

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Διπλωματική εργασία

***«Ενσωματωμένο σύστημα επεξεργασίας δεδομένων ίριδας ματιού βασισμένο σε
Android»***

«Android based embedded iris data processing system»



ΣΠΥΡΟΥ ΑΓΓΕΛΙΚΗ

Εξεταστική επιτροπή:

Καθηγητής Απόστολος Δόλλας (Επιβλέπων)

Καθηγητής Μιχάλης Ζερβάκης

Αναπληρωτής Καθηγητής Ιωάννης Παπαευσταθίου

Περίληψη

Ο όρος βιομετρική αναφέρεται στην αυτοματοποιημένη αναγνώριση ενός ανθρώπου, με βάση χαρακτηριστικά της φυσιολογίας ή της συμπεριφοράς του. Ένα βιομετρικό σύστημα είναι στην ουσία σύστημα αναγνώρισης προτύπων, που εξακριβώνει την ταυτότητα του ατόμου καθορίζοντας την αυθεντικότητα ενός συγκεκριμένου βιολογικού του χαρακτηριστικού. Πρόκειται για μια ανερχόμενη μέθοδο πιστοποίησης που τα τελευταία χρόνια φαίνεται να κερδίζει έδαφος σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός συστήματος για την αναγνώριση και ταυτοποίηση της ίριδας του οφθαλμού με χρήση λειτουργικού Android. Αρχικά μέσω μιας εφαρμογής Android που αναπτύξαμε λαμβάνουμε φωτογραφίες του οφθαλμού οι οποίες αποστέλλονται(wi-fi) σ' ένα σταθερό υπολογιστή όπου αποθηκεύονται και εκτελούνται οι διαδικασίες αναγνώρισης και ταυτοποίησης.

Πρώτο βήμα είναι ο εντοπισμός των εικονοστοιχείων (pixels) που ανήκουν στην ίριδα. Η διαδικασία συνίσταται στον προσδιορισμό του εσωτερικού ορίου της ίριδας με την κόρη και το σκληρό φλοιό. Στη συνέχεια εκτελείται μια διαδικασία η οποία ονομάζεται «ξετύλιγμα» της ίριδας μέσω της οποίας πραγματοποιείται η μετατροπή των συντεταγμένων των εικονοστοιχείων (pixels) που βρέθηκε ότι ανήκουν στην ίριδα από πολικές σε καρτεσιανές.

Τέλος εκτελείται η κωδικοποίηση της πληροφορίας της ίριδας μέσω της οποίας εξάγεται ο «κώδικας» της ίριδας(bitcode) που αποτελείται από δυαδική πληροφορία. Για τη σύγκριση των «κωδίκων» δυο ίριδων υπολογίζεται η απόσταση Hamming.

Abstract

The term Biometrics refers to the automated identification of a person based on physiological characteristics or behavior. A biometric system is essentially a pattern recognition system, which verifies the identity of a person determining the authenticity of a particular biological feature. This is an emerging authentication method, which in recent years seems to be gaining ground over traditional methods.

The purpose of this thesis is the development of an Android based embedded iris data processing system. We developed an Android application in order to take pictures of the iris. These pictures are send to a pc where the recognition and authentication process take place.

Our first action is the localization of the iris. This procedure determinates the inner and outer boundaries of iris with the pupil and sclera. Afterwards the procedure that take place is called “unwrapping” of the iris, which includes the conversion of the coordinates of the pixels that were found to belong to the iris from the Polar to the Cartesian Coordinate System.

At the end the information of the iris is encoded into a binary stream(bitcode). The comparison of two “bitcodes” is implemented through the calculation of Hamming Distance.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	3
Abstract	5
Κεφάλαιο 1ο.....	9
Εισαγωγή.....	9
1.1 Σκοπός της εργασίας	9
1.2 Οργάνωση της εργασίας.....	9
Κεφάλαιο 2ο.....	10
Βιβλιογραφική ανασκόπηση	10
2.1 Ανατομία του οφθαλμού	10
2.2 Βιομετρία και εφαρμογές	12
2.3 Συστήματα εντοπισμού του οφθαλμού.....	20
2.3.1 Τεχνικές που στηρίζονται στη χρήση φακών επαφής	20
2.3.2 Τεχνικές που στηρίζονται στο ηλεκτρικό δυναμικό του δέρματος	20
2.3.3 Χρήση κατάλληλων καμερών και ανάλυση των συλλεγμένων εικόνων.....	21
2.3.4 Χρήση κατάλληλου κινητού τηλεφώνου.....	24
2.4 Σύγκριση μεθόδων εντοπισμού του οφθαλμού	25
2.5 Τεχνικές ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας για αναγνώριση ίριδας	26
Κεφάλαιο 3ο.....	33
3.1 Αρχική αρχιτεκτονική(1 ^η Υλοποίηση).....	33
3.2 Ανάπτυξη εφαρμογής(Android)	33
3.3 Αλγόριθμος για σύγκριση και ταυτοποίηση ίριδας (Java)	34
3.3.1 Εντοπισμός pixels που ανήκουν στην ίριδα	34
3.3.2 «Ξετύλιγμα ίριδας»	36
3.3.3 Δημιουργία bitcode	38
3.3.4 Απόσταση Hamming	41
3.4 Προβλήματα και προσπάθεια επίλυσης.....	42
3.5 Δεύτερη αρχιτεκτονική(2 ^η υλοποίηση)	44
3.5.1 Δημιουργία Database.....	44
3.5.2 Τελική αρχιτεκτονική(3 ^η υλοποίηση).....	46
Κεφάλαιο 4ο.....	48
4.1 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων	48
4.2 Ανάλυση αποτελεσμάτων.....	54
4.3 Συμπεράσματα και επεκτάσεις.....	56

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	58
-------------------	----

Κεφάλαιο 1ο

Εισαγωγή

1.1 Σκοπός της εργασίας

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός συστήματος για την αναγνώριση και ταυτοποίηση της ίριδας του οφθαλμού με χρήση λειτουργικού Android.

1.2 Οργάνωση της εργασίας

Στο κεφάλαιο 2 πραγματοποιείται βιβλιογραφική αναφορά, η οποία περιλαμβάνει στοιχεία σχετικά με την ανατομία του οφθαλμού, με την επιστήμη της βιομετρίας και τις εφαρμογές αυτής, καθώς επίσης και μια σύντομη περιγραφή της διαδικασίας ταυτοποίησης του ατόμου, μέσω ορισμένων βιομετρικών χαρακτηριστικών. Στο κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνεται επίσης η περιγραφή των τεχνικών εντοπισμού του οφθαλμού και η σύγκριση αυτών βάσει ορισμένων παραμέτρων. Στο πέρας του κεφαλαίου καταγράφεται επίσης μια σειρά τεχνικών ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας με σκοπό την αναγνώριση ίριδας.

Στο κεφάλαιο 3 περιγράφεται η διαδικασία υλοποίησης. Ο αρχικός σχεδιασμός τόσο της εφαρμογής σε Android όσο και σε Java. Επίσης αναλύεται διεξοδικά ο αλγόριθμος που υλοποιήθηκε για την αναγνώριση ίριδας. Οι επιμέρους ενότητες έχουν οριστεί βάσει των λογικών επιπέδου του αλγορίθμου. Στο πρώτο επίπεδο παρουσιάζεται ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε με σκοπό τον εντοπισμό των εικονοστοιχείων(pixels) που ανήκουν στην ίριδα και χρήζουν περεταίρω επεξεργασίας. Στο δεύτερο επίπεδο αναπτύσσεται ο αλγόριθμος ο οποίος καλείται «ξετύλιγμα» της ίριδας(unwrapping). Ο αλγόριθμος αυτός αφορά στην ουσία στη μετατροπή των συντεταγμένων, των εικονοστοιχείων(pixels) που ανήκουν στην ίριδα, από πολικές σε καρτεσιανές. Στο επόμενο στάδιο παρουσιάζεται ο αλγόριθμος βάση του οποίου κωδικοποιούνται τα εικονοστοιχεία της «ξετυλιγμένης» ίριδας παράγοντας έτσι τον κώδικα της ίριδας(bitcode). Τέλος περιγράφεται το κριτήριο βάση του οποίου εξάγεται το αποτέλεσμα ταυτοποίησης ή μη. Αυτό το κριτήριο είναι η απόσταση Hamming. Τέλος περιγράφονται τα προβλήματα που προέκυψαν κατά την υλοποίηση καθώς και ο τρόπος με τον οποίο αντιμετωπίστηκαν.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την παραπάνω υλοποίηση και στο κεφάλαιο 5 συνοψίζονται τα συμπεράσματα καθώς και οι μελλοντικές επεκτάσεις της παρούσας διπλωματικής.

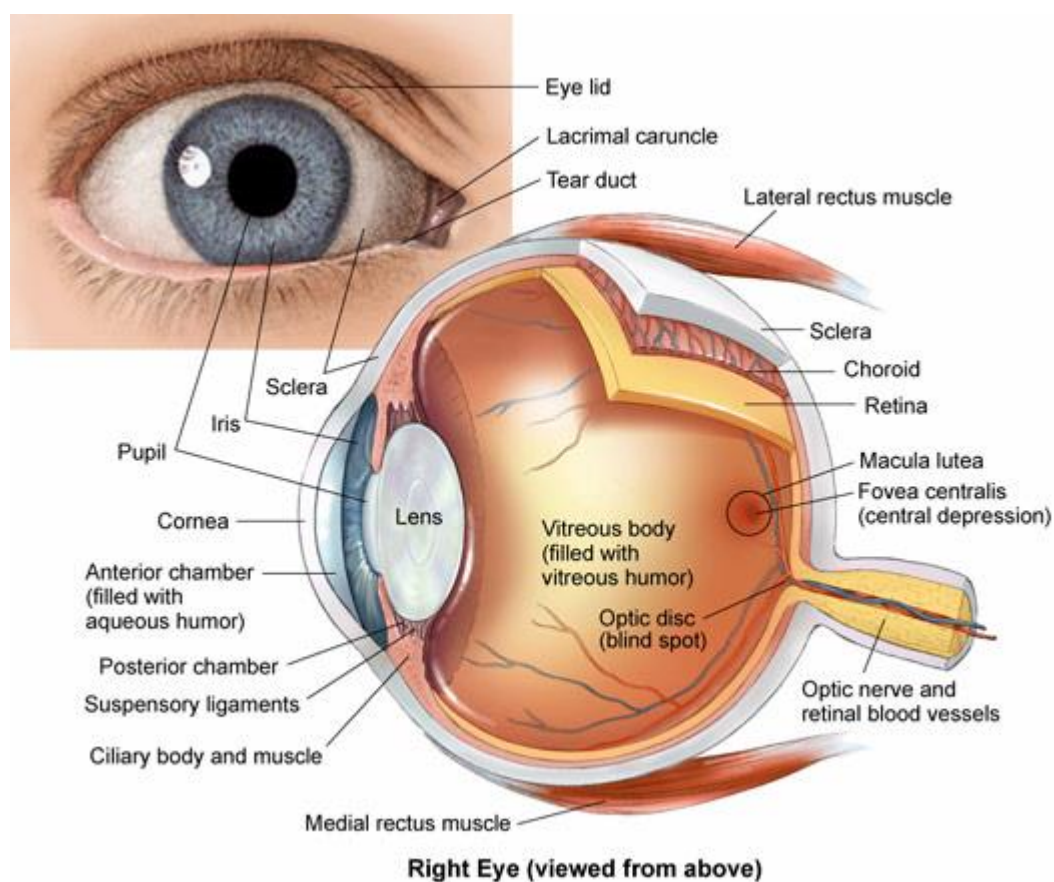
Κεφάλαιο 2ο

Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1 Ανατομία του οφθαλμού

Το όργανο της όρασης([1],[2]) αποτελείται από τους δύο οφθαλμούς καθένας εκ των οποίων απαρτίζεται από τα εξής τμήματα:

- το βολβό (του οφθαλμού) με το οπτικό του νεύρο
- τους μύες που κινούν το βολβό του οφθαλμού
- τα προασπιστικά και επικουρικά μόρια
- τα φρύδια
- τα βλέφαρα
- τον επιπεφυκότα υμένα
- τη δακρυϊκή συσκευή
- την περιοφθάλμιο περιτονία
- το κογχικό λίπος



Εικόνα 2.1: Ανατομία οφθαλμού (Πηγή : <http://anatomy-physiology-school.com/?p=73>)

Ο βολβός του οφθαλμού αποτελείται από τα τμήματα δύο σφαιρών διαφορετικού μεγέθους τοποθετημένα το ένα εμπρός από το άλλο. Το εμπρόσθιο διαφανές τμήμα αποτελεί περίπου το 1/6 του βολβού και έχει ακτίνα καμπυλότητας περί τα 8mm. Το οπίσθιο μεγαλύτερο τμήμα είναι αδιαφανές και σχηματίζει τον υπόλοιπο οφθαλμικό βολβό σχηματίζοντας ακτίνα καμπυλότητας περί τα 12mm.

Ο πρόσθιος πόλος του οφθαλμού είναι το κέντρο καμπυλότητας του διαφανούς τμήματος, ενώ ο οπίσθιος πόλος είναι το κέντρο καμπυλότητας του αδιαφανούς τμήματος του βολβού.

Η γραμμή που ενώνει τους δύο πόλους καλείται γεωμετρικός ή προσθοπίσθιος άξονας. Ο οπτικός άξονας είναι μια γραμμή που ενώνει το κεντρικό βοθρίο της ωχρής κηλίδας του αμφιβληστροειδή με το ουδέτερο σημείο(nodal point) του ματιού και συνεχίζεται προς τα εμπρός, διαμέσου του κερατοειδούς. Η προσθοπίσθια διάμετρος του οφθαλμικού βολβού είναι περίπου 24mm. Ο οφθαλμικός βολβός βρίσκεται εντός του οφθαλμικού κόγχου στο πρόσθιο τμήμα του κρανίου.

Ο βολβός του ματιού αποτελείται τα εξής βασικά μέρη:

- Τους τρεις χιτώνες:
- Ινώδης χιτώνας (σκληρός, κερατοειδής)
- Αγγειώδης χιτώνας (ίριδα, ακτινωτό σώμα, χοριοειδής)
- Νεύρινος χιτώνας (αμφιβληστροειδής)
- Το υδατινό υγρό, τον κρυσταλλοειδή φακό και το υαλώδες σώμα

Υπάρχουν επίσης δύο επιπλέον χαρακτηριστικά που περιγράφουν την ίριδα είναι το κορικό χείλος(οπτικά αποτελεί το σύνορο της κόρης και της ίριδας) και το περιφερικό χείλος της ίριδας ή αλλιώς ρίζα της ίριδας(οπτικά, αποτελεί το εξωτερικό όριο της ίριδας) .

Συνοπτικά, η υφή της ίριδας περιγράφεται από τέσσερα στρώματα-στιβάδες, που από έξω προς τα μέσα είναι τα εξής :

- Πρόσθιο επιθήλιο (ή ενδοθήλιο) της ίριδας
- Αγγειώδες στρώμα της ίριδας (αποτελείται από χαλαρό και ευρύβροχο συνδετικό ιστό (χρωστικοφόρο), εντός του οποίου φέρονται τα αγγεία αυτής).
- Μυϊκή στιβάδα (συνίσταται από λείες μυϊκές ίνες, οι οποίες αποτελούν τον σφιγκτήρα και τον διαστολέα μυ της κόρης).
- Οπίσθιο επιθήλιο της ίριδας.

2.2 Βιομετρία και εφαρμογές

Η ανάγκη ταυτοποίησης των ατόμων υφίσταται εδώ και εκατοντάδες χρόνια και ο λόγος γι' αυτό, είναι η ανάγκη ύπαρξης ενός αντικειμενικού τρόπου, έτσι ώστε να πιστοποιείται η ταυτότητα ενός ανθρώπου ανεξάρτητα και με αδιαμφισβήτητο τρόπο.

Πρέπει στο σημείο αυτό να τονιστεί η μεγάλη και ζωτική σημασία της προστασίας των προσωπικών δεδομένων του ανθρώπου, τα οποία δεν πρέπει να θυσιαστούν στο βωμό της ασφάλειας.

Έχει για το λόγο αυτό θεσπιστεί μια σειρά νόμων, οι οποίοι αποσκοπούν στην προστασία των προσωπικών δεδομένων των πολιτών.

Για το σκοπό της ταυτοποίησης των ατόμων, μεγάλη είναι η συνεισφορά της επιστήμης της βιομετρίας.

Ο όρος «βιομετρία» χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στις αρχές του εικοστού αιώνα, προκειμένου να περιγραφεί το πεδίο της ανάπτυξης στατιστικών και μαθηματικών μεθόδων, οι οποίες εφαρμόζονταν σε προβλήματα ανάλυσης βιολογικών δεδομένων.

Τέτοιες στατιστικές μέθοδοι χρησιμοποιήθηκαν, παραδείγματος χάριν :

- για τη σύγκριση των σοδειών από διαφορετικές ποικιλίες σιταριού
- για την ανάλυση δεδομένων από κλινικές δοκιμές με σκοπό την εκτίμηση της επίδρασης διαφορετικών υποψήφιων θεραπειών για κάποια ασθένεια
- για την ανάλυση δεδομένων που έχουν προκύψει από περιβαλλοντολογικές μελέτες και αφορούν το πώς συνδέεται η εμφάνιση ασθενειών σε μια περιοχή ή σε μια χώρα με τη μόλυνση του αέρα ή του νερού.

Τα βιομετρικά χαρακτηριστικά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο ευρεία σύνολα. Στο πρώτο σύνολο ανήκουν τα βιομετρικά εκείνα γνωρίσματα που υπακούουν στους κανόνες της φυσιολογίας, και τα οποία θεωρούνται μοναδικά για κάθε άτομο, όπως για παράδειγμα:

- τα δακτυλικά αποτυπώματα (fingerprints)
- η μέθοδος του Bertillon (Bertillonage)
- η αναγνώριση προσώπου (facial recognition)
- η γεωμετρία του χεριού (hand geometry)
- η σάρωση του αμφιβληστροειδούς (retinal scan)
- τα αγγειακά σχέδια (vascular patterns)
- τα αποτύπωμα της παλάμης (palm print)
- η ανάλυση γενετικού υλικού (DNA analysis)
- **η αναγνώριση της ίριδας (iris recognition)**, που αποτελεί και το αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Κατ' αντιστοιχία στο δεύτερο σύνολο ανήκουν τα βιομετρικά εκείνα χαρακτηριστικά, τα οποία σχετίζονται περισσότερο με ψυχολογικούς παράγοντες, γνωστά επίσης και ως συμπεριφορικά βιομετρικά χαρακτηριστικά. Παραδείγματα συμπεριφορικών βιομετρικών χαρακτηριστικών αποτελούν :

- η υπογραφή (signature recognition)
- ο βηματισμός (gait)
- η πληκτρολόγηση (keystroke)
- η φωνή (η φωνή καθαυτή κατατάσσεται σαφώς στο πρώτο σύνολο, αφού το κάθε άτομο έχει δικό του ξεχωριστό τόνο φωνής. Παρ' όλ' αυτά, αυτή η μέθοδος αναγνώρισης ατόμου μέσω της φωνής του (voice recognition), βασίζεται στον τρόπο με τον οποίο το άτομο μιλά, και όχι με την φωνή του την καθαυτή.

Όλες αυτές οι μέθοδοι ταυτοποίησης ατόμου, οι οποίες βασίζονται σε διαφορετικά βιομετρικά χαρακτηριστικά, αξιολογούνται μέσω κάποιας κοινής βάσης παραγόντων :

- **Καθολικότητα (Universality).** Εξασφαλίζει το βαθμό κατά τον οποίο όλα τα άτομα διαθέτουν το εν λόγω βιομετρικό χαρακτηριστικό.
- **Μοναδικότητα (Uniqueness).** Σχετίζεται με το βαθμό κατά τον οποίο, το συγκεκριμένο βιομετρικό χαρακτηριστικό είναι ικανό να διαχωρίσει ένα άτομο από τα υπόλοιπα.
- **Μονιμότητα (Permanence).** Σχετίζεται με το βαθμό κατά τον οποίο το εν λόγω βιομετρικό χαρακτηριστικό παραμένει αναλλοίωτο κατά τη διάρκεια της ζωής του ατόμου.
- **Δυνατότητα συλλογής-λήψης του βιομετρικού χαρακτηριστικού (Collectability).**
- **Επίδοση μεθόδου (Performance).** Η επίδοση μετράται ως προς την ακρίβεια των αποτελεσμάτων, ως προς την ταχύτητα με την οποία αυτά εξάγονται και ως προς το βαθμό, κατά τον οποίο τα αποτελέσματα είναι ανεξάρτητα από ορισμένους παράγοντες, οι οποίοι δυσχεραίνουν τη διαδικασία (παραδείγματος χάριν η μέθοδος αναγνώρισης ίριδας θα θεωρείται πιο αξιόπιστη, όταν τα αποτελέσματα που θα προκύπτουν θα είναι ανεξάρτητα από τη γωνία κατά την οποία το υπό εξέταση άτομο κοιτάζει προς την κάμερα).
- **Βαθμός Αποδοχής της μεθόδου από το χρήστη (Acceptability).** Σχετίζεται κυρίως με δύο παράγοντες, το πόσο ο χρήστης θεωρεί ότι η εν λόγω μέθοδος αφενός είναι επιβλαβής για την υγεία του και το πόσο θεωρεί αφετέρου ότι η μέθοδος επεμβαίνει και παραβιάζει τα προσωπικά του δεδομένα.
- **«Παράκαμψη» (Circumvention).** Μέσω της παράκαμψης περιγράφεται η ευκολία με την οποία μπορεί στην εν λόγω μέθοδο να χρησιμοποιηθεί κάποιο υποκατάστατο.

Ακολουθεί ένας πίνακας, στον οποίο συνοψίζεται η αξιολόγηση των βασικότερων μεθόδων ταυτοποίησης με βάση τους προαναφερθέντες παράγοντες:

Βιομετρικά Χαρακτηριστικά	Καθολικότητα	Μοναδικότητα	Μονιμότητα	Δυνατότητα Σύλλογής Χαρακτηριστικού	Επίδοση	Αποδοχή	Δυνατότητα Παράκαμψης
Πρόσωπο	H	L	M	H	L	H	L
Δακτυλικά αποτυπώματα	M	H	H	M	H	M	H
Γεωμετρία χεριού	M	M	M	H	M	M	M
Πληκτρολόγηση	L	L	L	M	L	M	M
Σχέδιο Αιμοφόρων Αγγείων στο χέρι	M	M	M	M	M	M	H
Ίριδα	H	H	H	M	H	L	H
Αμφιβληστροειδής	H	H	M	L	H	L	H
Υπογραφή	L	L	L	H	L	H	L
Φωνή	M	L	L	M	L	H	L
DNA	H	H	H	L	H	L	L
Βηματισμός	M	L	L	H	L	H	M

Πίνακας 1: αξιολόγηση των βασικότερων μεθόδων ταυτοποίησης(για τη δημιουργία του πίνακα συγκεντρώθηκαν δεδομένα από διάφορα σημεία όπως τα [3],[4])

Σημείωση : Τα σύμβολα H, M, L αντιστοιχούν στις λέξεις High, Medium, Low. Τα χρώματα, επιπλέον, στον Πίνακα σηματοδοτούν την αξιοπιστία της υπό εξέτασης μεθόδου. Το πράσινο σημαίνει υψηλή αξιοπιστία, το κίτρινο σημαίνει μέτρια αξιοπιστία, ενώ το κόκκινο σημαίνει μικρή αξιοπιστία.

Από τον **Πίνακα1** γίνεται σαφές πως όλες οι μέθοδοι παρουσιάζουν θετικά και αρνητικά σημεία.

Η χρήση των βιομετρικών χαρακτηριστικών του ατόμου με σκοπό την ταυτοποίησή του, λαμβάνει χώρα σε μια πληθώρα εφαρμογών. Οι εφαρμογές αυτές διαφέρουν ως προς την προτεραιότητα των στόχων τους, μέσω της οποίας καθορίζεται και η επιλογή της αντίστοιχης μεθόδου.

Το σύνολο της διαδικασίας της ταυτοποίησης του ατόμου πραγματοποιείται μέσω ενός συστήματος, το οποίο καλείται βιομετρικό σύστημα.

Οι βασικές διεργασίες που επιτελούνται μέσω ενός τέτοιου βιομετρικού συστήματος είναι δύο. Πρώτον η εγγραφή και δεύτερον ο έλεγχος.

Ως εγγραφή νοείται η διαδικασία, κατά την οποία για πρώτη φορά αποθηκεύονται πληροφορίες για ένα άτομο, οι οποίες έχουν εξαχθεί από κάποιο βιομετρικό του χαρακτηριστικό. Στη συνέχεια, ο έλεγχος πραγματοποιείται, όταν πρόκειται να γίνει η ταυτοποίηση ενός ατόμου για το οποίο έχει ήδη προηγηθεί η διαδικασία εγγραφής, οπότε εν τέλει συγκρίνονται οι ήδη υπάρχουσες πληροφορίες(που προέκυψαν κατά την εγγραφή) με τις αντίστοιχες, οι οποίες λαμβάνονται κατά τη διαδικασία του ελέγχου.

Και για τις δύο αυτές διεργασίες είναι απαραίτητη η παρουσία ενός «αισθητήρα», που είναι στην ουσία η διεπαφή μεταξύ του πραγματικού συστήματος(αναλογικό σήμα) και του βιομετρικού συστήματος. Ο «αισθητήρας» αυτός είναι επιφορτισμένος με την υποχρέωση να λαμβάνει όλη τη «βιομετρική πληροφορία», γεγονός που συνήθως πραγματοποιείται μέσω μιας φωτογραφικής μηχανής ή μιας κάμερας.

Στη συνέχεια επιτελείται μια διεργασία, η οποία καλείται προ-επεξεργασία και η οποία σκοπό έχει να ενισχύσει τη ληφθείσα «βιομετρική πληροφορία». Το στάδιο της προ-επεξεργασίας συνήθως σχετίζεται με την εφαρμογή κάποιων φίλτρων με σκοπό την απομόνωση ή τη μείωση του θορύβου. Το επόμενο βήμα είναι ίσως το πιο καθοριστικό, καθώς αφορά στην εξαγωγή των χαρακτηριστικών .

Τα χαρακτηριστικά που θα εξαχθούν θα πρέπει να είναι ικανά να διαχωρίσουν ένα άτομο από οποιοδήποτε άλλο και επίσης θα πρέπει τα χαρακτηριστικά αυτά να εξαχθούν με το βέλτιστο δυνατό τρόπο.

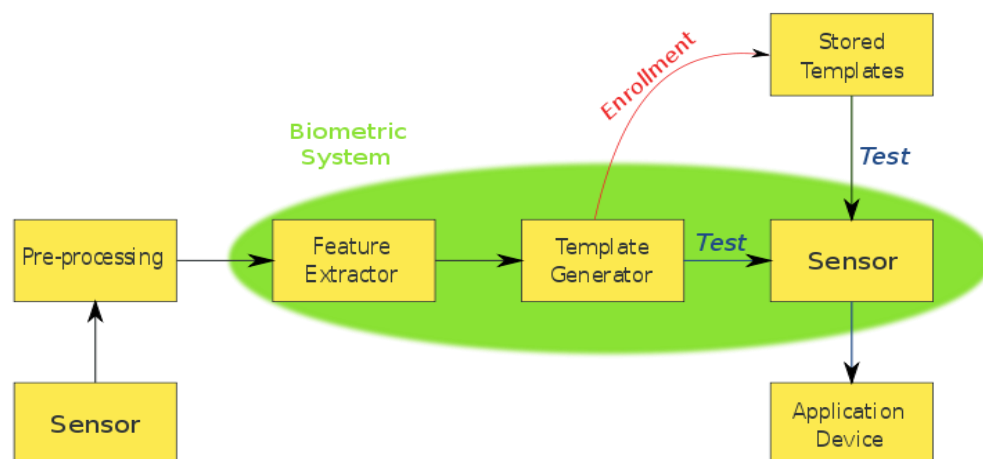
Αφού πραγματοποιηθεί η εξαγωγή των χαρακτηριστικών, δημιουργείται το αντίστοιχο πρότυπο(template), το οποίο ανάλογα με την περίπτωση είναι ή ένα

διάνυσμα αριθμών, ή ένας πίνακας αριθμών ή μια εικόνα με ιδιαίτερες ιδιότητες. Σε κάθε πάντως περίπτωση, ανεξαρτήτως της μορφής που έχει το πρότυπο(template), περιλαμβάνει κωδικοποιημένα όλα τα χαρακτηριστικά, τα οποία εξήχθησαν κατά την προηγούμενη φάση.

Το πρότυπο(template), είναι αυτό που συγκρίνεται εν τέλει σε κάθε ταυτοποίηση. Συνεπώς, κατά τη διαδικασία της εγγραφής, μετά τη δημιουργία του, το πρότυπο(template) αποθηκεύεται σε μία βάση δεδομένων, από την οποία εξορύσσεται κάθε φορά που πραγματοποιείται μία σύγκριση. Το γεγονός αυτό καθιστά έντονη την ανάγκη, το πρότυπο(template) να έχει αποθηκεύσιμο μέγεθος. (Όσο μικρότερο είναι το μέγεθος των προτύπων(templates) τόσο γρηγορότερα γίνεται η σάρωση μιας βάσης δεδομένων κατά τη διάρκεια μιας ταυτοποίησης).

Συνοψίζοντας λοιπόν, απαραίτητη προϋπόθεση για τη διαδικασία της ταυτοποίησης είναι να υπάρχει η εγγραφή του εν λόγω ατόμου, του οποίου η ταυτότητα πρόκειται να προσδιοριστεί, να υπάρχει δηλαδή, εν ολίγοις, αποθηκευμένο σε μια αντίστοιχη βάση δεδομένων ένα πρότυπο(template) που αντιστοιχεί στο υπό εξέταση άτομο. Κατά τη διαδικασία λοιπόν της ταυτοποίησης, δημιουργείται εκ νέου εκείνη τη στιγμή ένα πρότυπο(template) για το υπό εξέταση άτομο, το οποίο και συγκρίνεται με τα πρότυπα(templates) που είναι αποθηκευμένα στην εν λόγω βάση δεδομένων.

Ταυτοποίηση επιτυγχάνεται όταν το ληφθέν πρότυπο(template) ταιριάζει με κάποιο πρότυπο(template) της βάσης δεδομένων. Η έννοια «ταιριάζει» στην προκειμένη περίπτωση, σημαίνει αν πληρείται το εκάστοτε μαθηματικό κριτήριο που έχει τεθεί (Συνήθως το μαθηματικό κριτήριο που χρησιμοποιείται είναι η απόσταση Hamming).



Εικόνα 2.2: Τυπικό Βιομετρικό Σύστημα και σύστημα αναγνώρισης.
(Πηγή:https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Biometric_system_diagram.svg)

Στο σημείο αυτό, σημαντικό είναι να διευκρινιστεί η διαφορά μεταξύ των διαδικασιών που καλούνται επαλήθευση(verification) και αναγνώριση(recognition) αντίστοιχα. Η διαδικασία της αναγνώρισης είναι αυτή που περιγράφηκε παραπάνω, κατά την οποία το πρότυπο(template) που δημιουργείται τη στιγμή του ελέγχου, συγκρίνεται με κάποια πρότυπα(templates) της βάσης δεδομένων, μέχρις ότου βρεθεί ένα πρότυπο(template) με το οποίο θα ταιριάζει(αν, στη χειρότερη των περιπτώσεων, τύχει να είναι το τελευταίο της βάσης δεδομένων, σημαίνει ότι θα έχουν στο μεταξύ ελεγχθεί όλα τα πρότυπα(templates) που υπάρχουν στη βάση δεδομένων, πράγμα που απαιτεί κάποιο χρόνο, ανάλογο του μεγέθους της βάσης δεδομένων).

Αντίθετα, κατά τη διαδικασία της επαλήθευσης, συγκρίνεται μόνο το πρότυπο(template) που δημιουργήθηκε προς χάριν της επαλήθευσης με το ένα και μοναδικό πρότυπο(template), που υπάρχει καταχωρημένο στη βάση δεδομένων για το εν λόγω άτομο, το οποίο ισχυρίζεται μια συγκεκριμένη ταυτότητα. Στην ουσία δηλαδή, κατά τη διαδικασία της αναγνώρισης βρίσκεται η ταυτότητα του ατόμου, αν αυτό είναι καταχωρημένο στη βάση δεδομένων, ενώ κατά τη διαδικασία της επαλήθευσης, αποδεικνύεται εάν ο ισχυρισμός του υπό εξέταση ατόμου, ως προς την ταυτότητά του, είναι αληθής ή όχι.

Η επίδοση της κάθε μεθόδου μετράται με βάση ένα σύνολο αντικειμενικών κριτηρίων, τα οποία μπορούν να συνοψιστούν στα εξής:

- **Δείκτης λανθασμένης αποδοχής(False Acceptance Rate, FAR).** Τα αποτελέσματα για το δείκτη αυτό εκφράζονται σε ποσοστιαία κλίμακα και σηματοδοτούν το ποσοστό των περιπτώσεων, κατά τις οποίες για δύο πρότυπα(templates) που σε δύο διαφορετικά άτομα, λαμβάνεται η απόφαση ότι αντιστοιχούν στο ίδιο άτομο.

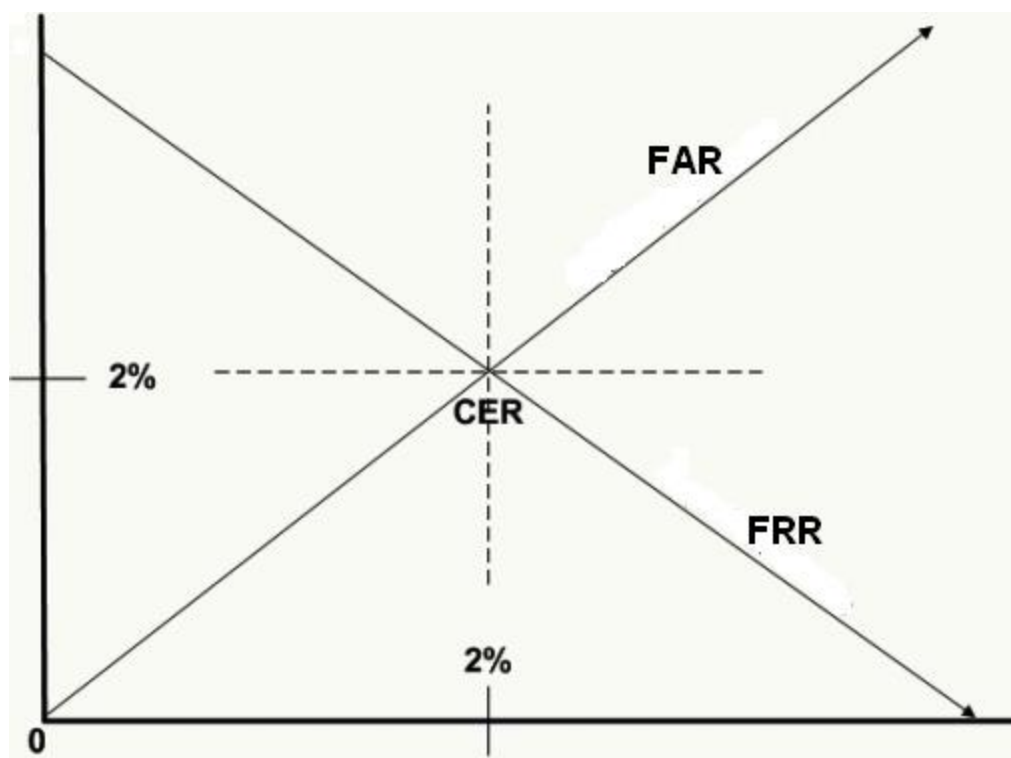
- **Δείκτης λανθασμένης απόρριψης(False Rejection Rate, FRR).** Τα αποτελέσματα για το δείκτη αυτό εκφράζονται σε ποσοστιαία κλίμακα και καταδεικνύουν το ποσοστό των περιπτώσεων, κατά τις οποίες δύο πρότυπα (templates) που αντιστοιχούν στο ίδιο άτομο, κατά τη διαδικασία της σύγκρισης λαμβάνεται η απόφαση πως αντιστοιχούν σε δύο διαφορετικά άτομα.

Οι δύο αυτοί δείκτες είναι και οι σημαντικότεροι και οι πλέον χρησιμοποιούμενοι κατά τη διαδικασία αξιολόγησης της επίδοσης μίας μεθόδου ταυτοποίησης ατόμου. Η τιμή των δεικτών αυτών επηρεάζεται από κάποιες παραμέτρους.

Σημαντικό είναι εδώ να αναφερθεί το γεγονός ότι, οι δύο αυτοί δείκτες συνδέονται με μία αντίστροφη σχέση. Η μεταβολή δηλαδή των κατάλληλων κάθε φορά παραμέτρων, οδηγεί στη μείωση του ενός δείκτη και στην αύξηση του άλλου. Η τιμή που απαιτείται για τον κάθε δείκτη, έτσι ώστε η αντίστοιχη μέθοδος να θεωρείται αξιόπιστη, δεν είναι συγκεκριμένη και εξαρτάται από την εκάστοτε εφαρμογή. Παραδείγματος χάριν, σε περιπτώσεις όπως η παροχή πρόσβασης σε πολύ σημαντικές πληροφορίες μιας μυστικής υπηρεσίας, όπου είναι πολύ σημαντική η τήρηση της ασφαλείας των πληροφοριών, πρέπει να ελαχιστοποιείται ο δείκτης FAR, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα να αποκτήσει πρόσβαση στις

πληροφορίες αυτές κάποιο άτομο, το οποίο δεν έχει την αντίστοιχη δικαιοδοσία. Η απαίτηση ελάχιστου FAR συνεπάγεται αυξημένη τιμή του FRR, πράγμα που με τη σειρά του σημαίνει, ότι ένα άτομο ενδεχομένως να χρειαστεί να υποβληθεί δύο ή και παραπάνω φορές στη διαδικασία λήψης αντίστοιχου δείγματος για τη δημιουργία νέου προτύπου(template) προς σύγκριση. Υπάρχει επίσης ένα επιπλέον σύνολο δεικτών, το οποίο απαρτίζεται από τους παρακάτω

Δείκτης τομής λανθασμένων εκτιμήσεων (Cross-over Error Rate, CER) ή Δείκτης ίσων σφάλματος (Equal Error Rate, EER): Εκφράζεται σε ποσοστιαία κλίμακα. Για τους δυο προαναφερθέντες δείκτες μέτρησης της απόδοσης των μεθόδων(FAR, FRR), ισχύει μία αντίστροφη σχέση. Ο δείκτης CER παριστάνει το σημείο τομής των δύο καμπύλων που αντιστοιχούν στους δείκτες FAR και FRR. Μικρή τιμή του δείκτη CER αποτελεί σημαντική ένδειξη για την αξιοπιστία της μεθόδου(όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα1).



Διάγραμμα 1 (Πηγή : <http://www.techrepublic.com/article/reduce-multi-factor-authentication-costs-with-behavioral-biometrics/>)

Δείκτης αποτυχίας εγγραφής (Failure to Enroll Rate, FER ή FTR). Εκφράζει το ποσοστό των περιπτώσεων, κατά τις οποίες δεν κατέστη δυνατό να δημιουργηθεί το αρχικό πρότυπο(template) κατά τη διαδικασία της εγγραφής. Οι λόγοι που οδηγούν σε αδυναμία δημιουργίας επιτυχημένης εγγραφής, συνίστανται συνήθως στη μη έγκυρη λήψη δεδομένων από τον αισθητήρα ή στη λήψη δεδομένων κακής ποιότητας. Ένα τέτοιο παράδειγμα αφορά στη λήψη εικόνας του οφθαλμού (για τη μέθοδο αναγνώρισης ίριδας), υπό συνθήκες ακατάλληλου φωτισμού, που δημιουργεί στη ληφθείσα εικόνα έντονη αντανάκλαση.

Δείκτης αποτυχίας λήψης(Failure To Capture Rate, FTC). Αποδίδει την πιθανότητα ένα αυτοματοποιημένο σύστημα να αποτύχει να εντοπίσει κάποιο βιομετρικό χαρακτηριστικό, παρά το γεγονός ότι δεν υπάρχει κάποιο πρόβλημα στον τρόπο παρουσίασης του εν λόγω βιομετρικού χαρακτηριστικού.

Χωρητικότητα προτύπου(template capacity). Υποδεικνύει το μέγιστο αριθμό συνόλων δεδομένων, που μπορεί να εισαχθούν στο σύστημα.

Σαφώς με την εισαγωγή των βιομετρικών αυτών μεθόδων ταυτοποίησης των ατόμων ανακύπτουν διάφορα ζητήματα.

Κατ' αρχήν, όπως έχει ήδη αναφερθεί, ένας παράγοντας μέσω του οποίου αξιολογείται η εκάστοτε μέθοδος σχετίζεται με το αν το βιομετρικό χαρακτηριστικό, το οποίο εξετάζεται στη μέθοδο παραμένει αναλλοίωτο με την πάροδο του χρόνου. Είναι σαφές πως η ανεξαρτησία του βιομετρικού χαρακτηριστικού από το χρόνο διακρίνεται από σαφή πλεονεκτήματα. Παρ' όλα αυτά το να παραμένει ένα βιομετρικό χαρακτηριστικό αναλλοίωτο σε σχέση με το χρόνο, ενέχει έναν πολύ σημαντικό κίνδυνο. Αν κάποιος παραποιήσει το πρότυπο(template) που είναι καταχωρημένο για ένα άτομο, τότε το άτομο του οποίου το πρότυπο(template) παραποιήθηκε, θα χάσει για πάντα την πρόσβαση του στην εν λόγω εφαρμογή και σε μία ακραία περίπτωση θα χάσει ακόμα και την ταυτότητα του.

Ένας ακόμα κίνδυνος που ελλοχεύει είναι να κλαπεί ένα πρότυπο(template) και να αναπαραχθεί στη συνέχεια ένα ψεύτικο αντίγραφο του συγκεκριμένου βιομετρικού χαρακτηριστικού, να ακολουθηθεί δηλαδή η αντίστροφη διαδικασία(ευθεία διαδικασία: βιομετρικό χαρακτηριστικό πρότυπο(template), αντίστροφη διαδικασία : πρότυπο(template) βιομετρικό χαρακτηριστικό). Το συγκεκριμένο γεγονός έχει ήδη εντοπιστεί, ιδίως στις παλαιότερες μεθόδους, όπως παραδείγματος χάριν στα δακτυλικά αποτυπώματα. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού ορισμένα βιομετρικά συστήματα χρησιμοποιούν αισθητήρες(θερμότητας κατά κύριο λόγο) προκειμένου να εξασφαλιστεί η εξέταση «ζωντανού δείγματος» και όχι ενός τεχνητού επιθέματος. Παρ' όλ' αυτά, έχει πειραματικά διαπιστωθεί πως αυτές οι δικλίδες ασφαλείας δεν είναι και τόσο αξιόπιστες.

Επιπροσθέτως, η χρήση βιομετρικών μεθόδων εγείρει και κάποιες άλλες ανησυχίες. Ορισμένοι ανησυχούν καθώς θεωρούν πως η λήψη δειγμάτων για κάποιες βιομετρικές μεθόδους, είναι επιβλαβής για την υγεία τους(χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η μέθοδος που επιτάσσει σάρωση αμφιβληστροειδούς), ή επίσης πως αντιβαίνουν στους κανόνες υγιεινής(παραδείγματος χάριν η συλλογή σάλιου για ανάλυση DNA). Τέλος, μια μεγάλη ανησυχία υφίσταται γύρω από τη διαχείριση των δεδομένων που αντιπροσωπεύουν κάποιο βιομετρικό χαρακτηριστικό. Όλες αυτές οι ανησυχίες ενισχύονται από το γεγονός ότι δεν έχουν εφαρμοστεί για καιρό, οπότε και δεν έχουν πρακτικά απορριφθεί όλες αυτές οι ενστάσεις.

2.3 Συστήματα εντοπισμού του οφθαλμού

Στις παραγράφους που ακολουθούν , γίνεται ανάλυση των τεχνικών εντοπισμού του οφθαλμού και παρατίθεται σύγκρισή τους ως προς τις δυνατότητες που προσφέρουν, τους περιορισμούς που θέτουν και την ευκολία με την οποία εφαρμόζονται.

2.3.1 Τεχνικές που στηρίζονται στη χρήση φακών επαφής

Με χρήση φακών επαφής από το χρήστη ο εντοπισμός της κατεύθυνσης της κίνησης του οφθαλμού μπορεί να πραγματοποιηθεί με μεγάλη ακρίβεια. Υπάρχουν δύο διαφορετικές τεχνικές που στηρίζονται στη χρήση φακών επαφής:

(α) Εισάγοντας μία ή περισσότερες επίπεδες ανακλαστικές επιφάνειες στο φακό επαφής και υπολογίζοντας τη θέση του οφθαλμού με βάση τις ανακλάσεις των ακτινών φωτός.

(β)Εμφυτεύοντας στο φακό επαφής ένα μικροσκοπικό πηνίο επαγωγής και εντοπίζοντας την ακριβή θέση του φακού μέσα στον οφθαλμό με χρήση ενός ηλεκτρομαγνητικού πεδίου υψηλής συχνότητας γύρω από το κεφάλι του χρήστη.

Όπως είναι φανερό από την παραπάνω διαδικασία δεν είναι εφαρμόσιμη στην καθημερινότητα. Τόσο τα θέματα υγείας που σχετίζονται με την εφαρμογή ηλεκτρομαγνητικών πεδίων υψηλής συχνότητας όσο και η χρήση φακών επαφής ειδικού τύπου από το χρήστη που περιορίζουν την άνεσή του, καθιστούν τη συγκεκριμένη μέθοδο κατάλληλη μόνο για εργαστηριακή έρευνα.

2.3.2 Τεχνικές που στηρίζονται στο ηλεκτρικό δυναμικό του δέρματος

Η ηλεκτρο-οφθαλμογραφία(electro-oculography) είναι μια τεχνική που βασίζεται στη δημιουργία ενός ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, το οποίο περιστρέφεται μαζί με το μάτι. Η βασική αρχή της ηλεκτρο-οφθαλμογραφίας στηρίζεται στην τοποθέτηση κατάλληλων ηλεκτροδίων στη επιφάνεια του δέρματος του χρήστη στην περιοχή των οφθαλμών και στη συλλογή των δυναμικών του δέρματος λόγω της κίνησης των οφθαλμών. Η τεχνική αυτή είναι αρκετά διαδεδομένη και εφαρμόζεται κυρίως στη μελέτη του ύπνου, στη διάγνωση της ικανότητας ανάγνωσης και στη καταγραφή της οπτικής κόπωσης.

Στο σχήμα βλέπουμε ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα τοποθέτησης ηλεκτροδίων στην περιοχή των ματιών ενός χρήστη.



Εικόνα 2.3: Ηλεκτρο-οφθαλμογραφία (EOG) (Πηγή: <http://www.metrovision.fr/>)

Η τεχνική αυτή παρουσιάζει σχετικά προβλήματα καθώς απαιτεί χρήση επιφανειακών ηλεκτροδίων που πρέπει να προσαρμοστούν στο πρόσωπο του χρήστη. Το πρόβλημα επεκτείνεται καθώς απαιτείται η χρήση κατάλληλου υλικού (gel) προκειμένου να επιτευχθεί βέλτιστη επαφή με το δέρμα[5].

2.3.3 Χρήση κατάλληλων καμερών και ανάλυση των συλλεγμένων εικόνων

Ακόμη ένας τρόπος εντοπισμού στηρίζεται στη χρήση καμερών, οι οποίες καταγράφουν εικόνες του οφθαλμού. Οι εικόνες αυτές μεταφέρονται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή όπου μετά την ψηφιοποίησή τους από ένα κατάλληλο ψηφιοποιητή πραγματοποιείται η περαιτέρω επεξεργασία τους για την εξαγωγή των επιθυμητών κάθε φορά χαρακτηριστικών παραμέτρων.

Πέντε είναι οι βασικές τεχνικές που στηρίζονται στην ανάκλαση του φωτός :

- Ανίχνευση της περιφέρειας του κερατοειδούς (limbus tracking),
- Ανίχνευση της κόρης του οφθαλμού (pupil tracking),
- Συσχετισμός της ανάκλασης από την κόρη και από τον κερατοειδή (corneal and pupil reflection relationship)
- Ανίχνευση ειδώλων Purkinje (Purkinje image tracking) και
- Ανάκλαση από τον κερατοειδή και η απεικόνιση του οφθαλμού με χρήση τεχνητού νευρωνικού δικτύου (corneal reflection and eye image using an artificial neural network).

Ανίχνευση της περιφέρειας του κερατοειδούς

Η περιφέρεια του κερατοειδούς είναι το όριο της λευκής περιοχής του σκληρού χιτώνα του οφθαλμού και της σκούρας περιοχής της ίριδας. Εξαιτίας του γεγονότος ότι οι αποχρώσεις του γκρι του σκληρού χιτώνα είναι κοντά στη μέγιστη τιμή (κατά μέσο όρο 220) σε αντίθεση με τις αποχρώσεις της ίριδας (κατά μέσο όρο 90), το όριο αυτό είναι εύκολα ανιχνεύσιμο.

Η τεχνική αυτή βασίζεται σε ανακλάσεις από την περιοχή του σκληρού χιτώνα και της ίριδας. Οι ανακλάσεις αυτές μετά από μια σειρά γεωμετρικών υπολογισμών εντοπίζουν την κατεύθυνση του οφθαλμού με βάση τη σχετική θέση της περιφέρειας του κερατοειδούς μέσα στον οφθαλμό.

Το γεγονός ότι η τεχνική αυτή βασίζεται στη σχετική θέση και το σχήμα της περιφέρειας του κερατοειδούς ως προς το κεφάλι, καθιστά απαραίτητη τη σχετική σταθερότητα του κεφαλιού ή την προσαρμογή της συσκευής στο κεφάλι.

Εξαιτίας της περιστασιακής κάλυψης του άνω και κάτω μέρους της περιφέρειας του κερατοειδούς από τα βλέφαρα, είναι πιθανό να θεωρήσουμε την τεχνική αυτή κατάλληλη μόνο για τελείως οριζόντια ανίχνευση του οφθαλμού.

Ανίχνευση της κόρης του ματιού

Ο προσδιορισμός της κατεύθυνσης του βλέμματος με τη βοήθεια της κόρης του οφθαλμού είναι μια μεθοδολογία παραπλήσια με την προηγούμενη με τη διαφορά ότι εδώ χρησιμοποιείται το μικρότερο όριο μεταξύ της κόρης και της ίριδας. Οι περισσότερες από τις τεχνικές αυτής της κατηγορίας στηρίζονται στο διαφορετικό φωτισμό με χρήση δύο υπέρυθρων πηγών φωτισμού για τη δημιουργία του φαινομένου της σκούρας/φωτεινής κόρης. Ο οφθαλμός μπορεί να εντοπιστεί με επιτυχία με αναγνώριση της κόρης στην εικόνα διαφορών που προκύπτει από αφαίρεση της εικόνας της σκούρας κόρης από την εικόνα της φωτεινής κόρης.

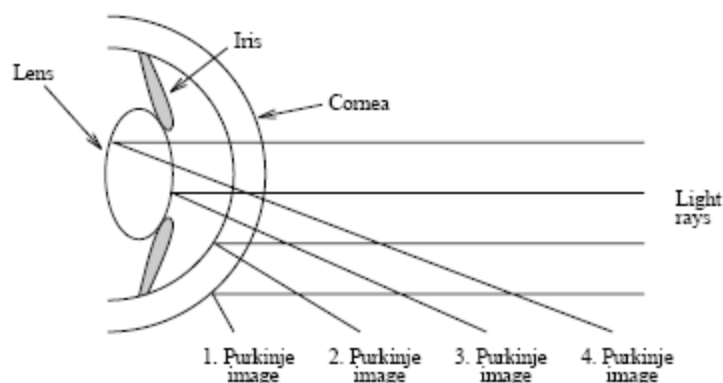
Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η συσκευή εντοπισμού πρέπει να παραμένει σταθερή σε σχέση με το κεφάλι του χρήστη. Τα πλεονεκτήματα αυτής της τεχνικής είναι ότι :

Η κόρη καλύπτεται από τα βλέφαρα πολύ λιγότερο σε σχέση με τον κερατοειδή και αυτό επιτρέπει και κατακόρυφη ανίχνευση παράλληλα με οριζόντια. Το όριο της κόρης φαίνεται συχνά εντονότερα σε σχέση με αυτό της περιφέρειας του κερατοειδούς και για το λόγο αυτό προσφέρει καλύτερη διακριτική ικανότητα.

Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι η διαφορά στην αντίθεση είναι χαμηλότερη μεταξύ της κόρης και της ίριδας σε σχέση με αυτή της ίριδας και του σκληρού χιτώνα, άρα η εύρεση του ορίου είναι αρκετά πιο δύσκολη.

Συσχετισμός της αντανάκλασης από την κόρη και τον κερατοειδή

Όταν υπέρυθρο φως πέσει πάνω στον οφθαλμό του χρήστη παρατηρούνται ανακλάσεις στα όρια μεταξύ των φακών και του κερατοειδούς τα οποία ονομάζονται είδωλα Purkinje .



Εικόνα 2.4:τα τέσσερα είδωλα Purkinje

(Πηγή:<http://www.diku.dk/~panic/eyegaze/node9.html>)

Το πρώτο από τα είδωλα Purkinje και η ανάκλαση από τον αμφιβληστροειδή χιτώνα μπορούν να καταγραφούν σε video με χρήση μια ευαίσθητης κάμερας στην υπέρυθρη ακτινοβολία όπου εμφανίζεται μια πολύ φωτεινή κηλίδα και ένας λιγότερο φωτεινός δίσκος, αντίστοιχα. Η σχετική απόσταση μεταξύ των δυο αυτών ανακλάσεων μεταβάλλεται καθώς ο οφθαλμός κινείται. Υπολογίζοντας τις σχετικές αποστάσεις είναι δυνατόν τελικά να υπολογιστεί και η κατεύθυνση του βλέμματος.

Τα προβλήματα που αντιμετωπίζει η τεχνική αυτή σχετίζονται με τη λήψη μιας ικανοποιητικής εικόνας του οφθαλμού. Πλευρική κίνηση του κεφαλιού μπορεί να μειώσει την εστίαση της εικόνας του video στον οφθαλμό ή/και να μεταθέσει έξω από την εικόνα του video την εικόνα του οφθαλμού. Είναι όμως δυνατόν, με χρήση κατάλληλων γεωμετρικών διορθώσεων και υπολογισμών, να πραγματοποιηθεί διόρθωση της εστίασης.

Ανίχνευση ειδώλων Purkinje

Το πρώτο και το τέταρτο από τα είδωλα Purkinje μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση της κατεύθυνσης με βάση την τεχνική της Διπλής Απεικόνισης Purkinje. Η τεχνική αυτή είναι γενικά πιο ακριβής από άλλες και χρησιμοποιεί αρκετά υψηλή συχνότητα δειγματοληψίας.

Το μειονέκτημα της είναι ότι το τέταρτο είδωλο είναι ασθενές με αποτέλεσμα να απαιτούνται αυστηρά ελεγχόμενες συνθήκες φωτισμού.

Ανάκλαση από τον κερατοειδή και απεικόνιση του ματιού με χρήση τεχνητού νευρωνικού δικτύου

Στην τεχνική αυτή οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται με τη βοήθεια ενός τεχνητού νευρωνικού δικτύου. Τα αρχικά δεδομένα αποτελούν ψηφιοποιημένες εικόνες video οι οποίες προέρχονται από μια πιο ευρυγώνια λήψη όπου ολόκληρο το κεφάλι του χρήστη βρίσκεται μέσα στο οπτικό πεδίο της κάμερας. Μια σταθερή πηγή φωτός τοποθετείται μπροστά από το χρήστη δημιουργώντας στον οφθαλμό μια μικρή πολύ φωτεινή περιοχή η οποία περικλείεται από μια σκοτεινότερη περιοχή. Το σύστημα στη συνέχεια εξάγει μια μικρή περιοχή με κέντρο τη φωτεινή περιοχή ειδώλου και την τροφοδοτεί σε ένα νευρωνικό δίκτυο, η έξοδος του οποίου είναι οι συντεταγμένες της συγκεκριμένης περιοχής. Αναγνωρίζοντας αυτόματα και μέσω του νευρωνικού δικτύου τη συγκεκριμένη περιοχή το σύστημα μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί για την αυτόματη αναγνώριση της κατάστασης του οφθαλμού(π.χ. ανοικτός – κλειστός οφθαλμός) σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.

Η χρήση του τεχνητού νευρωνικού δικτύου έχει μεγαλύτερες απαιτήσεις σε σχέση με την απλή ρύθμιση του συστήματος που απαιτούσαν οι παραπάνω μέθοδοι. Η ακρίβεια της τεχνικής αυτής δεν είναι ικανοποιητική όσο άλλες τεχνικές αλλά το πλεονέκτημα της βρίσκεται στο γωνιακό εύρος της λαμβανόμενης εικόνας. Παρ' όλα αυτά η συγκεκριμένη τεχνική μπορεί να εφαρμοστεί σε περιπτώσεις που δεν απαιτείται μεγάλη ακρίβεια.

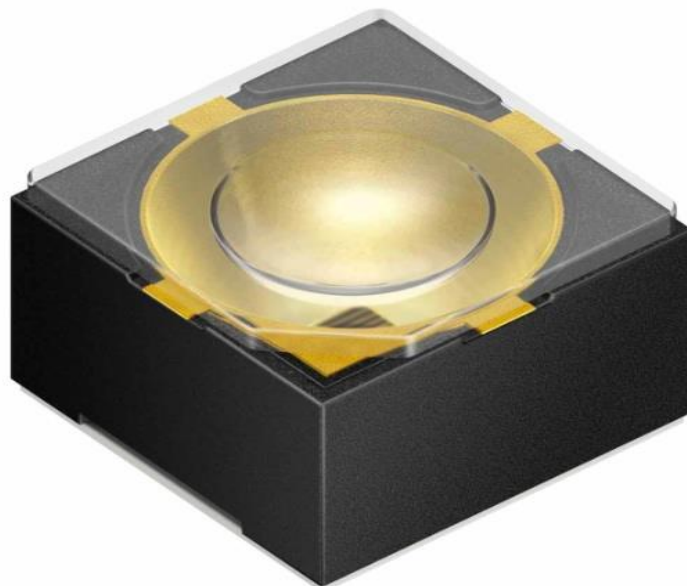
2.3.4 Χρήση κατάλληλου κινητού τηλεφώνου

Κατά την διάρκεια της παρούσας διπλωματικής εργασίας παρουσιάστηκε από την Fujitsu Ltd. το smartphone “Arrows NX F-04G” με ξεκλείδωμα μέσω scanner ίριδας, το οποίο χρησιμοποιεί διόδους εκπομπής υπέρυθρου φωτός(IREDs) για την αναγνώριση ίριδας.

Η πηγή υπέρυθρου φωτός που αναπτύχθηκε από την Osram Opto Semiconductors, φωτίζει το μάτι του χρήστη ενώ η κάμερα τραβάει μια φωτογραφία της ίριδας. Στη συνέχεια με τη χρήση της εφαρμογής Iris Passport το smartphone αναγνωρίζει όλα τα χαρακτηριστικά της ίριδας και ξεκλειδώνει το κινητό. Η IRED έχει μήκος κύματος 810nm το οποίο επιτρέπει στο scanner να αναγνωρίζει την ίριδα για οποιοδήποτε χρώμα ματιού. Σύμφωνα με τη Fujitsu Ltd. η διαδικασία χρειάζεται μισό δευτερόλεπτο για να ολοκληρωθεί.

Η διάδοος Oslux SFH 4780S της Osram ισχυρίζεται ότι προσφέρει την καλύτερη αναλογία μεγέθους – απόδοσης και για πρώτη φορά προσφέρει μια συμπαγή και αξιόπιστη λύση για scanner ίριδας στην κινητή τηλεφωνία. Επίσης είναι εξαιρετικά αποδοτική ελαχιστοποιώντας τη χρήση της μπαταρίας.

Η Osram Opto Semiconductors πρόσφατα διακρίθηκε με το 2015 Kaiser Friedrich Research Award για την ανάπτυξη της Oslux SFH 4780S IRED .



Εικόνα 2.5: IR Oslux sfh 4780s from Osram Opto Semiconductors(Πηγή: <http://www.solidstatelighting.net/fujitsu-smartphone-to-include-iris-scanning-using-ireds-from-osram-opto-semiconductors/>)

2.4 Σύγκριση μεθόδων εντοπισμού του οφθαλμού

Σε γενικές γραμμές από τις τεχνικές που προαναφέρθηκαν και με βάση το κριτήριο της επαφής με το χρήστη, η πρώτη τεχνική, με χρήση κατάλληλων φακών έχει τη μεγαλύτερη επαφή με το χρήστη καθώς είναι επεμβατική. Η δεύτερη τεχνική της ηλεκτρο-οφθαλμογραφίας απαιτεί τη χρήση ηλεκτροδίων και ειδικό υλικό επαφής (gel) ενώ η τρίτη όπου χρησιμοποιείται κάμερα έχουμε τη μικρότερη δυνατή επαφή με το χρήστη. Με δεδομένα τη βέλτιστη απόσταση χρήστη-κάμερας για τη συλλογή των εικόνων και την τοποθέτηση της κάμερας έτσι ώστε να μην μπλοκάρει το οπτικό πεδίο του χρήστη, η συγκεκριμένη τεχνική θεωρείται πιο πλεονεκτική καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα πλήθος εφαρμογών όπως για την παρακολούθηση της κατάστασης ενός οδηγού. Ως μειονέκτημα της συγκεκριμένης τεχνικής μπορεί να θεωρηθεί ο χρόνος απόκρισης του συστήματος κατά τον υπολογισμό συγκεκριμένων χαρακτηριστικών και παραμέτρων που σχετίζονται με την κίνηση του οφθαλμού, ιδιαίτερα στην περίπτωση χρήσης καμερών με μεγάλο ρυθμό δημιουργίας εικόνων(frames per second). Με χρήση όμως υπολογιστών νέας τεχνολογίας μπορούμε να μειώσουμε σημαντικά την απαιτούμενη ισχύ για την επεξεργασία των εικόνων.

2.5 Τεχνικές ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας για αναγνώριση ίριδας

Στον τομέα της αναγνώρισης της ίριδας έχει πραγματοποιηθεί αξιοσημείωτη έρευνα. Τα ινία όμως διατηρούνται από τον John Daugman, από τον οποίο έχει αναπτυχθεί μια αρκετά αξιόπιστη μέθοδος η οποία επιτρέπει την «εξαντλητική» αναζήτηση(η εικόνα της προς αναγνώριση ίριδας συγκρίνεται με όλες τις εικόνες της βάσης δεδομένων) σε μεγάλες βάσεις δεδομένων, χωρίς όμως να προκύπτουν λανθασμένα αποτελέσματα παρά το μεγάλο αριθμό συγκρίσεων. Αντίθετα η πλειοψηφία των μεθόδων που έχουν αναπτυχθεί από άλλους ερευνητές παρέχουν αξιόπιστα αποτελέσματα μόνο όταν πρόκειται για τη σύγκριση μιας εικόνας με μια άλλη ή με ένα μικρό αριθμό εικόνων. Ο John Daugman παρουσιάζει τα αποτελέσματα που προέκυψαν από 9.1 εκατομμύρια συγκρίσεις μεταξύ εικόνων που λήφθηκαν για ίριδες από την Βρετανία, τις ΗΠΑ, την Ιαπωνία και την Κορέα.

Από τα φαινοτυπικά χαρακτηριστικά του προσώπου που είναι ορατά, η υφή της ίριδας είναι εκείνο που ενδείκνυται για ανάλυση, καθώς χαρακτηρίζεται από αρκετές εκατοντάδες ανεξάρτητους βαθμούς ελευθερίας, γεγονός που την καθιστά μοναδική για κάθε άτομο. Η μορφογενετική τυχειότητα της υφής, η οποία εκφράζεται φαινοτυπικά μέσω του σπογγώδους πλέγματος της ίριδας εξασφαλίζει ότι μια εξέταση στατιστικής ανεξαρτησίας μεταξύ δυο κωδικοποιημένων σχεδίων που προέρχονται από διαφορετικές ίριδες θα είναι σχεδόν σίγουρα επιτυχής, ενώ αντίστοιχα η εξέταση αυτή θα αποτύχει όταν τα κωδικοποιημένα σχέδια έχουν προέλθει από την ίριδα.

Η διαδικασία που ακολουθείται από τον John Daugman[7] είναι:

Εύρεση των ορίων της ίριδας με κόρη και σκληρό χιτώνα. Η εύρεση των ορίων αυτών πραγματοποιείται μέσω της εφαρμογής της σχέσης

$$\max_{(r, x_0, y_0)} \left| G_{\sigma}(r) * \frac{\partial}{\partial r} \iint_{r, x_0, y_0} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right|$$

Όπου

$G_{\sigma}(\mathbf{r})$: η συνάρτηση Gauss

σ : ο συντελεστής εξομάλυνσης της εικόνας, μεταβάλλεται ανάλογα με την περίπτωση της εικόνας και του προς εύρεση ορίου.

$I(\mathbf{x}, \mathbf{y})$: η εικόνα

Αν η τιμή που προκύπτει, από την εξέταση της παραπάνω σχέσης, είναι μικρότερη από ένα κατώφλι, εξάγεται ένα από τα τέσσερα παρακάτω συμπεράσματα :

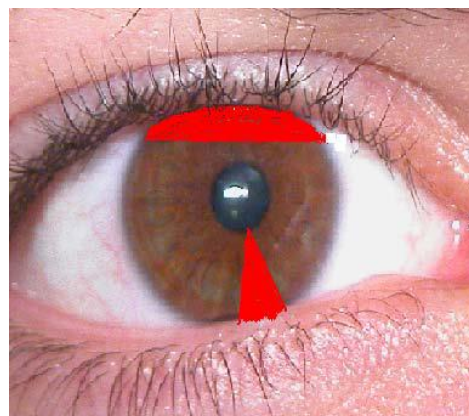
- i. Δεν υπάρχει μάτι στην υπό εξέταση εικόνα
- ii. Η ίριδα επικαλύπτεται σε σημαντικό ποσοστό από τα βλέφαρα.
- iii. Η εστίαση του ματιού στο φακό λήψης της εικόνας είναι μη ικανοποιητική
- iv. Η ανάλυση με την οποία έχει ληφθεί η εικόνα δεν κρίνεται ικανοποιητική.

Στην πραγματικότητα το σύστημα λήψης εικόνων που χρησιμοποιείται συνεχίζει να λαμβάνει φωτογραφίες του ματιού, με μικρή χρονική διαφορά μεταξύ τους, μέχρι να ληφθεί ένας ικανοποιητικός αριθμός φωτογραφιών, για τις οποίες η τιμή της παραπάνω σχέσης είναι μεγαλύτερη από το προαναφερθέν κατώφλι, έτσι ώστε να αποκλειστεί η πιθανότητα να ισχύει κάποιο εκ των τεσσάρων συμπερασμάτων της. Ένα επιπλέον χαρακτηριστικό του ματιού ενός ανθρώπου, το οποίο χρησιμοποιείται, προκειμένου να εξαχθεί κάποιο συμπέρασμα ως προς το αν το μάτι που απεικονίζεται αντιστοιχεί σε αληθινό μάτι(και όχι για παράδειγμα σε κάποιο επίθεμα, όπως ένας ζωγραφιστός φακός επαφής) είναι ότι η διάμετρος της κόρης μεταβάλλεται συνεχώς ακόμα και υπό συνθήκες σταθερού φωτισμού.

Μετά το πέρας των προηγούμενων δυο βημάτων θεωρείται πως έχει καθοριστεί ο αριθμός των pixels που ανήκουν στη ίριδα. Υπάρχουν δυο περιπτώσεις κατά τις οποίες τα pixels που έχουν προκύψει με βάση τα δύο παραπάνω βήματα ως pixels της ίριδας, δεν αντιστοιχούν στην πραγματικότητα σε pixels ίριδας οι οποίες είναι :

- Η περίπτωση κατά την οποία η ίριδα επικαλύπτεται από τα βλέφαρα.
- Η αντανάκλαση στο κάτω τμήμα της ίριδας προκύπτει είτε λόγω γυαλιών οράσεως(ή φακών επαφής) είτε λόγω του δακρυϊκού υγρού που εντοπίζεται συγκεντρωμένο σε παχύ στρώμα στην περιοχή εκείνη.

Για την απαλοιφή του προβλήματος αυτού εξαιρούνται από την περιοχή της ίριδας οι περιοχές που έχουν στην παρακάτω εικόνα σημειωθεί με κόκκινο.



Εικόνα 2.6(Πηγή:[7])

Μεταφορά των συντεταγμένων των pixels της ίριδας από το πολικό σύστημα συντεταγμένων στο καρτεσιανό:

$$I(x(r, \theta), y(r, \theta)) \rightarrow I(r, \theta)$$

Εφαρμογή των δισδιάστατων φίλτρων Gabor με σκοπό την εξαγωγή των χαρακτηριστικών της υφής της ίριδας :

$$G(x, y) = e^{-\pi \left[\frac{(x-x_0)^2}{\alpha^2} + \frac{(y-y_0)^2}{\beta^2} \right]} \cdot e^{-2\pi [u_0 \cdot (x-x_0) + v_0 \cdot (y-y_0)]}$$

Οπού :

(x_0, y_0) : θέση pixel στην εικόνα

(α, β) : ενεργό πλάτος και μήκος

(u_0, v_0) : καθορίζουν τις χωρικές συχνότητες στους δυο άξονες

$$\omega_0 = \sqrt{u_0^2 + v_0^2} : \text{η ακτινική χωρική συχνότητα}$$

$\theta_0 = \tan^{-1}(\frac{v_0}{u_0})$: η διεύθυνση που αντιστοιχεί το ζεύγος των χωρικών συχνοτήτων (u_0, v_0)

Αξίζει να σημειωθεί πως τα φίλτρα Gabor προτάθηκαν για πρώτη φορά από τον ίδιο τον Daugman το 1980 ως κατάλληλα για την εξαγωγή των χαρακτηριστικών της υφής της ίριδας. Ο λόγος που τα φίλτρα Gabor επελέγησαν είναι ότι μπορούν να αντλήσουν την πληροφορία για την υφή μιας εικόνας και ως προς τη χωρική συχνότητα και ως προς τη θέση-προσανατολισμό.

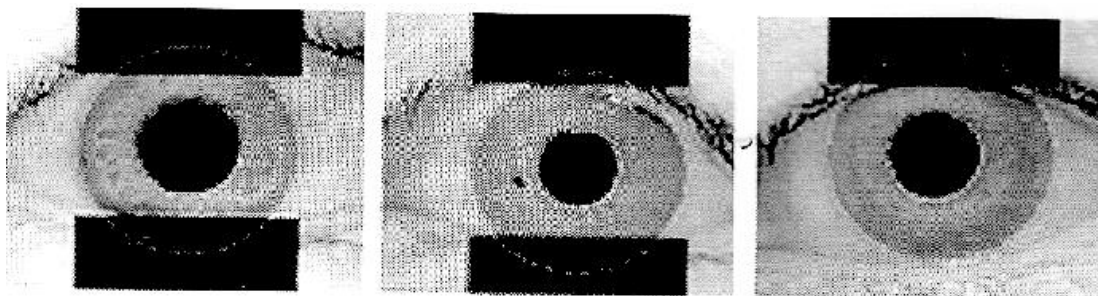
Εξαγωγή του κώδικα της ίριδας, ο οποίος είναι μεγέθους 256bytes και αποτελείται από 0 και 1. (αν το αποτέλεσμα της συνέλιξης του φίλτρου Gabor με την εικόνα είναι μη αρνητικό, τότε το αντίστοιχο ψηφίο στον κώδικα της ίριδας ισούται με 1, στην αντίθετη περίπτωση ισούται με 0).

Υπολογισμός της απόστασης Hamming μεταξύ δύο κωδίκων ίριδας. Αν η απόσταση Hamming προκύψει μικρότερη από ένα κατώφλι, τότε εξάγεται το συμπέρασμα πως αυτοί οι δύο κώδικες έχουν υπολογιστεί από εικόνες της ίδιας ίριδας. Στην αντίθετη περίπτωση εξάγεται το συμπέρασμα πως οι δυο κώδικες έχουν υπολογιστεί από εικόνες διαφορετικής ίριδας.

Μια λεπτομερής ανάλυση του αλγορίθμου που υιοθετείται από τον Daugman όπως αυτός περιγράφεται στο επιστημονικό άρθρο [7], παρουσιάζεται στο επιστημονικό άρθρο [8] του W.A. Barret. Σύμφωνα με την ανάλυση του τελευταίου, οι τιμές των pixels, τα οποία έχουν την ίδια γωνιακή συνιστώσα, είναι ισχυρά συσχετισμένες μεταξύ τους σε σχέση με τη συσχέτιση που παρουσιάζουν οι τιμές των pixels όταν

αυτά χαρακτηρίζονται από την ίδια γωνιακή συνιστώσα. Έτσι σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι τα φίλτρα Gabor που χρησιμοποιούνται είναι μονοδιάστατα(εξαρτώμενα από τη γωνία) και όχι δισδιάστατα.

Ο αλγόριθμος που περιγράφεται στο επιστημονικό άρθρο [9] στηρίζεται στον πολυδιακριτικό(multiscale) εντοπισμό ακμών και σε πολυδιακριτική τεχνική εξαγωγών χαρακτηριστικών της υφής της ίριδας , μέσω του συνδυασμού ειδικών φίλτρων Gabor και συνιστώσες μέγιστων κυματιδίων(wavelet maxima components). Επίσης στην ανάλυση αυτή αναφέρεται πως κάποια pixels που βρίσκονται σε κάποιες περιοχές, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, θεωρούνται εξ'αρχής ως pixels που ανήκουν σε βλέφαρα ή σε περιοχή αντανάκλασης.

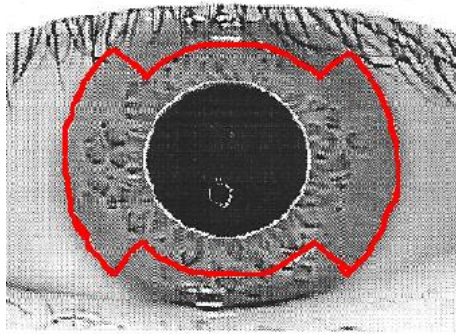


Εικόνα 2.7:Αναγνώριση pixels στην περιοχή των βλεφάρων ή περιοχών αντανάκλασης(Πηγή [9])

Στο επιστημονικό άρθρο [10] αναλύεται η διαδικασία εντοπισμού των βλεφαρίδων και των αντανάκλασεων στην εικόνα, με σκοπό τα pixels που αντιστοιχούν σε αυτά να μη ληφθούν υπόψη κατά την εξαγωγή του κώδικα της ίριδας. Οι βλεφαρίδες χωρίζονται σε δυο κατηγορίες, σε αυτές που είναι διαχωρισμένες μεταξύ τους και σε αυτές που επικαλύπτονται μεταξύ τους. Οι βλεφαρίδες της πρώτης κατηγορίας εντοπίζονται με την εφαρμογή φίλτρων Gabor, ενώ της δεύτερης κατηγορίας εντοπίζονται μέσω κατωφλίωσης της τυπικής απόκλισης της φωτεινότητας ενός συνόλου pixels. Σε δυο επίσης κατηγορίες χωρίζονται και οι αντανάκλασεις: η ασθενής και η ισχυρή. Η πρώτη κατηγορία αντανάκλασης εντοπίζεται με βάση μια σχέση που συνδέει την τιμή της φωτεινότητας ενός pixel με τη μεση τιμή και την τυπική απόκλιση της συνάρτησης κατανομής της φωτεινότητας του pixel, ενώ η δεύτερη εντοπίζεται μέσω μιας απλής κατωφλίωσης.

Στο επιστημονικό άρθρο [11] επιχειρείται μια ανάλυση, στην οποία ο προσδιορισμός των pixels που ανήκουν στην ίριδα είναι πιο αξιόπιστος , δεδομένου ότι λαμβάνει υπόψη η επικάλυψη ορισμένων περιοχών της ίριδας από pixels που ανήκουν είτε στα βλέφαρα είτε σε βλεφαρίδες.

Η ανάλυση συνίσταται σε εφαρμογή της οποίας το αποτέλεσμα φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



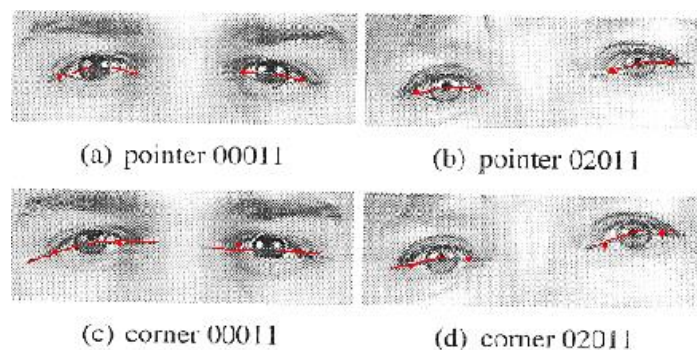
Εικόνα 2.8: Τμηματοποίηση ίριδας(Πηγή[11])

Τα pixels που θεωρείται ότι ανήκουν στην ίριδα είναι αυτά που περικλείονται από την κόκκινη γραμμή.

Στο επιστημονικό άρθρο [12] αναλύεται η εύρεση του ορίου της κόρης της ίριδας. Η διαφοροποίηση αυτής της ανάλυσης συνίσταται στο εξής :

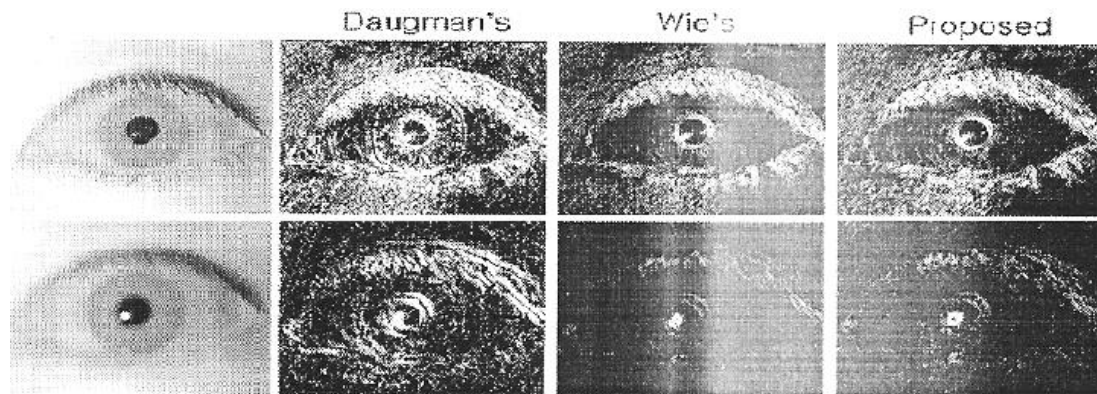
Εφαρμόζεται ο αλγόριθμος Canny με σκοπό τον εντοπισμό των ακμών της εικόνας. Φιλτράρεται η εικόνα ακμών έτσι ώστε οι πιο έντονες ακμές να γίνουν ακόμα πιο εντονότερες και οι αδρές αν εξαλειφθούν.(Μετά την εφαρμογή του φίλτρου αυτού έχει υποτεθεί πως η ακμή που αντιστοιχεί στο όριο της κόρης, καθώς η γραμμή αυτή είναι έντονη.) Το εσωτερικό του προαναφερθέντος κύκλου σηματοδοτείται με λευκά pixels. Αναζητείτε ο μεγαλύτερος συμπαγής κύκλος, ο οποίος αποτελεί την κόρη.

Στο επιστημονικό άρθρο [13] αναλύεται η εξαγωγή πληροφορίας από την εικόνα του προσώπου σε διάφορες περιπτώσεις κατά τις οποίες τα μάτια δεν είναι στον ίδιο βαθμό κεντραρισμένα στο φακό λήψης της εικόνας. Η προσέγγιση αυτή είναι βασισμένη σε παραμορφωσιμα μοντέλα κάνοντας χρήση βασικών σχημάτων, καθώς επίσης και της γωνίας που σχηματίζει ο βασικός άξονας του ματιού ως προς τον οριζόντιο άξονα όπως παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2.9: Αναγνώριση θέσης οφθαλμού με παραμορφωτικά μοντέλα(Πηγή:[13])

Στο επιστημονικό άρθρο [14] περιγράφεται ο εντοπισμός βλεφαρίδων για εστιασμένες και μη ίριδες. Η διαφοροποίηση της υλοποίησης αυτής σε σχέση με τις υπόλοιπες υλοποιήσεις, που καταγράφονται σε αναλύσεις άλλων ερευνητών που ασχολούνται με το εν λόγω θέμα, είναι ότι στην παρούσα υλοποίηση λαμβάνεται υπόψη και το θάμπωμα (blurring) της εικόνας.



Εικόνα 2.10: Αναγνώριση βλεφαρίδων χωρίς και με θάμπωμα(Πηγή:[14])

Η πρώτη σειρά εικόνων ακμών αντιστοιχούν σε εικόνες χωρίς θάμπωμα. Το αντίθετο ισχύει για τη δεύτερη σειρά εικόνων.

Στο επιστημονικό άρθρο [15] περιγράφεται πως για την εξαγωγή των χαρακτηριστικών της ίριδας η βασική ιδέα είναι πως τα τοπικά μέγιστα της μεταβολής καταδεικνύουν την ύπαρξη ή μη σημαντικής πληροφορίας στην υφή. Η υλοποίηση συνίσταται σε δυο βασικά χαρακτηριστικά:

Δημιουργία ενός συνόλου μονοδιάστατων σημάτων έντασης φωτεινότητας, έτσι ώστε να εξαχθεί η σημαντικότερη πληροφορία της αρχικής δισδιάστατης εικόνας.

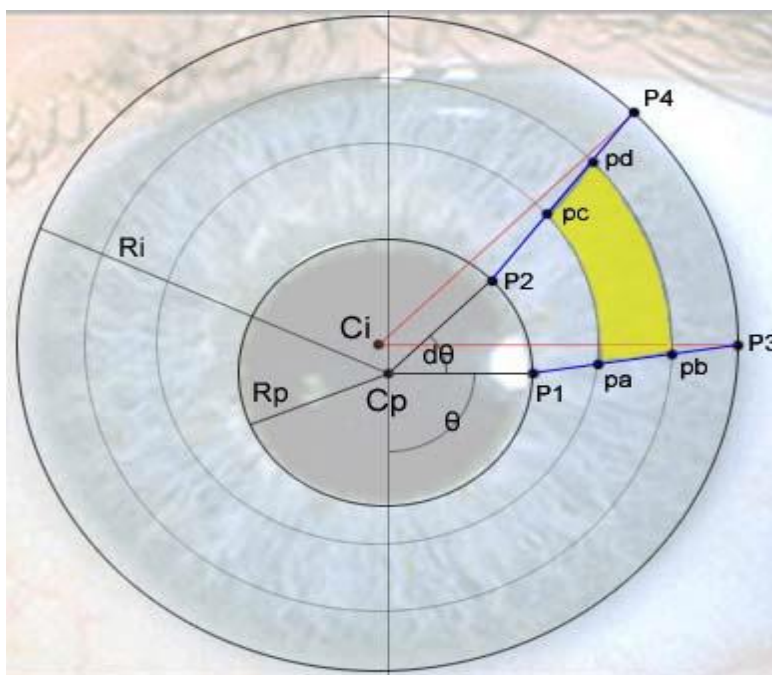
Εντοπισμός των σημείων που αντιστοιχούν σε έντονες τοπικές μεταβολές των σημάτων χρησιμοποιώντας μια συγκεκριμένη κατηγορία κυματιδίων.

Η υλοποίηση που περιγράφεται στο επιστημονικό άρθρο [16] συνίσταται στα εξής βασικά σημεία:

- Εξαίρεση των pixels που ανήκουν σε περιοχές που αντιστοιχούν σε βλέφαρα, βλεφαρίδες και αντανάκλαση.
- Υπολογισμός του κώδικα της ίριδας μόνο στην περίπτωση που ο αριθμός των pixels που θεωρούνται ότι ανήκουν στην ίριδα(μετά την εξαίρεση των pixels που ανήκαν σε βλέφαρα, βλεφαρίδες, αντανάκλαση) υπερβαίνει κάποιο ορισμένο κατώφλι.
- Χρησιμοποιούνται δυο τύποι Gabor φίλτρων, ένας για την «τοπική» και ένας για την ευρύτερη υφή της ίριδας. Οι αποστάσεις Hamming που υπολογίζονται βάση αυτών των Gabor φίλτρων συνενώνονται με βάση τον αλγόριθμο SVM(Support Vector Machine).

Αυτά τα τρία σημεία, σε συνδυασμό οδηγούν σε ελάττωση του λανθασμένου αποτελέσματος κατά τη διαδικασία της αναγνώρισης της ίριδας.

Στο επιστημονικό άρθρο [17] αναλύεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε κατά το «ξετύλιγμα» της ίριδας. Κατά την υλοποίηση αυτή λαμβάνεται επίσης υπ' όψιν το γεγονός ότι οι δυο κύκλοι που αποτελούν τα όρια της κόρης με την ίριδα και της ίριδας με το σκληρό χιτώνα, δεν είναι ομόκεντροι. Η διαδικασία θεώρησης των περιοχών(τμήμα δακτυλίων) που θα συμψηφιστούν έτσι ώστε να αποτελέσουν το pixel στην «ξετυλιγμένη» εικόνα απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 2.11: “Ξετύλιγμα ίριδας”(Πηγή: <http://cnx.org/contents/xOVHzq4K@3/Iris-Recognition-Unwrapping-th>).

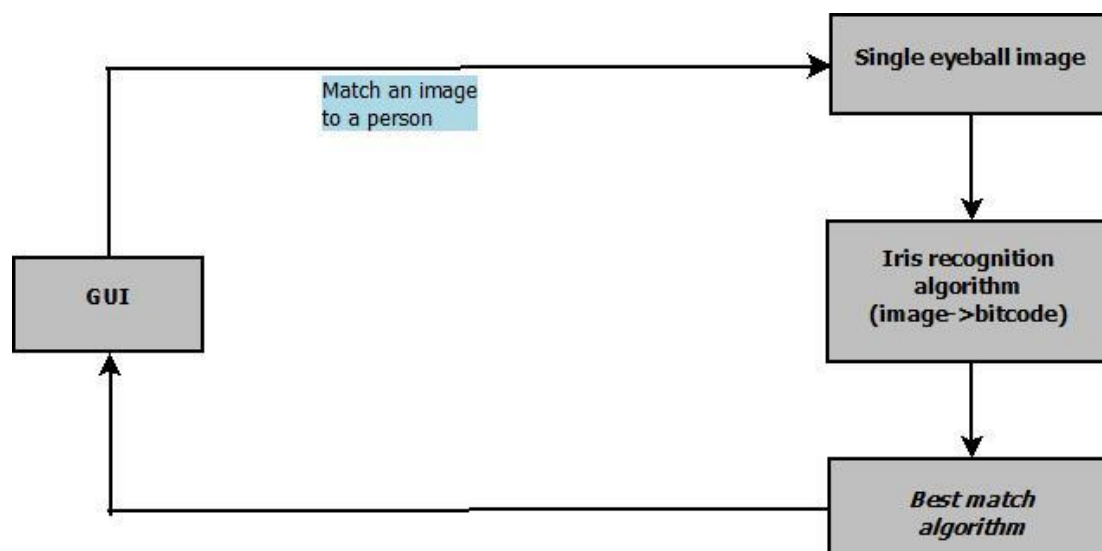
Στο επιστημονικό άρθρο [18] αναλύεται η εφαρμογή των φίλτρων Gabor στη διαδικασία της αναγνώρισης της ίριδας.

Οι συγγραφείς του επιστημονικού άρθρου [19] μελετούν την εύρεση της κατάστασης του ματιού(αν δηλαδή το μάτι φωτογραφίζεται ενώ είναι ανοιχτό ή κλειστό). Αν η πληροφορία που εξάγεται καταδεικνύει ότι το μάτι είναι κλειστό, πρέπει να αποφασηγιστεί αν η εικόνα του κλειστού ματιού προέκυψε λόγω του φυσιολογικού ανοιγοκλεισίματος του ματιού(blinking) ή αν το μάτι του οποίου λαμβάνονται εικόνες είναι κλειστό συνεχώς. Το παραπάνω θα μπορούσε να έχει εφαρμογή σε σύστημα παρακολούθησης οδηγών.

Κεφάλαιο 3^ο

3.1 Αρχική αρχιτεκτονική(1^η Υλοποίηση)

Αρχικός στόχος αυτής της διπλωματικής εργασίας ήταν η δημιουργία μιας εφαρμογής αναγνώρισης ίριδας σε ενσωματωμένο σύστημα Android. Στο παρακάτω διάγραμμα περιγράφεται η αρχική υλοποίηση.



Διάγραμμα3.1

Η υλοποίηση χωρίστηκε σε δύο τμήματα, ένα για την ανάπτυξη της εφαρμογής μέσω της οποίας εντοπίζουμε την ίριδα σε πραγματικό χρόνο(Android) και ένα για την υλοποίηση του αλγορίθμου για την αναγνώριση της(Java).

3.2 Ανάπτυξη εφαρμογής(Android)

Το πρώτο τμήμα της υλοποίησης μας ήταν η ανάπτυξη μιας εφαρμογής για τη λήψη φωτογραφίας από την οποία θα εξάγουμε μια απεικόνιση της ίριδας έτσι ώστε να γίνει η αναγνώριση. Υλοποιήθηκε στο περιβάλλον ανάπτυξης Eclipse(Luna) για την έκδοση Android 4.0.

Για την ανάπτυξη της εφαρμογής αυτής επιλέχθηκε η χρήση της βιβλιοθήκης **OpenCV** (*Open Source Computer Vision*) η οποία περιέχει προγραμματιστικές συναρτήσεις με σκοπό την αναγνώριση αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο. Στη βιβλιοθήκη αυτή συμπεριλαμβάνεται και η αναγνώριση προσώπου με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά[20].

Επεκτείνοντας την παραπάνω βιβλιοθήκη δημιουργήσαμε μια εφαρμογή η οποία εκτός από το πρόσωπο αναγνωρίζει και την περιοχή των ματιών. Αυτό επιτυγχάνεται αφαιρώντας από την αρχική αναγνώριση του προσώπου το κάτω μέρος όπου βρίσκονται η μύτη και το στόμα και το πάνω μέρος όπου βρίσκεται το μέτωπο και τα

μαλλιά(πάντα με το ενδεχόμενο απόκλισης καθώς το μέγεθος του προσώπου διαφέρει από άνθρωπο σε άνθρωπο) . Έτσι εξάγουμε την περιοχή που μας ενδιαφέρει, δηλαδή την περιοχή των ματιών. Έχοντας εντοπίσει την περιοχή των ματιών δημιουργούμε ένα template το οποίο και αποθηκεύουμε.

3.3 Αλγόριθμος για σύγκριση και ταυτοποίηση ίριδας (Java)

Κατά το δεύτερο στάδιο έγινε ανάπτυξη λογισμικού για την επεξεργασία των εικόνων του οφθαλμού με σκοπό την αναγνώριση της ίριδας.

Η ανάπτυξη του λογισμικού για την αναγνώριση της ίριδας μπορεί να χωριστεί σε τέσσερα βασικά μέρη. Πρώτος στόχος είναι ο εντοπισμός των pixels που ανήκουν στην ίριδα. Στη συνέχεια εκτελείται η μετατροπή των πολικών συντεταγμένων των pixels, που βρέθηκαν να ανήκουν στην ίριδα, σε καρτεσιανές συντεταγμένες. Η διαδικασία αυτή αναφέρεται και ως «ξετύλιγμα» της ίριδας. Τρίτο βήμα αποτέλεσε η κωδικοποίηση της «ξετυλιγμένης» ίριδας η οποία χρησιμοποιείται για την τελική ταυτοποίηση της ίριδας. Τέλος υλοποιήθηκε η σύγκριση των κωδικών που αντιστοιχούν στις ίριδες προκειμένου να ληφθεί η απόφαση για επιτυχή ταυτοποίηση ή όχι.

Ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε υλοποιήθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού Java και στο περιβάλλον ανάπτυξης NetBeans IDE 8.0.2.

3.3.1 Εντοπισμός pixels που ανήκουν στην ίριδα

Η ίριδα περικλείεται μεταξύ δυο ορίων. Το εσωτερικό όριο είναι αυτό που χωρίζει την ίριδα από την κόρη και το εξωτερικό όριο αντίστοιχα είναι εκείνο που χωρίζει την ίριδα από το λευκό μέρος του ματιού που καλείται σκληρός φλοιός(sclera).

Επιπρόσθετα, υπάρχει η ανάγκη εντοπισμού των βλεφάρων του ματιού καθώς η ίριδα σπάνια φαίνεται ολόκληρη. Συνήθως η μέγιστη απόσταση μεταξύ του άνω και του κάτω βλεφάρου είναι μικρότερη από τη διάμετρο της ίριδας. Η διαδικασία περιγράφεται παρακάτω.

Για τον εντοπισμό των pixels που ανήκουν στην ίριδα επιλέχθηκε η μέθοδος που αναλύεται στο επιστημονικό άρθρο[7] η οποία για τον εντοπισμό της ίριδας κάνει χρήση των κυκλικών ιδιοτήτων της. Η βασική ιδέα είναι ο έλεγχος πάνω σε μια εικόνα (x,y). Το σημείο (x,y) είναι το κέντρο ενός κύκλου ακτίνας r, με μέγιστο:

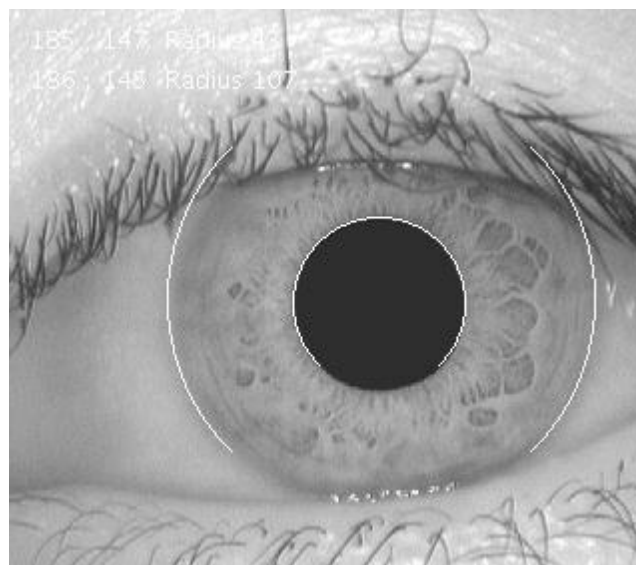
$$\max(r, x_0, y_0) \left| \frac{\partial}{\partial r} \oint \frac{\text{Image}(x, y)}{2\pi r} d\theta \right|$$

Οι αρχικές δοκιμές με τον παραπάνω αλγόριθμο ήταν επιτυχείς όσο αναφορά τον εντοπισμό της ίριδας αλλά αποδείχτηκε ανεπαρκής για τον εντοπισμό του σκληρού χιτώνα του ματιού. Επιλέγοντας προσεκτικά τις παραμέτρους παρατηρούμε βελτίωση των αποτελεσμάτων κατά 45%. Όμως χρησιμοποιώντας ένα φίλτρο εντοπισμού ακμών[21] επιτυγχάνουμε ποσοστό πάνω από 80%. Επίσης γίνεται χρήση του φίλτρου ανίχνευσης ακμών Sobel το οποίο αποτελεί έναν απλό κανόνα ο οποίος

αφαιρεί την τιμή του pixel της μιας πλευράς από την τιμή του pixel της άλλης πλευράς και αν το αποτέλεσμα υπερβαίνει το κατώφλι που έχουμε ορίσει τότε αλλάζει την τιμή του.

Στην Εικόνα 1 παρουσιάζεται η πρόταση του Daugman[7] χρησιμοποιώντας το ολοκλήρωμα βρόγχου. Έχοντας εντοπίσει την ίριδα ο βρόχος εξάγει τον κατώτερο τέταρτο του κύκλου καθώς είναι η περιοχή στην οποία συχνά εντοπίζονται αντανάκλασεις και συχνά καλύπτεται από το κάτω βλέφαρο.(Το βήμα αυτό θα μπορούσε να παραληφθεί στην περίπτωση που έχουμε ιδανικές εικόνες.)

Την ίδια διαδικασία ακολουθούμε και για το ανώτερο τέταρτο της ίριδας το οποίο και πάλι καλύπτεται συνήθως από το πάνω βλέφαρο.



Εικόνα 3.1 :Automated location of the iris boundary(Πηγή:[22])

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε εδώ αναπτύχθηκε σύμφωνα με τον αλγόριθμο Bresenham [23]. Η βασική ιδέα του αλγορίθμου είναι η θεώρηση ενός νοητού pixel το οποίο βρίσκεται στο κέντρο ενός ευθύγραμμου τμήματος και υπολογίζεται αν αυτό βρίσκεται εντός ή εκτός της περιφέρειας ενός ιδανικού κύκλου. Έτσι αν αυτό το νοητό pixel βρίσκεται εντός της περιφέρειας του ιδανικού κύκλου τότε θεωρείται ως στοιχείο της περιφέρειας.

Ο αλγόριθμος Bresenham δε χρησιμοποιήθηκε για την εύρεση καθ'αυτών των σημείων που ανήκουν στην περιφέρεια αλλά για την εύρεση του αθροίσματος των τιμών φωτεινότητας τους. Αυτό που τελικά υπολογίζεται για κάθε κύκλο υπό εξέταση, είναι η διαφορά της μέσης τιμής της φωτεινότητας των pixel που βρίσκονται στην περιφέρεια του, από τη μέση τιμή φωτεινότητας των pixels που βρίσκονται στη περιφέρεια ενός άλλου κύκλου, ο οποίος έχει ίδιο κέντρο και ακτίνα μεγαλύτερη κατά 1 σε σχέση με τον υπό εξέταση. Η διαφορά αυτή μεγιστοποιείται όταν ο υπο εξέταση κύκλος ταυτίζεται με το περίγραμμα της κόρης.

Δεδομένης της υψηλής ακρίβειας στον εντοπισμό της ίριδας με την παραπάνω διαδικασία το κέντρο της ίριδας χρησιμοποιήθηκε σαν «οδηγός» για τον εντοπισμό των εξωτερικών ορίων της ίριδας.

3.3.2 «Ξετύλιγμα ίριδας»

Έχοντας εντοπίσει επιτυχώς τα όρια της ίριδας το επόμενο βήμα είναι να την «ξετυλίξουμε» σε μια δισδιάστατη εικόνα.

Είναι εμφανές πως τα εικονοστοιχεία(pixels) τα οποία θα χρησιμοποιηθούν έτσι ώστε να εξαχθεί ο κώδικας της ίριδας, βρίσκονται τοποθετημένα σε τμήμα ενός δακτυλίου, σε θέσεις δηλαδή που καθιστούν δύσκολη την επεξεργασία τους στα πλαίσια ενός συνόλου σημείων. Εντοπίζεται λοιπόν η ανάγκη να μεταφερθεί η πληροφορία την οποία φέρουν τα εικονοστοιχεία της ίριδας σε ένα δισδιάστατο πίνακα ώστε να είναι πιο εύχρηστα κατά την επεξεργασία τους ως ένα ενιαίο σύνολο σημείων.

Η διαδικασία της μεταφοράς πληροφορίας από ένα ασυνεχές σύνολο σημείων, τοποθετημένα σε τμήμα δακτυλίου, σε ένα συνεχές σύνολο σημείων τοποθετημένα σε ένα δισδιάστατο πίνακα ονομάζεται «ξεδίπλωμα» ή «ξετύλιγμα» (unwrapping). Ο τελικός πίνακας που προκύπτει από αυτή την διαδικασία περιέχει μόνο τη χρήσιμη πληροφορία της ίριδας. Ένα ακόμη πλεονέκτημα της διαδικασίας αυτής είναι ότι είναι υπολογιστικά «φτηνή».

Για την υλοποίηση της διαδικασίας «ξεδίπλωματος» της ίριδας ακολουθούνται τα εξής βήματα:

1. Σαρώνεται η εικόνα και για κάθε υπό εξέταση pixel ελέγχεται αν ανήκει στην περιοχή η οποία αποτελεί την περιοχή της ίριδας.
2. Στην περίπτωση που ένα pixel ανήκει στην περιοχή της ίριδας βρίσκονται οι αντίστοιχες πολικές συντεταγμένες του. Αντίστοιχα, υπολογίζεται και η συνεισφορά της τιμής της φωτεινότητας του στην τιμή της φωτεινότητας που θα προκύψει για το στοιχείο στον τελικό πίνακα.

Ο μετασχηματισμός των συντεταγμένων από πολικές σε καρτεσιανές απαιτεί τη θεώρησης ενός κέντρου συντεταγμένων. Στην παρούσα υλοποίηση ως κέντρο του συστήματος συντεταγμένων θεωρείται το κέντρο της κόρης του οφθαλμού.

Οι εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν για το «ξεδίπλωμα» της ίριδας είναι:

$$x(r, \sigma) = (1-r)(x_p + r_p \cos(\sigma)) + r(x_i + r_i \cos(\sigma))$$

$$y(r, \sigma) = (1-r)(y_p + r_p \sin(\sigma)) + r(y_i + r_i \sin(\sigma))$$

Όπου:

r : ακτίνα[0,1]

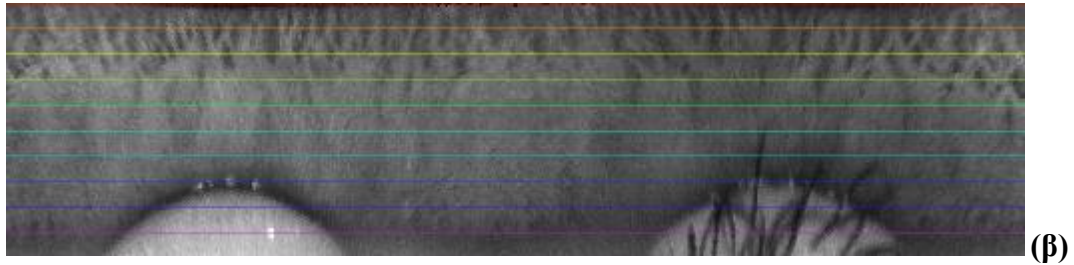
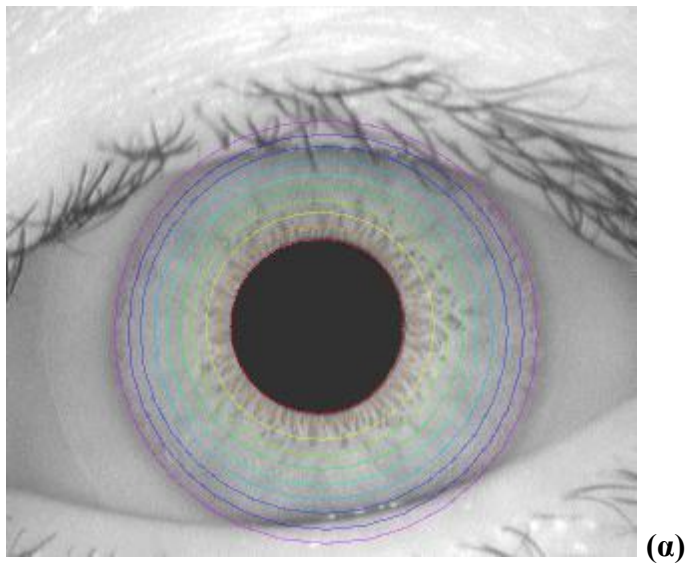
σ : γωνία[0,360]

(x_p, y_p) : κέντρο της κόρης

(x_i, y_i) : κέντρο της ίριδας

r_p : ακτίνα της κόρης

r_i : ακτίνα της ίριδας



Εικόνα 3.2 : (α) αρχικός εντοπισμός της ίριδας,(β)αποτέλεσμα της εφαρμογής του αλγορίθμου «ξετυλίγματος»

Στις παραπάνω εικόνες φαίνεται ο αρχικός εντοπισμός της ίριδας και στη συνέχεια το αποτέλεσμα της εφαρμογής του αλγορίθμου «ξετυλίγματος».

3.3.3 Δημιουργία bitcode

Η κωδικοποίηση της «ξετυλιγμένης» ίριδας σε bitcode αποτελεί το σημαντικότερο βήμα της υλοποίησης μας. Η κωδικοποίηση εν προκειμένω ισοδυναμεί μαθηματικά με τη συνέλιξη της «ξεδιπλωμένης ίριδας» με ένα φίλτρο Gabor.

Το διδιάστατο φίλτρο Gabor, $g(x, y)$, έχει την εξής μορφή:

$$g(x, y) = s(x, y) \cdot w_r(x, y) \quad (\text{εξίσωση 1})$$

Όπου:

$$s(x, y) = e^{(j(2\pi(u_0x + v_0y) + p))}$$

Και

$s(x, y)$: μιγαδική ημιτονοειδής(φέρουσα/carrier)

(u_0, v_0) : οι χωρικές συχνότητες

p : η φάση της ημιτονοειδούς

Όπως αναφέρθηκε το ζεύγος (u_0, v_0) αναπαριστά τις χωρικές συχνότητες εκφρασμένες σε καρτεσιανές συντεταγμένες. Οι χωρικές συχνότητες μπορούν να παρασταθούν σε πολικές συντεταγμένες με τον εξής τρόπο: (F_0, ω_0) , όπου:

$$F_0 = \sqrt{(u_0^2 + v_0^2)}$$

$$\omega_0 = \tan^{-1}\left(\frac{v_0}{u_0}\right)$$

$$v_0 = F_0 \cdot \cos(\omega_0)$$

$$u_0 = F_0 \cdot \sin(\omega_0)$$

Η συγκεκριμένη ημιτονοειδής συνάρτηση μπορεί να νοηθεί ως ένα σύνολο δυο πραγματικών συναρτήσεων, οι οποίες βρίσκονται κατάλληλα τοποθετημένες στο πραγματικό και φανταστικό μέρος μιας μιγαδικής συνάρτησης. Συνεπώς ισχύει:

$$\text{Re}(s(x, y)) = \cos(2\pi(u_0x + v_0y) + p)$$

$$\text{Im}(s(x, y)) = \sin(2\pi(u_0x + v_0y) + p)$$

Αντίστοιχα για το 2^ο μέλος του γινομένου της (1) ισχύει:

$$w_r(x, y) = K \cdot e^{-\pi(a^2(x-x_0)_r^2 + b^2(y-y_0)_r^2)}$$

Όπου:

$w_r(x, y)$: δισδιάστατη γκαουσσισιανή συνάρτηση(envelope)

(x_0, y_0) : θέση μεγίστου της περιβάλλουσας

a,b: παράμετροι που καταδεικνύουν το αντίστροφο ενεργό πλάτος και μήκος

K: συντελεστής πλάτους

$$(x - x_0)_r = (x - x_0) \cos \theta + (y - y_0) \sin \theta$$

$$(y - y_0)_r = (x - x_0) \sin \theta + (y - y_0) \cos \theta$$

Για την κατασκευή ενός bit του bitcode, αρχικά πρέπει να επιλέξουμε τις μεταβλητές ώστε να ορίσουμε μια κυματομορφή Gabor. Στη συνέχεια πραγματοποιείται η συνέλιξη της κυματομορφής αυτής με την εικόνα της ίριδας και στη συνέχεια αθροίζουμε όλες τις τιμές που προέκυψαν. Αν το άθροισμα είναι μια τιμή μεγαλύτερη του μηδενός τότε το bit που εισάγεται στο bitcode αντιστοιχεί η τιμή 1, αλλιώς εισάγεται 0. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το πραγματικό ή το φανταστικό μέρος της κυματομορφής Gabor, ή και τα δυο, στη περίπτωση που παράγονται 2 bits για κάθε συνέλιξη. Το μέγεθος του bitcode καθορίζεται από τον αριθμό των διαφορετικών κυματομορφών Gabor που συνελίσσουμε με την εικόνα της «ξετυλιγμένης» ίριδας.

Κατά την εκτέλεση του αλγορίθμου παρατηρήθηκε ότι αν και τα αποτελέσματα του ήταν πάντα ακριβή, στο σύνολο του ήταν πολύ αργός. Για τη βελτίωση του χρόνου δημιουργήθηκε μια συνάρτηση με το όνομα getFastBitcode. Η συνάρτηση αυτή χρησιμοποιεί έναν ακέραιο κωδικό και εκμεταλλεύεται το γεγονός ότι οι κυματομορφές Gabor, που χρησιμοποιούνται στην υλοποίηση μας, είναι οι ίδιες λίγες κυματομορφές και κινούνται στον χ άξονα της «ξετυλιγμένης» εικόνας.

Πιο αναλυτικά όταν υπολογίζεται ο bitcode υπάρχει ένας αριθμός εμφωλευμένων επαναλήψεων. Μια επανάληψη η οποία γίνεται κατά μήκος του άξονα θ και οι εμφωλευμένες για κάθε άξονα της συνέλιξης για τις κυματομορφές Gabor. Οι υπολογισμοί αυτοί μπορεί να φτάσουν και τις 10⁶ φορές και ο χρόνος εκτέλεσης έφτανε το 5.7 δευτερόλεπτα.

Για κάθε συνέλιξη οι τιμές του ημιτόνου και του συνημίτονου είναι ίδιες. Έτσι για τη βελτιστοποίηση του κώδικα αφαιρέθηκαν από την κύρια επανάληψη. Είναι επίσης

είναι ίδιες για όποιο συνδυασμό παραμέτρων και αν εισάγαμε οπότε μετακινήθηκαν στο σημείο του προγράμματος όπου γίνεται η αρχικοποίηση των μεταβλητών.

Τέλος μια ακόμη τροποποίηση ήταν η υλοποίηση του κώδικα για το 2-D Gabor φίλτρο να γίνεται μέσα στην επανάληψη.

Έτσι ο χρόνος που χρειάζεται για τη μετατροπή της «ξετυλιγμένης» ίριδας σε bitcode μειώθηκε αισθητά φτάνοντας τα 0.02 δευτερόλεπτα. Έχοντας βελτιώσει το χρόνο εκτέλεσης πραγματοποιήσαμε έναν αριθμό δοκιμών ώστε να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα των δύο κωδικών. Η απόκλιση της απόστασης Hamming που προέκυψε είναι μικρότερη του 2%.

Επίσης υλοποιήθηκαν οι κατάλληλες συναρτήσεις για την οπτική αναπαράσταση του bitcode όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 3.3: Οπτικοποιημένη αναπαράσταση bitcode

3.3.4 Απόσταση Hamming

Καθώς έχουμε δημιουργήσει τους πίνακες οι οποίοι περιλαμβάνουν τον κώδικα της ίριδας της κάθε εικόνας, το μόνο που απομένει είναι να ληφθεί η απόφαση ως προς το αν δυο τέτοιοι πίνακες αντιστοιχούν στην ίριδα του ίδιου ατόμου.

Το κριτήριο με βάση το οποίο λαμβάνεται η παραπάνω απόφαση είναι η απόσταση Hamming(Hamming distance). Η απόσταση Hamming(Hamming distance) αποτελεί έναν αλγόριθμο ο οποίος χρησιμοποιείται για τη σύγκριση διανυσμάτων και στηρίζεται στον εντοπισμό των διαφορετικών στοιχείων, γεγονός που επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης του συντελεστή XOR.

Ο ορισμός της απόστασης Hamming(Hamming distance) είναι ο ακόλουθος

$$HD = \frac{1}{N} \sum_i (P_i \oplus R_i)$$

Όπου

HD : η απόσταση Hamming(Hamming distance)

(P_i,R_i) : τα προς σύγκριση διανύσματα

Το σύνολο τιμών της απόστασης Hamming(Hamming distance) είναι $0 \leq HD \leq 1$.

Αν $HD = 0$, τότε τα προς σύγκριση διανύσματα είναι ίδια

Ενώ αν $HD = 1$, τότε τα προς σύγκριση διανύσματα δεν έχουν κανένα κοινό σημείο.

Ο συντελεστής XOR εξασφαλίζει ότι μετράμε μόνο τα διαφορετικά bits των προς σύγκριση διανυσμάτων και το αποτέλεσμα της σύγκρισης αυτής είναι ένα κλασματικό μέτρο της διαφοράς τους. Θεωρητικά, εφόσον κάθε ίριδα είναι διαφορετική τότε και το διάνυσμα που της αντιστοιχεί θα είναι μοναδικό και η απόσταση Hamming(Hamming distance) σε μια τέτοια σύγκριση θα είναι μηδέν. Ωστόσο, στην πράξη σπάνια βρίσκει εφαρμογή. Η διαδικασία κανονικοποίησης κατά την εφαρμογή του αλγορίθμου για το «ξετύλιγμα» της ίριδας μπορεί να παράγει ελάχιστα διαφορετικά αποτελέσματα για δυο διαφορετικές φωτογραφίες της ίδιας ίριδας. Επίσης σημαντικό ρόλο παίζει και η παρουσία θορύβου, που σημαίνει ότι κάποια σημεία της εικόνας δεν είναι κατάλληλα για σύγκριση.

Στην αρχική μελέτη του Daugman σε μια βάση 4258 εικόνων, η οποία περιείχε 10 εικόνες από 70 μάτια, δηλαδή $(4258 \times 4256 - 700/9) = 9,060,003$ μοναδικά ζευγάρια, ο Daugman κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η πιθανότητα να λάβουμε λάθος αποτέλεσμα αν η απόσταση Hamming(Hamming distance) είναι μεταξύ **0** και **0.33** ήταν περίπου 1 στα 16 εκατομμύρια.

Το πρόβλημα του θορύβου θα μπορούσε να ξεπεραστεί εφαρμόζοντας μαζί με τη διαδικασία για την παραγωγή του bitcode και μια «μάσκα», ένα δυαδικό διάνυσμα

ίσης διάστασης με αυτό της ίριδας, το οποίο υποδεικνύει αν το bit της εικόνας είναι κατάλληλο για σύγκριση ή αν αντιστοιχεί σε θόρυβο. Έτσι η παραπάνω σχέση τροποποιείται και γίνεται:

$$HD = \frac{1}{N - \sum_{i=1}^N X_i(OR)Y_i} \sum_{n=1}^N X_n(XOR)Y_n(AND)X'_n(AND)Y'_n$$

Η εξίσωση δείχνει το διάνυσμα «μάσκα» και ο τροποποιημένος παρανομαστής σημαίνει ότι ενδιαφερόμαστε μόνο για τα έγκυρα bits. Έτσι το αποτέλεσμα είναι ο αριθμός των μη έγκυρων bits διαιρεμένος με το συνολικό αριθμό έγκυρων bits.

Τέλος ένα ακόμη πρόβλημα που προκύπτει κατά τη σύγκριση δυο bitcodes είναι οι διαφορές που μπορεί να συμβούν λόγω περιστροφής. Αν μια ίριδα περιστραφεί ελαφρά σε σχέση με μια άλλη τότε τα αντίστοιχα bitcodes θα χάσουν την ευθυγράμμιση τους. Για να ξεπεραστεί αυτό ο Daugman πρότεινε τη δημιουργία ενός μοτίβου περιστροφής(bitpattern) το οποίο περιστρέφει το μοτίβο της ίριδας δεξιά/αριστερά ενώ το άλλο κρατιέται σταθερό. Έτσι κάθε φορά που υπολογίζεται η απόσταση Hamming(Hamming Distance) και είναι η ελάχιστη απόσταση, θεωρείται ως η τελική μας απάντηση καθώς αντιπροσωπεύει την καλύτερη δυνατή ταύτιση.

Η υλοποίηση μας, επιτρέπει την παραπάνω διαδικασία όπως προτάθηκε από τον Daugman. Εφαρμόζοντας μια ακολουθία δεξιών και αριστερών περιστροφών αποκτούμε την ελάχιστη διαφορά ανάμεσα σε δύο bitcodes και το αποτέλεσμα που εμφανίζεται είναι η απόσταση Hamming μεταξύ τους, σύμφωνα με το οποίο αποφασίζουμε αν υπάρχει ταύτιση ή όχι.

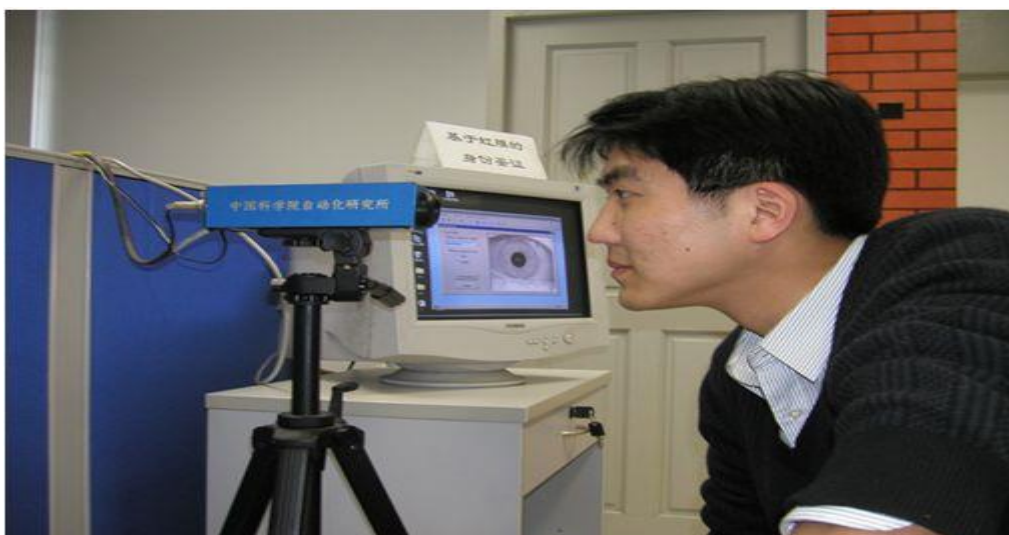
3.4 Προβλήματα και προσπάθεια επίλυσης

Η εφαρμογή που αναπτύξαμε αναγνωρίζει επιτυχώς την περιοχή του ματιού αλλά παρουσιάζει κάποιες αδυναμίες με σημαντικότερη ότι ο επιτυχής εντοπισμός εξαρτάται από τη φωτεινότητα του χώρου. Σε ένα χώρο με χαμηλό φωτισμό δεν μπορούμε να εντοπίσουμε εύκολα τη γεωμετρία του προσώπου ώστε να έχουμε επιτυχή αναγνώριση. Ένας επίσης παράγοντας που επηρεάζει την ικανότητα της εφαρμογής να αναγνωρίσει επιτυχώς την ίριδα είναι η απόσταση στην οποία κρατάμε το κινητό καθώς αν βρίσκεται πολύ κοντά στο πρόσωπο τότε κάποια στοιχεία χάνονται με αποτέλεσμα ο εντοπισμός της ίριδας να είναι αδύνατος.

Προσπαθώντας να κρατήσουμε τις συνθήκες λήψης όσο το δυνατόν πιο σταθερές και τραβώντας όσες περισσότερες φωτογραφίες γίνεται ώστε να πετύχουμε τα αποτελέσματα που θέλουμε ανέκυψε και το πρόβλημα του χώρου αποθήκευσης. Με τα μέχρι τώρα δεδομένα ο χώρος αποθήκευσης των κινητών τηλεφώνων είναι περιορισμένος με αποτέλεσμα πολύ σύντομα να μην έχουμε χώρο για νέες φωτογραφίες. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να περιορίσει πάρα πολύ το μέγεθος του αρχείου με τις προς ταυτοποίηση ίριδες.

Λύση στο πρόβλημα αυτό αποτέλεσε η επιλογή της αποστολής των φωτογραφιών σ' ένα σταθερό ή φορητό υπολογιστή. Έτσι έχουμε τη δυνατότητα διαλογής των φωτογραφιών ώστε να επιλέξουμε αυτές που ανταποκρίνονται καλύτερα στους περιορισμούς που έχουμε θέσει. Ο μόνος περιορισμός που προκύπτει είναι ότι πρέπει να διαθέτουμε ασύρματη σύνδεση με το διαδίκτυο(wi-fi) ώστε να μπορούμε να επικοινωνούμε με τον υπολογιστή. Επίσης κρίθηκε αναγκαία η δημιουργία μιας βάσης δεδομένων, η λειτουργία της οποίας περιγράφεται παρακάτω.

Για τον έλεγχο της ορθής λειτουργίας του αλγορίθμου ο οποίος υλοποιήθηκε σε Java αρχικά χρησιμοποιήθηκαν φωτογραφίες από τη βάση CASIA[24]. Η εν λόγω βάση δεδομένων περιλαμβάνει 756 εικόνες στην κλίμακα του γκρι(grayscale). Αυτές οι 756 εικόνες έχουν προκύψει με τη λήψη 7 διαφορετικών εικόνων για κάθε μια από τις 108 διαφορετικές ίριδες. Οι 7 εικόνες κάθε ίριδας λήφθηκαν σε δυο διαφορετικές φάσεις οι οποίες απείχαν μεταξύ τους 1 μήνα. Επιπρόσθετα οι εικόνες αυτές λήφθηκαν αποκλειστικά με σκοπό να χρησιμοποιηθούν σε έρευνες που αφορούν την αναγνώριση ίριδας, βάση των προτύπων που έχουν καθοριστεί από το Εθνικό Εργαστήριο Αναγνώρισης Σχεδίου της Κίνας(National Laboratory of Pattern Recognition, China).



Εικόνα 3.4: σύστημα συλλογής εικόνων Casia(Πηγή: <http://www.cbsr.ia.ac.cn/english/IrisDatabase.asp>)

Εφόσον επιβεβαιώθηκε η σωστή λειτουργία του αλγορίθμου αναγνώρισης όπως παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο περάσαμε στη χρήση των φωτογραφιών οι οποίες προέκυψαν από την εφαρμογή Android που υλοποιήσαμε. Οι φωτογραφίες αυτές περιείχαν αντανάκλασεις και ήταν πολύ χαμηλότερης ανάλυσης από αυτές της βάσης CASIA και τα αποτελέσματα τους δεν ήταν ικανοποιητικά. Λόγω της χαμηλής ανάλυσης ήταν αδύνατο να διακριθεί η κόρη από την ίριδα με αποτέλεσμα ο αλγόριθμος να μην βρίσκει εφαρμογή.

Για την επίλυση του προβλήματος αυτού τραβήχτηκαν πολλές φωτογραφίες σε διαφορετικές συνθήκες φωτισμού και σε διαφορετικές αποστάσεις αλλά τα αποτελέσματα παρουσίασαν ελάχιστη βελτίωση.

Στη συνέχεια έγινε προσπάθεια να μετατραπεί ο αλγόριθμος αναγνώρισης από Java σε Android. Κατά τη διαδικασία αυτή προέκυψε ένας αριθμός προβλημάτων που αφορούσαν τη μη υποστήριξη κυρίως γραφικών από το Android. Πιο συγκεκριμένα το Android δεν υποστηρίζει τις βιβλιοθήκες “Swing and AWT” που χρησιμοποιήθηκαν κατά την ανάπτυξη σε Java. Όμως το Android παρέχει τις δικές του βιβλιοθήκες GUI η χρήση των οποίων μας έδωσε τη δυνατότητα να επιλύσουμε το πρόβλημα. Αλλάζοντας την εμφάνιση του προγράμματος(μείωση του αριθμού των tabs και επανασχεδιασμό της οθόνης διαλόγου ώστε να είναι προσαρμοσμένο στην ανάλυση του κινητού τηλεφώνου) και χρησιμοποιώντας τις δυνατότητες που μας παρείχε το Android προσπαθήσαμε να υλοποιήσουμε ένα πρόγραμμα για απλή επεξεργασία εικόνας το οποίο όμως δεν ήταν δυνατό να εκτελεστεί επιτυχώς. Η μη επιτυχής εκτέλεση του προγράμματος οφείλεται στο γεγονός ότι η έκδοση του Android που χρησιμοποιήθηκε δεν υποστηρίζει ορισμένα χαρακτηριστικά που απαιτεί το πρόγραμμα αλλά και οι περιορισμένες δυνατότητες του hardware της συσκευής δυσχεραίνει ακόμα περισσότερο την υλοποίηση μας.

Λόγω των προβλημάτων που αναλύθηκαν παραπάνω καταλήξαμε στη δεύτερη σχεδίαση η οποία περιγράφεται στην επόμενη ενότητα.

3.5 Δεύτερη αρχιτεκτονική(2^η υλοποίηση)

Λόγω των προβλημάτων που αναφέρθηκαν παραπάνω καταλήξαμε σε μια υλοποίηση διαφορετική από την αρχική. Αποφασίσαμε να εκτελέσουμε τη διαδικασία αναγνώρισης της ίριδας στον υπολογιστή όπως περιγράφηκε παραπάνω και να δημιουργήσουμε μια βάση δεδομένων στην οποία θα αποθηκεύουμε τόσο τις φωτογραφίες που προέρχονται από το κινητό όσο και αυτές που προέρχονται από τη βάση CASIA.

3.5.1 Δημιουργία Database

Αρχικά δημιουργήσαμε μια βάση δεδομένων με το εργαλείο PostgreSQL. Για την αποδοτικότερη λειτουργία της αποφασίσαμε να αποθηκεύουμε μόνο το bitcode το οποίο αντιστοιχεί στην ίριδα ενός ατόμου, το όνομα και το επίπεδο πρόσβασης του. Καθένα από αυτά θεωρήθηκε ως μια στήλη ενός πίνακα με βασικό κλειδί το id.

Το id είναι τύπου VARCHAR, το bitcode είναι τύπου ARRAY και το επίπεδο πρόσβασης BOOLEAN.

Για τη σύνδεση του κώδικα με τη βάση χρησιμοποιήθηκε η Συνδετικότητα Βάσης Δεδομένων Java (Java Database Connectivity, συντ.:JDBC). Η JDBC είναι μία διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογών (API) για την γλώσσα προγραμματισμού Java η οποία ορίζει πώς ένας χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση σε μια βάση δεδομένων.

Παρέχει συναρτήσεις για εξαγωγή, πρόσθεση, ανανέωση ή διαγραφή δεδομένων σε μια βάση[25].

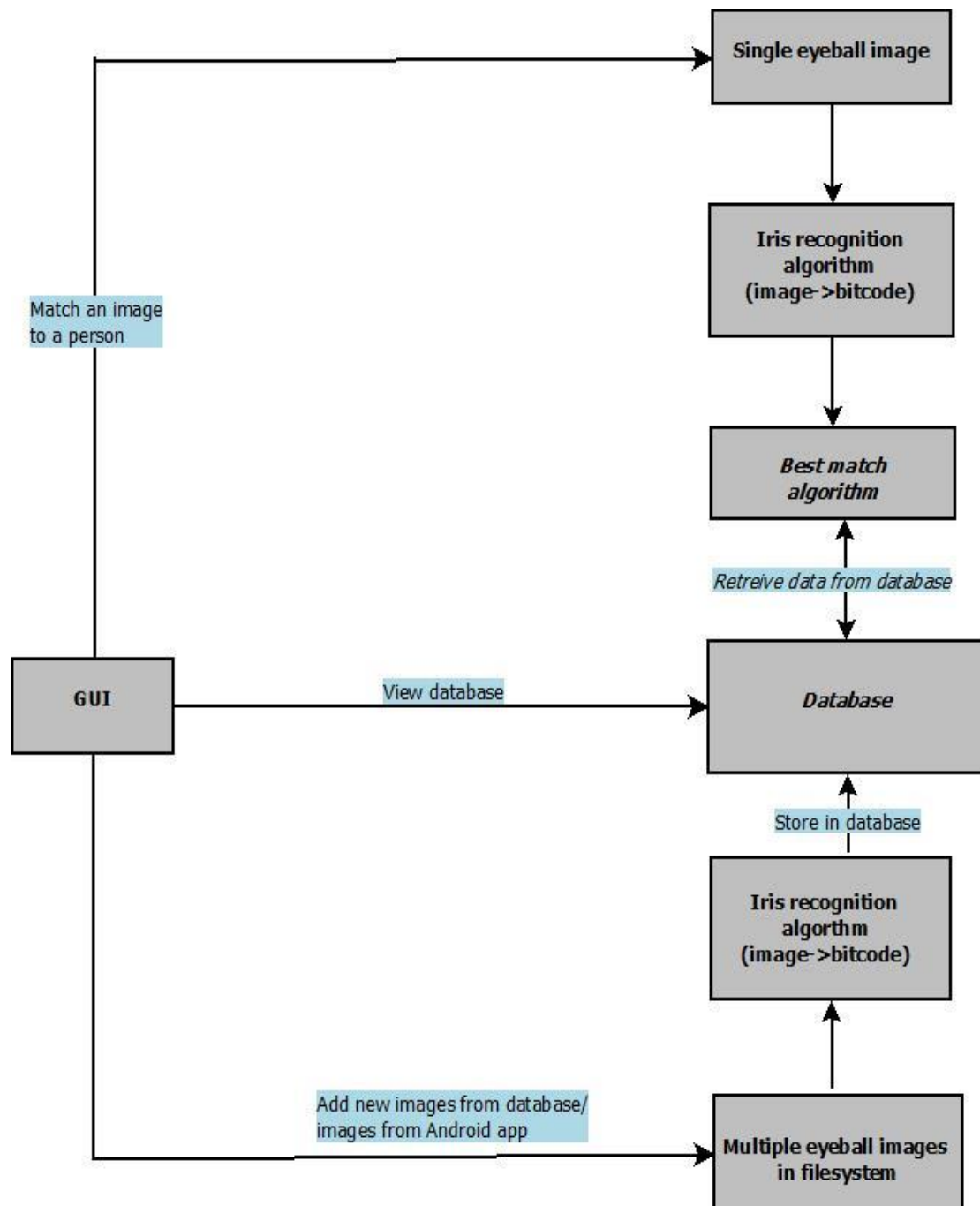
Στη συνέχεια προσθέσαμε το tab «administrator» όπου μας δίνεται η δυνατότητα οπτικοποίησης των περιεχομένων της βάσης. Αναλυτικά τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο.

Κατά τη δημιουργία της βάσης σημαντικό κομμάτι αποτέλεσε η μετατροπή του bitcode σε format κατάλληλο ώστε να μπορεί να αποθηκευτεί σε μια βάση δεδομένων. Για την διαδικασία αυτή επιλέχθηκε η χρήση των μεθόδων toBitCode() και toByteArray() οι οποίες μετατρέπουν από bitcode σε ένα byte array στο οποίο αναπαριστάται μια ακολουθία 8bits σε 1 byte. Μετά τη διαδικασία της μετατροπής κάθε byte αποθηκεύεται στη βάση ως μέρος μιας συμβολοσειράς. Η αντίστροφη διαδικασία εκτελείται για την ανάκτηση του bitcode από τη βάση δεδομένων.

Οι μέθοδοι toBitCode() και toByteArray() διαχειρίζονται bytes για κάθε ακολουθία 8bits σε ένα bitcode. Ανάλογα με τη θέση κάθε σετ 8bits, προστίθενται οι αντίστοιχες τιμές στο byte ώστε να αντιπροσωπεύεται κάθε δυνατός συνδυασμός των 8bits. Κατά την αντίστροφη διαδικασία κάθε ακολουθία 8bits επαναδημιουργείται έτσι ώστε κάθε byte value να αναπαριστάται από την ακολουθία των 8bits.

3.5.2 Τελική αρχιτεκτονική(3^η υλοποίηση)

Το παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζει την τελική μορφή της υλοποίησης μας.



Η λειτουργικότητα του είναι η εξής:

- Ένα γραφικό περιβάλλον(GUI) το οποίο μας παρέχει αλληλεπίδραση με το χρήστη.
- Τη δυνατότητα στο χρήστη να εισάγει την εικόνα μιας ίριδας είτε από τη βάση δεδομένων CASIA είτε από τις φωτογραφίες που τραβήχτηκαν από το κινητό.

- Επεξεργασία της φωτογραφίας παράγοντας την «ξετυλιγμένη» ίριδα και την εξαγωγή του μοναδικού bitcode που της αντιστοιχεί.
- Ένδειξη επιτυχής ή όχι ταυτοποίησης βασισμένης στη σύγκριση του bitcode της εικόνας που εισάγουμε με όλα τα bitcodes που βρίσκονται αποθηκευμένα στη βάση δεδομένων.
- Τη δυνατότητα στο διαχειριστή να ανεβάσει και να προσθέσει νέες φωτογραφίες στη βάση δεδομένων.
- Εντοπισμό της ίριδας.
- Μια οπτική αναπαράσταση του bitcode της «ξετυλιγμένης» ίριδας.
- Μια ένδειξη για την απόσταση Hamming κατά τη σύγκριση δύο εικόνων.

Κεφάλαιο 4^ο

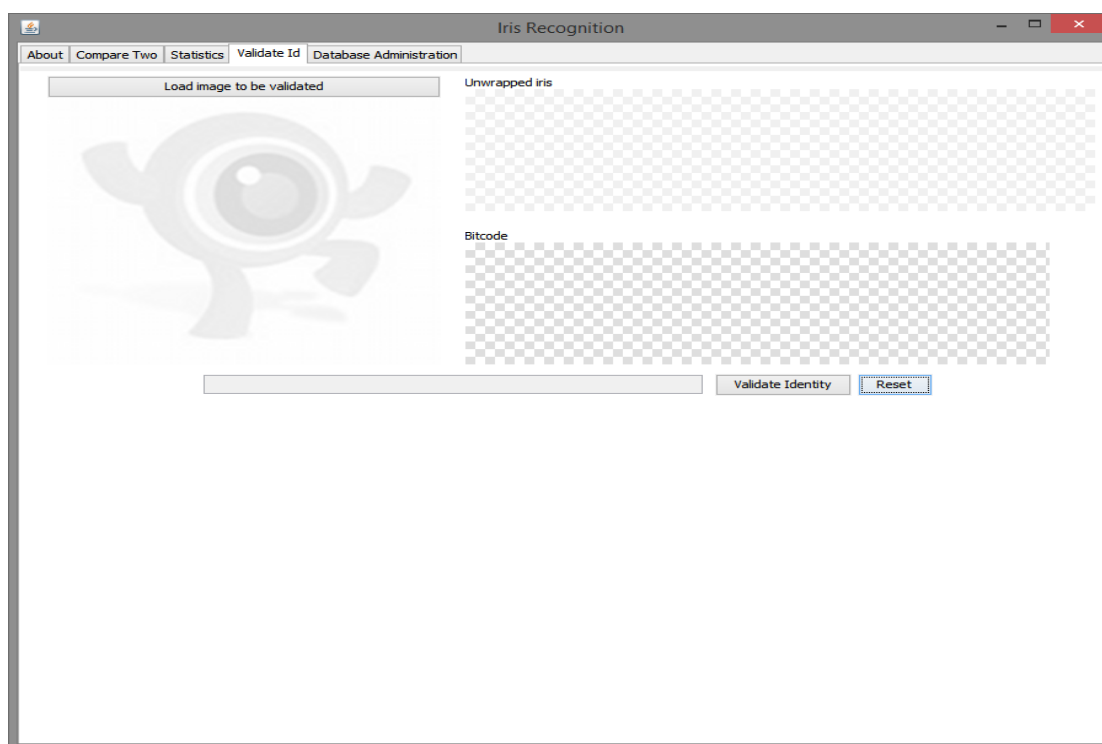
4.1 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

Για την παρουσίαση της λειτουργίας του προγράμματος αρχικά θα χρησιμοποιήσουμε τις εικόνες από τη βάση CASIA και στη συνέχεια τις φωτογραφίες που έχουμε τραβήξει μέσα από την εφαρμογή που δημιουργήσαμε.

Οι φωτογραφίες της βάσης CASIA έχουν ανάλυση 320x280, έχουν ληφθεί σε εσωτερικό περιβάλλον με σταθερές συνθήκες φωτισμού και παρέχουν στο χρήστη υψηλή ποιότητα εικόνες με πολύ καθαρές λεπτομέρειες της υφής της ίριδας

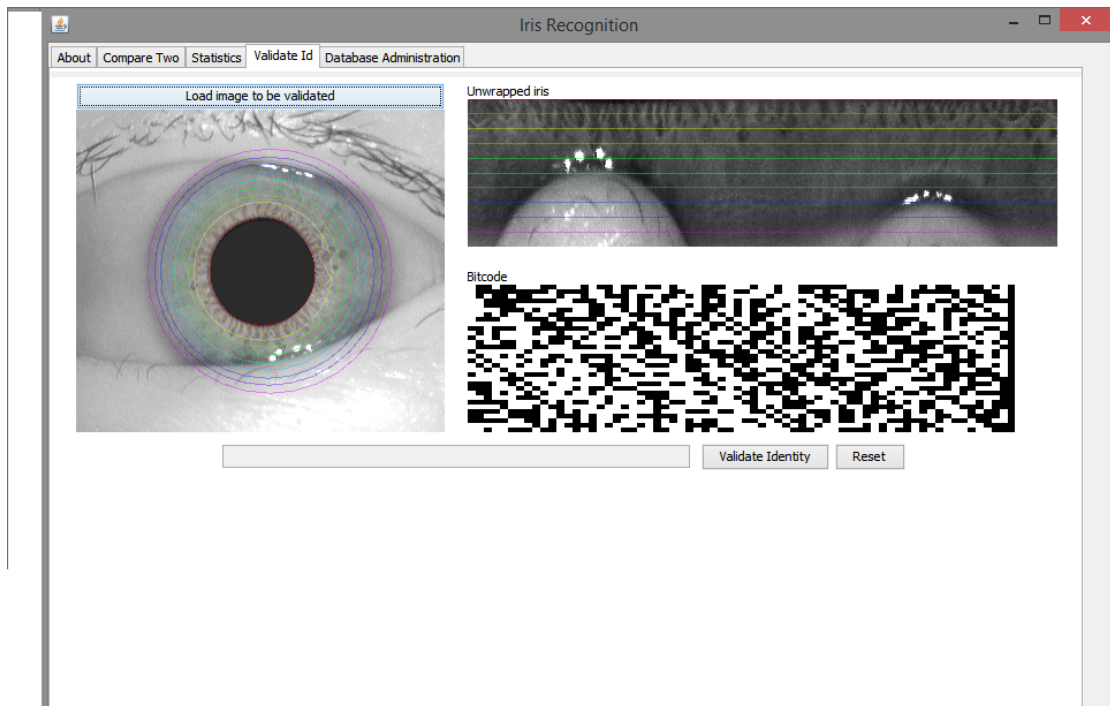
Ανοίγοντας το πρόγραμμα βλέπουμε πέντε tabs τα οποία είναι: About, Compare Two, Statistics, Validate ID and Database Administration. Στο κεφάλαιο αυτό θα εξηγήσουμε αναλυτικά τη λειτουργία των παραπάνω tabs.

Το tab “Validate ID” επιτρέπει στο χρήστη να «ανεβάσει» μια φωτογραφία ώστε να ελέγξει αν βρίσκεται στη βάση ή όχι. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το tab πριν την εισαγωγή της προς αναγνώριση εικόνας.



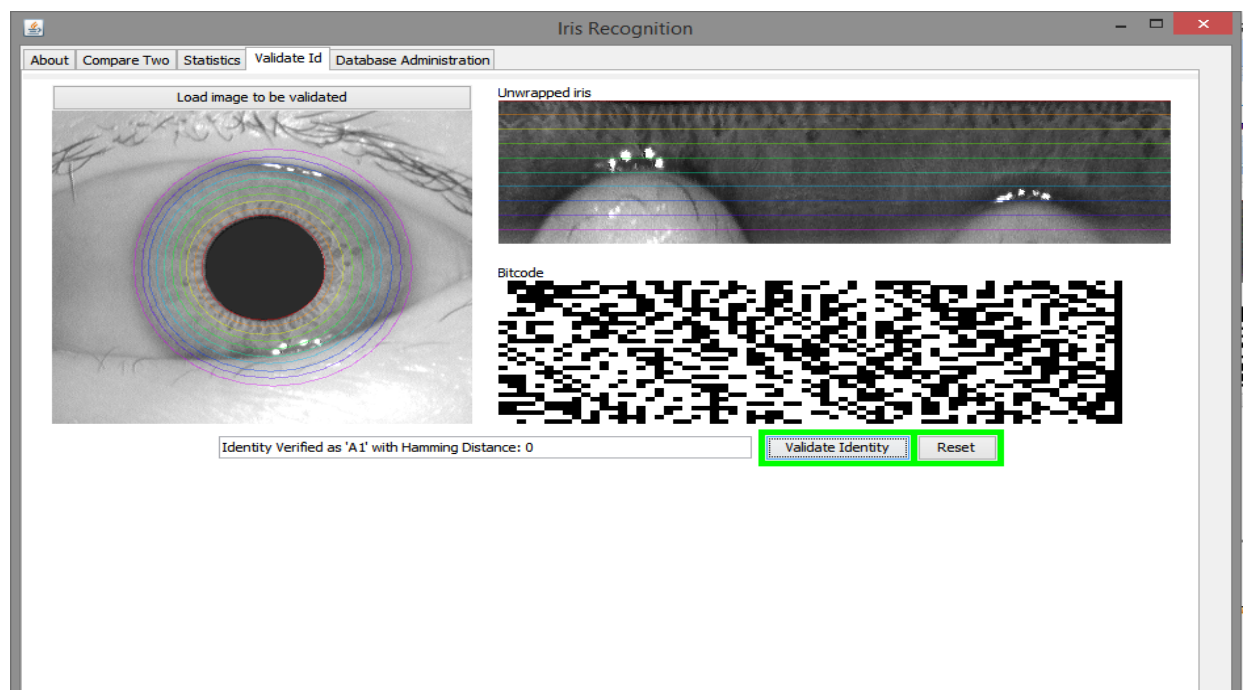
Εικόνα 4.1:Αρχικό tab

Πατώντας το κουμπί “load image to be validated” επιλέγουμε την εικόνα την οποία θέλουμε να εξετάσουμε. Μετά την εισαγωγή το tab θα έχει τη μορφή :



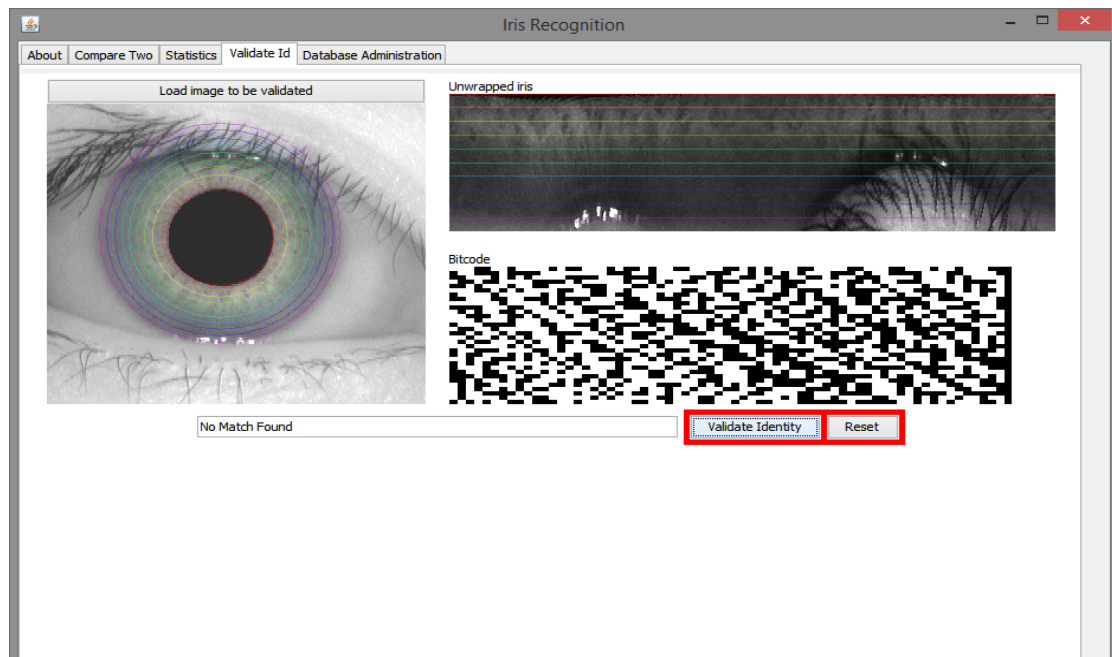
Εικόνα 4.2: Άνοιγμα της εικόνας

Στη συνέχεια πατώντας το κουμπί “validate identity” μπορούμε να δούμε αν η ταυτοποίηση είναι επιτυχής ή όχι. Η παρακάτω εικόνα μας δείχνει την περίπτωση επιτυχής αναγνώρισης



Εικόνα 4.3: Επιτυχής αναγνώριση

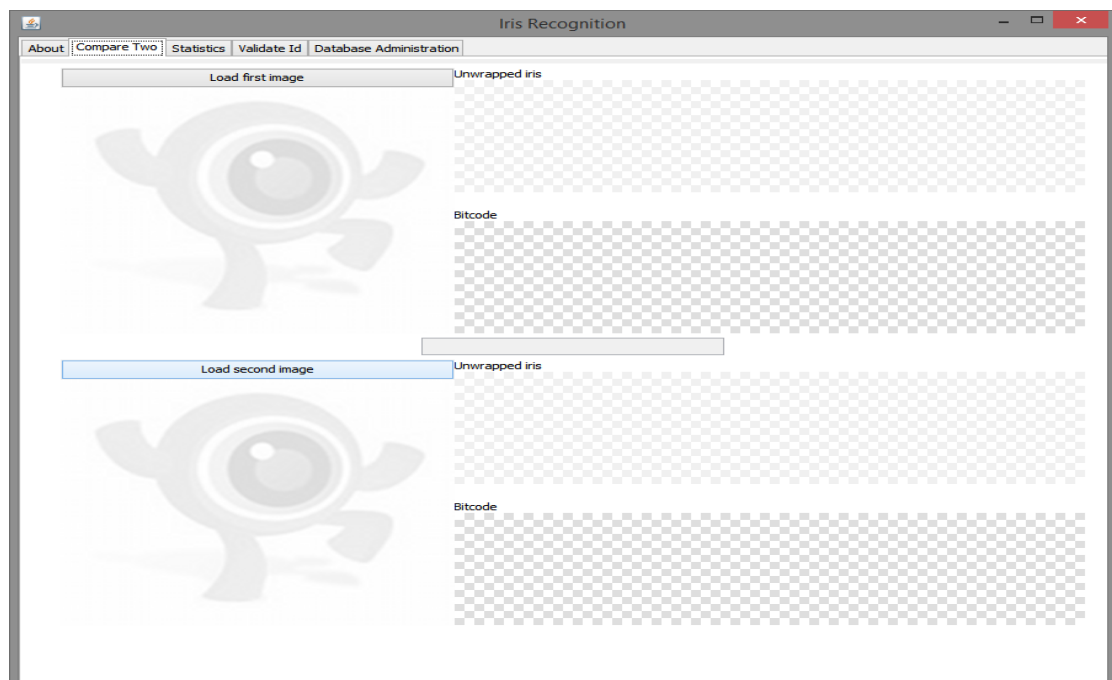
Ενώ στην περίπτωση μη ταυτοποίησης το αποτέλεσμα φαίνεται στην εικόνα 4.4 :



Εικόνα 4.4: Ανεπιτυχής αναγνώριση

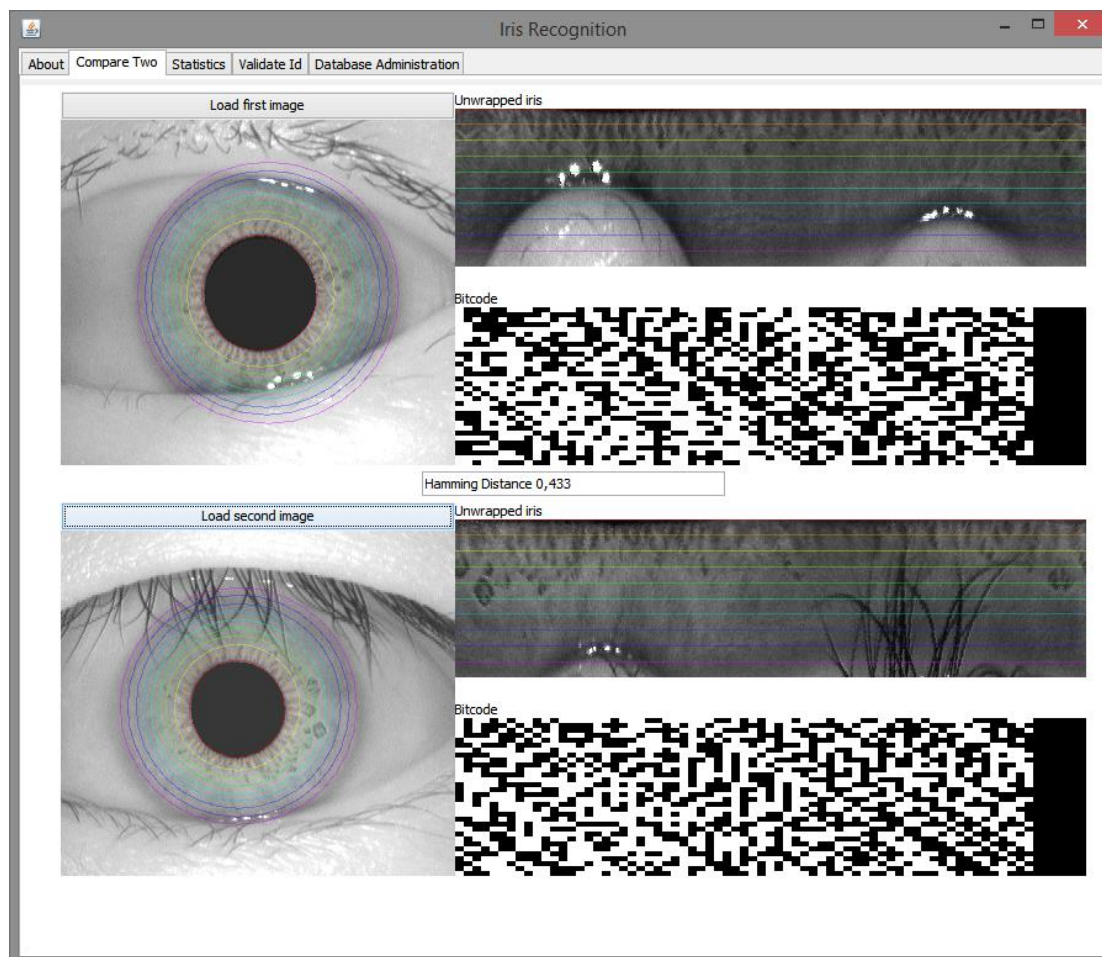
Επίσης δίνεται στο χρήστη η δυνατότητα να κάνει reset ώστε να φορτώσει νέα εικόνα προς αναγνώριση.

Στη συνέχεια το tab “compare two images” δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να συγκρίνει δυο εικόνες και ώστε να καθορίσει αν πρόκειται για το ίδιο άτομο ή όχι. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το tab πριν την εισαγωγή των εικόνων:



Εικόνα 4.5: Γραφικό για τη σύγκριση δυο εικόνων

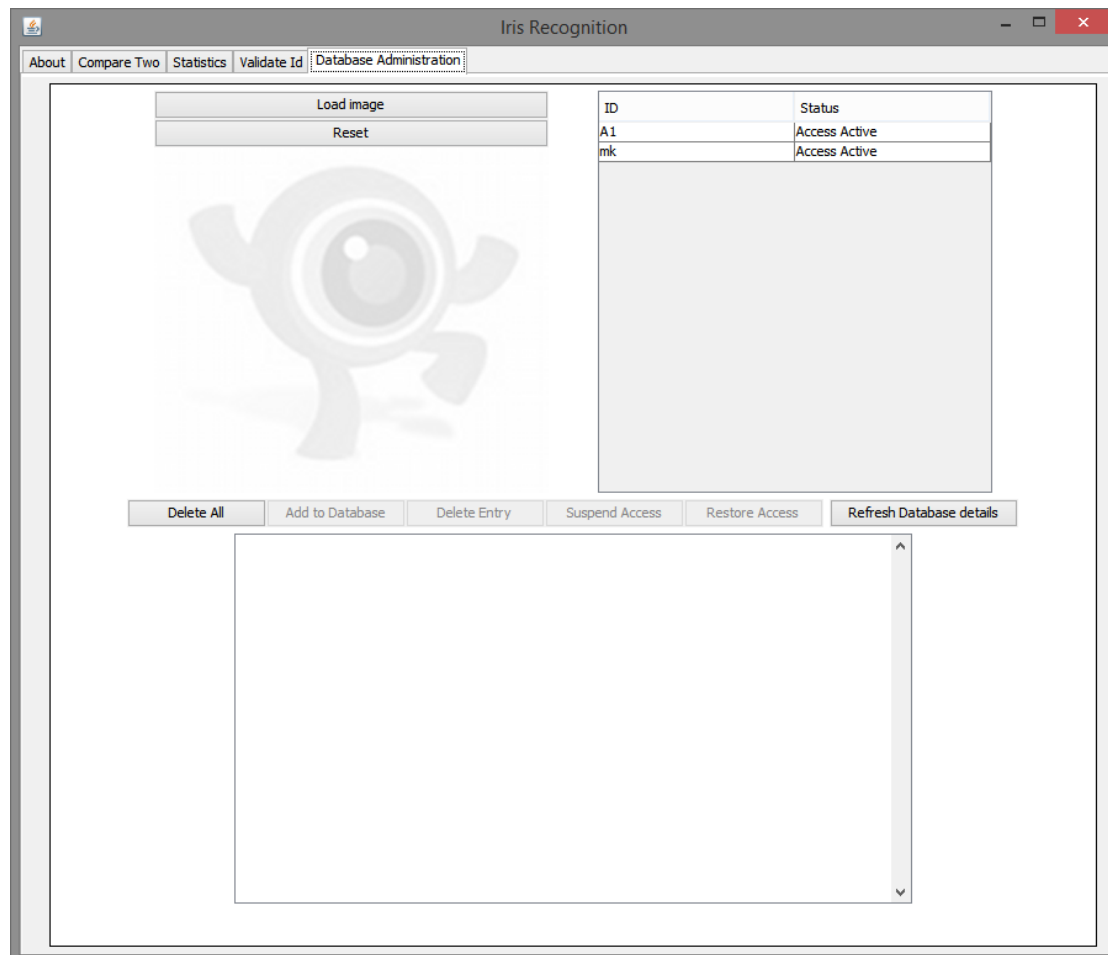
Στη συνέχεια πατώντας τα πλήκτρα “load first image” & “load second image” επιλέγουμε τις φωτογραφίες που θέλουμε να συγκρίνουμε.



Εικόνα 4.6: σύγκριση δυο εικόνων

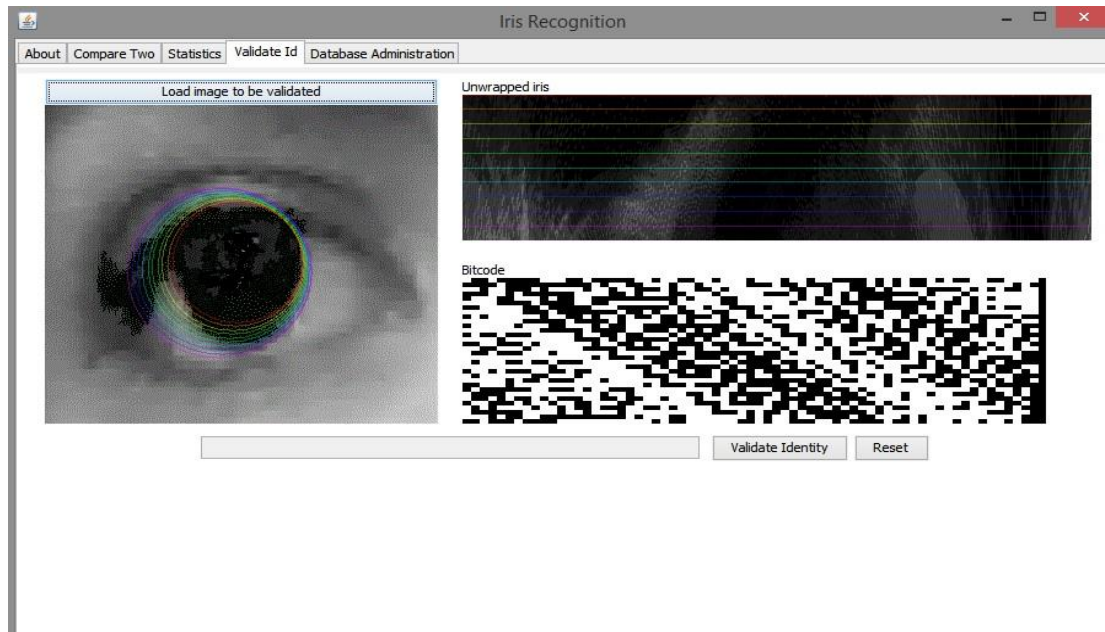
Όπως βλέπουμε εκτός από τις φωτογραφίες που ανεβάσαμε στο tab υπάρχει η «ξετυλιγμένη» εικόνα της ίριδας καθώς και η μετάφραση της σε bitrate. Το σημαντικότερο στοιχείο όμως είναι η απόσταση Hamming από την οποία συμπεραίνουμε αν πρόκειται για το ίδιο πρόσωπο ή όχι. Η απόσταση Hamming είναι το αποτέλεσμα ενός μαθηματικού υπολογισμού από τον οποίο μπορούμε να καθορίσουμε πόσο όμοιες είναι οι δυο εικόνες. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία αν η απόσταση Hamming είναι μικρότερη του 0.35 τότε έχουμε σχεδόν 100% επιτυχή ταυτοποίηση μεταξύ δυο εικόνων.

Στο tab “Database Administrator” βλέπουμε τις δυνατότητες του διαχειριστή της βάσης δεδομένων. Οι λειτουργίες που μπορεί να εκτελέσει ο διαχειριστής είναι η εισαγωγή ή διαγραφή ενός ατόμου από τη βάση, την αναστολή της πρόσβασης σε κάποιο συγκεκριμένο άτομο καθώς και τη διαγραφή όλων των δεδομένων της βάσης όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.



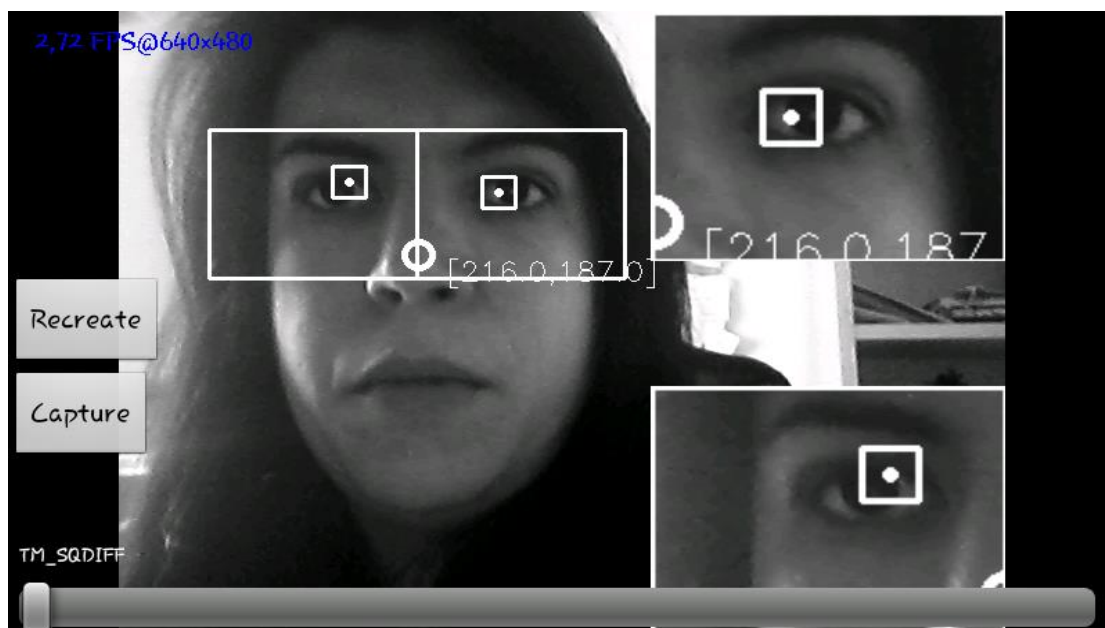
Εικόνα 4.7: Γραφικό της βάσης δεδομένων

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε το αποτέλεσμα που προκύπτει από την εισαγωγή της εικόνας που έχουμε λάβει μέσω της εφαρμογής που δημιουργήσαμε. Η φωτογραφία που επιλέχθηκε είναι ίσως η πιο καθαρή που μπορέσαμε να παράγουμε. Στο σημείο αυτό να αναφέρουμε πως αν συγκρίνουμε την παρακάτω εικόνα με τον εαυτό της τότε το αποτέλεσμα που παίρνουμε για την απόσταση Hamming είναι 0 και έχουμε επιτυχή αναγνώριση.



Εικόνα 4.8:Εικόνα μέσω του app

Τέλος παραθέτουμε και screenshot της Android εφαρμογής που υλοποιήσαμε.



Εικόνα 4.9: Screenshot app

4.2 Ανάλυση αποτελεσμάτων

Έχοντας παρουσιάσει τα γραφικά αποτελέσματα, σημαντικό είναι να παραθέσουμε και τους χρόνους εκτέλεσης των συγκρίσεων.

Αρχικά παρουσιάζουμε τον Πίνακα 4.1 με τους χρόνους που απαιτούνται για τη φόρτωση και τη σύγκριση δυο εικόνων, οι οποίες δεν είναι απαραίτητο να είναι αποθηκευμένες στη βάση δεδομένων.

Αριθμός εικόνων στο φάκελο	Χρόνος (sec)
10	1.001
20	1.018
30	1.02
40	1.022
50	1.021

Πίνακας 4.1: Χρόνοι για φόρτωση και σύγκριση δυο εικόνων

Όπως παρατηρούμε ο χρόνος που χρειάζεται για τη σύγκριση δυο εικόνων είναι περίπου 1sec. Αυτό σημαίνει ότι ο χρόνος που χρειαζόμαστε για τη σύγκριση είναι ανεξάρτητος του αριθμού των εικόνων που υπάρχουν στο φάκελο. Οι διαφορές που εντοπίζονται οφείλονται στις μικρές διαφορές μεγέθους της κάθε εικόνας και επηρεάζουν το χρόνο φόρτωσης.

Στη συνέχεια παρουσιάζουμε τον πίνακα 4.2 με τους χρόνους που απαιτούνται για την ταυτοποίηση εικόνων οι οποίες είναι αποθηκευμένες στη βάση δεδομένων.

Αριθμός καταχωρημένων εικόνων στη βάση	Χρόνος φόρτωσης εικόνας (sec)	Χρόνος επαλήθευσης
10	1.001	0.45
20	1.018	0.46
30	1.02	0.50
40	1.022	0.53
50	1.021	0.55

Πίνακας 4.2: Χρόνοι για την ταυτοποίηση εικόνων της βάσης

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα όσο αυξάνουμε τον αριθμό των εικόνων στη βάση μας τόσο αυξάνεται ο χρόνος που χρειάζεται για την ταυτοποίηση καθώς αυξάνεται ο αριθμός των συγκρίσεων που λαμβάνουν χώρα. Αυτό επιβεβαιώνει και τις βιβλιογραφικές αναφορές όπως αναλύθηκαν στα παραπάνω κεφάλαια.

Στην περίπτωση μας έχουμε σχεδόν 100% ποσοστό επιτυχίας καθώς οι εικόνες που χρησιμοποιούμε είναι οι καλύτερες δυνατές. Ακόμα όμως και στην μελέτη του Daugman σε μια βάση με 2258 εικόνες, η πιθανότητα λάθους αν η απόσταση Hamming είναι μεταξύ 0 και 0.33, ήταν 1 στα 16 εκατομμύρια.

4.3 Συμπεράσματα και επεκτάσεις

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η ανάπτυξη ενός συστήματος αναγνώρισης ίριδας με χρήση Android. Στα προηγούμενα κεφάλαια αναλύθηκαν τα προβλήματα που εντοπίστηκαν κατά την εκπόνηση της καθώς και οι τρόποι με τους οποίους επιχειρήθηκε να λυθούν. Βασικό πρόβλημα αποτέλεσαν οι περιορισμοί του hardware που χρησιμοποιήθηκε. Παρακάτω αναλύονται κάποιοι παράγοντες οι οποίοι χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης καθώς ενδέχεται να επηρεάζουν την ποιότητα των αποτελεσμάτων.

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που θα βελτίωνε ενδεχομένως το αποτέλεσμα είναι ο σωστός προσδιορισμός των εικονοστοιχείων(pixels) που αποτελούν τα εικονοστοιχεία της ίριδας. Τα εικονοστοιχεία της ίριδας προκύπτουν μετά από τον προσδιορισμό :

- του εσωτερικού και εξωτερικού ορίου της ίριδας με την κόρη και το σκληρό αντίστοιχα
- των εικονοστοιχείων, που παρόλο που βρίσκονται εντός της περιοχής της ίριδας, αντιστοιχούν σε βλεφαρίδες
- των εικονοστοιχείων, που παρόλο που βρίσκονται εντός της περιοχής της ίριδας, αντιστοιχούν σε αντανάκλαση.

Κατά την αναζήτηση τόσο του εσωτερικού όσο και του εξωτερικού ορίου της ίριδας έλαβε χώρα η αποδοχή πως τα όρια αυτά αποτελούν περιφέρειες κύκλου. Σε πολλές περιπτώσεις τόσο το εσωτερικό όσο και το εξωτερικό όριο της ίριδας με την κόρη και το σκληρό αντίστοιχα δεν περιγράφεται από την εξίσωση του κύκλου ούτε από την εξίσωση της έλλειψης, αλλά αποτελούν καμπύλες απροσδιόριστες σε σχέση με τις κωνικές τομές που έχουν μελετηθεί. Μια τροποποίηση στην παρούσα υλοποίηση για την εύρεση του εσωτερικού και εξωτερικού ορίου της ίριδας με την κόρη και το σκληρό αντίστοιχα, θα αποτελούσε αντί της αναζήτησης κύκλου και έλλειψης, η αναζήτηση γενικότερα κωνικής τομής.

Για τον εντοπισμό των εικονοστοιχείων που ανήκουν σε αντανάκλασεις ή σε βλεφαρίδες μια επέκταση θα μπορούσε να εντοπίζει τις καμπύλες που περιγράφουν το όριο της ίριδας με την κόρη, το σκληρό και τα βλέφαρα. Έπειτα υπολογίζεται η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της τιμής της φωτεινότητας των εικονοστοιχείων που έχει βρεθεί ότι ανήκουν εντός της ίριδας. Τα εικονοστοιχεία των οποίων η τιμή της φωτεινότητας αντιστοιχεί σε πιθανότητα μικρότερη από ένα κατώφλι, έστω T , θεωρείται ότι ανήκει είτε σε βλεφαρίδα είτε σε αντανάκλαση και εξαιρείται της περαιτέρω ανάλυσης, οπότε και δεν επηρεάζει τον τελικά διαμορφούμενο κώδικα της ίριδας.

Μια ακόμη επέκταση θα ήταν η καταγραφή των παραμέτρων που καταγράφουν την κίνηση του οφθαλμού. Συγκεκριμένα θα μπορούσαν να υπολογιστούν χαρακτηριστικά όπως η ταχύτητα ή/και κλεισίματος του οφθαλμού, μέσω της

ταυτόχρονης αναγνώρισης των ορίων των βλεφάρων, καθώς επίσης τις μεταβολές της ίριδας ως προς το χρόνο μέσω της αυτόματης αναγνώρισης της.

Τέλος η εφαρμογή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σ' ένα ευρύ φάσμα καθημερινών δραστηριοτήτων. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ξεκλείδωμα συσκευών όπως το κινητό τηλέφωνο, οι οποίες περιέχουν πολλά προσωπικά δεδομένα. Επίσης θα μπορούσε να βρει εφαρμογή σε κτήρια όπως νοσοκομεία, εργαστήρια, τράπεζες και άλλους χώρους όπου χρησιμοποιούνται βιομετρικές κλειδαριές.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] http://www.ofthalmiatroithess.gr/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=140&Itemid=857&lang=el
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/Iris_%28anatomy%29
- [3] Baluja, S., & Pomerleau, D. (1994). *Non-intrusive gaze tracking using artificial neural networks* (No. CMU-CS-94-102). CARNEGIE-MELLON UNIV PITTSBURGH PA DEPT OF COMPUTER SCIENCE.
- [4] Scott, D., & Findlay, J. M. (1993). *Visual search, eye movements and display units, human factors report*. Tech. rep., University of Durham.
- [5] Lessel, M. R., Thaler, A., Scheiber, V., & Heilig, P. (1993). Comparison of electro-oculogram recording methods. *Ophthalmic research*, 25(4), 245-252.
- [6] Gosbell, A. D., Barry, W. R., Favilla, I., & Burkitt, G. (1991). Computer-assisted analysis of the electro-oculogram. *Australian and New Zealand journal of ophthalmology*, 19(4), 335-341.
- [7] Daugman, J. G. (1993). High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 15(11), 1148-1161.
- [8] Barrett, A., and Biometrics Test Center. "Daugman's Iris Scanning Algorithm." *Biometrics Test Center, San Jose State University* 2.4 (2000): 00
- [9] Nabti, M., & Bouridane, A. (2008). An effective and fast iris recognition system based on a combined multiscale feature extraction technique. *Pattern Recognition*, 41(3), 868-879.
- [10] Kong, W. K., & Zhang, D. (2003). Detecting eyelash and reflection for accurate iris segmentation. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 17(06), 1025-1034.
- [11] Ren, X., Peng, Z., Zeng, Q., Peng, C., Zhang, J., Wu, S., & Zeng, Y. (2008). An improved method for Daugman's iris localization algorithm. *Computers in biology and medicine*, 38(1), 111-115.
- [12] Lipinski, B. (2004). Iris recognition: Detecting the pupil. *Connexions Web Site*.
- [13] Kuo, P., & Hannah, J. (2005, September). An improved eye feature extraction algorithm based on deformable templates. In *Image Processing, 2005. ICIP 2005. IEEE International Conference on* (Vol. 2, pp. II-1206). IEEE.

- [14] Kang, B. J., & Park, K. R. (2007). A robust eyelash detection based on iris focus assessment. *Pattern Recognition Letters*, 28(13), 1630-1639.
- [15] Ma, L., Tan, T., Wang, Y., & Zhang, D. (2004). Efficient iris recognition by characterizing key local variations. *Image Processing, IEEE Transactions on*, 13(6), 739-750.
- [16] Park, H. A., & Park, K. R. (2007). Iris recognition based on score level fusion by using SVM. *Pattern Recognition Letters*, 28(15), 2019-2028.
- [17] Carothers, M. T., Ngo, H. T., Rakvic, R. N., & Broussard, R. P. (2015, February). Iris unwrapping using the Bresenham circle algorithm for real-time iris recognition. In *IS&T/SPIE Electronic Imaging* (pp. 94000E-94000E). International Society for Optics and Photonics.
- [18] Carr, D., Lipinski, B., & Khabashesku, D. (2004). Iris recognition: Gabor filtering. *Connexions. Dec*, 18.
- [19] Tian, Y. L., Kanade, T., & Cohn, J. F. (2000). Dual-state parametric eye tracking. In *Automatic Face and Gesture Recognition, 2000. Proceedings. Fourth IEEE International Conference on* (pp. 110-115). IEEE.
- [20] <https://en.wikipedia.org/wiki/OpenCV>
- [21] Sobel, I., & Feldman, G. (1968). A 3x3 isotropic gradient operator for image processing.
- [22] Singh, S., & Singh, K. (2011). Segmentation Techniques for Iris Recognition System. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 2(4), 1-8.
- [23] Bresenham, J. (1977). A linear algorithm for incremental digital display of circular arcs. *Communications of the ACM*, 20(2), 100-106.
- [24] Chinese Academy of Sciences - Institute of Automation, Database of 756 Greyscale Eye Images (<http://www.sinobiometrics.com>)
- [25] <https://el.wikipedia.org/wiki/JDBC>
- [26] Daugman, J. (2004). How iris recognition works. *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on*, 14(1), 21-30.
- [27] Moreno, R. P., & Gonzaga, A. (2009). Features Vector For Personal Identification Based On Iris Texture. *Departamento de Engenharia Elétrica-EESC-USP, Februari*.
- [28] Kwapisz, J. R., Weiss, G. M., & Moore, S. (2010, September). Cell phone-based biometric identification. In *Biometrics: Theory Applications and Systems (BTAS), 2010 Fourth IEEE International Conference on* (pp. 1-7). IEEE.

[29] <https://www.android.com/>

[30] <http://developer.android.com/sdk/index.html>