά των διαδικασιών απομάκρυνσης είναι καλά θεωρούνται ότι μειώνουν τον υπολογισμό και την πολυπλοκότητα των σχέσεων μεταξύ των ψευδών τύπων λεπτομεριών.

4.6 Ταυτοποίηση Λεπτομεριών

Δεδομένων δύο σετ λεπτομεριών δύο εικόνων δακτυλικών αποτυπωμάτων, ο αλγόριθμος ταυτοποίησης λεπτομεριών προσδιορίζει εάν τα δύο σύνολα λεπτομεριών είναι από το ίδιο δάκτυλο.

Σε αυτή την εργασία χρησιμοποιούμε μία ευθυγράμμιση με βάση τον αλγόριθμο ταυτοποίησης που περιλαμβάνει δύο διαδοχικά στάδια: το ένα είναι το στάδιο της ευθυγράμμισης και το δεύτερο είναι το στάδιο της ταυτοποίησης.

Στάδιο ευθυγράμμισης: Έχοντας δύο εικόνες δακτυλικών αποτυπωμάτων που θέλουμε να ταυτοποιήσουμε, επιλέγουμε οποιαδήποτε μικρολεπτομέρια από κάθε εικόνα. Υπολογίζεται η ομοιότητα των δύο κορυφογραμμών που συνδεονται με τα δύο σημεία λεπτομεριών. Εάν η ομοιότητα είναι μεγαλύτερη από το όριο μετατρέπουν κάθε σύνολο λεπτομέρειας σε ένα νέο σύστημα συντονισμού W του οποίου η προέλευση είναι στην αναφορά σημείο και του οποίου x -άξονας συμπίπτει με την κατεύθυνση του αναφερόμενου σημείου.

Στάδιο ταυτοποίησης: Αφού πάρουμε 2 σετ λεπτομεριών χρησιμοποιούμε τον ελαστικό αλγόριθμο ταυτοποίησης για να μετρήσουμε τα ταιριασμένα ζεύγη και κάνοντας την

υπόθεση πως δύο μικρολεπτομέρειες που έχουν την ίδια θέση και κατεύθυνση, πως είναι ταυτόσημα.

5 Πειραματικά αποτελέσματα

5.1 Βάση δεδομένων

Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιηθήκε σε αυτή την εργασία μια γενική βάση δεδομένων η FVC2004 η οποία ποτελείται από τέσσερις μικρότερες (DB1,DB2,DB3,DB4). Η καθε μία από αυτές περιέχει 110 δακτυλικά αποτυπώματα και 8 λήψεις από κάθε δάκτυλο (άρα περιέχει συνολικά 880 εικόνες). Οι βάσεις κατηγοριοποιούνται σε 2 A και B

Η DB1-A, DB2-A κτλ περιλαμβάνει τα πρώτα 100 αποτυπώματα (συνολικά 800 εικόνες) των DB1, DB2, DB3 κτλ

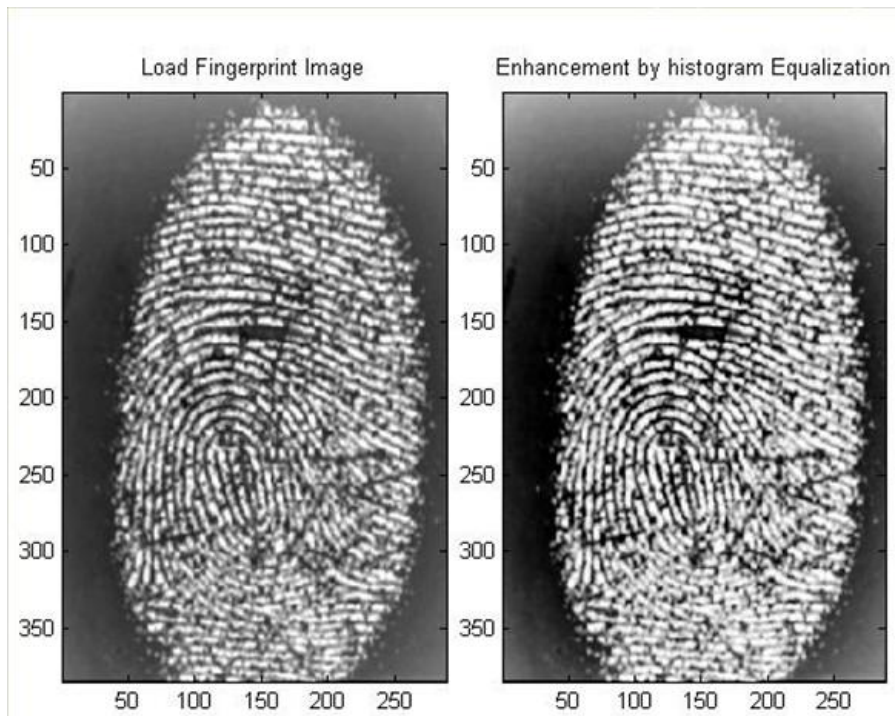
Το άλλο υποσύνολο των DB1-B, DB2-B κτλ περιέχει τα τελευταία 10 αποτυπώματα (συνολικά 80 εικόνες) των DB1, DB2, DB3 το οποίο θα χρησιμοποιηθεί σε αυτήν την εργασία.

Θα εξεταστούν μόνο αποτυπώματα που ανήκουν σε αυτήν τη βάση . Το φορμάτ της εικόνας είναι tiff, 256 grey-scale, αποσυμπιεσμένες. Η ανάλυση της εικόνας, η οποία σε μερικές εικόνες μπορεί να αλλάξει ελαφρώς ανάλογα με τη βάση δεδομένων, είναι περίπου 500 dpi. Επίσης το μέγεθος της εικόνας ποικίλει ανάλογα με τη βάση δεδομένων. Ο προσανατολισμός του δακτυλικού αποτυπώματος είναι περίπου στο εύρος $[-30^\circ, +30^\circ]$ σε σχέση με τον κάθετο προσανατολισμό. Τέλος κάθε ζεύγος των εικόνων του ίδιου δακτύλου θα έχει μια μη-μηδενική επικάλυψη, αλλά η παρουσία των πυρήνων των δακτυλικών αποτυπωμάτων και δέλτα δεν είναι εγγυημένη.

5.2 Πειραματική διαδικασία

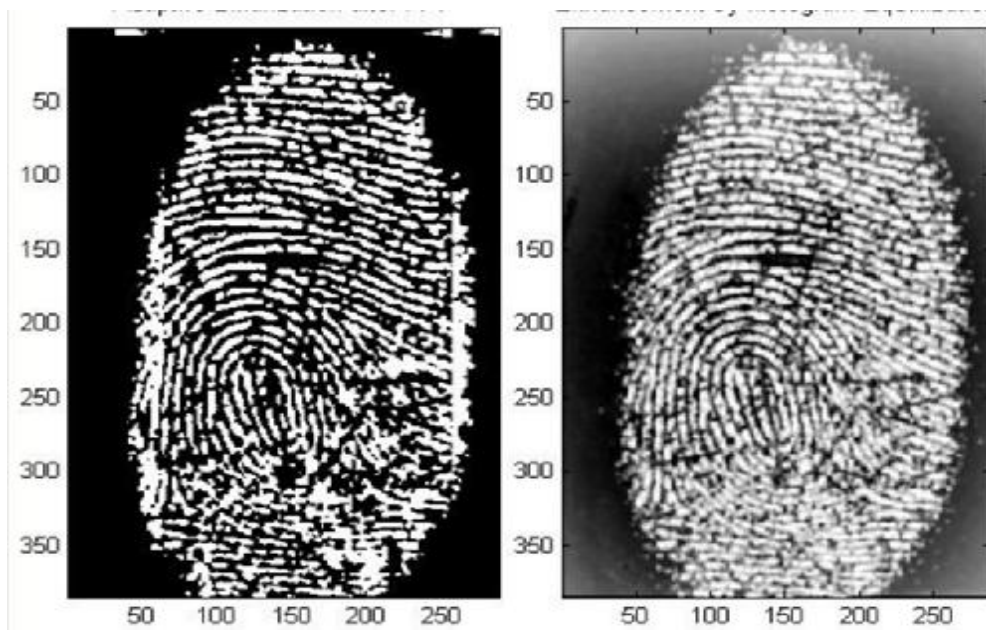
Στο στάδιο του πειράματος αυτής της εργασίας χρησιμοποιήθηκε μία εικόνα από τη βάση μας και την επεξεργαστήκαμε όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο 4.

Το πρώτο στάδιο είναι η **επεξεργασία**. Στο σημείο αυτό η εικόνα του αποτυπώματος ενισχύεται με το **Ιστόγραμμα Εξισορρόπησης** και το αποτέλεσμα φαίνεται στην εικόνα 5-1.



Εικόνα 5-1 Αριστερά: Αρχική εικόνα, Δεξιά: εικόνα μετά το ιστόγραμμα εξισορρόπησης

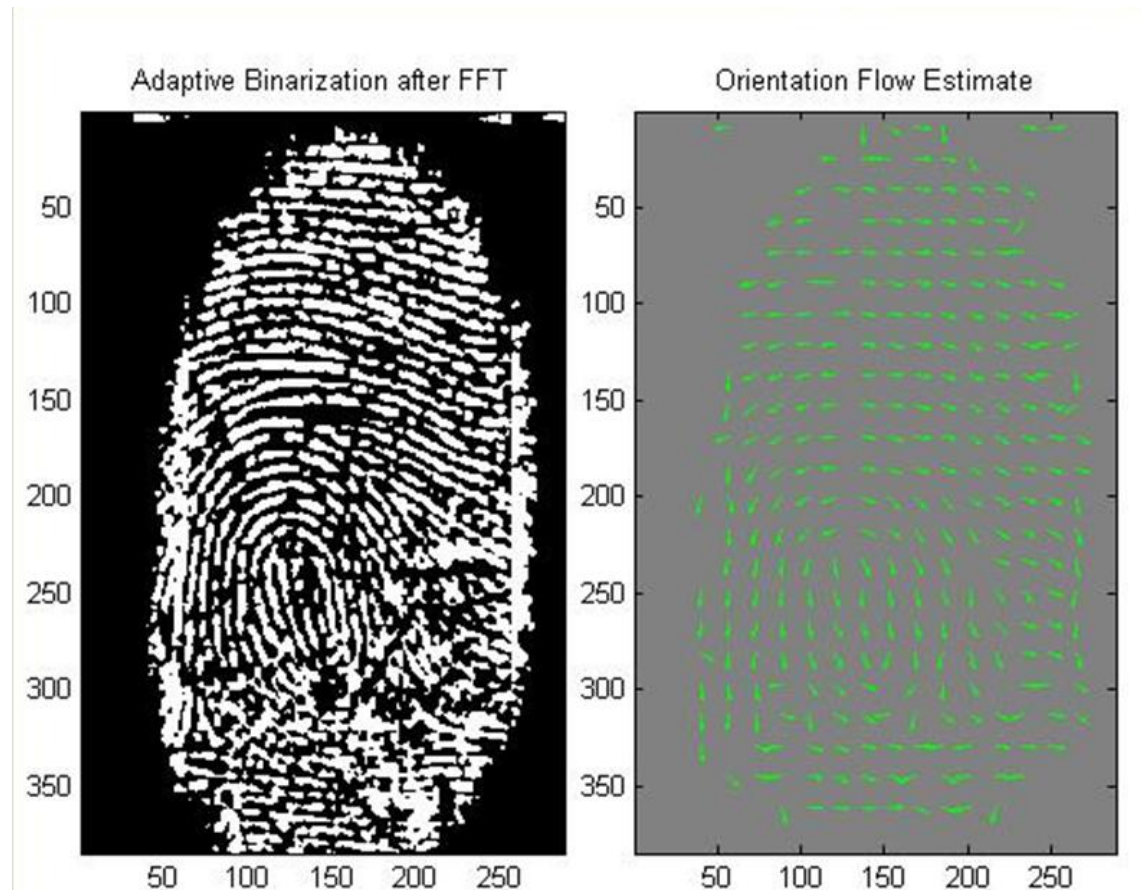
Αμέσως μετά το αποτύπωμα **δυναμικοποιείται** και το αποτέλεσμα φαίνεται στην εικόνα 5-2



Εικόνα 5-2 Δεξιά: αρχική εικόνα , Αριστερά: Δυναμικοποιημένη εικόνα

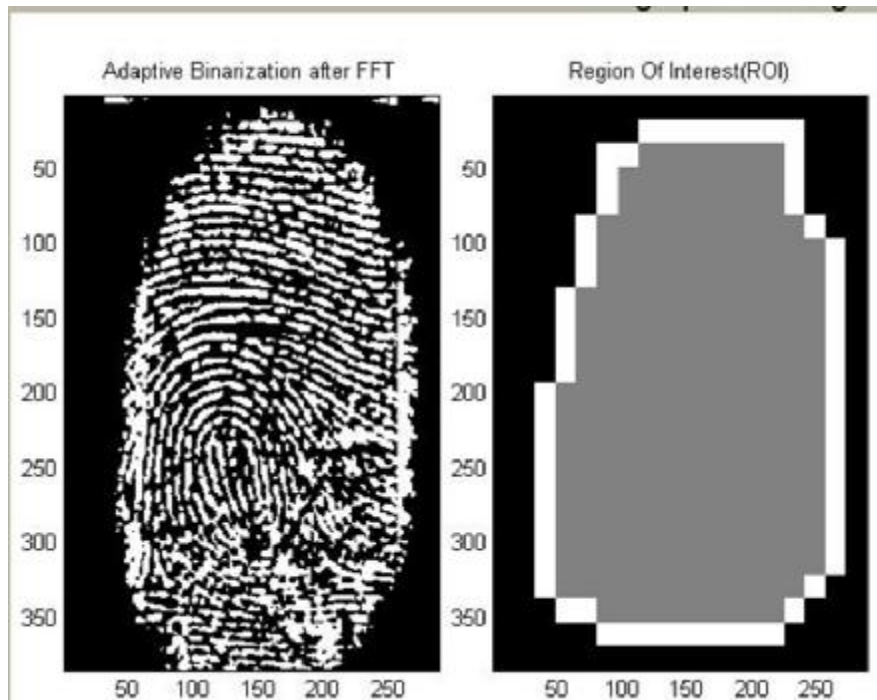
Το επόμενο στάδιο είναι η τμηματοποίηση εικόνων δακτυλικών αποτυπωμάτων. Σε αυτό το στάδιο η εικόνα του αποτυπώματος θα περάσει από τα εξής στάδια:

- § **Εκτίμηση κατεύθυνσης** του Block το αποτέλεσμα του οποίου φαίνεται στην εικόνα 5-3



Εικόνα 5-3 Το δεξί μέρος δείχνει την κατεύθυνση του μπλοκ της εικόνας στο αριστερό μέρος

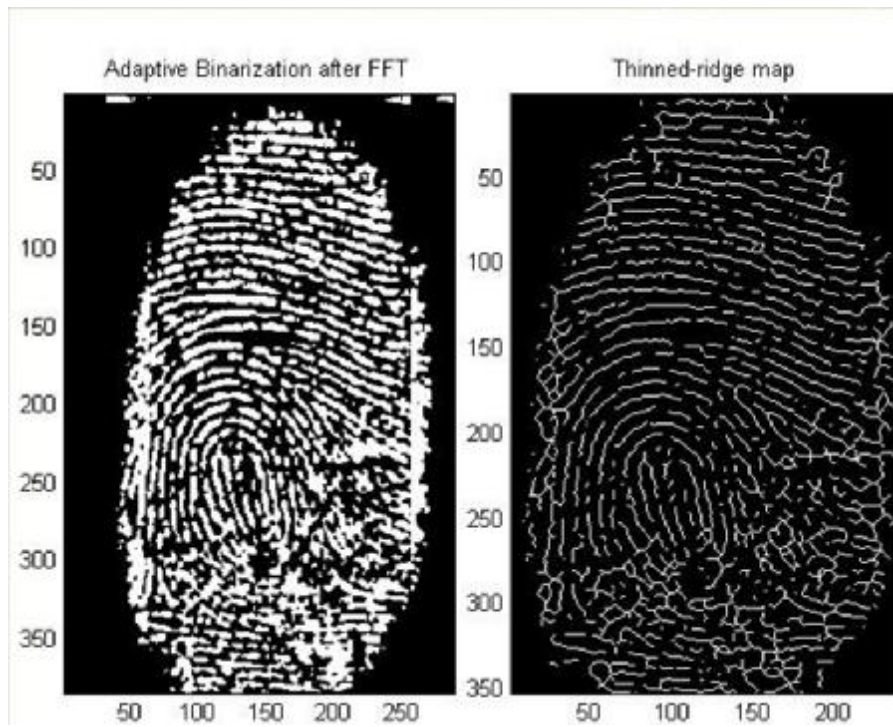
- **Εξαγωγή περιοχής ενδιαφέροντος** με χρήση μορφολογικών μεθόδων, το αποτέλεσμα του φαίνεται στην εικόνα 5-4



Εικόνα 5-4 Εξαγωγή περιοχής

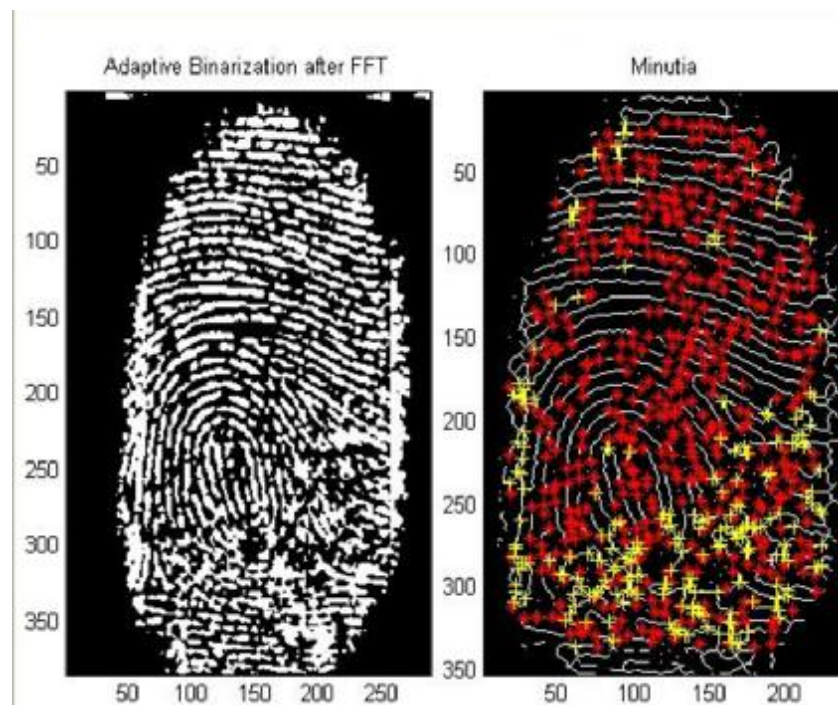
Το επόμενο στάδιο ονομάζεται **Εξαγωγή μικρολεπτομερειών**. Σε αυτό το στάδιο το δακτυλικό αποτύπωμα θα υποστεί :

- Αραίωση κορυφογραμμών δακτυλικών αποτυπωμάτων, όπως φαίνεται στην εικόνα 5-5



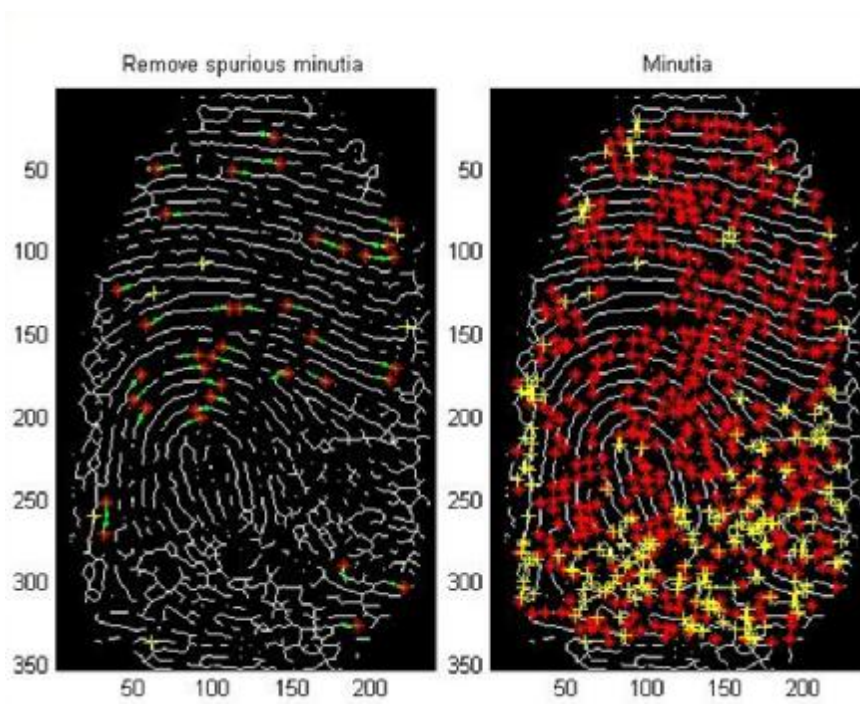
Εικόνα 5-5 Στο δεξί μέρος φαίνεται η αραίωση κορυφογραμμών

- Ανίχνευση μικρολεπτομερειών (εικόνα 5-6)



Εικόνα 5-6 Ανίχνευση μικρολεπτομερειών

Ακολουθεί το στάδιο της μετεπεξεργασίας, όπου απο την εικόνα αφαιρούνται οι λανθάνων λεπτομέριες, όπως φαίνεται στην 5-7



Εικόνα 5-7 Αφαίρεση λανθανόντων πληροφοριών

SUBJECT										
ΛΗΨΗ	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110
1	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
2	37,5%	50%	15,38%	20%	40%	66,66%	77,14%	25%	7,84%	30%
3	31,25%	50%	30,792%	15%	20%	53,33%	20%	37,5%	19,60%	30%
4	68,75%	40%	17,94%	42,55%	20%	26,66%	28,57%	50%	23,52%	40%
5	50%	50%	25,641%	27,5%	40%	40%	37,4%	50%	21,56%	30%
6	37,5%	40%	25,641%	20%	40%	40%	31,42%	25%	11,76%	40%
7	50%	50%	30,76%	35%	40%	40%	14,28%	12,5%	13,72%	30%
8	25%	50%	20,51%	15%	40%	46,66%	20%	12,5%	13,72%	30%
	42,86%	47,14%	23,81%	25,01%	34,29%	44,76%	32,69%	30,36%	15,96%	32,86%
Τελικό ποσοστό επιτυχίας	32,97%									

Πίνακας 1 Πίνακας ταυτοποίησης δακτυλικού αποτυπώματος ίδιου ατόμου

Στον πίνακα 1 φαίνονται τα αποτελέσματα της ταύτισης μεταξύ δύο διαφορετικών λήψεων του ίδιου δακτύλου τα οποία δίνουν ποσοστό επιτυχίας 38,673%

Στο δεύτερο σετ πειραμάτων που εκτελέσαμε, μετρήσαμε την απόδοση του συστήματος στην περίπτωση ταυτοποίησης ενός δακτυλικού αποτυπώματος του ατόμου 101 συγκρινόμενο με όλα τα υπόλοιπα αποτυπώματα των 10 ατόμων της βάσης δεδομένων που χρησιμοποιήσαμε. Στον Πίνακα 5-2 παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα. Από τον παρακάτω πίνακα προκύπτει ότι το σύστημα μπορεί να ταυτοποιήσει το σωστό άτομο με ποσοστό αναγνώρισης που φτάνει το 68,75%. Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρήθηκαν και στην περίπτωση αναγνώρισης των υπόλοιπων ατόμων χρησιμοποιώντας την βάση δεδομένων με τα 10 άτομα.

ΛΗΨΗ	SUBJECT									
	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110
1	100%	25%	31,25%	43,75%	31,25%	25%	37,5%	25%	62,5%	31,25%
2	37,5%	25%	25%	25%	37,5%	56,25%	25%	31,25%	25%	18,75%
3	31,25%	50%	37,5%	31,25%	25%	31,25%	37,5%	43,75%	37,5%	18,75%
4	68,75%	37,5%	31,25%	50%	25%	31,25%	43,75%	37,5%	50%	31,25%
5	50%	37,5%	50%	31,25%	31,25%	37,5%	37,4%	25%	31,25%	18,75%
6	37,5%	31,25%	43,75%	25%	37,5%	31,25%	43,75%	31,25%	25%	31,25%
7	50%	37,5%	43,75%	43,75%	25%	31,25%	14,28%	18,75%	18,75%	18,75%
8	25%	37,5%	37,5%	31,25%	37,5%	25%	20%	18,75%	31,25%	0 %

Πίνακας 2 Αποτελέσματα ταυτοποίησης του δακτυλικού αποτυπώματος του ατόμου 101

5.3 Εκτίμηση του συστήματος

Το τελικό αποτέλεσμα επηρεάζεται από την επεξεργασία από την οποία περνάμε το κάθε αποτύπωμα είτε για να εισαχθεί στη βάση δεδομένων είτε για προχωρήσει στο στάδιο της ταυτοποίησης. Όπως και το να αλλάξουμε ή να παραλείψουμε ένα βήμα της επεξεργασίας

Για παράδειγμα όταν αλλάζει ένα τόσο σημαντικό βήμα όπως η ενίσχυση της ποιότητας της εικόνας η απόδοση του συστήματος πέφτει γρήγορα και ο θόρυβος στην εικόνα αυξάνεται. Διότι όταν δουλεύουμε με ένα βιομετρικό σύστημα αναγνώρισης, το να λαμβάνουμε σαφής και καθαρές εικόνες είναι πολύ δύσκολο πράγμα οπότε αυτό το βήμα δύσκολα παραλείπεται.

Όσον αφορά το στάδιο της δυαδικοποίησης, χρησιμοποιώντας το παγκόσμιο κατωφλί μπορεί να παρουσιάσουν κάποια προβλήματα και στη συνέχεια αυτά μπορεί να οδηγήσουν στην εξάλειψη σημαντικών λεπτομερειών κατά λάθος. Ένας τρόπος για να αποφευχθεί αυτό είναι να χρησιμοποιηθούν δύο κατώτατα όρια. Παρόλα αυτά, παραμένει καλύτερο να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος με το προσαρμοστική όριο, διότι, αν και καταναλώνει περισσότερο χρόνο επεξεργασίας, εξακολουθεί να εγγυάται την ποιότητα των αποτελεσμάτων.

Τέλος ένα τελευταίο πρόβλημα που μπορεί να προκύψει είναι στο βήμα της αφίρεσης των Η-σπασιμάτων, υπάρχει περίπτωση με αυτό το βήμα το σύστημα θα επηρεαστεί σε μεγάλο βαθμό και η ταυτοποίηση θα γίνει πιο δύσκολη. Επειδή όμως είναι βήμα προ-επεξεργασίας δεν προσθέτει μεγάλη πολυπλοκότητα στο σύστημα έτσι δεν επηρεάζεται πολύ η ακρίβεια.

5.4 Συμπεράσματα

Η αξιοπιστία κάθε αυτόματου συστήματος δακτυλικών αποτυπωμάτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ακρίβεια που προκύπτει κατά τη διαδικασία παραλαβής μικρολεπτομεριών . Υπάρχουν κάποιοι όμως που μπορούν να βλάψουν τη σωστή θέση των λεπτομερειών. Ο παράγοντας με τη μεγαλύτερη επιρροή είναι η κακή ποιότητα εικόνας. Η προτεινόμενη εναρμόνιση που συζητάμε σε αυτή την εργασία με βάση το ελαστικό αλγόριθμο ταιριάσματος είναι ικανή να βρίσκει τις αντιστοιχίες μεταξύ μικρολεπτομέρειες χωρίς να καταφεύγουν σε εξαντλητική έρευνα.

Υπάρχει περιθώριο για περαιτέρω βελτίωση όσον αφορά την αποτελεσματικότητα και την ακρίβεια που μπορεί να επιτευχθεί με τη βελτίωση του υλικού για να συλληφθεί η εικόνα ή βελτιώνοντας τις τεχνικές βελτίωσης εικόνας σε περιπτώσεις όπως ξηρά χέρια ή ουλές στα χέρια, που μέχρι τώρα δημιουργούν προβλήματα στην ταυτοποίηση . Έτσι ώστε η εικόνα εισόδου στο στάδιο της αραίωσης μπορεί να γίνει καλύτερη, κάτι το οποίο θα μπορούσε να βελτιώσει την μελλοντικά στάδια και το τελικό αποτέλεσμα. Επίσης ένας άλλος παράγοντας που θα μπορούσε να βελτιώσει την ποιότητα του συστήματος ταυτοποίησης είναι η χρήση μεγαλύτερης βάσης δεδομένων. Οι 80 εικόνες των 10 ατόμων είναι πολύ λίγες για την εκπαίδευση ενός αξιόπιστου συστήματος αναγνώρισης, δυστυχώς είναι οι μόνες που είναι ελεύθερα διαθέσιμες στο διαδίκτυο και προσφέρονται για ερευνητικούς σκοπούς.

Τέλος μια μελλοντική αλλαγή στο σύστημα αναγνώρισης θα μπορούσε να είναι η χρήση διαφορετικού συστήματος ταυτοποίησης το οποίο δεν θα στηρίζεται στην ευκλείδεια απόσταση των σημείων αλλά θα στηρίζεται σε νευρωνικά δίκτυα, Hidden Markov Models ή Support Vector Machines ώστε το σύστημα να είναι περισσότερο ανθεκτικό σε διαφορές του αποτυπώματος όσον αφορά γωνία λήψης, ποιότητας αποτυπώματος, εξωγενείς παράγοντες που αλλάζουν την μορφή του αποτυπώματος (ιδρώτας, ουλές κλπ) μεταξύ αποτυπωμάτων του ίδιου ατόμου.

Αναφορές

- [1] Jain AK, Ross A & Prabhakar S (2004) An Introduction to biometrics recognition, IEEE transactions on circuits and systems for video technology , VOL. 14, NO. 1, page 6
- [2] M Savvides Mario. Introduction to Biometric technologies and applications, Carnegie Mellon University. Carnegie Mellon CyLab & ECE
- [3] Jain A K & Kumar A (2010), Biometrics of next Generation: An Overview, Michigan State University and the Hong Kong Polytechnic University. TO APPEAR IN 'SECOND GENERATION BIOMETRICS' SPRINGER, 2010
- [4]Francis Galton Wikipedia en.wikipedia.org/wiki/Francis_Galton
- [5]Crime scene forensics LLC
(www.crimescene_forensics.com/History_of_fingerprints.html).
- [6]Berham 2 (2011)Fingerprint recognition Matlab, Graduation project
- [7]Interpol Official website (www.interpol.int/INTERPOL-expertise/forencics/Fingerprints).
- [8]The FBI Federal Bureau of Investigation (www.fbi.gov/about-us/cjis.fingerprint_biometrics/iafis/iafis)
- [9]The Scottish Government Riaghaltas na-h-Alba (www.gov.scot/Topics/justice/law/dna-forencics/scottishdnadatabase/ident1)
- [10]fingerprint readers Biometric-solutions. (www.biometricssolution.com/)
- [11] Yanqin Peng & Jiya Tian, Research of the Matlab Application in the Fingerprint Identification System, (2012) Hangzhou, page1 – 5, IEEE transactions on circuits and systems for video technology.
- [12] Joshua Abraham , Christophe Champod , Chris Lennard , Claude Roux (2013) Modern statistical models for forensic fingerprint examinations: A critical review, Forensic Science International, 232 (2013) 131–150
- [13] Dongjin Fana, Peng Yu, Peng Du, Wenda Li, Xiaofei Cao, (2012) A Novel Probabilistic Model Based Fingerprint Recognition Algorithm, Engineering 00 (2011) 201 – 206
- [14] Lin Hong, Ani Jainl, Sharath Pankanti, and Ruud Bolle, (1996) Fingerprint Enhancement 0-8186-7620-5/96 @ 1996 IEEE
- [15] Sen Wang, Wei Wei Zhang, Yang Sheng Wang (2002) Fingerprint Classification by Directional Fields, Proceedings of the Fourth IEEE International Conference on Multimodal Interfaces (ICMI'020-7695-1834-6/02 © 2002 IEEE

- [16] Wang Yuan, Yao Lixiu, Zhou Fuqiang, (2007) A Real Time Fingerprint Recognition System Based On Novel Fingerprint Matching Strategy, 1-4244-1135-1/07/ ©2007 IEEE
- [17] Chin Kim On, Paulraj M. Pandiyan, Sazali Yaacob and Azali Saudi, (2006) Fingerprint Feature Extraction Based Discrete Cosine Transformation (DCT), 1-4244-0220-4/06/©2006 IEEE
- [18] Miss. Priti S. Sanjekar, Prof. Priyadarshan S. Ohabe, (2010) Fingerprint Verification Using Haar Wavelet, 978-1-4244-6349-7/10/ @2010 IEEE
- [19] Kaisheng Zhang, Jiao She and Mingxing Gao and Wenbo Ma,(2010) Study on the Embedded Fingerprint Image Recognition System, 2010 International Conference of Information Science and Management Engineering, 978-0-7695-4132-7/10 © 2010 IEEE DOI 10.1109/ISME.2010.281
- [20] Hong Zhang, Xinsheng Wang, (2010) A NEW FINGERPRINT ENHANCEMENT ALGORITHM, Proceedings of IC-BNMT20 10, 978-1-4244-6769-3/10/©2010 IEEE
- [21] Zin Mar Win and Myint Myint Sein (2011), Fingerprint Recognition System for Low Quality Images, SICE Annual Conference 2011 September 13-18, 2011, Waseda University, Tokyo, Japan,