



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**Μελέτη Φωτισμού Ίριδας Ματιού και Ενσωματωμένη
Εφαρμογή Android για Αναγνώριση Ίριδας**

Study of Lighting Methods of Eye Iris and Embedded Android
Application for Iris Identification

Σιαχάμης Χαράλαμπος

Χανιά, Ιανουάριος 2018

Εξεταστική επιτροπή:

Καθηγητής Απόστολος Δόλλας

Καθηγητής Κωνσταντίνος Μπάλας

Καθηγητής Μιχαήλ Ζερβάκης

Περίληψη

Η βιομετρική ταυτοποίηση χρησιμοποιείται στην επιστήμη των υπολογιστών ως μια μορφή αναγνώρισης και ελέγχου πρόσβασης. Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερα συστήματα χρησιμοποιούν έλεγχο πρόσβασης με βιομετρική ταυτοποίηση, γιατί εκτός από την ασφάλεια, προσφέρουν και ευκολία σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η σχεδίαση και υλοποίηση μιας ενσωματωμένης εφαρμογής αναγνώρισης ίριδας μέσω ενός Android smartphone. Η όλη υλοποίηση μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε τρία βασικά μέρη.

Αρχικά, έγινε μελέτη του φωτισμού, ώστε η φωτογραφία, που θα ληφθεί από το smartphone, να καλύπτει τις ελάχιστες προϋποθέσεις (ανάλυση, φωτεινότητα, χρωματική ισορροπία) και να μπορεί να εφαρμοστεί ο αλγόριθμος αναγνώρισης.

Στη συνέχεια, υλοποιήθηκε ο αλγόριθμος αναγνώρισης της ίριδας που περιλαμβάνει τον εντοπισμό των εικονοστοιχείων, που ανήκουν στην ίριδα. Μετά, πραγματοποιήθηκε η μετατροπή των καρτεσιανών συντεταγμένων των εικονοστοιχείων, που βρέθηκαν να ανήκουν στην ίριδα σε πολικές συντεταγμένες. Κατόπιν, εκτελέστηκε η κωδικοποίηση των εικονοστοιχείων της ίριδας. Συγκρίνοντας τελικά τους κωδικούς που αντιστοιχούν στις ίριδες, αποφασίστηκε η ταυτοποίηση του ατόμου.

Τέλος, αναπτύχθηκε μια εφαρμογή σε λειτουργικό Android, η οποία επιτρέπει στο χρήστη να φωτογραφίσει την ίριδα ενός ατόμου. Επιπλέον δίνεται η δυνατότητα να την συγκρίνει άμεσα με μια δεύτερη φωτογραφία, ελέγχοντας την ομοιότητα τους, βάσει του προηγούμενου αλγορίθμου.

Abstract

Biometric identification is used in computer science as a form of identification and access control. In recent years, more and more systems use access control with biometric identification, because apart from the security, they offer convenience compared to traditional methods.

The aim of this diploma thesis is the design and implementation of an embedded iris recognition application through an Android smartphone. The whole implementation can be divided into three basic parts.

Initially, lighting was studied, so that the photo captured by the smartphone, meets the minimum requirements (resolution, brightness, color balance) and the recognition algorithm can be applied.

The iris recognition algorithm was then implemented to identify the pixels belonging to the iris. Furthermore, the Cartesian coordinates conversion of the pixels found to belong to the iris was realized on polar coordinates. Moreover, the coding of the iris pixels was performed. Comparing at last the codes corresponding to the irises, the identification of the person was decided.

Finally, an Android application was developed, which allows the user to photograph a person's iris. Also, it is possible to compare it directly with a second photo by checking their similarity, based on the previous algorithm.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Απόστολο Δόλλα, για την καθοδήγηση, την υπομονή και την ευκαιρία να διευρύνω τις γνώσεις μου στον τομέα των ενσωματωμένων συστημάτων και της ανάπτυξης εφαρμογών Android. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές Μιχάλη Ζερβάκη και Κωνσταντίνο Μπάλα, για την καθοδήγηση και τις συμβουλές όσον αφορά το φωτισμό και την επεξεργασία εικόνας καθώς και για τη συμμετοχή τους στην τριμελή επιτροπή. Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη στήριξη που μου έδωσαν όλα αυτά τα χρόνια.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	10
1.1 Εισαγωγή στην αναγνώριση ίριδας.....	10
1.2 Σκοπός και συνεισφορά της διπλωματικής	10
1.3 Περιγραφή της διπλωματικής.....	11
Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	12
2.1 Ιστορική αναδρομή	12
2.2 Ανατομία του οφθαλμού	13
2.3 Βιομετρία.....	15
2.3.1 Βιομετρικό σύστημα.....	16
2.4 Συστήματα Εντοπισμού του Οφθαλμού	18
2.4.1 Ανίχνευση της περιφέρειας του κερατοειδούς.....	19
2.4.2 Ανίχνευση της κόρης του ματιού	19
2.4.3 Συσχετισμός της αντανάκλασης από την κόρη και τον κερατοειδή	20
2.4.4 Ανίχνευση ειδώλων Purkinje	20
2.4.5 Ανάκλαση από τον κερατοειδή και απεικόνιση του ματιού με χρήση τεχνητού νευρωνικού δικτύου.....	21
2.4.6 Χρήση κατάλληλου κινητού τηλεφώνου.....	22
2.5 Τεχνικές ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας για αναγνώριση ίριδας	23
2.6 Ανοιχτά προβλήματα.....	26
Τεχνολογίες για την Ανάπτυξη του Συστήματος	28
3.1 Εισαγωγή στα ενσωματωμένα συστήματα.....	28
3.2 Χαρακτηριστικά των ενσωματωμένων συστημάτων	28
3.3 Arduino Uno Rev3	29
3.4 Αισθητήρες.....	31
3.4.1 Φωτοαντίσταση.....	31
3.4.2 RGB LED	33
3.4.3 Φίλτρο Χρώματος.....	34
3.4.4 Google Cardboard	35
3.4.5 Τρισδιάστατη Εκτύπωση	36
3.5 Γλώσσα Προγραμματισμού Arduino.....	37
3.5.1 Σχεδιάγραμμα (Sketch)	37
3.5.2 Συναρτήσεις setup() και loop() (Special Functions)	37
3.6 Γλώσσα προγραμματισμού Android	38
Σχεδίαση και Υλοποίηση Συστήματος.....	41

4.1	Αλγόριθμος.....	41
4.1.1	Εντοπισμός των εικονοστοιχείων που ανήκουν στην ίριδα	41
4.1.2	Μετατροπή των καρτεσιανών συντεταγμένων των εικονοστοιχείων που βρέθηκαν να ανήκουν στην ίριδα σε πολικές συντεταγμένες («Ξετύλιγμα» ίριδας)	44
4.1.3	Κωδικοποίηση των εικονοστοιχείων της ίριδας (δημιουργία iris code).....	46
4.1.4	Απόσταση Hamming.....	47
4.1.5	Περιγραφή του Αλγορίθμου σε JAVA.....	48
4.2	Εφαρμογή.....	50
4.3	Προβλήματα και Αντιμετώπιση	53
	Αποτελέσματα και Αξιολόγηση.....	60
5.1	Σύστημα Φωτισμού.....	60
5.2	Αλγόριθμος Αναγνώρισης	61
5.3	Εφαρμογή Android	63
5.4	Ποσοστό Αναγνώρισης.....	67
5.5	Σύγκριση με παρόμοιες υλοποιήσεις.....	69
	Συμπεράσματα και Μελλοντικές Επεκτάσεις	71
6.1	Συμπεράσματα	71
6.2	Μελλοντικές Επεκτάσεις	71
	Βιβλιογραφία	73

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή στην αναγνώριση ίριδας

Η ίριδα του ματιού έχει περιγραφεί ως το ιδανικό μέρος του ανθρώπινου σώματος για αρκετούς λόγους.

Είναι ένα εσωτερικό όργανο, το οποίο είναι πολύ καλά προστατευμένο από ζημιές και φθορές από μια διαφανή και ευαίσθητη μεμβράνη (κερατοειδής χιτώνας). Αυτό την διακρίνει, για παράδειγμα από τα δακτυλικά αποτυπώματα, τα οποία μπορεί να είναι δύσκολο να αναγνωριστούν μετά από χρόνια άσκησης ορισμένων τύπων χειρωνακτικής εργασίας. Η ίριδα είναι ως επί το πλείστον επίπεδη και η γεωμετρική της σύνθεση ελέγχεται μόνο από δύο συμπληρωματικούς μύες (τον σφικτήρα και τον διαστολέα μύ της κόρης) που ελέγχουν τη διάμετρο της κόρης. Αυτό καθιστά το σχήμα της ίριδας πολύ πιο προβλέψιμο από αυτό του προσώπου για παράδειγμα.

Η ίριδα έχει μια λεπτή υφή που καθορίζεται τυχαία κατά τη διάρκεια της εμβρυικής κύησης. Όπως και το δακτυλικό αποτύπωμα, είναι πολύ δύσκολο (αν όχι αδύνατο) να αποδειχτεί ότι η ίριδα είναι μοναδική. Ωστόσο, υπάρχουν τόσοι πολλοί παράγοντες που συμμετέχουν στο σχηματισμό αυτών των υφών που η πιθανότητα ψευδούς ταιριάσματος είναι εξαιρετικά χαμηλή. Ακόμα και γενετικά πανομοιότυπα άτομα έχουν εντελώς ανεξάρτητες υφές ίριδας.

Μια σάρωση της ίριδας είναι παρόμοια με τη λήψη μιας φωτογραφίας και μπορεί να εκτελεστεί από λίγα εκατοστά έως και λίγα μέτρα μακριά. Δεν υπάρχει ανάγκη για το άτομο που θα αναγνωριστεί, να αγγίξει οποιοδήποτε άλλο εξοπλισμό που έχει πρόσφατα αγγιχτεί από έναν ξένο. Με αυτό τον τρόπο εξαλείφεται η ένσταση που έχει τεθεί σε ορισμένες κουλτούρες εναντίον των δακτυλικών αποτυπωμάτων, όπου ένα δάκτυλο πρέπει να αγγίξει μια επιφάνεια.

Παρά το ότι υπάρχουν κάποιες ιατρικές και χειρουργικές διαδικασίες που μπορούν να επηρεάσουν το χρώμα και το συνολικό σχήμα της ίριδας, η λεπτή υφή παραμένει αξιοσημείωτα σταθερή κατά τη διάρκεια πολλών δεκαετιών. Ορισμένες ταυτοποιήσεις ίριδας έχουν πετύχει σε μια περίοδο περίπου 30 ετών. Η αναγνώριση της ίριδας λειτουργεί ακόμα και με φακούς επαφής ή γυαλιά.

1.2 Σκοπός και συνεισφορά της διπλωματικής

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η σχεδίαση και η υλοποίηση ενός ενσωματωμένου συστήματος αναγνώρισης της ίριδας του οφθαλμού με χρήση ενός

απλού smartphone. Χρησιμοποιώντας την κάμερα του τηλεφώνου μας μπορούμε να έχουμε ένα απλό και φθινό σύστημα αναγνώρισης ίριδας, που μας εξασφαλίζει ένα καλό ποσοστό αναγνώρισης, χωρίς να χρειαζόμαστε ακριβό και περίπλοκο εξοπλισμό. Συγκεκριμένα, μελετήθηκε εξ αρχής το θέμα του ελεγχόμενου φωτισμού και κατά πόσον αυτός μπορεί να επηρεάσει το ποσοστό αναγνώρισης. Σε αρχικό στάδιο, υλοποιήθηκε ένα σύστημα φωτισμού που ελέγχει τον περιβάλλοντα φωτισμό και διορθώνει ως προς την φωτεινότητα αλλά και φασματικά την εικόνα. Στη συνέχεια, αναπτύχθηκε ειδικό κλειστό «κουτί», ώστε να γίνουν πειράματα σε εργαστηριακές συνθήκες. Στο κομμάτι του λογισμικού χρειάστηκε να επεκταθεί η δουλειά από προηγούμενη διπλωματική στις εξής κατευθύνσεις: (α) μεγαλύτερες βιβλιοθήκες ιρίδων για αναγνώριση σε περισσότερο ρεαλιστικές συνθήκες, (β) βελτίωση του αλγορίθμου για μεγαλύτερο ποσοστό αναγνώρισης, (γ) κώδικα γραμμένο από την αρχή στην πλατφόρμα του Android (Java) για μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα σε ενσωματωμένες εφαρμογές καθώς και μικρότερο μέγεθος και μεγαλύτερη αποδοτικότητα δεδομένης της περιορισμένης επεξεργαστικής ισχύος των Android συσκευών.

1.3 Περιγραφή της διπλωματικής

Σε αυτή την εργασία, θα αναλυθούν τα στάδια ανάπτυξης της εφαρμογής και όλη η απαιτούμενη λειτουργικότητα για την αναγνώριση της ίριδας. Μετά από την εισαγωγή έπονται πέντε κεφάλαια, καθένα από τα οποία αναφέρεται στα διάφορα στάδια της ανάπτυξης και της υλοποίησης της εφαρμογής και των παρελκόμενων. Πιο συγκεκριμένα, στο δεύτερο κεφάλαιο πραγματοποιείται βιβλιογραφική αναφορά, που περιλαμβάνει στοιχεία σχετικά με την ανατομία του οφθαλμού και της βιομετρίας, σχετικές εργασίες, τεχνικές εντοπισμού του οφθαλμού καθώς και ανοιχτά προβλήματα. Στο τρίτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται μια πιο λεπτομερής περιγραφή του συστήματος, των απαιτήσεων και της μοντελοποίησης του προβλήματος. Το τέταρτο κεφάλαιο, περιγράφει το στάδιο του σχεδιασμού και της μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε και την πλήρη αρχιτεκτονική του συστήματος, εξηγώντας τον αλγόριθμο που χρησιμοποιήθηκε, καθώς και λύσεις σε προβλήματα που εμφανίστηκαν. Τα αποτελέσματα της εργασίας παρουσιάζονται στο πέμπτο κεφάλαιο, μαζί με της αξιολόγησή τους. Τέλος, το έκτο κεφάλαιο ολοκληρώνει τη διπλωματική με τα τελικά συμπεράσματα και κάποιες επεκτάσεις για πιθανή μελλοντική εργασία.

Κεφάλαιο 2

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Ιστορική αναδρομή

Η ιδέα πίσω από την αναγνώριση της ίριδας έχει μια μεγάλη ιστορία και σήμερα επωφελείται από πολλούς επιστημονικούς παράγοντες. Το 1953, σε ένα κλινικό βιβλίο ο F.H. Adler έγραψε «Στην πραγματικότητα, οι σημάνσεις της ίριδας είναι τόσο διακριτικές που έχει προταθεί να χρησιμοποιούνται φωτογραφίες ως μέσα αναγνώρισης, αντί για τα δακτυλικά αποτυπώματα.». Ο Adler αναφέρθηκε στα σχόλια του Βρετανού οφθαλμίατρου J. H. Doggart, ο οποίος το 1949 είχε γράψει ότι: «Όπως κάθε άνθρωπος έχει διαφορετικά δακτυλικά αποτυπώματα, έτσι και η αρχιτεκτονική κάθε ίριδας παρουσιάζει διακυμάνσεις σε κάθε ζήτημα που εξετάζεται. Τα χαρακτηριστικά της ίριδας αντιπροσωπεύουν μια σειρά μεταβλητών παραγόντων των οποίων οι παραλλαγές και οι συνδυασμοί είναι σχεδόν άπειροι.». Το 1980 δύο Αμερικανοί οφθαλμίατροι, ο L. Flom και ο A. Safir κατάφεραν να πατεντάρουν τις εικασίες των Adler και Doggart ότι η ίριδα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως ανθρώπινο αναγνωριστικό, αλλά δεν είχαν κάποιον πραγματικό αλγόριθμο ή εφαρμογή να εκτελέσουν και έτσι το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας τους παρέμεινε εικασία.

Η βασική θεωρητική ιδέα στους αλγορίθμους του Daugman είναι ότι η αποτυχία μιας δοκιμής της στατιστικής ανεξαρτησίας μπορεί να είναι μια πολύ ισχυρή βάση για την αναγνώριση προτύπων, αν υπάρχει αρκετά υψηλή εντροπία (αρκετών βαθμών ελευθερίας της τυχαίας διακύμανσης) μεταξύ των δειγμάτων από διαφορετικές τάξεις. Το 1994, ο Daugman πατένταρε αυτή τη βάση για την αναγνώριση της ίριδας και των βασικών αλγορίθμων μηχανικής όρασης για επεξεργασία εικόνας, εξαγωγής χαρακτηριστικών και αναγνώρισης και τα δημοσίευσε σε ένα Paper. Αυτοί οι αλγόριθμοι έγιναν ευρέως γνωστοί και χρησιμοποιήθηκαν από μια σειρά εταιρειών: IriScan, Iridian, Sarnoff, Sensar, LG-Iris, Panasonic, Oki, BI2, IrisGuard, Unisys, Sagem, Enschede, Securimetrix και Morpho.

Μετά από διάφορες βελτιώσεις όλα αυτά τα χρόνια, αυτοί οι αλγόριθμοι παραμένουν και σήμερα η βάση όλων των σημαντικών δημόσιων εφαρμογών αναγνώρισης ίριδας. Ωστόσο, η έρευνα σε πολλές πτυχές αυτής της τεχνολογίας και σε εναλλακτικές μεθόδους, έχει ακμάσει και σήμερα υπάρχει μια ραγδαία αυξανόμενη ακαδημαϊκή βιβλιογραφία σχετικά με την οπτική, τη φωτονική, τους αισθητήρες, τη βιολογία, τη γενετική, την εργονομία, τις διασυνδέσεις, τη θεωρία

αποφάσεων, την κωδικοποίηση, τη συμπίεση, την ασφάλεια και τις μαθηματικές και υλικές πτυχές αυτής της τεχνολογίας.

Οι περισσότερες αναπτύξεις αυτών των αλγορίθμων έχουν εφαρμοστεί στα αεροδρόμια για την ταυτοποίηση του επιβάτη, αντί για την παρουσίαση του διαβατηρίου καθώς και για έλεγχο ασφαλείας. Στις αρχές αυτού του αιώνα, ξεκίνησαν μεγάλες αναπτύξεις στο αεροδρόμιο Schiphol του Άμστερνταμ και σε δέκα αεροδρόμια της Μεγάλης Βρετανίας, επιτρέποντας στους συχνούς ταξιδιώτες να παρουσιάζουν την ίριδα αντί του διαβατηρίου τους, σε ένα πρόγραμμα που ονομάζεται IRIS (Iris Recognition Immigration System). Παρόμοια συστήματα υπάρχουν κατά μήκος των συνόρων των ΗΠΑ – Καναδά. Η κυβέρνηση της Ινδίας εγγράφει τους κωδικούς ίριδας (όπως και τα δακτυλικά αποτυπώματα) όλων των 1.2 δισεκατομμυρίων πολιτών μέσα σε τρία χρόνια για την εθνική ταυτότητα και την πρόληψη της απάτης στον τομέα διανομής των δικαιωμάτων. Από τον Απρίλιο του 2016, η UIDAI (Unique Identification Authority of India) είχε εγγράψει πάνω από 1 δισεκατομμύρια άτομα σε αυτό το βιομετρικό πρόγραμμα. Η ίριδα είναι μια από τις τρεις βιομετρικές τεχνολογίες αναγνώρισης διεθνώς πιστοποιημένα από το 2006 από το ICAO για χρήση σε ηλεκτρονικά διαβατήρια (τα άλλα δύο είναι τα δακτυλικά αποτυπώματα και η αναγνώριση προσώπου).

2.2 Ανατομία του οφθαλμού

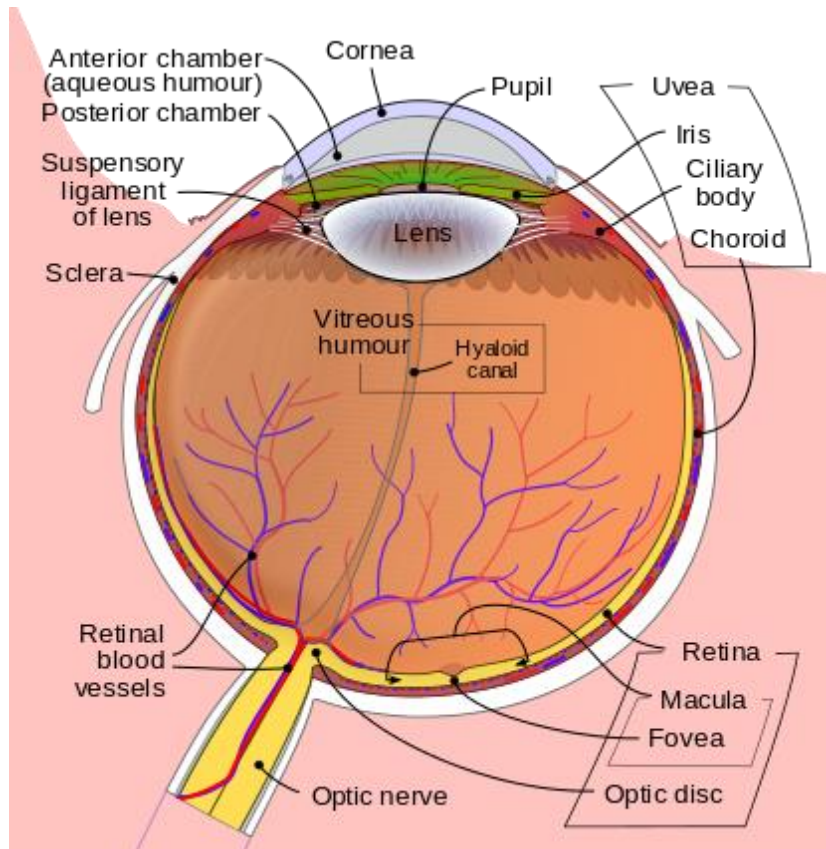
Τα μάτια είναι όργανα του οπτικού συστήματος[1]. Παρέχουν στους οργανισμούς την όραση, την ικανότητα να επεξεργάζονται κάθε οπτική λεπτομέρεια, καθώς και ενεργοποιούν αρκετές λειτουργίες απόκρισης οι οποίες είναι ανεξάρτητες της όρασης. Τα μάτια ανιχνεύουν το φως και το μετατρέπουν σε ηλεκτρο-χημικά ερεθίσματα στους νευρώνες. Στους ανώτερους οργανισμούς, το μάτι είναι ένα πολύπλοκο οπτικό σύστημα, το οποίο:

- συλλέγει φως από το γύρω περιβάλλον
- ρυθμίζει την ένταση του μέσω ενός διαφράγματος
- εστιάζει μέσω ενός ρυθμιζόμενου συστήματος φακών για να σχηματίσουν την εικόνα
- μετατρέπει την εικόνα σε ένα σύνολο ηλεκτρικών σημάτων
- μεταδίδει αυτά τα σήματα στον εγκέφαλο μέσω πολύπλοκων νευρικών μονοπατιών που συνδέουν το μάτι μέσω του οπτικού νεύρου στον οπτικό φλοιό και σε άλλες περιοχές του εγκεφάλου

Ο κάθε ένας από τους δύο οφθαλμούς αποτελείται 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

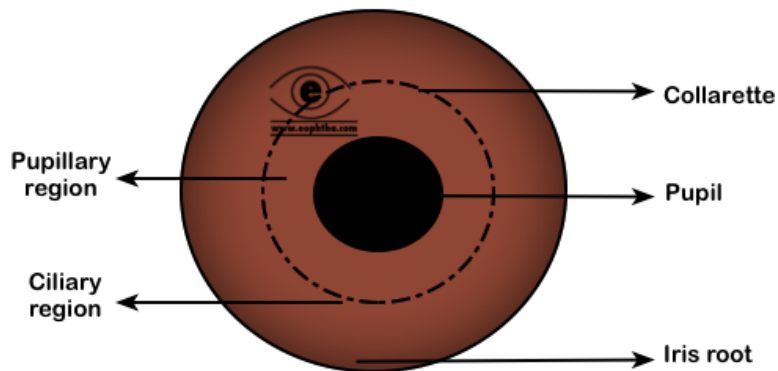
- τα βλέφαρα
- τον επιπεφυκότα υμένα
- τη δακρυϊκή συσκευή
- την περιοφθάλμιο περιτονία
- το κογχικό λίπος



Εικόνα 2.1: Ανατομία οφθαλμού

Πηγή: en.wikipedia.org/wiki/Human_eye#/media/File:Schematic_diagram_of_the_human_eye_en.svg

Η ίριδα αποτελεί το ένα από τα τρία ανατομικά στοιχεία του αγγειώδη χιτώνα του οφθαλμού, ο οποίος καλείται ραγοειδής. Η ίριδα είναι ένα λεπτό, κυκλικό διάφραγμα στο μάτι, υπεύθυνη για τον έλεγχο της διαμέτρου και το μέγεθος της κόρης καθώς επίσης και της ποσότητας του φωτός που φτάνει στον αμφιβληστροειδή. Το χρώμα του ματιού καθορίζεται από αυτό της ίριδας. Στην οπτική άποψη, η κόρη είναι το άνοιγμα του ματιού, ενώ η ίριδα είναι το διάφραγμα που χρησιμεύει ως στοπ διαφράγματος.



Εικόνα 2.2: Τμήματα οφθαλμού

Πηγή: www.eophtha.com/eophtha/Anatomy/anatomyofuvea.html

2.3 Βιομετρία

Ο όρος βιομετρία[2] αναφέρεται σε μετρήσεις που σχετίζονται με ανθρώπινα χαρακτηριστικά. Η βιομετρική ταυτοποίηση χρησιμοποιείται στην επιστήμη των υπολογιστών ως μια μορφή αναγνώρισης και ελέγχου πρόσβασης. Χρησιμοποιείται επίσης για την αναγνώριση ατόμων σε ομάδες που είναι υπό επιτήρηση.

Τα βιομετρικά αναγνωριστικά στοιχεία είναι τα διακριτικά, μετρήσιμα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται για τη σήμανση και την περιγραφή των ατόμων. Τα βιομετρικά αναγνωριστικά κατηγοριοποιούνται 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:

- τα δακτυλικά αποτυπώματα (fingerprints)
- η μέθοδος του Bertillon (Bertillonage)
- η αναγνώριση του προσώπου (facial recognition)
- η γεωμετρία του χεριού (hand geometry)
- η σάρωση του αμφιβληστροειδούς (retinal scan)
- τα αγγειακά σχέδια (vascular patterns)
- το αποτύπωμα της παλάμης (palm print)
- η ανάλυση του γενετικού υλικού (DNA analysis)
- η αναγνώριση της ίριδας (iris recognition)

Στο δεύτερο σύνολο ανήκουν τα βιομετρικά 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

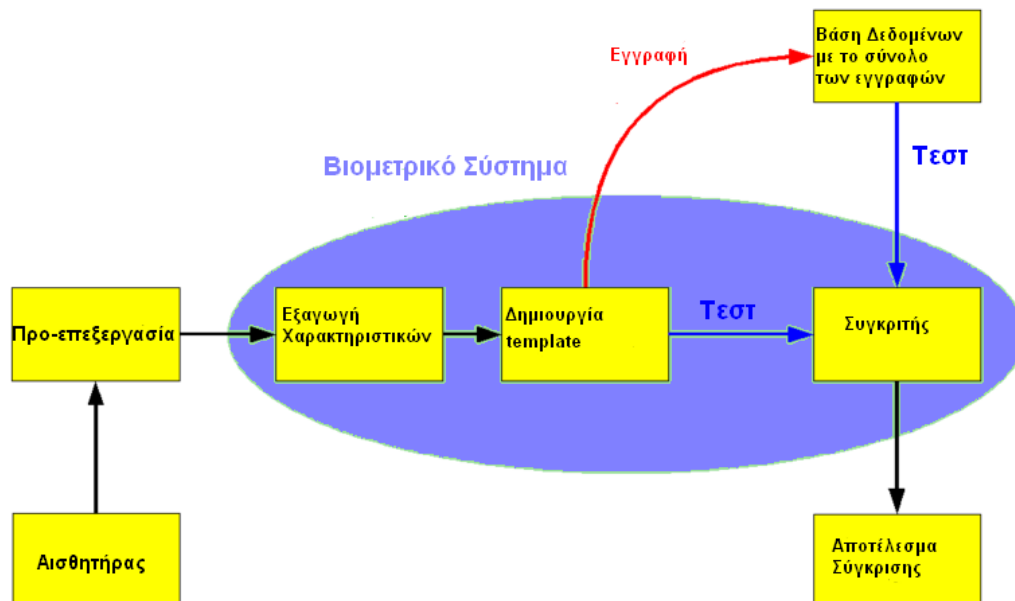
Πιο παραδοσιακά μέσα ελέγχου πρόσβασης περιλαμβάνουν συστήματα ταυτοποίησης που βασίζονται σε ενδείξεις, όπως η άδεια οδήγησης ή το διαβατήριο καθώς και συστήματα αναγνώρισης που βασίζονται στη γνώση, όπως ο κωδικός πρόσβασης ή ο προσωπικός αριθμός αναγνώρισης. Δεδομένου ότι τα βιομετρικά αναγνωριστικά είναι μοναδικά για κάθε άτομο, είναι πιο αξιόπιστα στην εξακρίβωση της ταυτότητας από τα παραδοσιακά μέσα ελέγχου πρόσβασης. Ωστόσο, η συλλογή των βιομετρικών στοιχείων εγείρει ανησυχίες σχετικά με την ιδιωτικότητα για την τελική χρήση αυτών των πληροφοριών.

2.3.1 Βιομετρικό σύστημα

Η διαδικασία ταυτοποίησης ενός ατόμου πραγματοποιείται μέσω ενός συστήματος, το οποίο καλείται “βιομετρικό σύστημα” και παρουσιάζεται διαγραμματικά στην εικόνα 2.3. Αρχικά, στη λειτουργία ελέγχου το σύστημα εκτελεί μια σύγκριση ένα-προς-ένα του βιομετρικού, που έχει καταγραφεί με ένα συγκεκριμένο πρότυπο, είναι αποθηκευμένο σε μια βιομετρική βάση δεδομένων, προκειμένου να εξακριβωθεί ότι το άτομο είναι αυτό που ισχυρίζεται ότι είναι. Τρία βήματα εκτελούνται στον έλεγχο ενός ατόμου:

- Δημιουργούνται τα πρότυπα αναφοράς για όλους τους χρήστες και αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων
- Κάποια δείγματα ταιριάζουν με τα πρότυπα αναφοράς για να υπολογιστεί το κατώτατο όριο
- Εκτελούνται διάφορες δοκιμές. Αυτή η διαδικασία μπορεί να κάνει χρήση μιας έξυπνης κάρτας, όνομα χρήστη ή αναγνωριστικό αριθμό για να υποδείξει ποιο πρότυπο θα χρησιμοποιηθεί για τη σύγκριση

Απαραίτητη προϋπόθεση για τη διαδικασία της ταυτοποίησης είναι να υπάρχει η εγγραφή του εν λόγω ατόμου, του οποίου η ταυτότητα πρόκειται να προσδιοριστεί. Δηλαδή, να υπάρχει εν ολίγοις αποθηκευμένο σε μια αντίστοιχη βάση δεδομένων ένα πρότυπο που αντιστοιχεί στο υπό εξέταση άτομο. Κατά τη διαδικασία λοιπόν της ταυτοποίησης, δημιουργείται εκ νέου εκείνη τη στιγμή ένα πρότυπο για το υπό εξέταση άτομο, το οποίο και συγκρίνεται με τα πρότυπα που είναι αποθηκευμένα στην εν λόγω βάση δεδομένων. Ταυτοποίηση επιτυγχάνεται όταν το ληφθέν πρότυπο ταιριάζει με κάποιο πρότυπο της βάσης δεδομένων (δηλαδή αν πληρείται το εκάστοτε μαθηματικό κριτήριο που έχει τεθεί).



Εικόνα 2.3: Τυπικό Βιομετρικό Σύστημα και σύστημα αναγνώρισης
 Πηγή: en.wikipedia.org/wiki/Biometrics#/media/File:Biometric_system_diagram.png

Σημαντικό είναι να τονιστεί η διαφορά μεταξύ των διαδικασιών που καλούνται επαλήθευση (verification) και αναγνώριση (recognition). Η διαδικασία της αναγνώρισης είναι αυτή που περιεγράφηκε παραπάνω, κατά την οποία το πρότυπο που δημιουργείται τη στιγμή του ελέγχου, συγκρίνεται με κάποια πρότυπα της βάσης δεδομένων, μέχρις ότου βρεθεί ένα πρότυπο με το οποίο θα ταιριάζει.

Αντίθετα, κατά τη διαδικασία της επαλήθευσης, συγκρίνεται το πρότυπο που δημιουργήθηκε με το ένα και μοναδικό πρότυπο που υπάρχει καταχωρημένο στη βάση δεδομένων. Στην ουσία κατά τη διαδικασία της αναγνώρισης βρίσκεται η ταυτότητα του ατόμου - αν αυτό είναι καταχωρημένο στη βάση δεδομένων - ενώ κατά τη διαδικασία της επαλήθευσης, αποδεικνύεται αν ο ισχυρισμός του υπό εξέταση ατόμου - ως προς την ταυτότητά του - είναι αληθής ή όχι.

Με την εισαγωγή των βιομετρικών αυτών μεθόδων ταυτοποίησης των ατόμων προκύπτουν διάφορα ζητήματα. Καταρχάς, 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. Στην περίπτωση που μένει αναλλοίωτο όμως, αν κάποιος παραποιήσει το πρότυπο που είναι καταχωρημένο για ένα άτομο, τότε το άτομο του οποίου το πρότυπο παραποιήθηκε, θα χάσει για πάντα την πρόσβαση στην εν λόγω εφαρμογή.

Ένας ακόμα κίνδυνος που ελλοχεύει είναι να κλαπεί ένα πρότυπο και να αναπαραχθεί στη συνέχεια ένα ψεύτικο αντίγραφο του συγκεκριμένου βιομετρικού χαρακτηριστικού. Το συγκεκριμένο γεγονός έχει ήδη εντοπιστεί, ιδίως σε παλαιότερες μεθόδους (π.χ. δακτυλικά αποτυπώματα). Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού ορισμένα βιομετρικά συστήματα χρησιμοποιούν αισθητήρες προκειμένου να εξασφαλιστεί η εξέταση «ζωντανού δείγματος» και όχι ενός τεχνητού επιθέματος.

Επιπρόσθετα, 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 ή πως αντιβαίνουν στους κανόνες υγιεινής. 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.

2.4 Συστήματα Εντοπισμού του Οφθαλμού

Στις παραγράφους που ακολουθούν, γίνεται ανάλυση των τεχνικών εντοπισμού του οφθαλμού και παρατίθεται σύγκριση τους ως προς τις δυνατότητες που προσφέρουν, τους περιορισμούς που θέτουν και την ευκολία με την οποία εφαρμόζονται. Σε αυτή τη διπλωματική εστιάζουμε στις τεχνικές που στηρίζονται στη χρήση καμερών, οι οποίες καταγράφουν εικόνες του οφθαλμού. Οι εικόνες αυτές μεταφέρονται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, όπου μετά την ψηφιοποίησή τους από έναν κατάλληλο ψηφιοποιητή πραγματοποιείται η περαιτέρω επεξεργασία τους για την εξαγωγή των επιθυμητών κάθε φορά χαρακτηριστικών και παραμέτρων.

Οι βασικές τεχνικές που στηρίζονται στην ανάκλαση του φωτός (κυρίως υπέρυθρου) από τον οφθαλμό είναι:

- 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)
- Ανάκλαση από τον κερατοειδή και η απεικόνιση του οφθαλμού με χρήση τεχνητού νευρωνικού δικτύου (corneal reflection and eye image using an artificial neural network)

2.4.1 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 (εύρος τιμών: 0 – 255). 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 [3].

2.4.2 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 (dark/bright pupil effect). Ο οφθαλμός μπορεί να εντοπιστεί με επιτυχία με αναγνώριση της κόρης στη εικόνα διαφορών που προκύπτει από αφαίρεση της εικόνας της σκούρας κόρης από την εικόνα της φωτεινής κόρης [4].

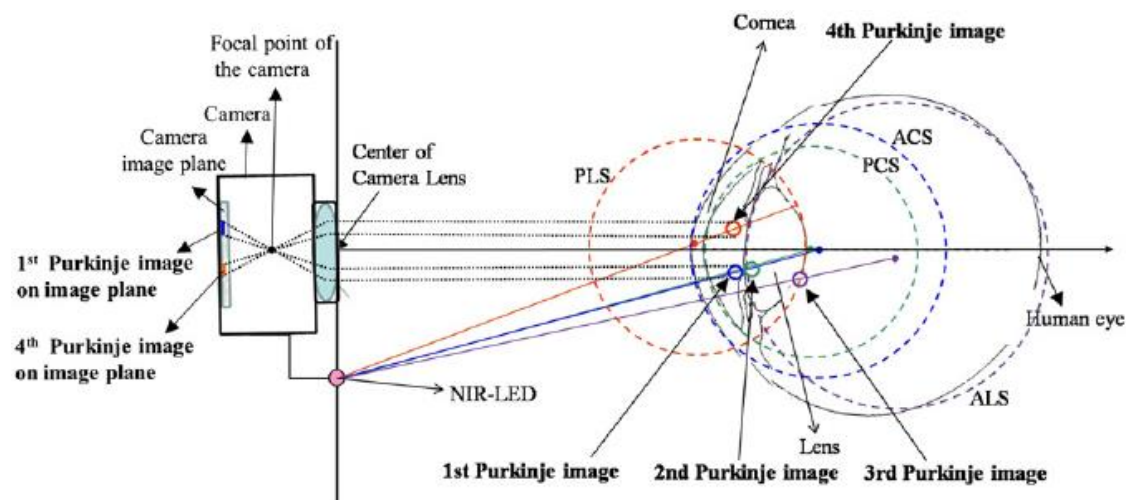
Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η συσκευή εντοπισμού του οφθαλμού πρέπει να παραμένει σταθερή σε σχέση με το κεφάλι του χρήστη. Τα πλεονεκτήματα αυτής της τεχνικής είναι ότι:

- η κόρη καλύπτεται από βλέφαρα πολύ λιγότερο σε σχέση με τον κερατοειδή και αυτό επιτρέπει και κατακόρυφη ανίχνευση παράλληλα με την 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 αυτήν της ίριδας και του σκληρού χιτώνα, γεγονός που καθιστά της εύρεση του ορίου αυτού δυσκολότερη [5].

2.4.3 Συσχετισμός της αντανάκλασης από την κόρη και τον κερατοειδή

Όταν υπέρυθρο φως προσπέσει πάνω στον οφθαλμό του χρήστη, παρατηρούνται ανακλάσεις στα όρια μεταξύ των φακών και του κερατοειδούς, τα επονομαζόμενα είδωλα Purkinje (Purkinje images), όπως φαίνεται στην εικόνα 2.4.



Εικόνα 2.4: Τα τέσσερα είδωλα Purkinje

Πηγή: R. J. K. Jacob, Eye tracking in advanced interface design, Oxford University Press

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

Τα προβλήματα που αντιμετωπίζει η τεχνική αυτή είναι αυτά που 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 τη μεταθέσει έξω από την εικόνα την περιοχή του οφθαλμού. Το εύρος μέσα στο οποίο μπορεί να εντοπιστεί η κατεύθυνση στην οποία κοιτάζει ο χρήστης, με χρήση απλών αλγορίθμων είναι $\pm 12^\circ$ - 15° . Τέλος είναι δυνατόν, με χρήση κατάλληλων γεωμετρικών διορθώσεων και υπολογισμών, να πραγματοποιηθεί διόρθωση της εστίασης [6].

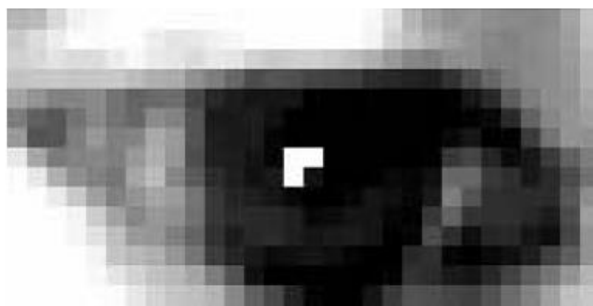
2.4.4 Ανίχνευση ειδώλων Purkinje

Το πρώτο και το τέταρτο από τα είδωλα Purkinje [7] μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση της κατεύθυνσης του βλέμματος με βάση την τεχνική της Διπλής Απεικόνισης Purkinje (Dual-Purkinje-Imaging), η οποία για το

σκοπό αυτό χρησιμοποιεί τη σχετική θέση των αντίστοιχων ανακλάσεων. Η τεχνική αυτή είναι γενικά πιο ακριβής από άλλες και η συχνότητα δειγματοληψίας (έως 4000 Hz) αρκετά υψηλή. Το μειονέκτημά της είναι ότι το τέταρτο είδωλο Purkinje είναι ασθενές με αποτέλεσμα να απαιτούνται αυστηρά ελεγχόμενες συνθήκες φωτισμού.

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

Η τεχνική αυτή, στην οποία οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται με τη βοήθεια ενός τεχνητού νευρωνικού δικτύου (Artificial Neural Network, ANN), αναπτύχθηκε το 1994 από τους Baluha και Pomerleau. Τα αρχικά δεδομένα αποτελούν ψηφιοποιημένες εικόνες video, που όμως στην περίπτωση αυτή προέρχονται από μια πιο ευρυγώνια λήψη, στην οποία ολόκληρο το κεφάλι του χρήστη βρίσκεται μέσα στο οπτικό πεδίο της κάμερας. Μια σταθερή πηγή φωτός τοποθετείται μπροστά από το χρήστη και η λειτουργία του συστήματος ξεκινάει με τον εντοπισμό του δεξιού ματιού από την ανάκλαση αυτού του φωτός, η οποία δημιουργεί μια μικρή, πολύ φωτεινή περιοχή που περικλείεται από μια σκοτεινότερη περιοχή. Το σύστημα στη συνέχεια εξάγει μια μικρή περιοχή (συνήθως μόνο 40X15 pixels) με κέντρο τη φωτεινή περιοχή του ειδώλου και την τροφοδοτεί σε ένα νευρωνικό δίκτυο, η έξοδος του οποίου είναι οι συντεταγμένες της συγκεκριμένης φωτεινής περιοχής. Αναγνωρίζοντας αυτόματα και μέσω του νευρωνικού δικτύου, τη συγκεκριμένη περιοχή, το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αυτόματη αναγνώριση της κατάστασης του οφθαλμού σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.



Εικόνα 2.5: Παράδειγμα περιοχής 40X15 pixels χαμηλής διακριτικής ικανότητας που απεικονίζει το μάτι του χρήστη σε μια ευρυγώνια λήψη video

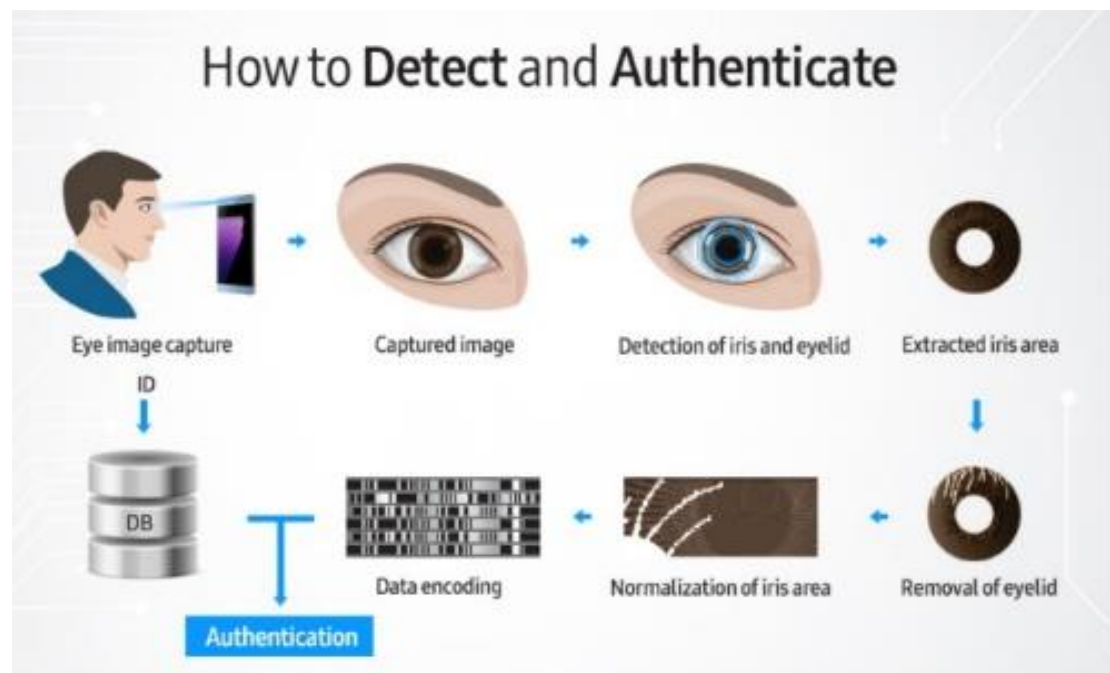
Η χρήση του τεχνητού νευρωνικού δικτύου έχει μεγαλύτερες απαιτήσεις σε σχέση με την απλή ρύθμιση του συστήματος που απαιτείται σε προηγούμενες τεχνικές. Η ακρίβεια της τεχνικής αυτής δεν είναι τόσο ικανοποιητική αλλά το πλεονέκτημά της βρίσκεται στο γωνιακό εύρος της λαμβανόμενης εικόνας, που επιτρέπει στο χρήστη να κινεί το κεφάλι του έως και 30 cm. Παρόλα αυτά, η συγκεκριμένη τεχνική μπορεί να εφαρμοστεί σε περιπτώσεις που δεν απαιτείται μεγάλη ακρίβεια.

2.4.6 Χρήση κατάλληλου κινητού τηλεφώνου

Samsung Galaxy Note 7

Η Samsung παρουσίασε τον Αύγουστο του 2016 το Samsung Galaxy Note 7, το οποίο διαθέτει σκάνερ ίριδας, μια δυνατότητα που βλέπουμε για πρώτη φορά σε mainstream συσκευή κινητής κορυφαίου κατασκευαστή. Το συγκεκριμένο smartphone έχει μια δεύτερη κάμερα στο εμπρόσθιο μέρος της συσκευής με αποκλειστικό της αντικείμενο την εκτέλεση των μετρήσεων και τη σύλληψη της εικόνας της ίριδας. Το παρών δίνει και ένα υπέρυθρο LED ώστε να λειτουργεί απροβλημάτιστα και στο σκοτάδι. Η αναγνώριση ίριδας πραγματοποιείται για ξεκλείδωμα του κινητού.

Η διαδικασία, όπως περιγράφεται στην εικόνα 2.6, αρχίζει με μια δέσμη υπέρυθρου φωτός που κατευθύνεται στο μάτι του ατόμου. Μόλις έχει καταγραφεί η εικόνα το λογισμικό μεταφράζει το μοτίβο της ίριδας σε κώδικα και στη συνέχεια συγκρίνεται με τους καταγεγραμμένους για να την ταυτοποίηση.



Εικόνα 2.6: Η διαδικασία σάρωσης της ίριδας του Galaxy Note 7

Πηγή: news.samsung.com/global/in-depth-look-keeping-an-eye-on-security-the-iris-scanner-of-the-galaxy-note7

2.5 Τεχνικές ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας για αναγνώριση ίριδας

Στον τομέα της αναγνώρισης της ίριδας έχει πραγματοποιηθεί αξιοσημείωτη έρευνα. Τα ινία διατηρούνται από τον John Daugman, από τον οποίο έχει αναπτυχθεί μια αρκετά αξιόπιστη μέθοδος η οποία επιτρέπει την «εξαντλητική» αναζήτηση 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. Ο John Daugman ανέπτυξε και κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας τον πρώτο πραγματικό αλγόριθμο για αναγνώριση ίριδας, δημοσίευσε τα πρώτα papers για αυτό καθώς και έδωσε τις πρώτες ζωντανές επιδείξεις.

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 τυχαιότητα 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 [8] είναι:

1. Εύρεση των ορίων της ίριδας με την κόρη και τον σκληρό χιτώνα. Λόγω της κυκλικής γεωμετρίας της ίριδας, αυτή η διαδικασία μπορεί να επιτευχθεί για μια εικόνα εισόδου $I(x,y)$ για τη μέγιστη μερική παράγωγο στο θολό μέρος σε σχέση με την αυξανόμενη ακτίνα r , του κανονικοποιημένου περιγράμματος της $I(x,y)$ κατά μήκος ενός κυκλικού τόξου ds ακτίνας r και κέντρο με συντεταγμένες (x_0, y_0) :

$$\max_{(r, x_0, y_0)} \left| G_{\sigma}(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r, x_0, y_0} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right| \quad (1)$$

Όπου το $*$ δηλώνει τη συνέλιξη και το $G_{\sigma}(r)$ είναι μια συνάρτηση εξομάλυνσης Gaussian κλίμακας σ . Αυτός ο τελεστής συμπεριφέρεται ως ένας κυκλικός ανιχνευτής ακμών (edge detector), θολώνοντας την εικόνα στην κλίμακα που θέτουμε στο σ , και ψάχνει επαναληπτικά για το μέγιστο περίγραμμα αυξάνοντας

την ακτίνα σε διαδοχικά λεπτότερες κλίμακες ανάλυσης μέσα από το χώρο των τριών παραμέτρων, του κέντρου (x_0, y_0) και της ακτίνας r , που συντονίζουν τον καθορισμό της πορείας της ολοκλήρωσης περιγράμματος.

2. Εξέταση της τιμής, η οποία προκύπτει από την εξίσωση (1). Αν η τιμή αυτή είναι μικρότερη από ένα κατώφλι, εξάγεται ένα από τα τέσσερα παρακάτω συμπεράσματα:

- Δεν υπάρχει μάτι στην υπό εξέταση εικόνα
- Η ίριδα επικαλύπτεται σε σημαντικό ποσοστό από βλέφαρα
- Η εστίαση του ματιού στο φακό λήψης της εικόνας είναι μη ικανοποιητική
- 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.

3. Μετά το πέρας των προηγούμενων δύο βημάτων θεωρείται πως έχει καθοριστεί ο αριθμός των εικονοστοιχείων που ανήκουν στην ίριδα. Υπάρχουν δύο περιπτώσεις κατά τις οποίες τα εικονοστοιχεία που δεν έχουν προκύψει με βάση τα δύο παραπάνω βήματα ως εικονοστοιχεία της ίριδας, δεν αντιστοιχούν στην πραγματικότητα εικονοστοιχεία της ίριδας. Οι περιπτώσεις αυτές είναι:

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

4. Μεταφορά των συντεταγμένων των εικονοστοιχείων της ίριδας από το καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων στο πολικό:

$$I(x(r,\theta),y(r,\theta)) \rightarrow I(r,\theta) \quad (2)$$

Όπου $x(r,\theta)$, $y(r,\theta)$ είναι οι γραμμικοί συνδυασμοί του συνόλου των σημείων στα όρια της κόρης και του συνόλου των σημείων της εξωτερικής περιμέτρου της ίριδας που συνορεύουν με το σκληρό χιτώνα.

5. Εφαρμογή των διδιάστατων φίλτρων Gabor, με σκοπό την εξαγωγή των χαρακτηριστικών της υφής της ίριδας:

$$G(x, y) = e^{-\pi \left[\frac{(x-x_0)^2}{\alpha^2} + \frac{(y-y_0)^2}{\beta^2} \right]} e^{-2\pi [u_0 \cdot (x-x_0) + v_0 (y-y_0)]} \quad (3)$$

Όπου:

- (x_0, y_0) : η θέση του εικονοστοιχείου στην εικόνα
- (α, β) : το ενεργό πλάτος και μήκος
- (u_0, v_0) : καθορίζουν τις χωρικές συχνότητες στους δύο άξονες
- $\omega_0 = \sqrt{u_0^2 + v_0^2}$: η ακτινική χωρική συχνότητα
- $\theta_0 = \tan^{-1} \left(\frac{v_0}{u_0} \right)$: η διεύθυνση που αντιστοιχεί στο ζεύγος των 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.

6. Εξαγωγή του κώδικα της ίριδας, ο οποίος είναι μεγέθους 256 bytes 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, ενώ στην αντίθετη περίπτωση ισούται με 0).
7. Υπολογισμός της απόστασης Hamming μεταξύ δύο κωδίκων ίριδας. Αν η απόσταση Hamming προκύψει μικρότερη από ένα κατώφλι, τότε εξάγεται το συμπέρασμα ότι αυτοί οι δύο κώδικες έχουν υπολογιστεί από εικόνες της ίδιας ίριδας.

2.6 Ανοιχτά προβλήματα

Ένα σύστημα αναγνώρισης ίριδας θεωρείται ιδανικό όταν οι περιπτώσεις όπου έχουμε επιτυχή και μη αναγνώριση δεν επικαλύπτουν η μια την άλλη. Υπάρχουν μερικοί παράγοντες που μπορεί να οδηγήσουν σε μια σημαντική πτώση στην ακρίβεια των συστημάτων αναγνώρισης ίριδας. Αυτοί αναλύονται ως εξής:

- **Διαστολή της κόρης.** Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες, που συχνά δεν λαμβάνεται υπόψη, είναι η διαστολή της ίριδας. Λόγω των αποτελεσμάτων της διαστολής, έχουμε διαφόρων μεγεθών κόρες, πράγμα που οδηγεί σε μειωμένη απόδοση αναγνώρισης. Η διαστολή μπορεί να οφείλεται σε πολλούς παράγοντες, όπως φάρμακα, γυαλιά ηλίου ή ελαφρύ φωτισμό. Έτσι μπορούμε να συμπεράνουμε ότι δεν είναι και τόσο δύσκολο να εξαπατηθεί ένα σύστημα αναγνώρισης ίριδας, αντίθετα με την δημοφιλή πεποίθηση στην ερευνητική κοινότητα. Η διαστολή της κόρης όχι μόνο επηρεάζει την απόδοση της αναγνώρισης, αλλά ένας εισβολέας μπορεί εύκολα να ξεγελάσει το σύστημα απλά φορώντας γυαλιά ηλίου ή με χρήση σταγόνων ματιού. Η διαστολή της κόρης πρέπει να ενσωματωθεί στα συστήματα αναγνώρισης ίριδας για την αύξηση της ακρίβειας στα αποτελέσματα αναγνώρισης.
- **Φακοί επαφής.** Σε όλο τον κόσμο, 125 εκατομμύρια περίπου άνθρωποι χρησιμοποιούν φακούς επαφής. Ως εκ τούτου, τα συστήματα αναγνώρισης ίριδας πρέπει να είναι αρκετά ευέλικτα για να καλύψουν αυτόν τον μεγάλο αριθμό ανθρώπων. Οι σχεδιαστές αλγορίθμων αναγνώρισης ίριδας ισχυρίζονται ότι η απόδοση της αναγνώρισης των συστημάτων τους δεν επηρεάζεται από τη χρήση φακών επαφής. Όμως πρόσφατα ο Baker κ.ά. [9] κατέληξαν σε μια μελέτη που δείχνει ότι κάθε τύπος φακού επηρεάζει αρνητικά της απόδοση της αναγνώρισης της ίριδας. Όλοι οι τύποι των φακών καταλήγουν σε υποβάθμιση της απόδοσης, έτσι υπάρχει ανάγκη να εισαχθούν τεχνικές που μπορούν να χειριστούν τέτοια σενάρια για την ενίσχυση των βιομετρικών συστημάτων ίριδας.
- **Δίδυμα.** Ο Hollingworth κ.ά. [10] παρουσίασαν έρευνες που προσδιόριζαν τις ομοιότητες της υφής μεταξύ ιρίδων των διδύμων. Τα ευρήματά τους δείχνουν ότι υπάρχουν ομοιότητες μεταξύ των ιρίδων των γεννητικά ίδιων ατόμων, που μπορούν να εντοπιστούν οπτικά, αλλά τα τρέχοντα βιομετρικά συστήματα δεν τις αναγνωρίζουν. Απαιτείται να διερευνηθεί περαιτέρω και να δημιουργηθούν τεχνικές έτσι ώστε τα βιομετρικά συστήματα να μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτή την οπτική ομοιότητα μεταξύ γενετικά παρόμοιων ιρίδων προς όφελος της βελτίωσης των επιδόσεων.
- **Μεταβλητότητα του χρόνου.** Η ανθρώπινη ίριδα θεωρείται αμετάβλητη στο χρόνο, αλλά μια μελέτη από τον Gonzalez κ.ά. [11] παρουσιάζει αποτελέσματα τα οποία έρχονται σε αντίθεση με ότι έχει αποδειχθεί μέχρι

τώρα. Τα ευρήματά τους δείχνουν ότι καθώς η πάροδος του χρόνου μεταξύ εγγραφής και σύγκρισης αυξάνεται, ο δείκτης λανθασμένης αποδοχής παραμένει ανεπηρέαστος, αλλά ο δείκτης λανθασμένης απόρριψης αυξάνεται περισσότερο από δύο φορές. Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν ότι η μεταβλητότητα του χρόνου επηρεάζει την απόδοση της επαλήθευσης, αλλά πρέπει να γίνει περισσότερη έρευνα με μεγαλύτερα δείγματα.

- **Εγχείρηση καταρράκτη.** Ο Dhir κ.ά. [12] προσδιόρισαν τις επιπτώσεις της χειρουργικής επέμβασης καταρράκτη στην απόδοση της αναγνώρισης. Συγκέντρωσαν τις εικόνες 3 ασθενών πριν και μετά από 2 εβδομάδες από τη χειρουργική επέμβαση καταρράκτη. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η εγχείρηση καταρράκτη δεν επηρεάζει την απόδοση της αναγνώρισης. Ωστόσο, αν και η μελέτη είναι σημαντική, το δείγμα δεν ήταν αρκετά μεγάλο και υπάρχει ανάγκη να εκτελεστούν περισσότερα πειράματα σε μεγαλύτερα σύνολα για να διερευνηθούν οι επιπτώσεις.
- **Φορητότητα συστήματος.** Για να ελεγχθούν τα ζητήματα με τη φορητότητα του συστήματος, ο Bowyer κ.ά. [13] πραγματοποίησαν πειράματα σε ένα σύνολο εικόνων ίριδας, των οποίων οι λήψεις πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση διαφορετικών αισθητήρων. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο δείκτης λανθασμένης απόρριψης είναι υψηλότερος όταν και οι δύο εικόνες (εγγραφής και επαλήθευσης) προέρχονται από διαφορετικούς αισθητήρες σε σύγκριση με αυτές που προέρχονται από τον ίδιο. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε περιορισμένο σύνολο δεδομένων και χρησιμοποιώντας μόνο το λογισμικό IrisBEE. Υπάρχουν πιθανότητες ότι τα αποτελέσματα μπορεί να επηρεάζονται διαφορετικά από διαφορετικό υλικό και λογισμικό. Χρειάζεται μεγαλύτερη έρευνα για να διερευνηθεί η επίδραση των διαφορετικών αισθητήρων στην απόδοση της αναγνώρισης της ίριδας.

Κεφάλαιο 3

Τεχνολογίες για την Ανάπτυξη του Συστήματος

3.1 Εισαγωγή στα ενσωματωμένα συστήματα

Τα ενσωματωμένα συστήματα, σύμφωνα με τον P. Marwedel [14], είναι συστήματα επεξεργασίας πληροφοριών, ενσωματωμένα σε προϊόντα. Βρίσκονται συνήθως σε αυτοκίνητα, στη βιομηχανία, σε τηλεπικοινωνιακό εξοπλισμό, σε συστήματα αεροπορίας, σε ηλεκτρονικά είδη, σε ιατρικές συσκευές και στρατιωτικές εφαρμογές. Για παράδειγμα, τα αυτοκίνητα χρησιμοποιούν ενσωματωμένα συστήματα για να μεγιστοποιήσουν της ασφάλειά τους και την αποδοτικότητά τους καθώς και για τη μείωση της ρύπανσης. Τα τηλεπικοινωνιακά συστήματα χρησιμοποιούν ενσωματωμένα συστήματα σε κινητά τηλέφωνα, δρομολογητές και γέφυρες δικτύου. Τα ηλεκτρονικά είδη περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα συσκευών που χρησιμοποιούν ενσωματωμένα συστήματα, όπως εκτυπωτές, κάμερες, κονσόλες βιντεοπαιχνιδιών, πλυντήρια, φούρνοι μικροκυμάτων και κλιματιστικά. Τα συστήματα αεροπορίας περιέχουν συστήματα αδρανειακής πλοήγησης, δέκτες GPS, ηλεκτροκινητήρες και ελεγκτές του κινητήρα. Οι ιατρικές συσκευές χρησιμοποιούν ενσωματωμένα συστήματα σε συστήματα ιατρικής απεικόνισης, σε ηλεκτρονικά στηθοσκόπια και στην παρακολούθηση των ζωτικών σημείων.

Τα περισσότερα σύγχρονα ενσωματωμένα συστήματα βασίζονται σε μικροελεγκτές και σε ορισμένες περιπτώσεις σε μικροελεγκτές σε πιο πολύπλοκα συστήματα. Οι επεξεργαστές που χρησιμοποιούνται μπορεί να κυμαίνονται από γενικής χρήσης σε πιο εξειδικευμένους, όπως επεξεργαστές ψηφιακού σήματος.

Οι μηχανικοί σχεδιασμού μπορούν να βελτιστοποιήσουν τα ενσωματωμένα συστήματα προκειμένου να μειωθεί το μέγεθος και το κόστος παραγωγής και να αυξηθεί η αξιοπιστία και η απόδοση για συγκεκριμένες ενέργειες. Για παράδειγμα, ορισμένα ενσωματωμένα συστήματα έχουν απαιτήσεις χαμηλών επιδόσεων, επιτρέποντας την απλοποίηση του υλικού του συστήματος, ώστε να μειωθεί το κόστος.

3.2 Χαρακτηριστικά των ενσωματωμένων συστημάτων

Σε αντίθεση με τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές γενικής χρήσης, τα ενσωματωμένα συστήματα είναι συνήθως μικρού μεγέθους, χαμηλού κόστους και έχουν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και την ικανότητα να λειτουργούν σε ένα ευρύ φάσμα περιβαλλοντικών συνθηκών. Επιπλέον, τα ενσωματωμένα συστήματα έχουν σχεδιαστεί να εκτελούν μόνο ένα συγκεκριμένο έργο, σε αντίθεση με τους υπολογιστές γενικής χρήσης που μπορούν να εκτελούν μια ποικιλία εργασιών. Ωστόσο, τα ενσωματωμένα συστήματα έχουν περιορισμένους πόρους επεξεργασίας,

γεγονός που τα καθιστά πιο δύσκολο να προγραμματιστούν και να αλληλοεπιδράσουν.

Βασίζονται είτε σε μικροεπεξεργαστές που χρησιμοποιούν ξεχωριστά ολοκληρωμένα κυκλώματα για τη μνήμη και τα περιφερειακά, είτε σε μικροελεγκτές που έχουν όλα τα περιφερειακά τους στο τσιπ και έχουν μικρότερο μέγεθος, κατανάλωση ενέργειας και κόστος. Τα ενσωματωμένα συστήματα δεν είναι πάντα αυτόνομες συσκευές. Πολλά αποτελούνται από μικρότερα συνθετικά μέσα σε μια μεγαλύτερη συσκευή που έχει έναν πιο γενικό σκοπό. Για παράδειγμα, ένα ενσωματωμένο σύστημα σε ένα αυτοκίνητο εκτελεί μια συγκεκριμένη λειτουργία, όπως τη μέτρηση της κατανάλωσης του κινητήρα, αλλά ο γενικός σκοπός του αυτοκινήτου είναι να μεταφέρει ανθρώπους. Επίσης, πολλά ενσωματωμένα συστήματα δεν χρησιμοποιούν κοινή είσοδο και έξοδο περιφερειακών, όπως πληκτρολόγια και οθόνες, αλλά χρησιμοποιούν κουμπιά, αισθητήρες κλπ. Τα σύγχρονα ενσωματωμένα συστήματα αποφεύγουν τη χρήση εξαρτημάτων με κινούμενα μέρη, όπως οι σκληροί δίσκοι, που είναι λιγότερο αξιόπιστοι από τα SSDs, όπως μια μνήμη flash. Το λογισμικό των ενσωματωμένων συστημάτων αναφέρεται ως firmware και είναι αποθηκευμένο στη μνήμη flash του συστήματος.

Ένα κοινό χαρακτηριστικό των ενσωματωμένων συστημάτων είναι ότι πρέπει να πληρούν τους περιορισμούς σε πραγματικό χρόνο, καθώς η αποτυχία ολοκλήρωσης των υπολογισμών μέσα σε ένα δεδομένο χρονικό πλαίσιο μπορεί να οδηγήσει είτε σε απώλεια της ποιότητας του συστήματος, είτε να προκαλέσει και βλάβη στο χρήστη. Όλα τα ενσωματωμένα συστήματα πρέπει να είναι αξιόπιστα στον τομέα της συντήρησης, της διαθεσιμότητας, της ασφάλειας και της προστασίας, καθώς αυτά τα συστήματα συνδέονται άμεσα με το φυσικό περιβάλλον και έχουν άμεσο αντίκτυπο σε αυτό μέσω των αισθητήρων και των ενεργοποιητών. Επίσης πρέπει να είναι αποδοτικά στον τομέα της ενέργειας, της κατανάλωσης, του χρόνου εκτέλεσης, του μεγέθους του κώδικα, του βάρους και του κόστους.

Τα ενσωματωμένα συστήματα μπορεί να μην είναι φυσικά προσβάσιμα, καθώς μπορούν να βρίσκονται σε μηχανήματα που αναμένεται να λειτουργούν συνεχώς για μεγάλα χρονικά διαστήματα, ακόμα και για χρόνια, χωρίς σφάλματα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, αυτά τα συστήματα πρέπει να είναι σε θέση να ανακτήσουν πληροφορίες σε περίπτωση καταστροφής ή απώλειας δεδομένων. Για το λόγο αυτό, το λογισμικό αναπτύσσεται και δοκιμάζεται πιο διεξοδικά από το λογισμικό για προσωπικούς υπολογιστές.

3.3 Arduino Uno Rev3

Το Arduino Uno R3 είναι μια πλακέτα μικροελεγκτή βασισμένο στον επεξεργαστή ATmega328. Έχει 14 συνδέσμους ψηφιακής εισόδου/εξόδου (έξι από τους οποίους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για έξοδο τροφοδοσίας), 6 αναλογικές εισόδους, έναν κρυσταλλικό ταλαντωτή στα 16 MHz, μια σύνδεση USB, ένα βύσμα τροφοδοσίας, βύσμα ICSP header, και ένα κουμπί reset.

Το Arduino Uno διαφέρει από άλλες αντίστοιχες πλακέτες διότι δεν χρησιμοποιεί τον οδηγό FTDI για μετατροπή του USB σε σειριακή σύνδεση, αλλά έχει το ολοκληρωμένο ATmega16U2 που είναι προγραμματισμένο να λειτουργεί σαν μετατροπέας σύνδεσης από USB σε σειριακή μορφή.



Εικόνα 3.1: Το Arduino Uno

Πηγή: http://www.brokking.net/images/revive_bgc/revive_bgc-05_L.jpg

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

Εικόνα 3.2: Χαρακτηριστικά Arduino Uno

3.4 Αισθητήρες

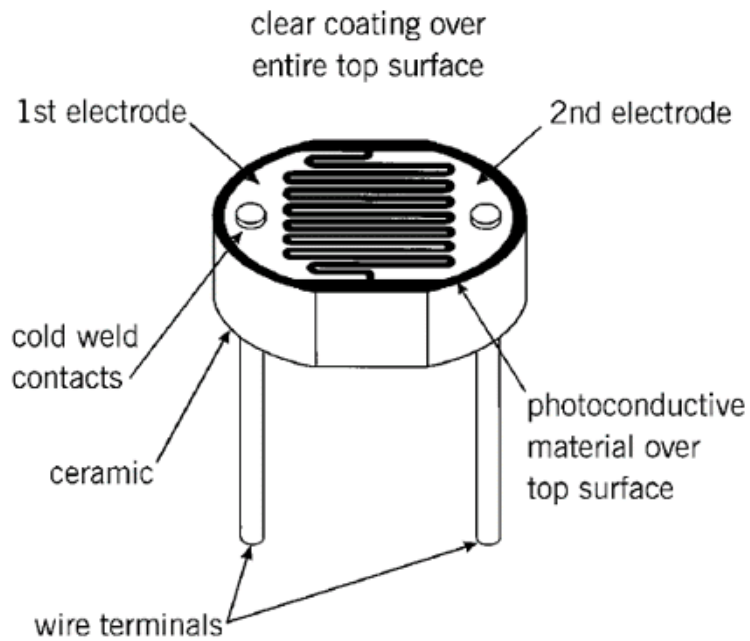
3.4.1 Φωτοαντίσταση

Μια φωτοαντίσταση [15] είναι μια μεταβλητή αντίσταση ελεγχόμενη από το φως. Η αντίσταση της φωτοαντίστασης μειώνεται με την αύξηση της έντασης του προσπίπτοντος φωτός. Κατασκευάζεται από έναν ημιαγωγό υψηλής αντοχής. Στο σκοτάδι μια φωτοαντίσταση μπορεί να έχει αντίσταση τόσο υψηλή όσο αρκετά ΜΩ, ενώ στο φως τόσο χαμηλά όσο μερικές εκατοντάδες Ω.

Αν η προσπίπτουσα ακτινοβολία σε μια φωτοαντίσταση υπερβαίνει μια ορισμένη συχνότητα, τα φωτόνια που απορροφούνται από τον ημιαγωγό δίνουν στα δεσμευμένα ηλεκτρόνια αρκετή ενέργεια ώστε να μεταβούν στη ζώνη αγωγιμότητας. Τα προκύπτοντα ελεύθερα ηλεκτρόνια άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα, μειώνοντας έτσι την αντίσταση. Το εύρος και η ευαισθησία της αντίστασης μπορεί να διαφέρουν ουσιαστικά μεταξύ ανόμοιων συσκευών. Επιπλέον κάποιες φωτοαντιστάσεις μπορεί να αντιδρούν διαφορετικά σε φωτόνια εντός ορισμένων ζωνών μήκους κύματος.

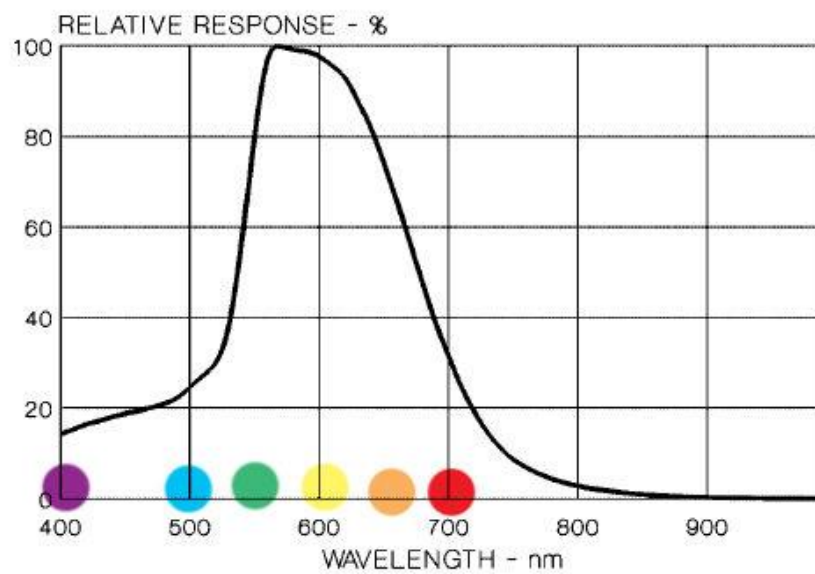
Μια φωτοηλεκτρική διάταξη μπορεί να είναι είτε ενδογενής είτε εξωγενής. Ένας ενδογενής ημιαγωγός έχει τους δικούς του φορείς φορτίου και δεν είναι αποτελεσματικός ημιαγωγός (πυρίτιο). Σε αυτές της συσκευές τα μόνα διαθέσιμα ηλεκτρόνια βρίσκονται στη ζώνη σθένους και το φωτόνιο πρέπει να έχει αρκετή ενέργεια για να διεγείρει το ηλεκτρόνιο σε ολόκληρο το διάκενο ζώνης. Οι εξωγενείς συσκευές έχουν προσμίξεις των οποίων η ενέργεια στη θεμελιώδη κατάσταση είναι πιο κοντά στην ζώνη αγωγιμότητας. Δεδομένου ότι τα ηλεκτρόνια δεν μπορούν να πηδήξουν τόσο μακριά, φωτόνια χαμηλότερης ενέργειας (δηλαδή μεγαλύτερα μήκη κύματος και χαμηλότερη ενέργεια) είναι επαρκή για να ενεργοποιήσουν τη συσκευή.

Οι φωτοαντιστάσεις παρουσιάζουν επίσης έναν ορισμένο βαθμό λανθάνουσας κατάστασης (latency) μεταξύ της έκθεσης στο φως και την επακόλουθη μείωση στην αντίσταση, συνήθως περίπου 10 χιλιοστά του δευτερολέπτου. Η χρονική καθυστέρηση κατά τη μετάβαση από φωτεινά σε σκοτεινά περιβάλλοντα είναι ακόμη μεγαλύτερη, συχνά όσο ένα δευτερόλεπτο. Αυτή η ιδιότητα τις καθιστά ακατάλληλες για την ανίχνευση φωτών που αναβοσβήνουν, αλλά μερικές φορές χρησιμοποιείται για να εξομαλύνει την απόκριση της συμπίεσης του ηχητικού σήματος.



Εικόνα 3.3: Δομή φωτοαντίστασης

Πηγή: i.pinimg.com/564x/b4/9f/42/b49f428542d9b4b81ea71906c10c45b5--electrical-energy-jee.jpg



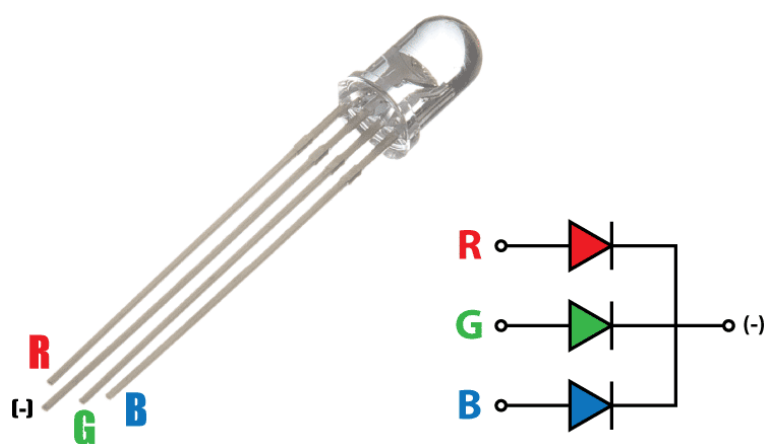
Εικόνα 3.4: Φασματική απόκριση φωτοαντίστασης

Πηγή: wiki.mchobby.be/images/a/a6/Cds-spectral-response.jpg

3.4.2 RGB LED

Ένα RGB LED ή multi-colored LED [16] αποτελείται από ένα κόκκινο, ένα μπλε και ένα πράσινο LED καθένα από τα οποία μπορούν να ελεγχθούν από έναν μικροελεγκτή. Εκτός από την τροφοδοσία και τη γείωση, αυτά τα LED παρέχουν συνδέσεις για δεδομένα εισόδου και εξόδου και μερικές φορές ένα σήμα ρολογιού. Αυτά συνδέονται αλυσιδωτά με τα στοιχεία εισόδου του πρώτου LED και μέσω του μικροελεγκτή μπορεί να ελεγχθούν η φωτεινότητα και το χρώμα του κάθε ενός LED ξεχωριστά από τα άλλα. Τα περισσότερα αντιληπτά χρώματα μπορούν να σχηματιστούν με την ανάμιξη διαφορετικών ποσοτήτων των τριών βασικών χρωμάτων. Αυτό επιτρέπει τον ακριβή δυναμικό έλεγχο του χρώματος

Τα RGB LED έχουν επίσης υψηλότερη κβαντική απόδοση στην παραγωγή λευκού φωτός. Ωστόσο το γεγονός ότι τα 3 επιμέρους LED έχουν συνήθως ελαφρώς διαφορετικά πρότυπα εκπομπής (που οδηγεί στην μεταβολή του χρώματος ανάλογα με την κατεύθυνση) καθώς και η εξάρτηση από ηλεκτρονικά κυκλώματα για τον έλεγχο της ανάμειξης και της διάχυσης των διαφορετικών χρωμάτων, σπάνια χρησιμοποιούνται στην παραγωγή λευκού φωτός.



Εικόνα 3.5: Δομή RGB LED

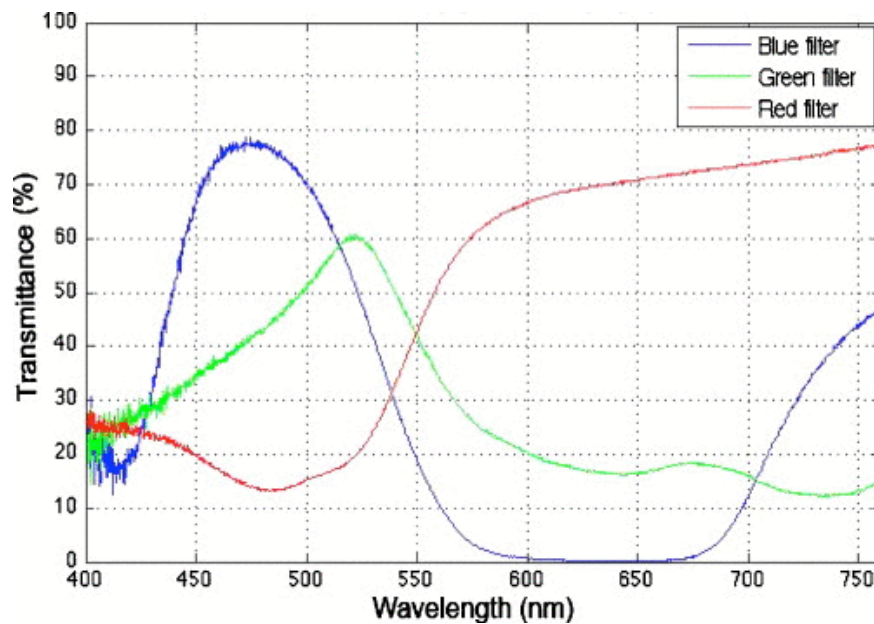
Πηγή: images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/31CKlh96teL._SX466_.jpg

	Min (nm)	Max (nm)
Red	620	625
Green	520	525
Blue	420	425

Εικόνα 3.6: Μήκος κύματος επιμέρους LED

3.4.3 Φίλτρο Χρώματος

Ένα φίλτρο χρώματος είναι ένα διαφανές έγχρωμο υλικό το οποίο επιλεκτικά μεταδίδει φως σε ένα συγκεκριμένο φάσμα μηκών κύματος, μπλοκάροντας το υπόλοιπο. Η ζώνη διέλευσης μπορεί να είναι στενότερη ή ευρύτερη. Η μετάβαση ή η αποκοπή μεταξύ μέγιστης και ελάχιστης μετάδοσης μπορεί να είναι απότομη ή σταδιακή. Παράγονται από ανόργανες ή οργανικές ενώσεις οι οποίες προσθέτονται σε πλαστικό (πολυανθρακικό ή ακρυλικό).



Εικόνα 3.7: Χαρακτηριστικά μετάδοσης κόκκινου, πράσινου και μπλε φίλτρου

Πηγή: [www.researchgate.net/profile/Yu-](http://www.researchgate.net/profile/Yu-Hwa_Lo/publication/46579748/figure/fig4/AS:289183630413861@1445958158719/Transmission-characteristics-from-400-nm-to-750-nm-of-red-green-and-blue-color.png)

[Hwa_Lo/publication/46579748/figure/fig4/AS:289183630413861@1445958158719/Transmission-characteristics-from-400-nm-to-750-nm-of-red-green-and-blue-color.png](http://www.researchgate.net/profile/Yu-Hwa_Lo/publication/46579748/figure/fig4/AS:289183630413861@1445958158719/Transmission-characteristics-from-400-nm-to-750-nm-of-red-green-and-blue-color.png)

3.4.4 Google Cardboard

Το Google Cardboard είναι μια πλατφόρμα εικονικής πραγματικότητας (VR) που αναπτύχθηκε από τη Google και είναι φτιαγμένο από χαρτόνι. Προορίζεται ως ένα σύστημα χαμηλού κόστους για να ενθαρρύνει το ενδιαφέρον και την ανάπτυξη σε εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας. Η θέαση γίνεται με την τοποθέτηση ενός smartphone στο πίσω μέρος του και την προβολή μέσα από τους φακούς στο μπροστινό μέρος.



Εικόνα 3.8: Το Google Cardboard

Πηγή: www.digitalplatforms.co.za/wp-content/uploads/2015/05/fold.jpg

Το Google Cardboard είναι κατασκευασμένο από απλά, χαμηλού κόστους υλικά. Οι προδιαγραφές του σχεδιάστηκαν από τη Google, η οποία δημιούργησε τη λίστα με τα μέρη, τα σχήματα και τις οδηγίες συναρμολόγησης ελεύθερα διαθέσιμα στην ιστοσελίδα της, επιτρέποντας στους ανθρώπους να τα συναρμολογούν οι ίδιοι από άμεσα διαθέσιμα μέρη.

3.4.5 Τρισδιάστατη Εκτύπωση

Η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου αντικειμένου, στο οποίο σχηματίζονται στρώματα υλικού, υπό τον έλεγχο ενός υπολογιστή για τη δημιουργία του αντικειμένου. Τα αντικείμενα μπορούν να έχουν σχεδόν οποιοδήποτε σχήμα ή γεωμετρία και τυπικά παράγονται χρησιμοποιώντας δεδομένα ψηφιακού μοντέλου από ένα τρισδιάστατο μοντέλο. Έτσι σε αντίθεση με την «απομάκρυνση» υλικού από ένα απόθεμα στη συμβατική μηχανική διαδικασία, η τρισδιάστατη εκτύπωση κατασκευάζει ένα τρισδιάστατο αντικείμενο από ένα μοντέλο CAD προσθέτοντας επιτυχώς το υλικό ανά επίπεδο.



Εικόνα 3.9: Τρισδιάστατος εκτυπωτής

Πηγή: www.geeetech.com/wiki/images/b/b6/Geeetech_MeCreator_2_.jpg

Σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες και εξοπλισμό προσθετικής κατασκευής, οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές είναι συνήθως ταχύτεροι, φθηνότεροι και ευκολότεροι στη χρήση. Για τον λόγο αυτό πολλοί πιστεύουν ότι στα επόμενα χρόνια η παγκόσμια παραγωγή αγαθών θα στραφεί προς αυτή την κατεύθυνση, αντικαθιστώντας σταδιακά τις παραδοσιακές τεχνικές. Δεν είναι λίγοι αυτοί που πιστεύουν ότι η τρισδιάστατη εκτύπωση θα αποτελέσει μία «νέα βιομηχανική επανάσταση», καθώς θα φέρει αποκέντρωση των παραγωγικών διαδικασιών, ανοίγοντας τον δρόμο για παραγωγή τοπική και μικρής κλίμακας, προσαρμοσμένη στις τρέχουσες ανάγκες

3.5 Γλώσσα Προγραμματισμού Arduino

Η γλώσσα προγραμματισμού για την πλακέτα Arduino βασίζεται στην τεχνολογία Wiring η οποία είναι ένα πλαίσιο προγραμματισμού ανοιχτού κώδικα για μικροελεγκτές. Η διάλεκτος και οι εντολές της είναι παρόμοιες με την γλώσσα προγραμματισμού C. Παρακάτω ακολουθούν μερικές από τις βασικές αρχές για τον προγραμματισμό της πλακέτας Arduino

3.5.1 Σχεδιάγραμμα (Sketch)

Το σχεδιάγραμμα είναι το όνομα που χρησιμοποιεί το Arduino για το εκάστοτε πρόγραμμα. Είναι η μονάδα κώδικα που φορτώνεται και εκτελείται στην πλακέτα Arduino.

3.5.2 Συναρτήσεις setup() και loop() (Special Functions)

Η συνάρτηση setup καλείται μια φορά όταν ξεκινάει το Arduino. Εδώ γίνονται οι αρχικοποίηση διαφόρων μεταβλητών και ρυθμίσεων που θα χρειαστούν στον κώδικα που θα ακολουθήσει. Η συνάρτηση loop() εκτελείται επαναληπτικά και θεωρείται η καρδιά της εφαρμογής. Για να λειτουργήσει σωστά ένα σχεδιάγραμμα πρέπει να περιλαμβάνει και τις δύο αυτές συναρτήσεις ακόμα και αν δεν υλοποιούν τίποτα.

Ένα τυπικό πρόγραμμα του Arduino έχει την εξής δομή:

```
//variable declarations
|
void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
}

void loop() {
    // put your main code here, to run repeatedly:
}
```

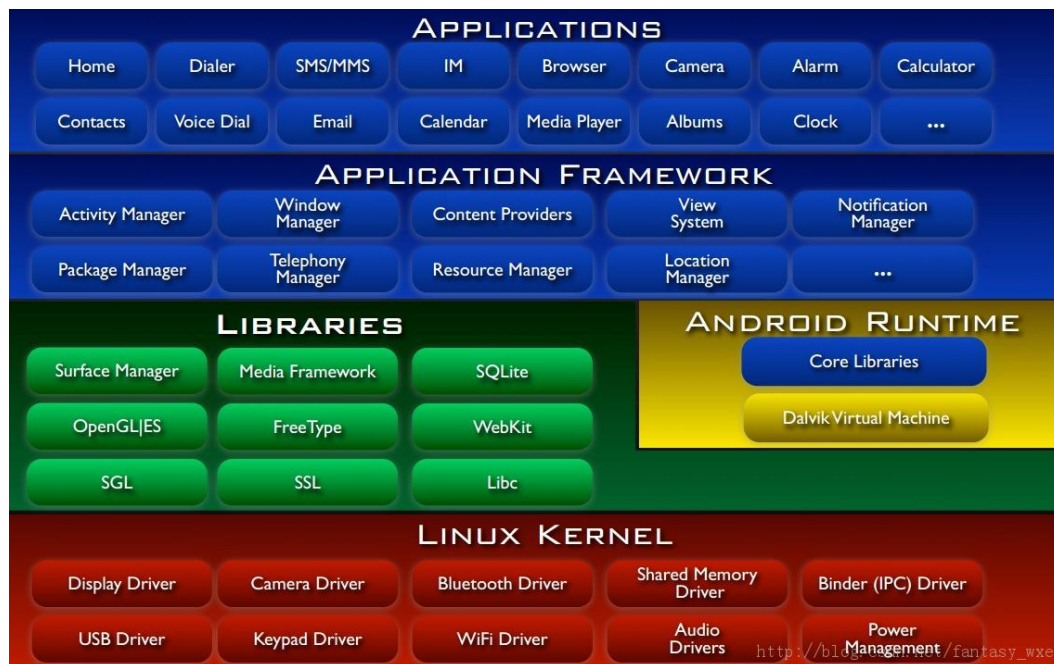
Εικόνα 3.10: Τυπικό πρόγραμμα Arduino

3.6 Γλώσσα προγραμματισμού Android

Το Android [17] είναι λειτουργικό σύστημα ανοιχτού κώδικα για συσκευές κινητής τηλεφωνίας που κατασκευάστηκε από την Google και την Open Handset Alliance. Τα σημεία που κάνουν το Android αρκετά σημαντικό είναι τα ακόλουθα:

- Είναι μια ανοιχτή πλατφόρμα προγραμματισμού που βασίζεται στο Linux.
- Περιέχει αρχιτεκτονική βασισμένη σε στοιχεία που εκπορεύονται από το Internet, δηλαδή κομμάτια μιας εφαρμογής που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με τρόπους που οι αρχικοί προγραμματιστές δεν είχαν αναλογιστεί. Μπορεί ακόμα ο προγραμματιστής μιας εφαρμογής να αλλάξει έτοιμα ενσωματωμένα στοιχεία με δικές του βελτιωμένες εκδόσεις.
- Διαθέτει πάρα πολλές ενσωματωμένες υπηρεσίες όπως εντοπισμός θέσης με χρήση τριγωνποίησης κυψελών ή με χρήση δέκτη GPS. Επίσης έχει πλήρη συνεργασία με βάσεις δεδομένων SQL.
- Παρέχει αυτοματοποιημένη διαχείριση του κύκλου ζωής μιας εφαρμογής. Τα προγράμματα είναι απομονωμένα το ένα από το άλλο από πολλαπλά επίπεδα ασφάλειας πράγμα που δεν έχει εφαρμοστεί ξανά σε πλατφόρμες έξυπνων συσκευών και προσδίδει μεγάλη αξιοπιστία.
- Υποστηρίζονται πολύ καλής ποιότητας γραφικά και ήχοι κάνοντας χρήση του προτύπου OpenGL και κωδικοποιητών ήχου και βίντεο.
- Υπάρχει μεγάλη φορητότητα καθώς υποστηρίζονται αρκετοί τύποι υλικού. Όλα τα προγράμματα είναι γραμμένα σε γλώσσα προγραμματισμού Java και εκτελούνται από την εικονική μηχανή του Android που ονομάζεται Dalvik. Επίσης υποστηρίζονται πολλοί τύποι εισόδου όπως πληκτρολόγια, αφή και οπτικός κέρσορας.

Κάθε επίπεδο χρησιμοποιεί υπηρεσίες που προσφέρονται από κατώτερα επίπεδα.



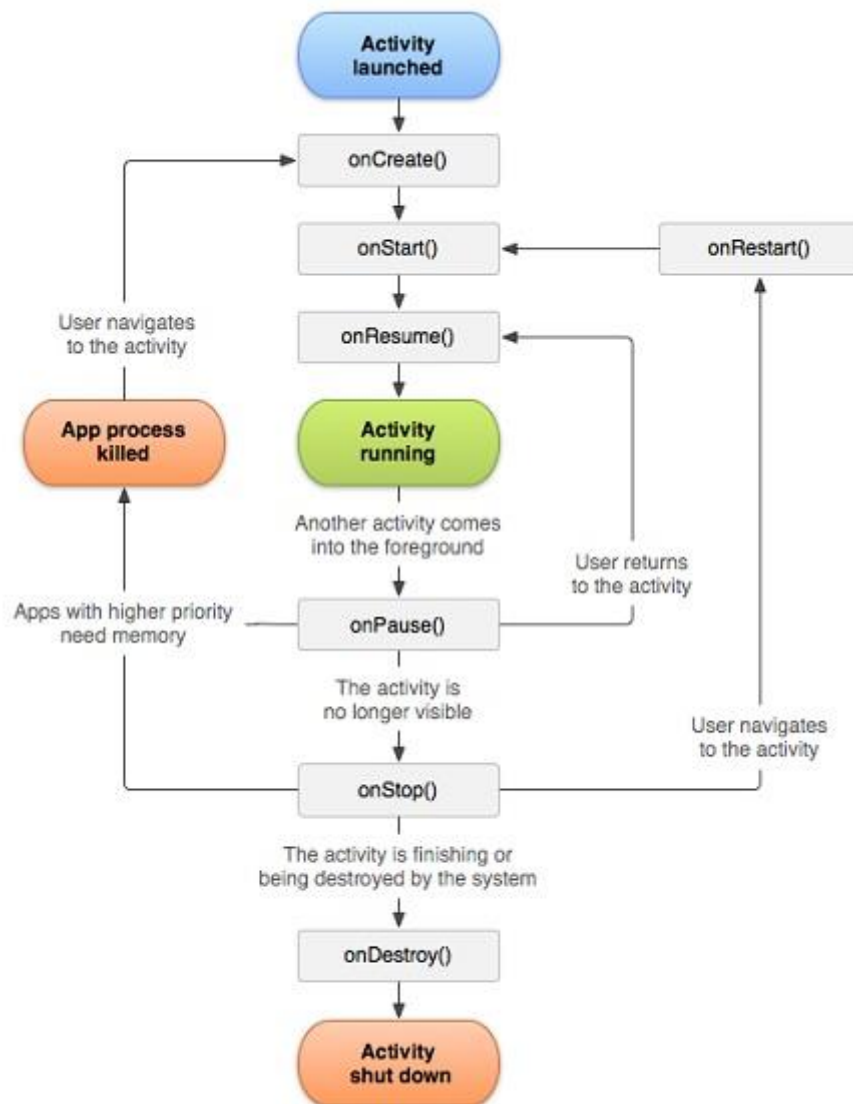
Εικόνα 3.11: Διάγραμμα επιπέδων Android

Πηγή: [en.wikipedia.org/wiki/Android_\(operating_system\)#/media/File:Android-System-Architecture.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/Android_(operating_system)#/media/File:Android-System-Architecture.svg)

Ο προγραμματιστής μπορεί να παρακάμψει αυτές τις μεθόδους στην κλάση Δραστηριότητα και το Android θα τις καλέσει την κατάλληλη στιγμή:

- **onCreate(Bundle):** Αυτή η μέθοδος καλείται όταν η δραστηριότητα ξεκινάει. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκτελέσει αρχικοποίηση, όπως να δημιουργήσει το γραφικό περιβάλλον του χρήστη. Η μέθοδος onCreate() παίρνει ως παράμετρο είτε την τιμή null ή μια πληροφορία κατάστασης που έχει αποθηκευτεί προηγουμένως από την μέθοδο onSaveInstanceState().
- **onStart():** Αυτή η μέθοδος καλείται όταν η δραστηριότητα μπορεί να αλληλεπιδράσει με τον χρήστη. Αυτό είναι ένα καλό μέρος για να ξεκινάνε τυχόν κινούμενα γραφικά ή μουσική.
- **onPause():** Αυτή η μέθοδος τρέχει όταν η δραστηριότητα είναι έτοιμη να πάει στο παρασκήνιο, συνήθως επειδή μια άλλη δραστηριότητα έχει εκκινήσει μπροστά από την τρέχουσα.
- **onStop():** Η μέθοδος αυτή καλείται όταν η δραστηριότητα δεν είναι πλέον ορατή στον χρήστη και δεν χρειάζεται για λίγο χρονικό διάστημα.
- **onRestart():** Αν κληθεί αυτή η μέθοδος σηματοδοτεί ότι η δραστηριότητα είναι επανασχεδιασμένη στον χρήστη από την κατάσταση stop.
- **onDestroy():** Αυτή η μέθοδος καλείται αμέσως πριν την καταστροφή της δραστηριότητας.
- **onSaveInstanceState(Bundle):** Το Android καλεί αυτή τη μέθοδο για να επιτρέψει στη δραστηριότητα να αποθηκεύσει μια κατάσταση ανά περίπτωση, όπως η θέση του κέρσορα μέσα σε ένα πεδίο κειμένου.

- **onRestoreInstanceState(Bundle):** Αυτή η μέθοδος καλείται όταν μια δραστηριότητα ξανά αρχικοποιείται από μια κατάσταση που είχε αποθηκευτεί προηγουμένως από την μέθοδο onSaveInstanceState().



Εικόνα 3.12: Διάγραμμα κύκλου ζωής δραστηριότητας Android

Πηγή: www.javatpoint.com/images/androidimages/Android-Activity-Lifecycle.png

Δραστηριότητες που δεν εκτελούνται στο προσκήνιο μπορεί να έχουν σταματήσει ή οι διεργασίες του Linux που τις κρατάνε ενεργές να τις έχουν τερματίσει για να ελευθερώσουν χώρο για νέες δραστηριότητες. Επιπρόσθετα με την διαχείριση του κύκλου ζωής μιας εφαρμογής το πλαίσιο του Android παρέχει έναν αριθμό μπλοκ κατασκευής που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της εφαρμογής.

Κεφάλαιο 4

Σχεδίαση και Υλοποίηση Συστήματος

4.1 Αλγόριθμος

Η ανάπτυξη του αλγορίθμου για την αναγνώριση της ίριδας χωρίζεται σε τέσσερα βασικά μέρη:

- Εντοπισμός των εικονοστοιχείων που ανήκουν στην ίριδα
- Μετατροπή των καρτεσιανών συντεταγμένων των εικονοστοιχείων που βρέθηκαν να ανήκουν στην ίριδα σε πολικές συντεταγμένες μέσω μιας διαδικασίας που καλείται «ξετύλιγμα» της ίριδας
- Κωδικοποίηση των εικονοστοιχείων της ίριδας (δημιουργία iris code)
- Σύγκριση των κωδίκων που αντιστοιχούν στις ίριδες, προκειμένου να ληφθεί η απόφαση για την ταυτοποίηση του ατόμου

4.1.1 Εντοπισμός των εικονοστοιχείων που ανήκουν στην ίριδα

Η ίριδα περικλείεται μεταξύ δύο ορίων. Το εσωτερικό όριο είναι αυτό που χωρίζει την ίριδα από την κόρη και το εξωτερικό αυτό που χωρίζει την ίριδα από τον σκληρό χιτώνα (λευκό μέρος).

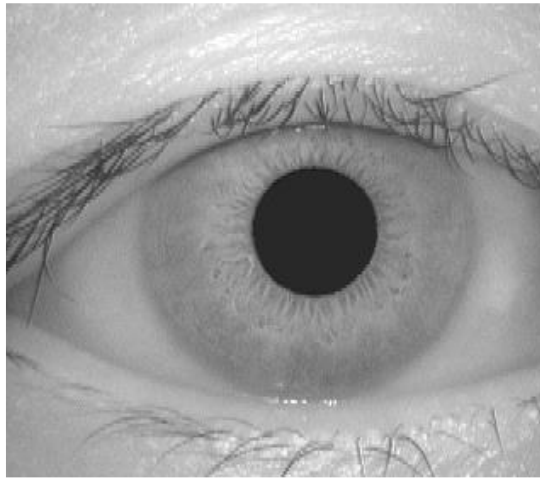
Η βασική ιδέα στηρίζεται στο γεγονός ότι τα όρια της ίριδας καθορίζονται από τη χρωματική διαφορά των εικονοστοιχείων που ανήκουν στην κόρη, των εικονοστοιχείων που ανήκουν στην ίριδα και των εικονοστοιχείων που ανήκουν στον σκληρό χιτώνα. Στις εικόνες διαβάθμισης του γκρι (grayscale εικόνες) το χαρακτηριστικό που μας ενδιαφέρει είναι η τιμή της φωτεινότητας των εικονοστοιχείων. Η τιμή της φωτεινότητας που αντιστοιχεί στο μαύρο χρώμα είναι το 0, στο λευκό το 255, ενώ μεταξύ του 0 και του 255 αντιστοιχούν τα διάφορα επίπεδα του γκρι.

Για τον εντοπισμό των pixel που ανήκουν στην ίριδα επιλέχθηκε ο αλγόριθμος του Daugman [8], όπου ο έλεγχος, λόγω της κυκλικής γεωμετρίας της ίριδας, ξεκινάει από το κέντρο (x_0, y_0) και ακτίνα r με μέγιστο:

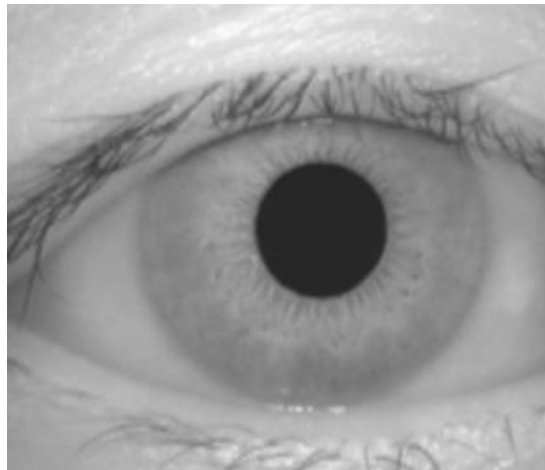
$$\max_{(r, x_0, y_0)} \left| G_{\sigma}(r) * \frac{\partial}{\partial r} \oint_{r, x_0, y_0} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right| \quad (1)$$

Αρχικά, θολώνεται η εικόνα με φίλτρο Gaussian κλίμακας σ . Μια εικόνα η οποία έχει εξομαλυνθεί αρκετά (με χρήση μεγάλης τιμής σ) προκύπτει αρκετά θολή. Οι ακμές που έχουν πλέον απομείνουν ικανές προς εύρεση είναι αρκετά έντονες, δηλαδή αυτές που χωρίζουν περιοχές με μεγάλη διαφορά φωτεινότητας (μεγάλη αντίθεση). Οι τιμές του σ ποικίλλουν ανάλογα με την εφαρμογή. Στην προκειμένη περίπτωση οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για το σ είναι το 2 και το 3. Στις παρακάτω

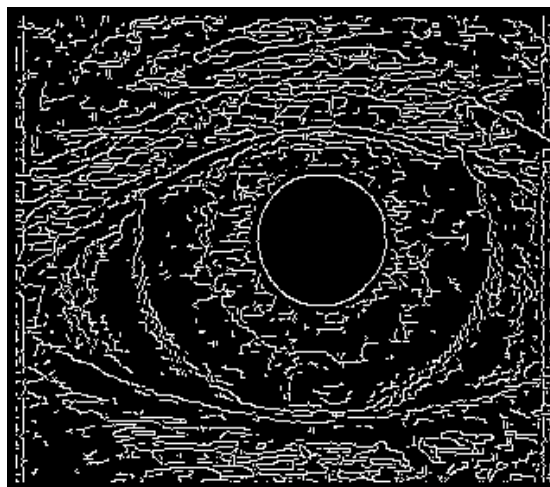
εικόνες γίνεται σαφής η επιρροή που ασκεί η επιλογή του σ ως προς την εξομάλυνση της εικόνας και συνεπώς στην εύρεση των ακμών της εικόνας.



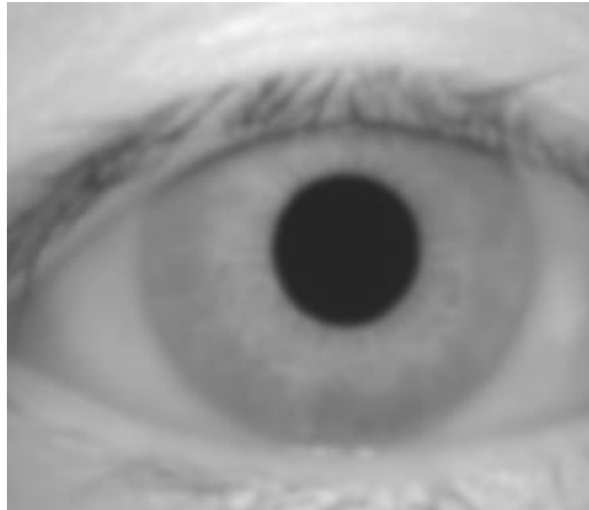
Εικόνα 4.1: Αρχική εικόνα



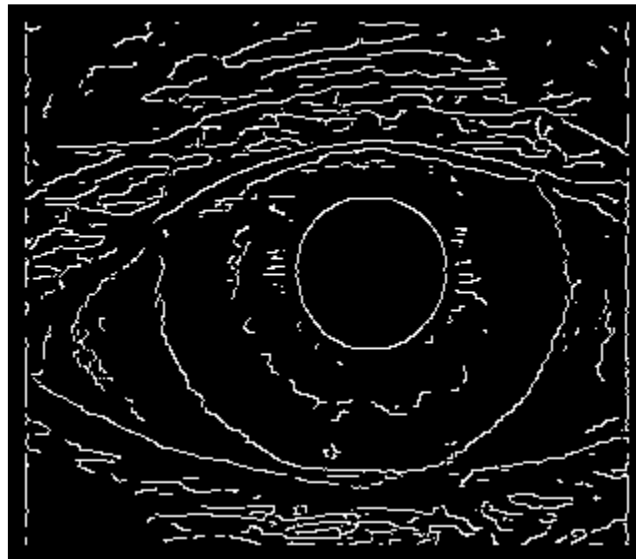
Εικόνα 4.2: Εικόνα με $\sigma=1$



Εικόνα 4.3: Εικόνα ακμών με $\sigma=1$



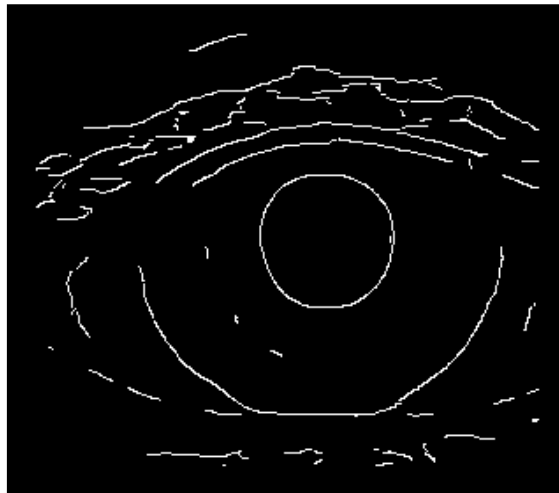
Εικόνα 4.4: Εικόνα με $\sigma=2$



Εικόνα 4.5: Εικόνα ακμών με $\sigma=2$



Εικόνα 4.6: Εικόνα με $\sigma=4$



Εικόνα 4.7: Εικόνα ακμών με $\sigma=4$

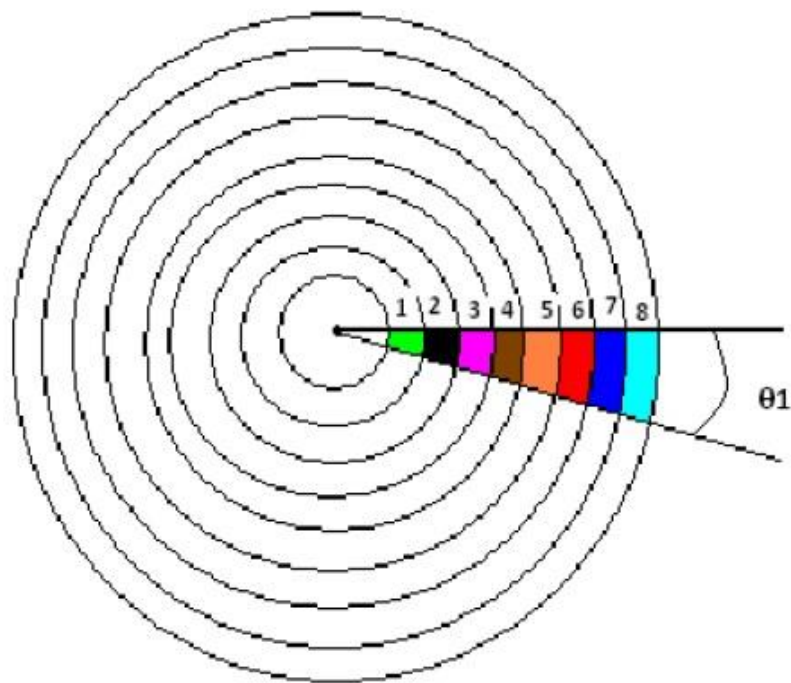
Είναι εμφανές ότι η αύξηση της τυπικής απόκλισης συνεπάγεται αύξηση του θολώματος της εικόνας. Καθίσταται λοιπόν σαφές ότι οι ακμές που απομένουν προς εύρεση είναι αυτές που χωρίζουν περιοχές με μεγάλη διαφορά φωτεινότητας, δηλαδή τα εικονοστοιχεία της κόρης με την ίριδα και της ίριδας με τον σκληρό χιτώνα. Αυτό που τελικά υπολογίζεται, για κάθε κύκλο υπό εξέταση, είναι η διαφορά της μέσης τιμής της φωτεινότητας των εικονοστοιχείων που βρίσκονται στην περιφέρειά του, από τη μέση τιμή φωτεινότητας των εικονοστοιχείων που βρίσκονται στην περιφέρεια ενός άλλου κύκλου, ο οποίος έχει ίδιο κέντρο και ακτίνα μεγαλύτερη κατά 1 σε σχέση με τον υπό εξέταση.

4.1.2 Μετατροπή των καρτεσιανών συντεταγμένων των εικονοστοιχείων που βρέθηκαν να ανήκουν στην ίριδα σε πολικές συντεταγμένες («Ξετύλιγμα» ίριδας)

Έχοντας ολοκληρώσει επιτυχώς τον εντοπισμό των εικονοστοιχείων που ανήκουν στην ίριδα, παρατηρούμε ότι βρίσκονται τοποθετημένα σε τμήμα ενός δακτυλίου. Λόγω της δυσκολίας της επεξεργασίας τους, τίθεται η ανάγκη μεταφοράς της πληροφορίας την οποία φέρουν σε ένα δισδιάστατο πίνακα, ως ένα ενιαίο σύνολο σημείων. Η διαδικασία αυτή, της μεταφοράς της πληροφορίας από ένα ασυνεχές σύνολο σημείων σε ένα συνεχές - τοποθετημένα σε ένα δισδιάστατο πίνακα - ονομάζεται «ξεδίπλωμα» ή «ξετύλιγμα» (unwrapping). Η διαδικασία αυτή ουσιαστικά αποτελεί μετασχηματισμό των καρτεσιανών συντεταγμένων των εικονοστοιχείων που ανήκουν στην ίριδα σε πολικές.

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

- Σάρωση της εικόνας και για κάθε εικονοστοιχείο ελέγχεται αν ανήκει στην περιοχή της ίριδας
- Στην περίπτωση που ισχύει το παραπάνω, βρίσκονται οι πολικές συντεταγμένες του συγκεκριμένου εικονοστοιχείου. Επιπλέον, υπολογίζεται η συνεισφορά της τιμής της φωτεινότητάς του στην τιμή της φωτεινότητας που θα προκύψει για το στοιχείο στον τελικό πίνακα



(1) — $r=0, \theta=0$	(5) — $r=4, \theta=0$
(2) — $r=1, \theta=0$	(6) — $r=5, \theta=0$
(3) — $r=2, \theta=0$	(7) — $r=6, \theta=0$
(4) — $r=3, \theta=0$	(8) — $r=7, \theta=0$

Εικόνα 4.8: Μετατροπή των συντεταγμένων από καρτεσιανές σε πολικές

Η μετατροπή των συντεταγμένων από καρτεσιανές σε πολικές απαιτεί τη θεώρηση ενός κέντρου συντεταγμένων, το οποίο στην προκειμένη περίπτωση

θεωρείται το κέντρο της κόρης του οφθαλμού. Οι εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν για το «ξετύλιγμα» της ίριδας είναι:

$$x(r,\theta) = (1-r) (x_p + r_p \cos(\theta)) + r(x_i + r_i \cos(\theta)) \quad (4)$$

$$y(r,\theta) = (1-r) (y_p + r_p \sin(\theta)) + r(y_i + r_i \sin(\theta)) \quad (5)$$

Όπου:

- r : η ακτίνα
- θ : η γωνία
- (x_p, y_p) : το κέντρο της κόρης
- (x_i, y_i) : το κέντρο της ίριδας
- r_p : η ακτίνα της κόρης
- r_i : η ακτίνα της ίριδας

4.1.3 Κωδικοποίηση των εικονοστοιχείων της ίριδας (δημιουργία iris code)

Επόμενο βήμα αποτελεί η κωδικοποίηση των εικονοστοιχείων της ίριδας σε bitcode, το οποίο ισοδυναμεί μαθηματικά με τη συνέλιξη της «ξετυλιγμένης» ίριδας με ένα φίλτρο Gabor. Το δισδιάστατο φίλτρο Gabor έχει την εξής μορφή:

$$g(x,y) = s(x,y) w_r(x,y) \quad (6)$$

Όπου:

- $s(x,y) = e^{j(2\pi(u_0x+v_0y)+p)}$
- $s(x,y)$: η μιγαδική ημιτονοειδής φέρουσα
- (u_0, v_0) : οι χωρικές συχνότητες (καρτεσιανές συντεταγμένες)
- p : η φάση της ημιτονοειδούς

Για την μετατροπή των χωρικών συχνοτήτων σε πολικές συντεταγμένες (F_0, ω_0) γίνεται με τον εξής τρόπο:

- $F_0 = \sqrt{(u_0^2 + v_0^2)} \quad (7)$

- $\omega_0 = 1 / \left(\tan\left(\frac{v_0}{u_0}\right) \right) \quad (8)$

- $v_0 = F_0 * \cos(\omega_0) \quad (9)$

- $u_0 = F_0 * \sin(\omega_0) \quad (10)$

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

- $\text{Re}(s(x,y)) = \cos(2\pi (u_0x + v_0y) + p)$ ⁽¹¹⁾
- $\text{Im}(s(x,y)) = \sin(2\pi (u_0x + v_0y) + p)$ ⁽¹²⁾

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 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.

4.1.4 Απόσταση Hamming

Τελευταίο βήμα είναι η λήψη της απόφασης ως προς το αν δύο 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 αποτελεί έναν αλγόριθμο, ο οποίος χρησιμοποιείται για τη σύγκριση διανυσμάτων και στηρίζεται στον εντοπισμό των διαφορετικών τους στοιχείων, κάτι που επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης του τελεστή της αποκλειστικής διάζευξης (XOR). Η συνάρτηση της απόστασης Hamming είναι η ακόλουθη:

$$HD = \frac{1}{N} \sum (P_i \oplus R_i) \quad (13)$$

Όπου:

- HD: η απόσταση Hamming
- P_i, R_i : τα διανύσματα προς σύγκριση
- N: το πλήθος των στοιχείων που συγκρίνονται
- \oplus : το σύμβολο του τελεστή XOR

Το αποτέλεσμα της απόστασης Hamming είναι $0 \leq HD \leq 1$. Αν $HD = 0$ τότε τα προς σύγκριση διανύσματα είναι ίδια ενώ όταν $HD = 1$ τότε δεν έχουν κανένα κοινό σημείο. Γίνεται λοιπόν σαφές πως όσο πιο όμοια είναι δύο διανύσματα, τόσο μικρότερη θα είναι η απόσταση Hamming. Στην πραγματικότητα όμως η εφαρμογή του αλγορίθμου για το «ξετύλιγμα» της ίριδας μπορεί να παράγει διαφορετικά αποτελέσματα για δυο διαφορετικές φωτογραφίες της ίδιας ίριδας. Επίσης, η παρουσία θορύβου παίζει σημαντικό ρόλο καθώς κάποια σημεία της εικόνας δεν θα είναι κατάλληλα για σύγκριση.

Ο J. Daugman στη μελέτη του σε μια βάση 4258 εικόνων, η οποία περιείχε 10 εικόνες από 70 μάτια, δηλαδή 9.060.003 μοναδικά ζευγάρια, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η πιθανότητα να λάβουμε λάθος αποτέλεσμα αν η απόσταση

Hamming είναι μεταξύ 0 και 0.329 ήταν περίπου 1 στα 16 εκατομμύρια. Επίσης πρότεινε τη δημιουργία ενός μοτίβου περιστροφής, το οποίο περιστρέφει το μοτίβο της μιας ίριδας ενώ το άλλο διατηρείται σταθερό. Έτσι κάθε φορά υπολογίζεται η ελάχιστη απόσταση Hamming, καθώς αντιπροσωπεύει την καλύτερη δυνατή ταύτιση.

4.1.5 Περιγραφή του Αλγορίθμου σε JAVA

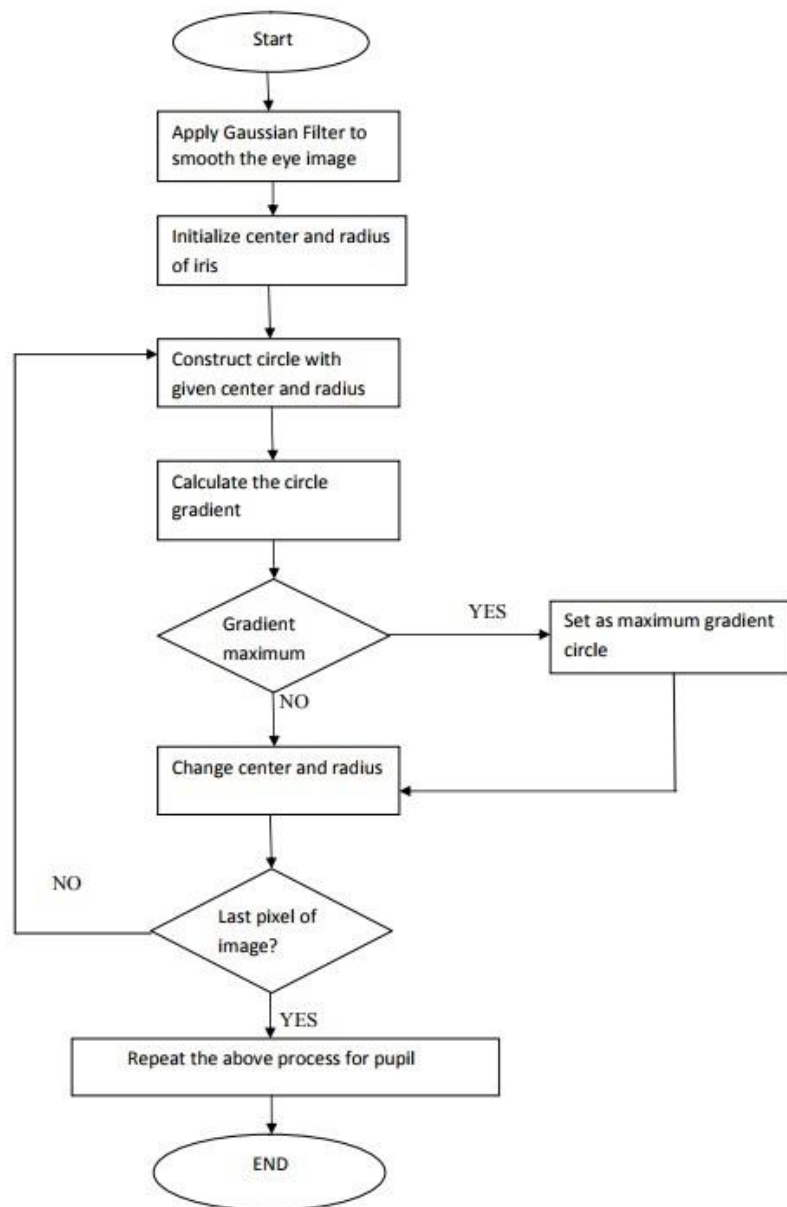
Αρχικά, έχουμε δημιουργήσει μια κλάση `eyeDataType` η οποία ορίζει έναν τύπο δεδομένων που θα χρησιμοποιηθεί για την αναφορά των χαρακτηριστικών του ματιού. Συγκεκριμένα, περιέχει το κέντρο (x,y) και την ακτίνα 2 κύκλων, του εσωτερικού και του εξωτερικού όριου της ίριδας. Στη συνέχεια, ορίζουμε ένα ελάχιστο όριο `pixel` που περιέχεται η ίριδα ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί ο αλγόριθμος αναγνώρισης. Ξεκινάμε με την κλάση `LocateIris` και συγκεκριμένα με την συνάρτηση *find_circle*, η οποία καλείται 2 φορές για τα δύο όρια της ίριδας. Χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση *gaussian_blur*, θολώνουμε την εικόνα με τη μέθοδο της συνέλιξης, παίρνοντας ως ορίσματα την εικόνα της ίριδας και την τιμή της τυπικής απόκλισης σ , εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο του Daugman για κάθε `pixel` της εικόνας. Έχοντας την εξομαλυμένη εικόνα, εφαρμόζουμε τη συνάρτηση *edgeDetection*, η οποία ψάχνει να βρει τις ακμές της εικόνας, δηλαδή τα δύο όρια της ίριδας. Για εξοικονόμηση χρόνου και πόρων δεν εφαρμόζεται σε όλες τις κατευθύνσεις παρά μόνο στον άξονα x , λόγω της κυκλικής γεωμετρίας της ίριδας. Η αρχική συνάρτηση εν τέλει επιστρέφει 2 κύκλους που είναι ουσιαστικά το εσωτερικό όριο, δηλαδή της κόρης με την ίριδα και το εξωτερικό όριο, δηλαδή της ίριδας με τον σκληρό χιτώνα.

Έχοντας βρει επιτυχημένα τα 2 όρια της ίριδας, περνάμε στη δεύτερη φάση του αλγορίθμου. Ξεκινάμε με την κλάση `UnWrapper` η οποία ουσιαστικά εξάγει και «ξετυλίγει» την ίριδα δεδομένων των δύο ορίων που έχουμε υπολογίσει νωρίτερα. Η συνάρτηση `CoordConverter` χρησιμοποιείται για να υλοποιήσει τους μαθηματικούς υπολογισμούς για το «ξεδίπλωμα» της ίριδας, δηλαδή την μετατροπή των συντεταγμένων από καρτεσιανές σε πολικές. Τελικά, δημιουργείται μια νέα εικόνα διαστάσεων 512x128.

Περνώντας στην τρίτη φάση του αλγορίθμου, εκτελείται η συνάρτηση *BitcodeGenerator*, η οποία χρησιμοποιεί φίλτρα Gabor για τη δημιουργία του `bitcode`, από την εικόνα της ίριδας. Η βασική ιδέα είναι να δημιουργηθούν διαφορετικά φίλτρα Gabor, τα οποία καθορίζονται από τις σταθερές a, b, w, x_0, y_0 και να φιλτράρεται η «ξετυλιγμένη» ίριδα. Ο συνολικός αριθμός των `bits` που επιστρέφεται είναι ο συνολικός αριθμός των διαφορετικών αυτών συνδυασμών επί 2, αφού το φίλτρο Gabor έχει πραγματικό και μιγαδικό μέρος.

Ολοκληρώνοντας, η συνάρτηση *hammingDistance* δέχεται τα 2 `bitcode` για σύγκριση και μια ακέραια μεταβλητή *rotation* (χρησιμοποιείται για την περιστροφή της μιας εικόνας σε σχέση με την άλλη για να βρεθεί η μικρότερη απόσταση), χρησιμοποιώντας τον τελεστή `xor` επιστρέφει την μικρότερη αυτή απόσταση.

Στην εικόνα 4.9 παρουσιάζεται αναλυτικά το διάγραμμα ροής του αλγορίθμου για την εύρεση της περιοχής της ίριδας. Αρχικά, ακολουθούνται τα βήματα που περιγράφονται στην ενότητα 4.1.1 για την ίριδα και στη συνέχεια εφαρμόζεται η ίδια διαδικασία για την κόρη.



Εικόνα 4.9: Διάγραμμα ροής αλγορίθμου

4.2 Εφαρμογή

Για την ανάπτυξη της εφαρμογής χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Android Studio [18], το οποίο είναι το επίσημο ολοκληρωμένο προγραμματιστικό περιβάλλον (IDE) για ανάπτυξη εφαρμογών στην πλατφόρμα Android.

Η εφαρμογή που αναπτύχθηκε αναγνωρίζει επιτυχώς την περιοχή της ίριδας αλλά παρουσιάζει κάποιες αδυναμίες με σημαντικότερη την εξάρτηση από τη φωτεινότητα του χώρου. Σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού καθίσταται αδύνατος ο εντοπισμός της ίριδας. Για το λόγο αυτό, επιλέχθηκε να υλοποιηθεί ένα σύστημα φωτισμού το οποίο πριν από τη λήψη της φωτογραφίας θα αναγνωρίζει τις συνθήκες φωτισμού και ανάβει κατάλληλα κάποια led ώστε να διορθώνει τη φωτεινότητα. Επίσης, εκτός από τη φωτεινότητα, κρίθηκε αναγκαία και η διόρθωση της χρωματικής ισορροπίας ώστε ανεξάρτητα από τις συνθήκες φωτισμού του περιβάλλοντος η φωτογραφία του ματιού να μην παρουσιάζει χρωματικές διαφορές (διαφορά της φωτεινότητας σε εικόνες διαβάθμισης του γκρι).

Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν 3 φωτοαντιστάσεις. Σε κάθε φωτοαντίσταση τοποθετήθηκε ένα φίλτρο χρώματος για κάθε ένα από τα τρία κύρια χρώματα RGB (κόκκινο, πράσινο, μπλε). Μια φωτοαντίσταση είναι μια μεταβλητή αντίσταση ελεγχόμενη από το φως, της οποίας η αντίσταση μειώνεται με την αύξηση της έντασης του προσπίπτοντος φωτός. Έτσι, μπορούμε να γνωρίζουμε την ένταση των τριών αυτών χρωμάτων που υπάρχουν στο περιβάλλον. Για τη διόρθωση της χρωματικής ισορροπίας χρησιμοποιήθηκαν δύο RGB leds. Γνωρίζοντας την τιμή των τριών φωτοαντιστάσεων, μπορούμε να αυξομειώσουμε την ένταση των επιμέρους leds του RGB led, ώστε να πετύχουμε το αποτέλεσμα που απαιτείται κάθε φορά. Η εξίσωση που χρησιμοποιήθηκε είναι η παρακάτω:

$$ledX = \left\lfloor \frac{maxSensor - sensorX}{maxSensorValue} maxLedValue \right\rfloor brightnessFactor$$

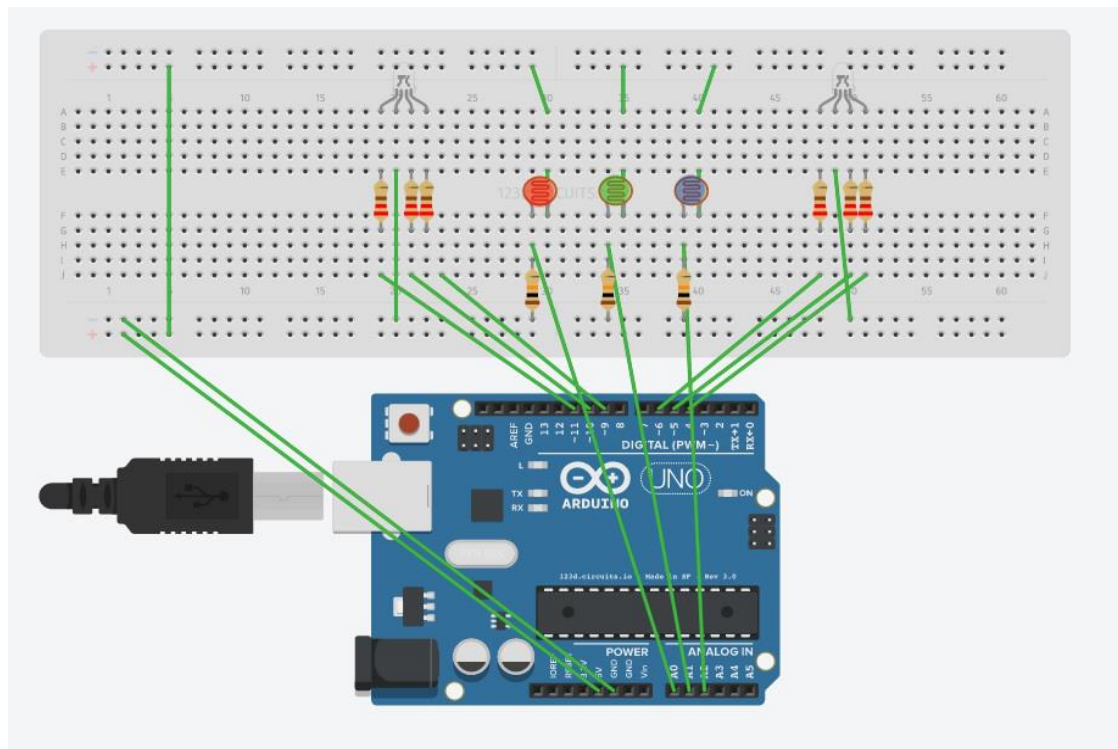
Όπου:

- ledX: η τιμή του χρώματος που υπολογίζουμε
- maxSensor: η μέγιστη τιμή των 3 αισθητήρων
- sensorX: η τιμή του κάθε αισθητήρα
- maxSensorValue: η μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει ο αισθητήρας (1023)
- maxLedValue: η μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει κάθε led (255)
- brightnessFactor: συντελεστής που μας επιτρέπει να αυξήσουμε την φωτεινότητα στα επιθυμητά επίπεδα

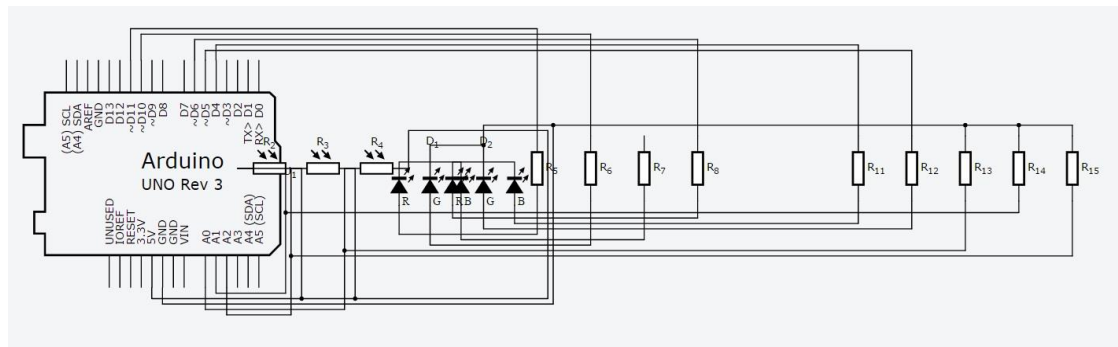
Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται αναλυτικά τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, μια απεικόνιση του πραγματικού κυκλώματος καθώς και το σχηματικό διάγραμμα της υλοποίησης.

IDs	#	Component	Footprint	Properties
U1	1	Arduino Uno R3 The official Arduino Uno Rev3	Arduino Uno R3	
R2, R3, R4	3	Photoresistor (LDR) A variable resistor that changes its resistance based on the amount of light that falls on its' face.	LDR	
D1, D2	2	LED RGB A type of diode that illuminates when electricity passes through it. An RGB can have be any color.	5MM-RGB-LED	
R5, R6, R7, R8, R11, R12	6	Resistor Resist the flow of electrical energy in a circuit, changing the voltage and current as a result.	MINI_MELF-0204W	220 ohm
R13, R14, R15	3	Resistor Resist the flow of electrical energy in a circuit, changing the voltage and current as a result.	MINI_MELF-0204W	10 kohm

Εικόνα 4.10: Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν



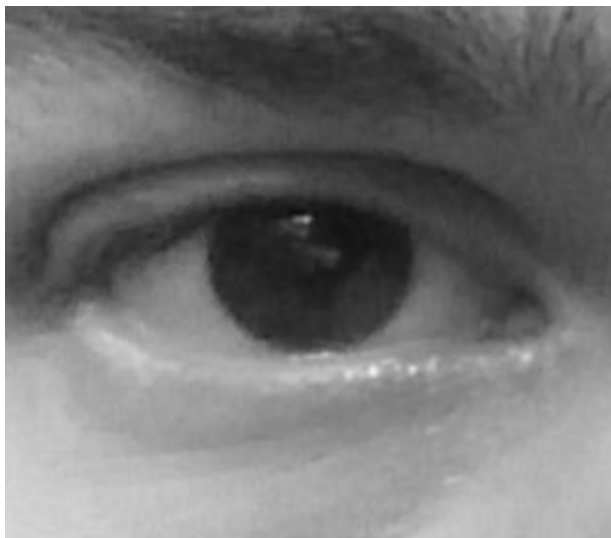
Εικόνα 4.11: Πραγματικό κύκλωμα υλοποίησης



Εικόνα 4.12: Σχηματικό διάγραμμα υλοποίησης

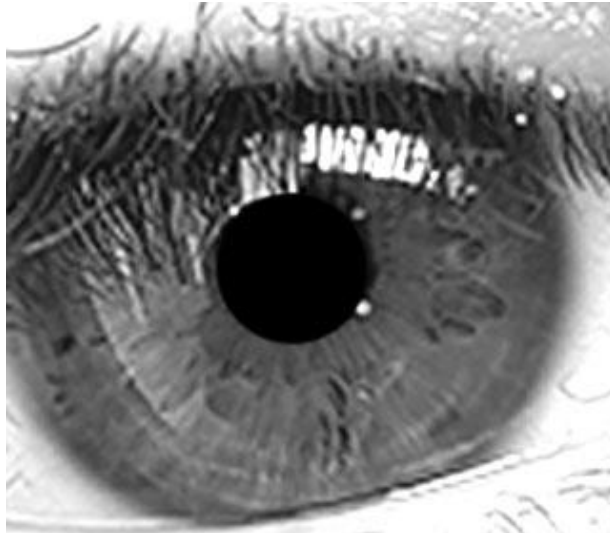
4.3 Προβλήματα και Αντιμετώπιση

Η αρχική σκέψη ήταν να χρησιμοποιηθεί η εμπρόσθια κάμερα και το σύστημα φωτισμού να τοποθετηθεί πίσω από το smartphone, με τα led στραμμένα προς την κατεύθυνση της κάμερας. Ωστόσο λόγω χαμηλής ανάλυσης και ευρυγώνιου φακού ήταν αδύνατο να διακριθεί η κόρη από την ίριδα με αποτέλεσμα ο αλγόριθμος να μην βρίσκει εφαρμογή.



Εικόνα 4.13: Εικόνα της ίριδας με την μπροστινή κάμερα του smartphone

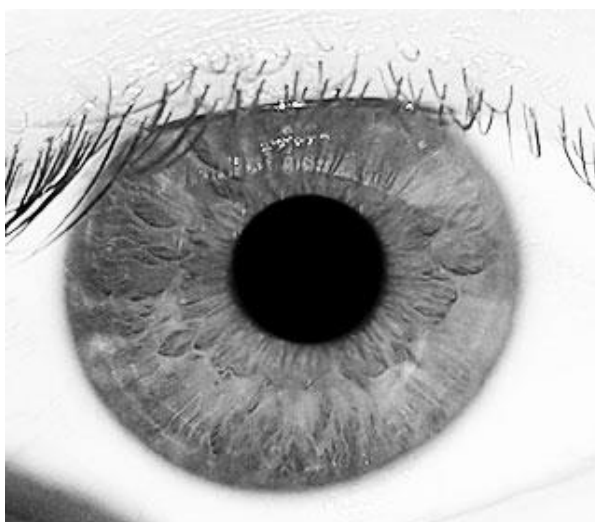
Για την επίλυση αυτού του προβλήματος προτάθηκε να χρησιμοποιηθεί η οπίσθια κάμερα, λόγω μεγαλύτερης ανάλυσης και εστιακής απόστασης. Τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά ως προς την αναγνώριση των ορίων της ίριδας από την εφαρμογή. Έπειτα όμως από πολλές δοκιμές σε διαφορετικές συνθήκες φωτισμού, παρατηρήθηκε ότι οι φωτογραφίες περιείχαν αντανakλάσεις με αποτέλεσμα να αλλοιώνεται το εσωτερικό της ίριδας και να μην γίνεται σωστή αναγνώριση. Οι αντανakλάσεις προέρχονταν από το σύστημα φωτισμού και από το περιβάλλον.



Εικόνα 4.14: Ύπαρξη αντανακλάσεων στην περιοχή της ίριδας

Υπάρχουν δύο τρόποι για την αντιμετώπιση του φαινομένου αυτού. Πρώτον, να χρησιμοποιηθεί κάποιος αλγόριθμος αναγνώρισης των αντανακλάσεων, ώστε να μην λαμβάνονται υπόψη στη σύγκριση. Δεύτερον, να υλοποιηθεί μια κατασκευή κλειστού κουτιού γύρω από το μάτι, ώστε να αποκοπεί ο εξωτερικός φωτισμός και να μην υπάρχουν αντανακλάσεις στην υπό εξέταση ίριδα. Επιλέχθηκε εν τέλει ο δεύτερος τρόπος, διότι σε πολλές περιπτώσεις η ίριδα καλυπτόταν σε μεγάλο ποσοστό από αντανακλάσεις και η αφαίρεση αυτών των περιοχών περιόριζε σημαντικά το δείγμα προς εξέταση. Θα μπορούσαν εν μέρει να αντιμετωπιστούν με χρήση πολωμένου φωτός, αλλά λόγω της καμπυλότητας του ματιού και της μη ελεγχόμενης γωνίας από το χρήστη για τη λήψη των εικόνων, δεν εξετάστηκαν σε βάθος.

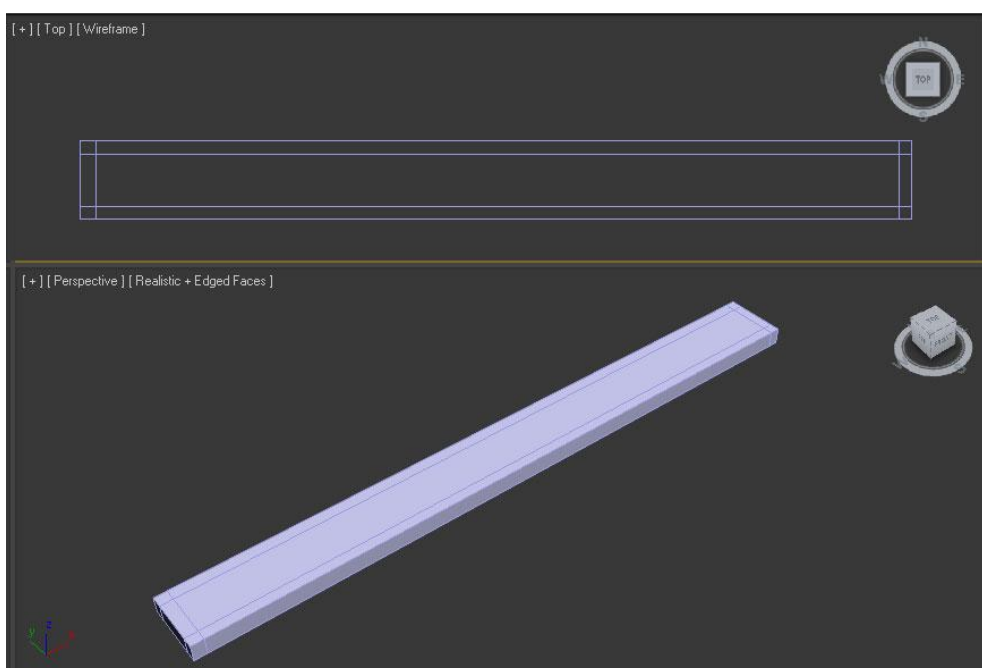
Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε τροποποίηση του Google Cardboard προκειμένου να προσαρμοστεί στις ανάγκες μας, και έτσι κατέστη δυνατό να ληφθούν τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Το εσωτερικό του βάφτηκε με χρώμα μαύρο ματ για να περιορίσει περισσότερο τις αντανακλάσεις και έγιναν κάποιες παρεμβάσεις έτσι ώστε να τοποθετηθεί το smartphone ανάποδα και να μπορεί να ληφθεί η φωτογραφία. Τελικά, οι αντανακλάσεις περιορίστηκαν στη κόρη του ματιού, πράγμα που δεν παρακωλύει την εφαρμογή του αλγορίθμου.



Εικόνα 4.15: Τελική φωτογραφία με χρήση του τροποποιημένου συστήματος

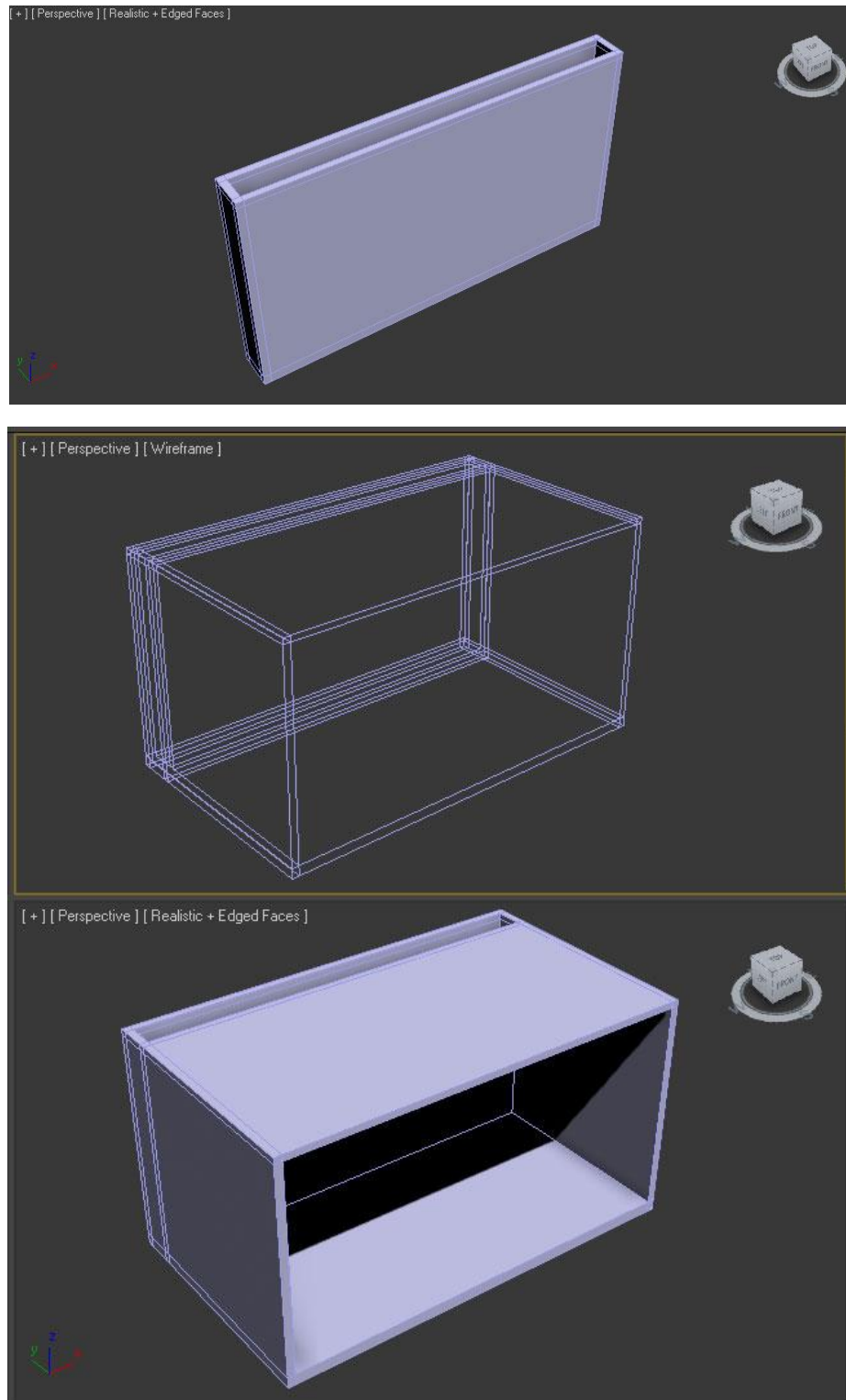
Για καλύτερη εμφάνιση και εξατομίκευση, αποφασίστηκε η δημιουργία μιας θήκης μέσω τρισδιάστατης εκτύπωσης. Για την κατασκευή της θήκης, αρχικά βρέθηκαν οι ακριβείς διαστάσεις του κινητού τηλεφώνου που θα χρησιμοποιηθεί (Samsung Galaxy S7 Edge) και υπολογίστηκαν οι ακριβείς θέσεις της κάμερας, του φλας καθώς και του κουμπιού λήψης φωτογραφίας.

Για την υλοποίηση του τρισδιάστατου μοντέλου χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο 3D Studio Max [19]. Η σχεδίαση ξεκίνησε με έναν απλό κύβο κατάλληλων διαστάσεων, και με 3 υποδιαιρέσεις κατά μήκος και πλάτος. Το αντικείμενο μετατράπηκε σε Editable Mesh και οι κορυφές μετακινήθηκαν κατάλληλα ώστε να διευκολύνουν την περαιτέρω μορφοποίηση.



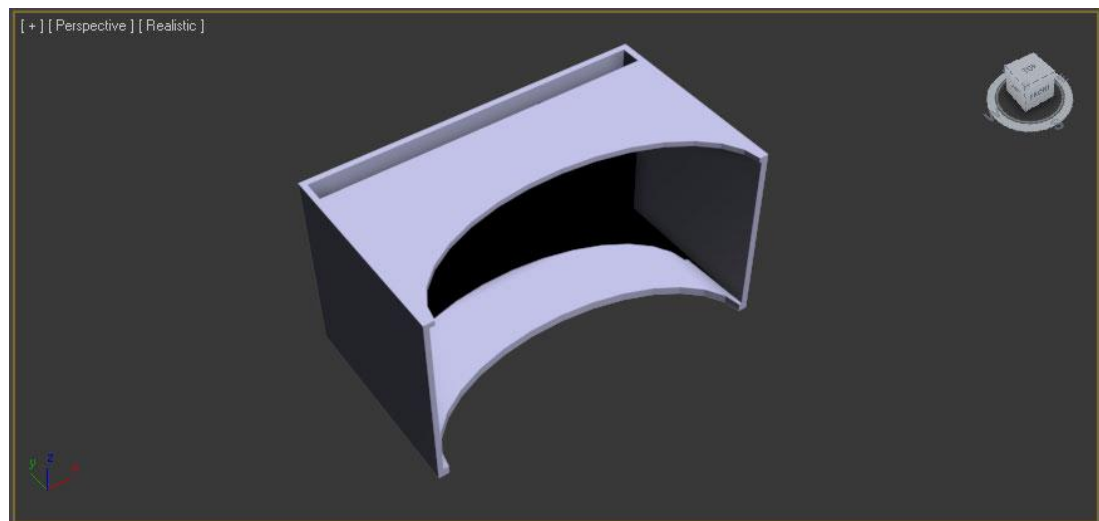
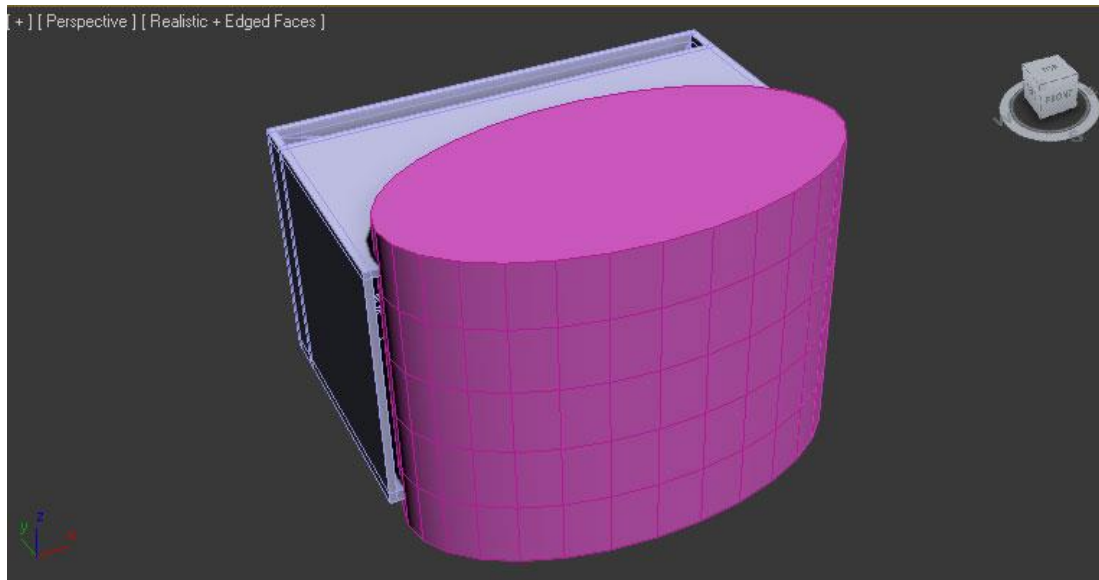
Εικόνα 4.16: Αρχική σχεδίαση τρισδιάστατου μοντέλου

Στην συνέχεια, έγινε επιλογή των εξωτερικών εδρών (faces) στην κορυφή του μοντέλου και εξώθηση τους (extrude) στο κατάλληλο ύψος. Εξώθηση έγινε εν συνεχεία και σε επιλεγμένες έδρες της μπροστινής επιφάνειας.



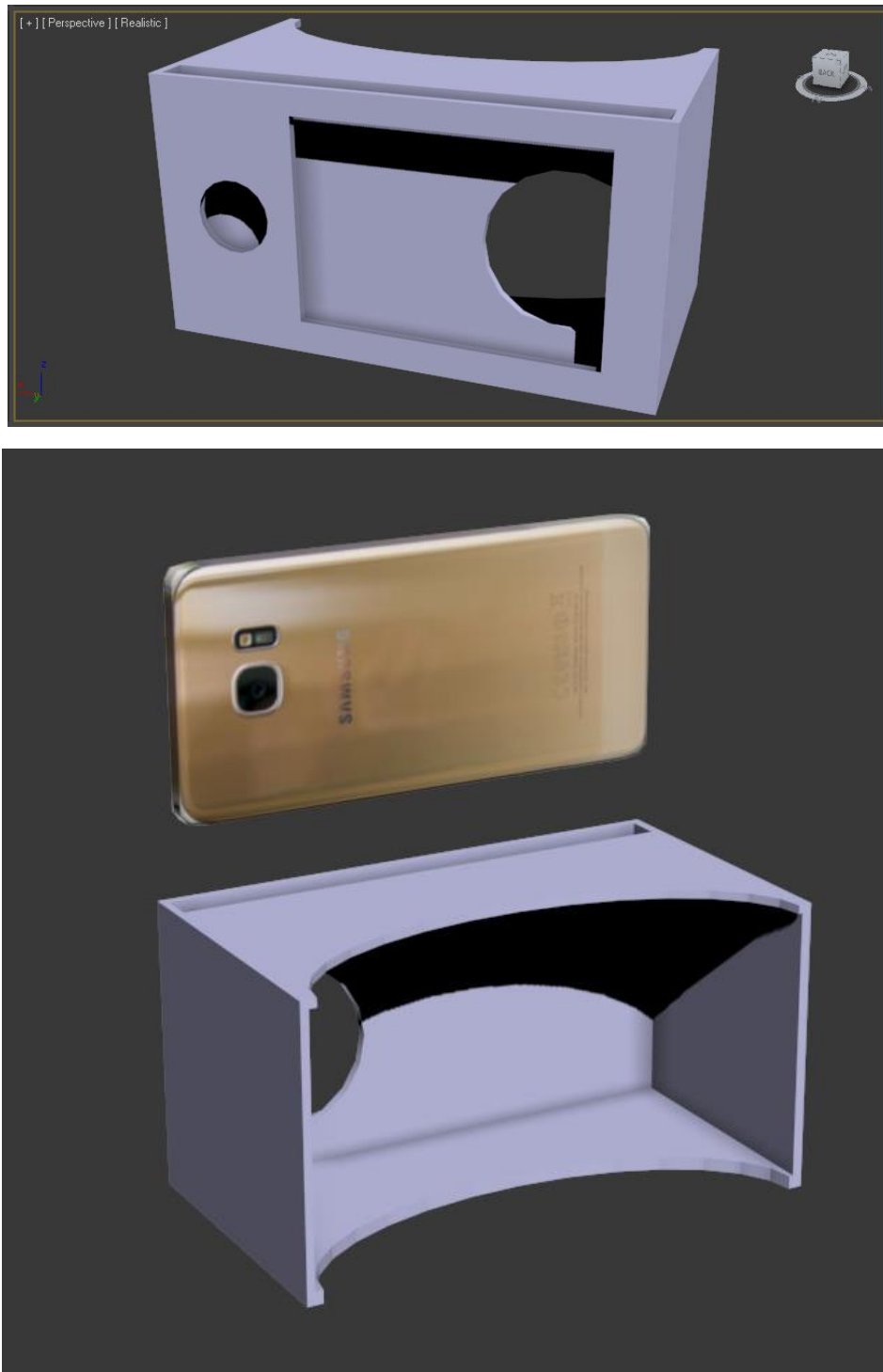
Εικόνα 4.17: Βήματα σχεδίασης τρισδιάστατου μοντέλου

Το επόμενο βήμα ήταν η δημιουργία ενός κυλίνδρου και η παραμόρφωση του ώστε να δημιουργείται κατάλληλη καμπύλη. Με τη χρήση ProBoolean έγινε κοπή του αντικειμένου ώστε να πάρουμε το ακόλουθο μοντέλο.



Εικόνα 4.18: Κυκλική κοπή τρισδιάστατου μοντέλου

Με την ίδια διαδικασία έγινε κοπή ώστε να δημιουργηθούν «τρύπες» στο μοντέλο σε διάφορα σημεία και να διευκολύνεται η λήψη φωτογραφίας. Το τελικό μοντέλο –έτοιμο για εκτύπωση- είναι ολοκληρωμένο, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Τέλος, δημιουργήθηκε ένα απλουστευμένο μοντέλο του συγκεκριμένου τηλεφώνου για την τελική προσομοίωση.



Εικόνα 4.19: Τελικό τρισδιάστατο μοντέλο

Το συγκεκριμένο μοντέλο σχεδιάστηκε για χρήση με το Samsung Galaxy S7 Edge, αλλά υποστηρίζει και κινητά με οθόνες έως 6 ίντσες (150mm). Η χρήση του «κουτιού» όχι μόνο διευκόλυνε αλλά και αύξησε σημαντικά το ποσοστό αναγνώρισης. Αυτό συνέβη διότι «αποκόπηκαν» οι αντανακλάσεις που προέρχονταν από το περιβάλλον. Με τη σειρά τους, οι επιπρόσθετες αντανακλάσεις από το ενσωματωμένο φλας αποτυπώθηκαν στην κόρη του ματιού, πράγμα που δεν επηρέασε την αναγνώριση. Επίσης, αποφεύχθηκε η ανάπτυξη κάποιου αλγορίθμου για τον εντοπισμό των αντανακλάσεων μια και θα αύξανε την πολυπλοκότητα του. Παράλληλα, η εξαγωγή τους από την αναγνώριση -ανάλογα με τον περιβάλλοντα φωτισμό- θα περιόριζε το δείγμα προς εξέταση. Παρακάτω παρατίθεται το τελικό αποτέλεσμα όπως υλοποιήθηκε από τον τρισδιάστατο εκτυπωτή.



Εικόνα 4.20: Τελικό εκτυπωμένο μοντέλο με το smartphone που χρησιμοποιήθηκε

Κεφάλαιο 5

Αποτελέσματα και Αξιολόγηση

5.1 Σύστημα Φωτισμού

Για τη σωστή λειτουργία του συστήματος φωτισμού πραγματοποιήθηκαν πολλές δοκιμές σε διάφορες συνθήκες φωτισμού. Παρακάτω παρατίθεται μια εικόνα που παραθέτει τις τιμές που κατέγραψαν οι αισθητήρες κάθε χρώματος και τις τιμές που λαμβάνει κάθε led.

Low Light	White Led	Bright Light
<div>Raw Sensor Values</div> <div>Red: 97.00</div> <div>Green: 35.00</div> <div>Blue: 26.00</div> <div>Mapped Sensor Values</div> <div>Red: 230</div> <div>Green: 246</div> <div>Blue: 249</div>	<div>Raw Sensor Values</div> <div>Red: 464.00</div> <div>Green: 404.00</div> <div>Blue: 440.00</div> <div>Mapped Sensor Values</div> <div>Red: 139</div> <div>Green: 149</div> <div>Blue: 146</div>	<div>Raw Sensor Values</div> <div>Red: 921.00</div> <div>Green: 866.00</div> <div>Blue: 899.00</div> <div>Mapped Sensor Values</div> <div>Red: 25</div> <div>Green: 39</div> <div>Blue: 30</div>

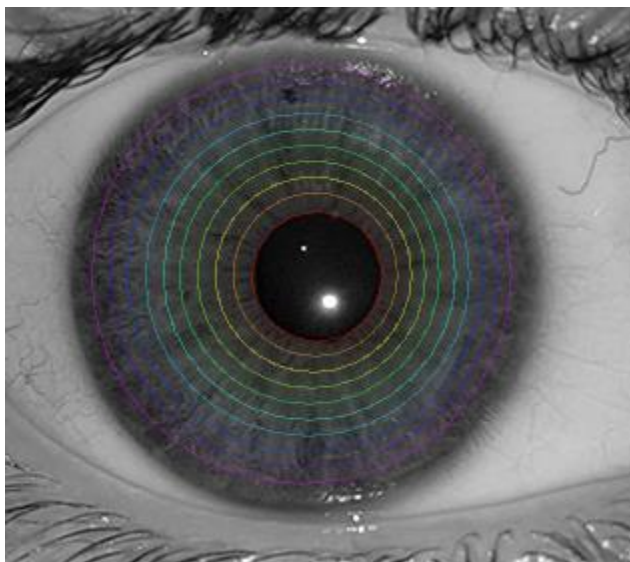
Εικόνα 5.1: Τιμές αισθητήρων και leds σε διάφορες συνθήκες φωτισμού

Το εύρος τιμών των αισθητήρων (Raw Sensor Value) είναι 0-1023 ενώ των led (Mapped Sensor Value) είναι 0-255. Παρατηρούμε ότι σε κάθε περίπτωση εξομαλύνεται η διαφορά που υπάρχει στις τιμές των χρωμάτων ώστε να αντισταθμιστούν τα κυρίαρχα χρώματα κάθε φωτογραφίας.

Συγκεκριμένα το white led αναφέρεται σε καταστάσεις εσωτερικού φωτισμού (π.χ. σε ένα δωμάτιο που φωτίζεται από μια λάμπα Led), το bright light σε εξωτερικές καταστάσεις υπό το φως του ηλίου και το low light σε καταστάσεις χαμηλού φωτισμού, είτε εσωτερικού είτε εξωτερικού.

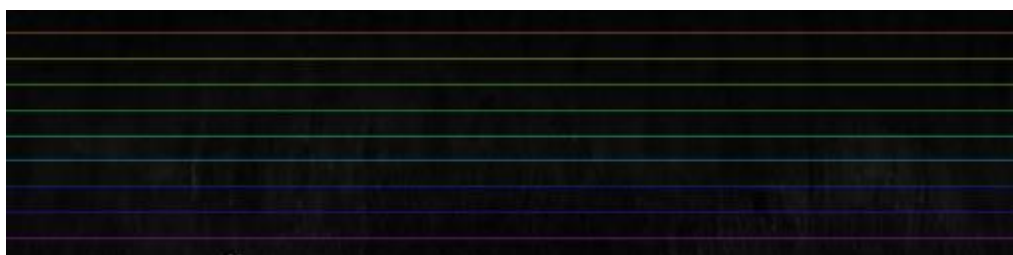
5.2 Αλγόριθμος Αναγνώρισης

Ο αλγόριθμος αναγνώρισης που περιγράφεται στο κεφάλαιο 4.1 εφαρμόζεται αποτελεσματικά σε όλες τις φάσεις της αναγνώρισης ίριδας. Παρακάτω παρατίθενται εικόνες με τα αποτελέσματα του αλγορίθμου στις τρεις φάσεις της αναγνώρισης.



Εικόνα 5.2: Εντοπισμός των εικονοστοιχείων που ανήκουν στην ίριδα

Στην εικόνα 5.2, παρουσιάζεται το πώς ο αλγόριθμος αναγνωρίζει την περιοχή της ίριδας. Παρατηρούμε ότι η αντανάκλαση στην περιοχή της κόρης δεν επηρεάζει την ομαλή αναγνώριση του δακτυλίου της ίριδας. Όλες οι χρωματιστές γραμμές είναι βοηθητικές για να γίνει κατανοητό πως μετατρέπονται οι καρτεσιανές συντεταγμένες σε πολικές, χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (4) και (5) όπως αναλύονται στο κεφάλαιο 4.1.2.



Εικόνα 5.3: Ξετύλιγμα ίριδας

Στην εικόνα 5.3, παρουσιάζεται το «ξετύλιγμα» της ίριδας, δηλαδή η μετατροπή των συντεταγμένων που βρέθηκαν στην εικόνα 5.2 σε έναν δισδιάστατο πίνακα ώστε να είναι πιο εύχρηστα κατά την επεξεργασία τους ως ένα ενιαίο σύνολο τιμών.



Εικόνα 5.4: Δημιουργία Iris Code

Τελευταίο και σημαντικότερο βήμα της υλοποίησης είναι η κωδικοποίηση της «ξετυλιγμένης» ίριδας σε Iris Code, δηλαδή με τη συνέλιξή της με ένα φίλτρο Gabor (εξίσωση (6)). Στην παραπάνω εικόνα παρουσιάζεται η οπτικοποιημένη αναπαράσταση του Iris Code μιας εικόνας από τη βιβλιοθήκη. Για την απόσταση Hamming παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στο τέλος του κεφαλαίου.

Έχοντας παρουσιάσει τα γραφικά αποτελέσματα, είναι σημαντικό να παρατεθούν και οι χρόνοι εκτέλεσης των συγκρίσεων. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι χρόνοι από τη φόρτωση έως τη δημιουργία του Iris Code μιας εικόνας, ανάλογα με τον αριθμό των εικόνων που υπάρχουν στον φάκελο.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ (SEC)
10	0.980
20	1.001
30	1.018
40	1.022
50	1.021

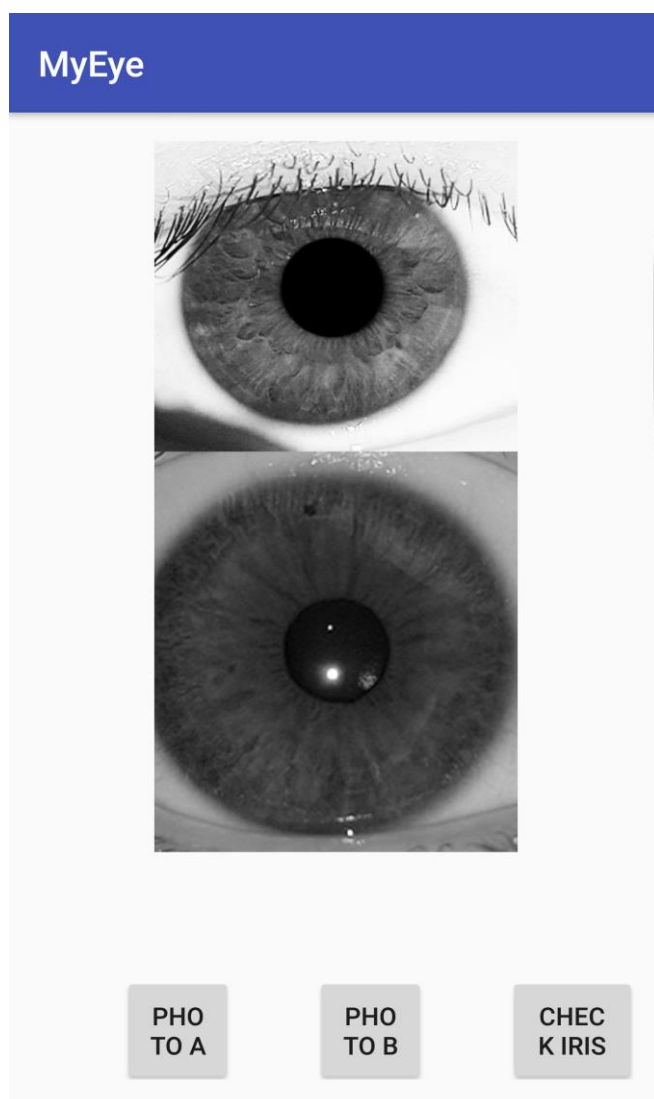
Εικόνα 5.5: Χρόνος φόρτωσης μιας εικόνας σε συνάρτηση με τον αριθμό των εικόνων που υπάρχουν στον φάκελο

Παρατηρούμε ότι ο χρόνος που χρειάζεται η εφαρμογή για το άνοιγμα της εικόνας και την μετατροπή της στο τελικό στάδιο είναι περίπου 1 sec. Αυτό σημαίνει ότι ο χρόνος είναι ανεξάρτητος του αριθμού των εικόνων που υπάρχουν στο φάκελο. Αυτό συμβαίνει, γιατί κάθε φορά ανοίγουμε για σύγκριση μόνο 2 εικόνες, οπότε δεν γίνεται σύγκριση με ολόκληρη την βιβλιοθήκη ώστε να αυξηθεί ο χρόνος. Οι διαφορές που εντοπίζονται οφείλονται στις μικρές διαφορές μεγέθους της κάθε εικόνας. Επίσης, ο χρόνος σύγκρισης των δύο Iris Codes των εικόνων και η παρουσίαση της απόστασης Hamming ποικίλει από 0.3 έως 0.4 sec. Συνεπώς, ο συνολικός χρόνος της εφαρμογής (φόρτωση και των 2 εικόνων και σύγκριση Iris Code) είναι περίπου 2,5 sec.

5.3 Εφαρμογή Android

Για τη λήψη των φωτογραφιών και την εκτέλεση της εφαρμογής χρησιμοποιήθηκε το smartphone Samsung Galaxy S7 Edge. Το συγκεκριμένο smartphone διαθέτει κάμερα 12 MP, μεγέθους 1/2.5", f/1.7, 26mm καθώς και οπτικό σταθεροποιητή εικόνας, πράγμα που μας βοηθάει να έχουμε όσο το δυνατόν καλύτερες φωτογραφίες. Επιπλέον, διαθέτει οκταπύρρηνο επεξεργαστή με 4 πυρήνες χρονισμένους στα 2.3 GHz και 4 στα 1.6 GHz, και 4 GB μνήμη RAM. Οπότε, δεν υπήρξε κανένα πρόβλημα στην εκτέλεση του προγράμματος.

Το περιβάλλον της εφαρμογής είναι αρκετά απλό και μινιμαλιστικό. Αποτελείται από 3 μόνο κουμπιά, για λήψη των φωτογραφιών και έλεγχο της ίριδας, όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 5.6: Αρχική οθόνη εφαρμογής

Το βασικό activity αποτελείται από 2 LinearLayout, ένα οριζόντιο για τα κουμπιά και ένα κατακόρυφο για τις φωτογραφίες.

Η εφαρμογή ξεκινά με δυο προεπιλεγμένες φωτογραφίες προς διευκόλυνση του χρήστη. Όταν ο χρήστης της εφαρμογής πατήσει κάποιο από τα κουμπιά PHOTO A ή PHOTO B, τότε η εφαρμογή τον ενημερώνει για όλους τους διαθέσιμους τρόπους εισαγωγής φωτογραφίας. Οι βασικές επιλογές περιλαμβάνουν εύρεση της φωτογραφίας στην συσκευή του χρήστη και ενεργοποίηση της κάμερας της συσκευής για άμεση φωτογράφιση.

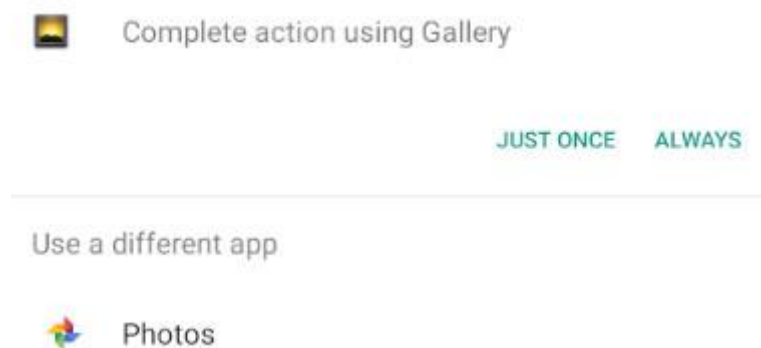
Η εφαρμογή πρέπει να αποκτήσει τα κατάλληλα δικαιώματα ώστε να έχει πρόσβαση στον αποθηκευτικό χώρο της συσκευής. Απαραίτητα λοιπόν στο AndroidManifest θα πρέπει εξαρχής να δηλωθούν τα ζητούμενα δικαιώματα :

```
<uses-permission  
android:name="android.permission.READ_EXTERNAL_STORAGE" />
```

Στην πρώτη εκτέλεση της εφαρμογής ο χρήστης θα ερωτηθεί αν επιτρέπει την πρόσβαση στην συσκευή του. Αυτό ελέγχεται με τον ακόλουθο κώδικα :

```
public void onRequestPermissionsResult(int requestCode, @NonNull  
String[] permissions, @NonNull int[] grantResults) {  
    super.onRequestPermissionsResult(requestCode, permissions,  
grantResults);  
    if (requestCode==1){  
        if (grantResults.length > 0 &&  
grantResults[0]==PackageManager.PERMISSION_GRANTED) {  
            getCameraPhoto();  
        }  
    }  
}
```

Αν απαντήσει θετικά τότε εμφανίζεται το πλαίσιο επιλογής της προτεινόμενης εφαρμογής για λήψη της φωτογραφίας, όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 5.7: Τρόπος φόρτωσης της εικόνας

Από την στιγμή που και οι δύο φωτογραφίες έχουν φορτωθεί, τότε μπορεί να ενεργοποιηθεί ο αλγόριθμος ελέγχου της ίριδας. Αυτό γίνεται πατώντας το κουμπί CHECK IRIS.

Ο αλγόριθμος για λόγους ταχύτητας και υπολογιστικών πόρων, λειτουργεί με εικόνες χαμηλής ανάλυσης, πλάτους 320pixel. Στο πρώτο στάδιο, θα πρέπει να ελεγχθούν οι διαστάσεις των δύο φωτογραφιών και εφόσον υπερβαίνουν τα 320 pixel σε πλάτος, θα πρέπει να γίνει σμίκρυνση τους στο κατάλληλο μέγεθος. Η αλλαγή πρέπει να γίνει ομοιόμορφα ώστε να μην υπάρξει παραμόρφωση.

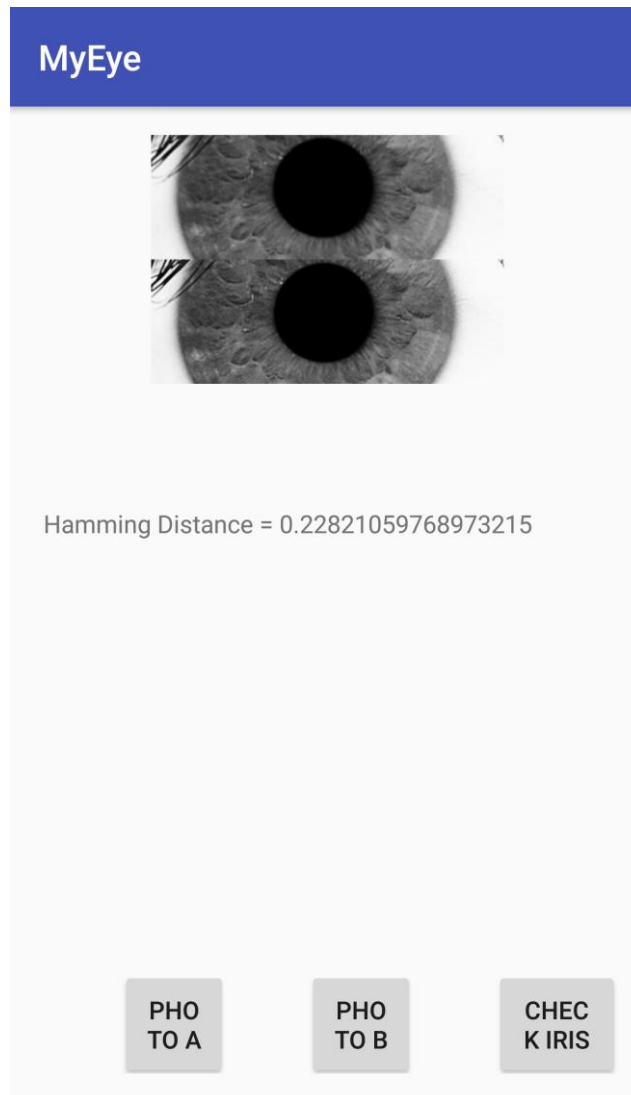
```
int newWidth = 320;
scaleWidth = ((float) newWidth) / width;
scaleHeight = ((float) height*newWidth/width) / height;
matrix.postScale(scaleWidth, scaleHeight);
```

Αμέσως μετά δημιουργείται νέο bitmap με τα κατάλληλα χαρακτηριστικά και συμπίεση jpeg υψηλής ποιότητας.

```
resizedBitmap = Bitmap.createBitmap(originalImage, 0, 0, width,
height, matrix, true);
outputStream = new ByteArrayOutputStream();
resizedBitmap.compress(Bitmap.CompressFormat.JPEG, 100,
outputStream);
```

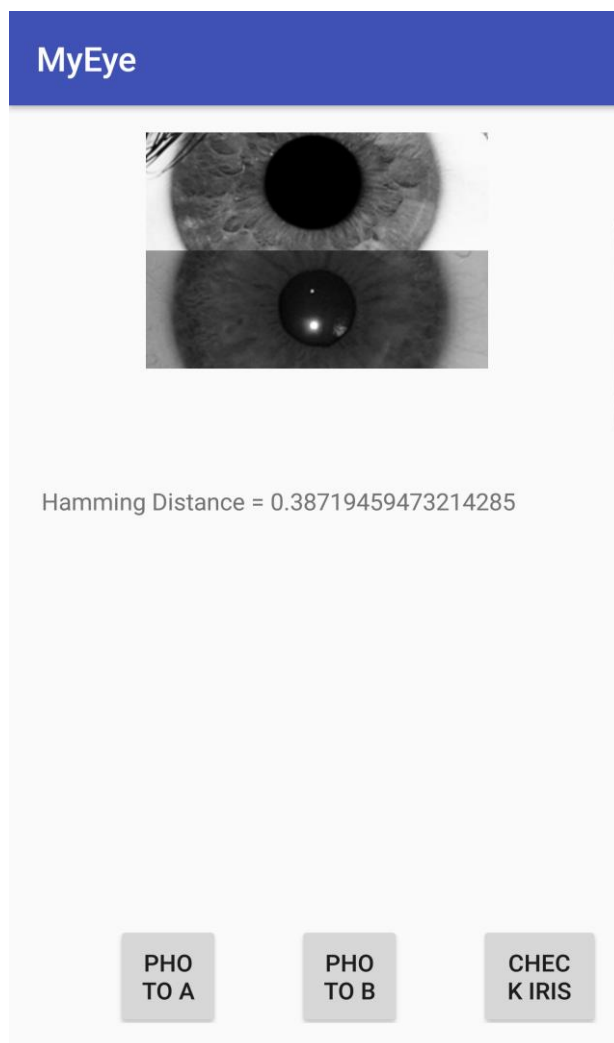
Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται και για την δεύτερη εικόνα. Αφού ολοκληρωθεί και αυτό το στάδιο, ξεκινά η εφαρμογή του αλγόριθμου υπολογισμού της απόστασης hamming μεταξύ των δυο bitmap.

Επειδή το Android δεν υποστηρίζει τις βιβλιοθήκες “AWT” και “SWING”, για την παρουσίαση των γραφικών η εφαρμογή εκτελεί μόνο τους υπολογισμούς των διαδικασιών αναγνώρισης χωρίς να τους παρουσιάζει στην οθόνη με γραφικά. Παρακάτω παρατίθενται δύο παραδείγματα επιτυχούς και μη αναγνώρισης.



Εικόνα 5.8: Επιτυχής αναγνώριση

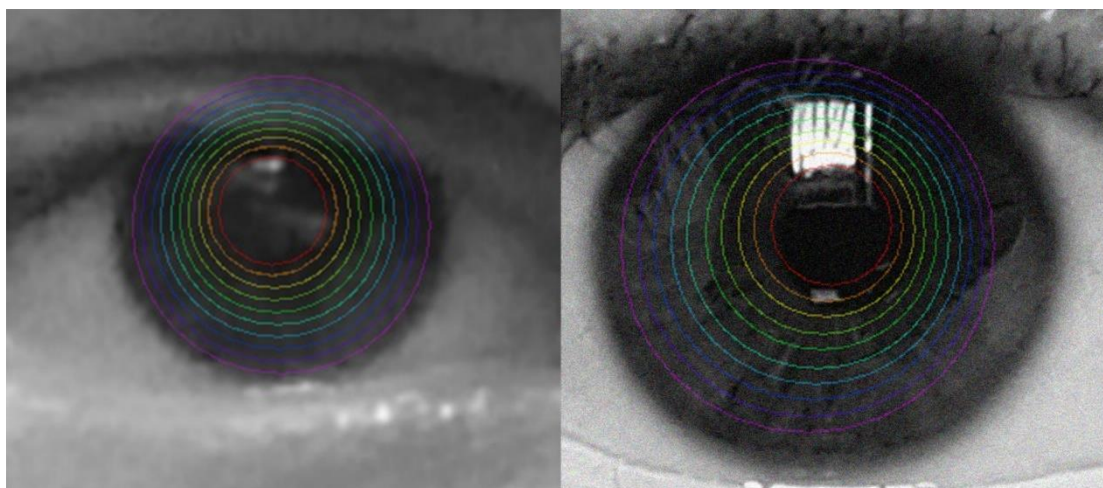
Μετά τη σύγκριση προβάλλεται η εικόνα σε πραγματικές διαστάσεις μετά την αλλαγή της ανάλυσης. Επιπλέον, προβάλλεται και η απόσταση hamming μέσω της οποίας καταλαβαίνουμε αν έχουμε επιτυχή ή όχι αναγνώριση.



Εικόνα 5.9: Μη επιτυχής αναγνώριση

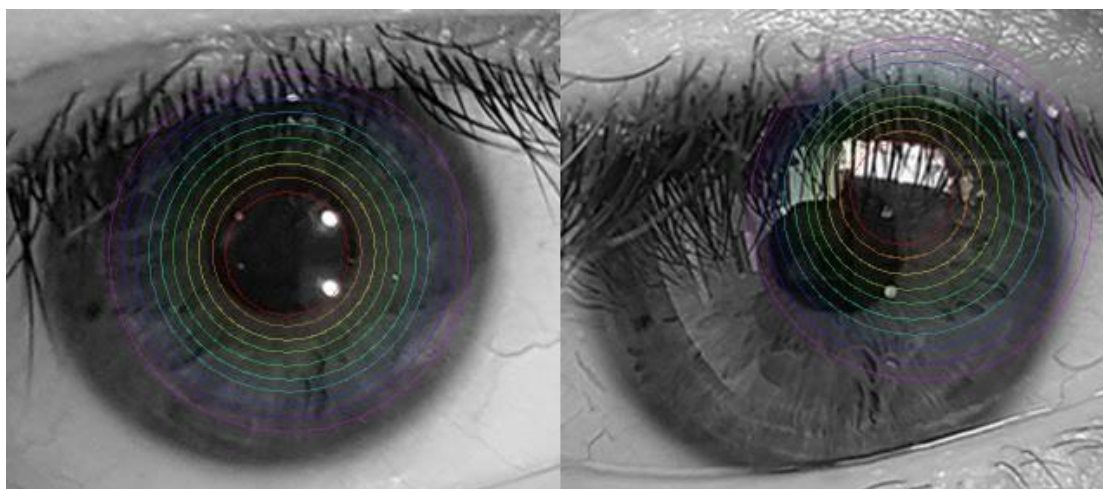
5.4 Ποσοστό Αναγνώρισης

Για να υπολογιστεί το τελικό ποσοστό αναγνώρισης, θα πραγματοποιηθεί αξιολόγηση σε όλα τα στάδια της υλοποίησης. Αρχικά, στις εικόνες που λήφθηκαν από την μπροστινή κάμερα παρατηρούμε ότι σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού δεν μπορούμε να ξεχωρίσουμε ευκρινώς τα όρια της ίριδας με την κόρη. Παρόλα αυτά, ο αλγόριθμος αναγνωρίζει κάποιο μέρος της ίριδας. Όμως, λόγω της χαμηλής ευκρίνειας, δεν αναγνωρίζει επιτυχώς τις ίδιες ίριδες μετά από επανέλεγχο.



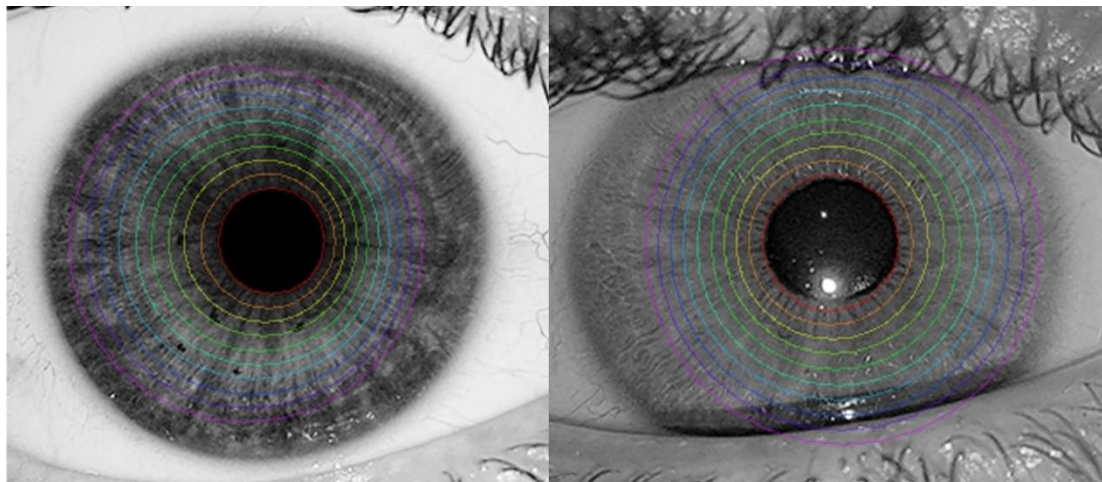
Εικόνα 5.10: Εφαρμογή του αλγορίθμου σε εικόνες χαμηλής ανάλυσης

Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας την κύρια κάμερα του smartphone καθώς και το σύστημα φωτισμού καταφέραμε να πάρουμε φωτογραφίες που ενέχουν αρκετή λεπτομέρεια στην περιοχή της ίριδας. Όμως, σε αρκετές περιπτώσεις εξωτερικού χώρου παρατηρούμε ότι ο αλγόριθμος αδυνατεί να εντοπίσει την κόρη με αποτέλεσμα να έχουμε εσφαλμένη περιοχή προς σύγκριση.



Εικόνα 5.11: Εφαρμογή του αλγορίθμου σε εικόνες που περιέχουν αντανακλάσεις

Τα παραπάνω προβλήματα έπαψαν να υπάρχουν με την τοποθέτηση του «κλειστού» κουτιού. Παρατηρούμε ότι αναγνωρίζεται με σαφήνεια το όριο μεταξύ κόρης και ίριδας αλλά και το εξωτερικό όριο, ακόμα και στην περίπτωση που η ίριδα επικαλύπτεται από βλέφαρα. Επίσης, οι επιπρόσθετες αντανακλάσεις περιορίζονται στην περιοχή της κόρης και δεν επηρεάζουν καθόλου την εύρεση του ορίου.



Εικόνα 5.12: Εφαρμογή του αλγορίθμου στις τελικές εικόνες του συστήματος

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι για την εύρεση του ποσοστού αναγνώρισης πραγματοποιήθηκε μια σειρά δοκιμών σε φωτογραφίες που προέρχονται μόνο από το smartphone. Με άλλα λόγια, όλες οι φωτογραφίες είναι σε πραγματικές συνθήκες και δεν συμπεριλήφθηκαν «έτοιμες» φωτογραφίες από άλλες βιβλιοθήκες που έχουν υποστεί οποιαδήποτε μορφή επεξεργασίας. Στο τελικό στάδιο, σε 38 διαφορετικές περιπτώσεις ιρίδων, υπό διάφορες συνθήκες η καθεμία, ο αλγόριθμος δεν βρήκε εφαρμογή μόλις σε δύο περιπτώσεις. Το τελικό ποσοστό αναγνώρισης είναι 94.73 %.

5.5 Σύγκριση με παρόμοιες υλοποιήσεις

Σε προηγούμενη διπλωματική ο χρήστης χρησιμοποιεί ένα Android smartphone τη λήψη της φωτογραφίας και στη συνέχεια γίνεται αποστολή της σε έναν σταθερό υπολογιστή για να υλοποιηθούν οι υπολογισμοί. Στην εικόνα 5.13 παρουσιάζονται οι χρόνοι που χρειάζεται η εφαρμογή από τη φόρτωση έως τη δημιουργία του Iris Code μιας εικόνας, ανάλογα με τον αριθμό των εικόνων που υπάρχουν στον φάκελο.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	ΧΡΟΝΟΣ (SEC)
10	1.001
20	1.0018
30	1.02
40	1.022
50	1.021

Εικόνα 5.13: Χρόνος φόρτωσης μιας εικόνας σε συνάρτηση με τον αριθμό των εικόνων που υπάρχουν στον φάκελο προηγούμενης διπλωματικής

Συγκρίνοντας τα παραπάνω αποτελέσματα με την εικόνα 5.5 παρατηρούμε ότι η εφαρμογή χρειάζεται περίπου τον ίδιο χρόνο για να αναγνωρίσει την περιοχή της ίριδας και στις δύο υλοποιήσεις που είναι κοντά στο 1 sec. Επειδή όμως στην υλοποίησή μας ο αλγόριθμος εκτελείται απευθείας στην συσκευή Android, κερδίζουμε τον χρόνο αποστολής της φωτογραφίας στον σταθερό υπολογιστή, φτάνοντας τελικά σε πιο γρήγορη αναγνώριση.

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι ο μεγάλος στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι το σύστημα να λειτουργεί σε πραγματικές συνθήκες, πράγμα που επιτεύχθηκε. Στην προηγούμενη διπλωματική, ο αλγόριθμος αδυνατεί να βρει εφαρμογή σε φωτογραφίες που έχουν ληφθεί από το smartphone. Αντί αυτού, χρησιμοποιούνται εικόνες μόνο από τη βάση CASIA, οι οποίες έχουν ληφθεί σε εσωτερικό περιβάλλον με σταθερές συνθήκες φωτισμού και παρέχουν υψηλής ποιότητας εικόνες με πολύ καθαρές λεπτομέρειες της υφής της ίριδας.

Κεφάλαιο 6

Συμπεράσματα και Μελλοντικές Επεκτάσεις

6.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία διεκπεραιώθηκε μελέτη του φωτισμού που απαιτείται, ώστε να αποκτήσουμε μια ικανοποιητική εικόνα της ίριδας με την κάμερα του smartphone. Αρχικά, σχεδιάστηκε ένα σύστημα φωτισμού στην πλατφόρμα Arduino, το οποίο διορθώνει τη φωτεινότητα και τη χρωματική ισορροπία της εικόνας, με στόχο να λάβουμε την απαιτούμενη φωτογραφία. Αυτό τελικά κατέστη δυνατό με τη χρήση του ενσωματωμένου φλας του smartphone, καθώς οποιοδήποτε άλλο σύστημα προκαλούσε προβλήματα στην αναγνώριση.

Επιπλέον, υλοποιήθηκε ο αλγόριθμος αναγνώρισης της ίριδας που αποτελείται από τέσσερα βασικά μέρη:

- Εντοπισμός των εικονοστοιχείων που ανήκουν στην ίριδα
- Μετατροπή των καρτεσιανών συντεταγμένων των εικονοστοιχείων που βρέθηκαν να ανήκουν στην ίριδα σε πολικές συντεταγμένες μέσω μιας διαδικασίας που καλείται «ξετύλιγμα» της ίριδας
- Κωδικοποίηση των εικονοστοιχείων της ίριδας (δημιουργία iris code)
- Σύγκριση των κωδίκων που αντιστοιχούν στις ίριδες, προκειμένου να ληφθεί η απόφαση για την ταυτοποίηση του ατόμου

Τέλος, αναπτύχθηκε μια εφαρμογή Android που δέχεται δύο εικόνες της ίριδας, εκτελεί τον παραπάνω αλγόριθμο και τυπώνει την απόσταση Hamming μέσω της οποίας φανερώνεται αν οι δύο εικόνες απεικονίζουν την ίδια ίριδα.

Η εφαρμογή θα μπορούσε να έχει ευρεία χρήση σε πολλές δραστηριότητες. Πιο αναλυτικά, αναφέρεται σε δραστηριότητες που εκτείνονται από το ξεκλείδωμα ενός κινητού τηλεφώνου έως την πρόσβαση σε περιορισμένες περιοχές όπως τράπεζες, νοσοκομεία κλπ.

6.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Ένας παράγοντας που θα βελτιστοποιούσε το αποτέλεσμα και θα καθιστούσε ευκολότερη τη διαδικασία είναι ο εντοπισμός των εικονοστοιχείων που ανήκουν σε αντανakλάσεις ή βλεφαρίδες. Αρχικά, θα εντοπίζονται οι καμπύλες που περιγράφουν το όριο της ίριδας με την κόρη, το σκληρό χιτώνα και τα βλέφαρα. Έπειτα, θα 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, θεωρείται ότι θα ανήκει είτε σε βλεφαρίδα είτε σε αντανakλάση. Οπότε δεν επηρεάζει τον τελικά διαμορφούμενο κώδικα της ίριδας, αφού εξαιρείται της περαιτέρω ανάλυσης.

Μια ακόμη επέκταση θα ήταν η καταγραφή των παραμέτρων που καταγράφουν την κίνηση του οφθαλμού. Συγκεκριμένα, θα μπορούσαν να υπολογιστούν χαρακτηριστικά όπως η ταχύτητα κλεισίματος του οφθαλμού, μέσω της ταυτόχρονης αναγνώρισης των ορίων των βλεφάρων, καθώς επίσης οι μεταβολές της ίριδας ως προς το χρόνο μέσω της αυτόματης αναγνώρισης της.

Συγκεφαλαιώνοντας, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μια θερμική κάμερα ή να αφαιρεθεί το IR φίλτρο από την ενσωματωμένη κάμερα και με τη χρήση ενός IR led να ληφθεί η εικόνα. Αυτό θα μεγιστοποιούσε το βαθμό αποδοχής της μεθόδου από τους χρήστες, αφού δεν θα αντιλαμβάνονται το υπέρυθρο φως.

Βιβλιογραφία

Papers

- [3] Scott και Findlay, Reulen et al., Precise recording of eye movement: the IRIS technique](1993)
- [4] Zhu and Ji, Robust, Real-time eye detection and tracking under variable lighting conditions and various face orientations
- [5] Nguyen et al., Differences in the infrared bright pupil response of human eyes
- [6] R. J. K. Jacob, Eye tracking in advanced interface design, Oxford University Press
- [7] Cornsweet and Crane, Accurate two-dimensional eye tracker using first and fourth purkinje images (1992)
- [8] 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.
- [9] S. Baker, A. Hentz, K. Bowyer, and P. Flynn. Contact lenses: Handle with care for iris recognition. In International Conference on Biometrics: Theory, Applications, and Systems (BTAS), pages 1–8, 2009.
- [10] K. Hollingsworth, K. Bowyer, and P. Flynn. Similarity of iris texture between identical twins. In IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), pages 22–29. IEEE, 2010.
- [11] P. Tome-Gonzalez, F. Alonso-Fernandez, and J. Ortega-Garcia. On the effects of time variability in iris recognition. In IEEE International Conference on Biometrics: Theory, Applications and Systems, (BTAS), pages 1–6. IEEE, 2008.
- [12] L. Dhir, N. Habib, D. Monro, and S. Rakshit. Effect of cataract surgery and pupil dilation on iris pattern recognition for personal authentication. *Eye*, 24(6):1006–1010, 2009.
- [13] K. Bowyer, S. Baker, A. Hentz, K. Hollingsworth, T. Peters, and P. Flynn. Factors that degrade the match distribution in iris biometrics. *Identity in the Information Society*, 2(3):327–343, 2009.

Αναφορές από το διαδίκτυο

- [1] en.wikipedia.org/wiki/Eye
- [2] en.wikipedia.org/wiki/Biometrics
- [14] P. Marwedel. Embedded System Design, 2011
- [15] en.wikipedia.org/wiki/Photoresistor
- [16] en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode
- [17] [en.wikipedia.org/wiki/Android_\(operating_system\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Android_(operating_system))
- [18] developer.android.com/studio/index.html
- [19] www.autodesk.com/products/3ds-max/overview