



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΜΕ
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗ ΒΙΟΙΑΤΡΙΚΗ**

**Αυτόματη Αναγνώριση της ίριδας του οφθαλμού για την
ταυτοποίηση ατόμων**

Δημόπουλος Πέτρος

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επιβλέπων

Δρ. Κ. Δελήμπασης

Επίκουρος Καθηγητής



**University of Central Greece
Department of Computer Science and
Biomedical Informatics**

Automatic iris recognition for human identification

Dimopoulos Peter

Graduate Thesis

Supervisor

Dr.K.Delibasis

Assistant Professor

Εξεταστική Επιτροπή.

- I. Δελήμπασης Κωνσταντίνος, επισκέπτης επίκουρος καθηγητής (επιβλέπων).
- II. Μαγκλογιάννης Ηλίας, επίκουρος καθηγητής.
- III. Πλαγιανάκος Βασίλειος, επίκουρος καθηγητής.

Ευχαριστίες

Η παρούσα μελέτη έλαβε χώρα στη Λαμία στο Πανεπιστήμιο Στερεάς Ελλάδος στο Τμήμα Πληροφορικής με Εφαρμογές στη βιοϊατρική από τον Νοέμβριο του 2007 έως τον Φεβρουάριο του 2010. Η υλοποίησή της πραγματοποιήθηκε χάρη στη βοήθεια ανθρώπων που θα ήθελα να αναφέρω και να ευχαριστήσω στο εισαγωγικό αυτό σημείωμα.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα κ.Δελήμπαση Κωνσταντίνο Επισκέπτη Επίκουρο Καθηγητή του τμήματος Πληροφορικής με Εφαρμογές στη Βιοϊατρική για την αποτελεσματική βοήθειά του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τους γονείς μου Γιώργο και Γεωργία, την αδερφή μου Αθανασία και τους φίλους μου για την υποστήριξη και την υπομονή τους.

Περιεχόμενα

Εξεταστική Επιτροπή.....	4
Ευχαριστίες	6
Περίληψη.....	11
Abstract	12
1. Εισαγωγή	14
1.1 Εισαγωγή στη βιομετρία	15
1.1.1 Βιομετρικά Συστήματα	15
1.1.2 Παρουσίαση των συχνά χρησιμοποιούμενων βιομετρικών μεθόδων.....	18
1.2 Το πρόβλημα της αναγνώρισης της ίριδας.....	20
1.2.1 Βασική αρχή λειτουργίας των συστημάτων αναγνώρισης ίριδας	21
1.2.1.1 Πλεονεκτήματα.....	22
1.2.1.2 Μειονεκτήματα	23
1.2.1.3 Ζητήματα ασφαλείας	23
1.3 Ανατομία οφθαλμού.....	24
2. Υλικά και Μέθοδοι	29
2.1 Εισαγωγικά.....	30
2.1.1 Εύρεση βιβλιογραφίας	30
2.1.2 Η βάση δεδομένων CASIA.....	30
2.1.3 Το περιβάλλον ανάπτυξης Matlab	31
2.2 Παρουσίαση των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν	32
2.2.1 Εισαγωγή	32
2.2.2 Οριοθέτηση της κόρης	33
2.2.3 Προεπεξεργασία της εικόνας για τον εντοπισμό των βλεφάρων και της ίριδας.....	35
2.2.3.1 Γκαουσιανό φίλτρο	37
2.2.3.2 Αλγόριθμος εύρεσης ακμών Canny	39
2.2.4 Οριοθέτηση των βλεφάρων	41
2.2.5 Εύρεση ίριδας	44
2.2.5.1 Εύρεση ίριδας μέσω του αλγορίθμου γεμίσματος πολυγώνου	44
2.2.5.1.1 Μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων για κύκλο.....	47
2.2.5.2 Εύρεση ίριδας μέσω του μετασχηματισμού Hough.....	49

2.2.5.2.1 Ο αλγόριθμος του μέσου σημείου για κύκλο.....	51
2.2.5.2.2 Αλγόριθμος προσαρμοσμένων σημείων	53
2.2.5.2.3 Αλγόριθμος χειροκίνητης εισαγωγής των σημείων	54
2.2.6 Ξεδίπλωμα της ίριδας	55
2.2.7 Φίλτρα Gabor	58
2.2.8 Απόσταση Hamming.....	61
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	63
3.1 Τμηματοποίηση ανατομικών στοιχείων της εικόνας	64
3.1.1 Τμηματοποίηση της κόρης του οφθαλμού.....	64
3.1.2 Τμηματοποίηση Ίριδας	65
3.1.3 Οριοθέτηση των βλεφάρων	66
3.2 Ταυτοποίηση ίριδας.....	68
3.2.1 Αποτελέσματα μεθόδων ταυτοποίησης της ίριδας	69
3.2.2 Παράμετροι που επηρεάζουν το αποτέλεσμα	77
3.3 Δημιουργία δομής αρχείων για την εκτέλεση του αλγορίθμου	78
3.3.1 Κώδικες δημιουργίας βάσης δεδομένων.....	81
3.3.2 Κώδικας ταυτοποίησης τυχαίας εικόνας.....	81
4. Συζήτηση.....	83
4.1 Προτάσεις βελτίωσης	84
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1.....	86
Πίνακες αποτελεσμάτων εύρεσης ανατομικών στοιχείων με όλες τις μεθόδους.....	87
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2.....	101
Πίνακες αποτελεσμάτων σύγκρισης των αποστάσεων Hamming μεταξύ των εικόνων για όλες τις μεθόδους.....	102
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3.....	109
Κώδικες εύρεσης Κόρης - βλεφάρων	110
Κώδικες για την μέθοδο γεμίσματος πολυγώνου	117
Κώδικες για την μέθοδο μετασχηματισμού Hough.....	126
Κώδικες για την μέθοδο προσαρμοσμένων σημείων	131
Κώδικες για την μέθοδο χειροκίνητης εισαγωγής σημείων	137
Κώδικες για την μέθοδο ξεδιπλώματος της ίριδας	140
Κώδικες για την εφαρμογή του φίλτρου Gabor.....	146
Κώδικες συγκρίσεων	150
Κώδικας συγκριτικών αποτελεσμάτων (εικόνες και πίνακες).....	156

Αναφορές 161

Περίληψη

Η χρήση βιομετρικών μεθόδων κερδίζει συνεχώς έδαφος στον τομέα της ταυτοποίησης και της αυθεντικοποίησης προσώπων, σε οργανισμούς, εταιρείες και άλλες μονάδες όπου η απόδοση δικαιωμάτων πρόσβασης μόνο σε συγκεκριμένα άτομα είναι αναγκαία, ακόμα και σε καταναλωτικά προϊόντα τα οποία θέλουν να αποκλείσουν μη εξουσιοδοτημένη χρήση. Ένα σύστημα βιομετρικών μεθόδων μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα από τα δεκάδες βιομετρικά χαρακτηριστικά τα οποία υπάρχουν, όπως το πρόσωπο, τα δακτυλικά αποτυπώματα, την ίριδα και πολλά άλλα. Η μέθοδος που παρέχει αρκετά μεγάλο ποσοστό ασφάλειας αλλά είναι και φιλική προς τον χρήστη είναι η αναγνώριση της ίριδας.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η υπολογιστική υλοποίηση των βασικών αλγορίθμων για ένα βιομετρικό σύστημα ταυτοποίησης ατόμων και ελέγχου πρόσβασης σε ευαίσθητες περιοχές (στρατιωτικές εγκαταστάσεις, αεροδρόμια κ.λπ.), το οποίο θα βασίζεται στη μαθηματική ανάλυση της υφής της ίριδας του ανθρώπινου οφθαλμού. Τα δεδομένα του οφθαλμού θα συλλέγονται από κατάλληλη κάμερα και στη συνέχεια πραγματοποιείται επεξεργασία των εικόνων με χρήση τεχνικών ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων.

Η επεξεργασία περιλαμβάνει την τμηματοποίηση των ανατομικών χαρακτηριστικών του οφθαλμού με τη χρήση διαφόρων μεθόδων και την επεξεργασία αυτών ώστε να λάβουν μία μορφή η οποία τα καθιστά αξιοποιήσιμα. Στην συνέχεια λαμβάνει χώρα η σύγκριση των χαρακτηριστικών αυτών, μέσω διαφόρων μεθόδων οι οποίες εξάγουν αποτέλεσμα για την ταυτοποίηση ή μη του ατόμου.

Λέξεις-Κλειδιά ίριδα, αναγνώριση ίριδας, εξαγωγή υφής, ψηφιακή επεξεργασία εικόνας.

Abstract

The use of biometrics methods in authentication and identification is gaining ground. In organizations, companies and other units that attribution of usage rights is essential, systems that use biometric features are very popular.

A biometric system can use one of the plenty biometric characteristics that exists, for example face, iris, fingerprints and others. The method that has the highest percentage of security and at the same time is user friendly is iris recognition method.

The object of this paper is the development of basic algorithms for identifying a person and granting access via an iris recognition biometric system for usage at specific areas (military facilities, airports e.t.c.), which will be based on mathematic analysis of human eye's iris texture. Eye's data will be collected from a proper camera and then the pictures will be processed with use of digital image processing.

The process of digital image processing includes the segmentation of eye's anatomical features, using varius methods, the retouching of them in order to take an exploitable form. The next step is the comparison of that data via varius methods that draw conclusions either positive or negative regarding to identification of the person.

Key-Words: iris, iris recognition, texture extraction, digital image processing

1. Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή στη βιομετρία

Ο όρος «βιομετρικός» προέρχεται από τις Ελληνικές λέξεις «βίος» και «μετρώ» και χρησιμοποιείται στην εφαρμογή μεθόδων των φυσικών επιστημών στη μέτρηση βιολογικών χαρακτηριστικών. Είναι γνωστό πως οι άνθρωποι ενστικτωδώς χρησιμοποιούν κάποια χαρακτηριστικά του σώματος, το πρόσωπο ή τη φωνή, για να αναγνωρίσουν ο ένας τον άλλο. Στις μέρες μας διάφορες τεχνολογικές εφαρμογές έχουν παρουσιάσει ενδιαφέρον για την ύπαρξη αξιόπιστων συστημάτων ταυτοποίησης, τα οποία επιβεβαιώνουν την ταυτότητα ενός ατόμου, αναγνωρίζοντας τους ανθρώπους βασισμένα σε σωματικά χαρακτηριστικά τους.

Κάποιες παραδοσιακές τεχνικές όπως οι κωδικοί πρόσβασης και οι ταυτότητες (id-cards), χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα για να ελέγξουν την ασφαλή πρόσβαση σε συστήματα, αλλά οι μέθοδοι αυτοί μπορούν εύκολα να παραπλανηθούν και συχνά αποδεικνύονται αναξιόπιστες. Τα βιομετρικά χαρακτηριστικά αντιθέτως δεν μπορούν να αντιγραφούν και να κλαπούν, έτσι τα συστήματα που χρησιμοποιούν βιομετρικές μεθόδους ταυτοποίησης καθίστανται περισσότερο αξιόπιστα από αυτά που χρησιμοποιούν τις παραδοσιακές μεθόδους.

1.1.1 Βιομετρικά Συστήματα

Ένα βιομετρικό σύστημα είναι ουσιαστικά ένα σύστημα αναγνώρισης προτύπων το οποίο ταυτοποιεί ένα άτομο βασισμένο σε μια μεταβλητή. Η μεταβλητή αυτή αφορά ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό που κατέχει το συγκεκριμένο άτομο, είτε αυτό αφορά τη συμπεριφορά του είτε την ανατομία του. Η μεταβλητή αυτή συνήθως αποθηκεύεται σε μία βάση δεδομένων (ή καταγράφεται σε μία έξυπνη κάρτα η οποία δίνεται στο άτομο) αφότου εξαχθεί.

Ένα βιομετρικό σύστημα βασισμένο σε ένα ανατομικό χαρακτηριστικό είναι γενικά περισσότερο αξιόπιστο από ένα που υιοθετεί κάποιο χαρακτηριστικό συμπεριφοράς, ακόμη και αν το τελευταίο μπορεί πιο εύκολα να ενσωματωθεί σε συγκεκριμένες εφαρμογές. Ένα βιομετρικό σύστημα μπορεί να λειτουργεί με δύο τρόπους: *επαληθεύοντας* την ταυτότητα του ατόμου ή *ταυτοποιώντας* το άτομο. Ενώ κατά την ταυτοποίηση γίνεται η σύγκριση των βιομετρικών πληροφοριών που λήφθηκαν με τα βιομετρικά χαρακτηριστικά όλων των ατόμων που βρίσκονται μέσα στη βάση δεδομένων, κατά την επαλήθευση γίνεται σύγκριση των πληροφοριών αυτών μόνο με τα βιομετρικά χαρακτηριστικά του ατόμου του οποίου η ταυτότητα επικαλέστηκε. Αυτό σημαίνει ότι η ταυτοποίηση και η επαλήθευση ταυτότητας αποτελούν δύο προβλήματα τα οποία πρέπει να αντιμετωπιστούν ξεχωριστά.

Ένα απλό σύστημα που χρησιμοποιεί βιομετρικές μεθόδους αποτελείται από τέσσερα βασικά μέρη:

- τη μονάδα του αισθητήρα, ο οποίος εξάγει τα βιομετρικά δεδομένα

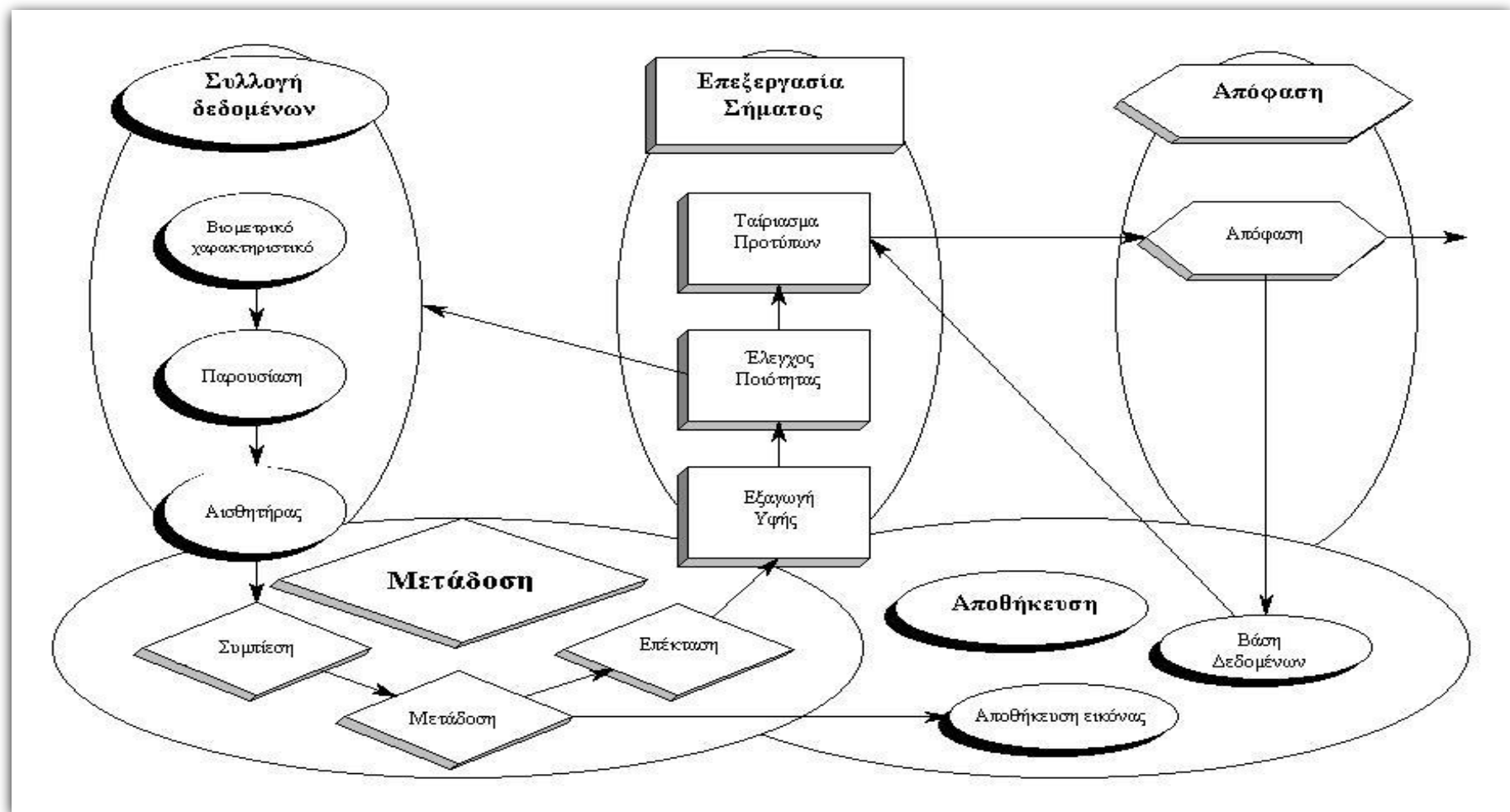
- τη μονάδα που εξάγει την υφή, όπου τα δεδομένα επεξεργάζονται για την εξαγωγή των επιθυμητών μεταβλητών
- τη μονάδα σύγκρισης, όπου οι μεταβλητές συγκρίνονται με αυτές που βρίσκονται μέσα στη βάση
- τη μονάδα λήψης απόφασης, στην οποία ο χρήστης ταυτοποιείται ή η ισχυριζόμενη ταυτότητα γίνεται δεκτή ή απορρίπτεται.

Στην εικόνα 1 παρουσιάζεται σχηματικά ο τρόπος λειτουργίας καθώς και τα μέρη από τα οποία αποτελείται ένα απλό βιομετρικό σύστημα.

Κάθε ανθρώπινο χαρακτηριστικό είτε αφορά την ανατομία του ατόμου είτε την συμπεριφορά του, μπορεί να λειτουργήσει ως βιομετρικό χαρακτηριστικό εφόσον τηρεί τις παρακάτω προϋποθέσεις:

- Καθολικότητα, το έχουν όλοι οι άνθρωποι
- Αποκλειστικότητα, δεν υπάρχουν δύο ίδια
- Μονιμότητα, πρέπει να είναι αμετάβλητο κατά το διάστημα που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί
- Συλλεξιμότητα, πρέπει να είναι εύκολη η συλλογή των βιομετρικών δεδομένων

Στην πραγματικότητα, κατά την εφαρμογή των μεθόδων θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και ακόμη τρεις παράγοντες: η επίδοση (ακρίβεια, ταχύτητα, ανάγκες του συστήματος), η αποδεκτικότητα (πρέπει να είναι άκακο για τον χρήστη) και η ασφάλεια (πρέπει να είναι αρκετά ανθεκτικό έναντι των διαφόρων μεθόδων παραποίησης)[1].



Εικόνα 1. Παρουσίαση των στοιχείων ενός απλού βιομετρικού συστήματος.

1.1.2 Παρουσίαση των συχνά χρησιμοποιούμενων βιομετρικών μεθόδων

Καθώς χρησιμοποιούνται αρκετές βιομετρικές μέθοδοι, θα δοθεί μία σύντομη περιγραφή των διάφορων τεχνολογιών που χρησιμοποιούν βιομετρικά χαρακτηριστικά:

Θερμογραφία υπερύθρων: Υπάρχει η δυνατότητα να αποτυπωθεί η θερμότητα που παράγεται από το ανθρώπινο σώμα χρησιμοποιώντας μία κάμερα υπερύθρων. Το πρότυπο της κατανομής της θερμότητας θεωρείται ότι είναι μοναδικό για κάθε άτομο. Είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθεί όμως σε μέρη όπου υπάρχουν συσκευές που παράγουν θερμότητα κοντά στο σώμα του ατόμου, επίσης ανασταλτικός παράγοντας για την χρήση της συγκεκριμένης τεχνικής αποτελεί το υψηλό κόστος των αισθητήρων υπερύθρων.

Ρυθμός πληκτρολόγησης (keystroke): Έρευνες έχουν δείξει ότι το κάθε άτομο πληκτρολογεί με ένα συγκεκριμένο και χαρακτηριστικό τρόπο σε ένα πληκτρολόγιο. Η μέθοδος αυτή δεν έχει μεγάλη αξιοπιστία αλλά παρέχει αρκετές ενδείξεις οι οποίες επιτρέπουν την επιβεβαίωση ταυτότητας για την πρόσβαση σε υπολογιστικά συστήματα.

Αναγνώριση προσώπου: Από τις διάφορες βιομετρικές μεθόδους ταυτοποίησης η αναγνώριση προσώπου είναι η πιο ευέλικτη, λειτουργεί ακόμη και όταν το άτομο δεν έχει επίγνωση ότι ελέγχεται εκείνη τη στιγμή. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να γίνει έλεγχος μέσα σε ένα πλήθος ατόμων τα οποία περνούν μόνο ελάχιστα δευτερόλεπτα μπροστά από ένα σαρωτή (scanner), ο οποίος είναι μία απλή ψηφιακή κάμερα.

Τα συστήματα αναγνώρισης προσώπου λειτουργούν αναλύοντας συστηματικά συγκεκριμένα χαρακτηριστικά τα οποία είναι κοινά σε όλα τα πρόσωπα (η απόσταση μεταξύ των ματιών, το πλάτος της μύτης, η θέση των ζυγωματικών, η γραμμή των σιαγώνων και άλλα). Αυτές οι αριθμητικές ποσότητες στο τέλος συνδυάζονται σε ένα ενιαίο κώδικα ο οποίος ταυτοποιεί μοναδικά το κάθε άτομο.

Αναγνώριση δακτυλικών αποτυπωμάτων: Τα δακτυλικά αποτυπώματα παραμένουν ίδια καθ' όλη την ζωή του ανθρώπου. Εδώ και 140 χρόνια που γίνεται η σύγκριση αποτυπωμάτων, δεν έχουν βρεθεί ποτέ δύο όμοια αποτυπώματα ούτε ακόμη και αν πρόκειται για μονοωϊκά δίδυμα άτομα.

Κατά την αναγνώριση δακτυλικών αποτυπωμάτων συγκρίνονται τα πρότυπα των αυλακώσεων που υπάρχουν στις άκρες των δακτύλων, καθώς και τα σημεία με πολλές λεπτομέρειες (χαρακτηριστικές γραμμές οι οποίες προκύπτουν όταν κάποια αυλάκωση χωρίζεται στα δύο ή τερματίζεται) που υπάρχουν σε ένα συγκεκριμένο αποτύπωμα, με αυτά που υπάρχουν μέσα σε μια βάση δεδομένων.

Βιομετρική της γεωμετρίας χειρός: Οι σαρωτές γεωμετρίας χειρός λειτουργούν σε περιβάλλοντα με δύσκολες συνθήκες καθώς δεν απαιτούν συνθήκες καθαριότητας, και δημιουργούν μικρή ποσότητα δεδομένων. Δεν θεωρείται ως παρεμβατικός τύπος ελέγχου. Χρησιμοποιείται συχνά ως σύστημα αυθεντικοποίησης σε βιομηχανικά περιβάλλοντα.

Σάρωση αμφιβληστροειδούς χιτώνας: Δεν υπάρχει κάποιος γνωστός τρόπος παρασκευής αμφιβληστροειδούς. Όπως γνωρίζουμε το πρότυπο των αιμοφόρων αγγείων στο πίσω μέρος του ματιού είναι μοναδικό για το κάθε άτομο και παραμένει ίδιο καθ' όλη τη ζωή του ανθρώπου. Παρόλα αυτά απαιτούνται περίπου 15 δευτερόλεπτα πλήρους ακινησίας για να ληφθεί μία σάρωση καλής ποιότητας. Η σάρωση αμφιβληστροειδούς απαντάται συνήθως σε στρατιωτικές και κυβερνητικές εγκαταστάσεις. Οι τεχνικές απαιτήσεις για την σάρωση του αμφιβληστροειδούς είναι ιδιαίτερα υψηλές, σε σχέση με άλλες τεχνικές, (αναφορικά με χρήση ανέρυθρου φωτός, κάμερας βυθού, χρόνου συλλογής δεδομένων).

Σάρωση ίριδας: Όπως συμβαίνει και με την σάρωση του αμφιβληστροειδούς χιτώνα έτσι και η σάρωση της ίριδας παράγει μοναδικά βιομετρικά δεδομένα, τα οποία είναι πολύ δύσκολο να αντιγραφούν και τα πρότυπα σχημάτων που υπάρχουν στην ίριδα παραμένουν ίδια καθ' όλη την ζωή του ατόμου. Η ίριδα είναι πιο προσβάσιμη για συλλογή δεδομένων σε σχέση με τον αμφιβληστροειδή, κατά συνέπεια οι τεχνικές απαιτήσεις για την εφαρμογή της μεθόδου είναι χαμηλότερες. Υπάρχουν τρόποι κωδικοποίησης των δεδομένων που προκύπτουν από την σάρωση της ίριδας ώστε αυτά να μπορούν να μεταφερθούν με ασφάλεια σε μορφή κωδικού διαγράμμισης (barcode).

Αναγνώριση φωνής: Τα χαρακτηριστικά της φωνής ενός ατόμου βασίζονται σε φυσικά χαρακτηριστικά τα οποία χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του ήχου, όπως οι φωνητικές χορδές, η στοματική και οι ρινικές κοιλότητες και τα χείλη. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι αμετάβλητα σε ένα άτομο, τα συμπεριφοριστικά χαρακτηριστικά της φωνής όμως αλλάζουν σύμφωνα με την ηλικία, την κατάσταση της υγείας και την αισθηματική κατάσταση του ατόμου. Η αναγνώριση φωνής ταυτοποιεί το άτομο με το να συγκρίνει τα μοναδικά χαρακτηριστικά της φωνής με τα πρότυπα τα οποία είναι αποθηκευμένα σε μία βάση δεδομένων. Τα συστήματα αναγνώρισης φωνής πρέπει να εκπαιδευτούν σύμφωνα με την φωνή του κάθε ατόμου, μερικές φορές μπορεί να χρειαστούν περισσότερες από μία συνεδρίες. Οι αλγόριθμοι ταιριάσματος προτύπων που χρησιμοποιούνται σε αυτή την μέθοδο είναι παρόμοιοι με αυτούς στην αναγνώριση προσώπου.

Υπογραφή: Η υπογραφή αποτελεί ένα ακόμη παράδειγμα βιομετρικών δεδομένων που μπορούμε να συλλέξουμε με ευκολία και δεν είναι σωματικά παρεμβατική μέθοδος. Ο τρόπος με τον οποίο ένα άτομο υπογράφει το όνομά του θεωρείται χαρακτηριστικός του συγκεκριμένου ατόμου. Για την συλλογή δειγμάτων είναι απαραίτητη η συνεργασία του ατόμου ενώ είναι αναγκαστική η ύπαρξη κάποιου εργαλείου γραφής. Η υπογραφή αποτελεί συμπεριφοριστικό βιομετρικό χαρακτηριστικό που αλλάζει με την πάροδο του χρόνου, και επηρεάζεται από τα συναισθήματα και τη φυσική κατάσταση του ατόμου. Εκτός από το γενικό σχήμα της υπογραφής, ένα σύστημα αναγνώρισης υπογραφών μπορεί επίσης να μετρήσει την πίεση και την ταχύτητα της γραφίδας επάνω στην επιφάνεια γραφής.

Δεοξυριβονουκλεϊκό οξύ (Deoxyribonucleic acid, DNA): Το DNA αποτελεί το πιο αξιόπιστο βιομετρικό χαρακτηριστικό. Στην πραγματικότητα είναι ένας μονοδιάστατος κώδικας μοναδικός για τον κάθε άνθρωπο. Εξαίρεση αποτελούν οι μονωγενείς δίδυμοι. Η μέθοδος όμως, έχει κάποια μειονεκτήματα: 1) όσον αφορά

την ευαισθησία, καθώς είναι εύκολη η κλοπή ενός τμήματος DNA από ένα άτομο και η χρήση του με κάποιον απώτερο σκοπό, 2) δεν είναι δυνατή η εφαρμογή της μεθόδου σε πραγματικό χρόνο καθώς η στοίχιση ακολουθιών DNA απαιτεί πολύπλοκες χημικές μεθόδους και τις ικανότητες ενός ειδικού, 3) υπάρχουν θέματα προσωπικού απορρήτου καθώς ένα δείγμα DNA μπορεί να αποκαλύψει την ευαισθησία του ατόμου προς συγκεκριμένες ασθένειες. Για όλους αυτούς τους λόγους η χρήση του DNA περιορίζεται σε ιατροδικαστικές εφαρμογές.

Είναι λοιπόν φανερό ότι δεν υπάρχει η απόλυτη βιομετρική μέθοδος αναγνώρισης [1], και η επιλογή της μεθόδου εξαρτάται από την εφαρμογή. Μία σύντομη σύγκριση των παραπάνω μεθόδων παρουσιάζεται παρακάτω στον πίνακα 1.

<i>Βιομετρικό χαρακτηριστικό</i>	<i>Καθολικότητα</i>	<i>Αποκλειστικότητα</i>	<i>Μονιμότητα</i>	<i>Συλλεξιμότητα</i>	<i>Επίδοση</i>	<i>Αποδεκτικότητα</i>	<i>Ασφάλεια</i>
Θερμογραφία υπερίθρων	Υ	Υ	Χ	Υ	Μ	Υ	Χ
Ρυθμός ηλεκτρολόγησης	Χ	Χ	Χ	Μ	Χ	Μ	Μ
Πρόσωπο	Υ	Χ	Μ	Υ	Χ	Υ	Υ
Δακτυλικά αποτυπώματα	Μ	Υ	Υ	Μ	Υ	Μ	Μ
Γεωμετρία χειρός	Μ	Μ	Μ	Υ	Μ	Μ	Μ
Αμφιβληστροειδής χιτώνας	Υ	Υ	Μ	Χ	Υ	Χ	Χ
Ίριδα	Υ	Υ	Υ	Μ	Υ	Χ	Χ
Φωνή	Μ	Χ	Χ	Μ	Χ	Υ	Υ
Υπογραφή	Χ	Χ	Χ	Υ	Χ	Υ	Υ
DNA	Υ	Υ	Υ	Χ	Υ	Χ	Χ

Πίνακας 1. Σύγκριση των βιομετρικών χαρακτηριστικών όσον αφορά 7 παράγοντες. Όπου Υ σημαίνει υψηλό, Μ μέτριο και Χ χαμηλό.

1.2 Το πρόβλημα της αναγνώρισης της ίριδας

Η αναγνώριση της ίριδας είναι μία βιομετρική μέθοδος αυθεντικοποίησης η οποία χρησιμοποιεί τεχνικές αναγνώρισης προτύπων, βασισμένες σε υψηλής ανάλυσης εικόνες της ίριδας ενός ατόμου. Χρησιμοποιείται η τεχνολογία κάμερας με υπέρυθρο φωτισμό, η οποία μειώνει την κατοπτρική ανάκλαση που προκύπτει από την κυρτότητα του κερατοειδή, για την δημιουργία λεπτομερών εικόνων των πολύπλοκων δομών της ίριδας. Οι εικόνες αυτές αφού επεξεργαστούν ψηφιακά

προσφέρουν μαθηματικές αναπαραστάσεις της ίριδας, οι οποίες αποδίδουν ξεκάθαρα την θετική ή μη ταυτοποίηση ενός ατόμου.

Σημαντικό ρόλο στην δημιουργία των αλγορίθμων αναγνώρισης της ίριδας, που ήταν απαραίτητοι για την απόκτηση των εικόνων και για την ταυτοποίηση, είχε ο John G. Daugman, (University of Cambridge Computer Laboratory). Οι αλγόριθμοι του Daugman αποτελούν μέχρι σήμερα τη βάση για τα περισσότερα εμπορικά διαθέσιμα συστήματα αναγνώρισης της ίριδας.

1.2.1 Βασική αρχή λειτουργίας των συστημάτων αναγνώρισης ίριδας

Ένας αλγόριθμος αναγνώρισης ίριδας πρέπει αρχικά σε μία εικόνα ενός ματιού, να αναγνωρίσει προσεγγιστικά τα περιγράμματα των σχεδόν ομόκεντρων κύκλων που είναι περιγεγραμμένοι της κόρης και της ίριδας. Έπειτα το σύνολο των εικονοστοιχείων που ανήκουν μόνο στην ίριδα μετασχηματίζονται σε έναν πρότυπο πίνακα ο οποίος διατηρεί τις πληροφορίες που είναι απαραίτητες για την στατιστική σύγκριση μεταξύ δύο εικόνων διαφορετικών ιριδών. Η διαδικασία αυτή παρουσιάζεται συνοπτικά στην εικόνα 2. Οι μαθηματικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι παρόμοιες με αυτές της απωλεστικής συμπίεσης που χρησιμοποιούνται σε φωτογραφικές εικόνες.

Στους αλγορίθμους του Daugman, χρησιμοποιείται ένας μετασχηματισμός κυματιδίου Gabor για την εξαγωγή του εύρους της χωρικής συχνότητας που περιέχει μια καλή αναλογία σήματος-θορύβου δεδομένου της ποιότητας εστίασης των διαθέσιμων φωτογραφικών μηχανών. Το αποτέλεσμα είναι ένα σύνολο μιγαδικών αριθμών που περιέχουν πληροφορίες για το τοπικό πλάτος και την φάση στην συγκεκριμένη εικόνα ίριδας. Για την τελική σύγκριση δεν χρησιμοποιείται η εικόνα που εξάγεται από την ίριδα, αλλά το σύνολο των μιγαδικών που παράγεται μετά την εφαρμογή του μετασχηματισμού κυματιδίου Gabor. Στην αυθεντικοποίηση μέσω ταυτοποίησης (ταίριασμα ενός προς πολλά πρότυπα) ή στην εξακρίβωση (ταίριασμα ενός προς ένα πρότυπο), δημιουργείται ένα πρότυπο από την εικόνα της ίριδας το οποίο συγκρίνεται με τα πρότυπα τα οποία είναι αποθηκευμένα σε μία βάση δεδομένων. Εάν η απόσταση Hamming έχει τιμή μικρότερη του κατωφλίου, τότε έχει επιτευχθεί η ταυτοποίηση [2].

Ένα πρακτικό πρόβλημα στην αναγνώριση ίριδας είναι ότι συνήθως η ίριδα καλύπτεται μερικώς από τα βλέφαρα και τις βλεφαρίδες. Για να μειωθεί ο κίνδυνος λανθασμένης απόρριψης σε τέτοιες περιπτώσεις, είναι αναγκαία η ύπαρξη επιπλέον αλγορίθμων για τον εντοπισμό της θέσης των βλεφαρίδων και των βλεφάρων, και για τον αποκλεισμό των τιμών των σημείων της ίριδας που επικαλύπτονται από τα βλέφαρα και τις βλεφαρίδες.



Εικόνα 2. Συνοπτική παρουσίαση του αλγορίθμου αναγνώρισης ίριδας.

1.2.1.1 Πλεονεκτήματα

Η ίριδα του ματιού περιγράφεται ως το ιδανικό μέρος του ανθρώπινου σώματος για την βιομετρική ταυτοποίηση για πολλούς λόγους:

- Είναι ένα εσωτερικό όργανο το οποίο δεν φθείρεται και προστατεύεται ενάντια στις κακώσεις από μια ευαίσθητη και υψηλής διαπερατότητας μεμβράνη (κερατοειδής). Αυτό την διαφοροποιεί από τα δακτυλικά αποτυπώματα, τα οποία αναγνωρίζονται με δυσκολία με την πάροδο των χρόνων και μετά από χρόνια χειρονακτική εργασία.
- Η ίριδα είναι κυρίως επίπεδη, και η γεωμετρία της ρυθμίζεται μόνο από δύο συμπληρωματικούς μύες(σφικτήρας μυς και διαστολέας μυς) οι οποίοι καθορίζουν την διάμετρο της κόρης. Αυτό κάνει το σχήμα της ίριδας περισσότερο προβλέψιμο από αυτό του προσώπου παραδείγματος χάριν.
- Η ίριδα έχει μία διακριτή υφή η οποία (όπως και τα δακτυλικά αποτυπώματα) καθορίζεται τυχαία κατά την εμβρυϊκή ηλικία. Ακόμη και οι μονωγενείς δίδυμοι έχουν εντελώς ανεξάρτητες υφές ίριδας.
- Η σάρωση της ίριδας είναι παρόμοια με την λήψη μιας απλής φωτογραφίας και μπορεί να πραγματοποιηθεί από απόσταση δέκα εκατοστών έως κάποια μέτρα μακριά.
- Θεωρείται ότι η ψηφιακή εικόνα μίας ίριδας με διάμετρο διακοσίων εικονοστοιχείων περίπου, περιέχει περισσότερες πληροφορίες απ' ότι ένα δακτυλικό αποτύπωμα.
- Ενώ κάποιες ιατρικές και χειρουργικές διαδικασίες μπορούν να επηρεάσουν το χρώμα και το συνολικό σχήμα της ίριδας, η διακριτή υφή παραμένει αμετάβλητη για πολλές δεκαετίες.

1.2.1.2 Μειονεκτήματα

Παρόλα τα πλεονεκτήματα της ίριδας έναντι στα άλλα βιομετρικά χαρακτηριστικά, παρουσιάζονται αρκετά εμπόδια στην εφαρμογή της μεθόδου:

- Η σάρωση της ίριδας αποτελεί μία σχετικά καινούρια τεχνολογία, και δεν είναι συμβατή με τον εξοπλισμό για την αναγνώριση των δακτυλικών αποτυπωμάτων στην οποία έχουν επενδύσει σε αρκετές χώρες οι δημόσιες αρχές για την μετανάστευση και οι αρχές επιβολής του νόμου.
- Η αναγνώριση της ίριδας μπορεί να είναι δύσκολο να διεξαχθεί σε μία απόσταση μεγαλύτερη κάποιων μέτρων και εάν το άτομο δεν συνεργάζεται στο να κοιτάζει σταθερά την κάμερα.
- Όπως και άλλες μέθοδοι που χρησιμοποιούν φωτογραφίες, η αναγνώριση ίριδας είναι ευαίσθητη στην χαμηλή ποιότητα της φωτογραφίας η οποία οδηγεί σε χαμηλά ποσοστά ακρίβειας.
- Όπως και άλλες μέθοδοι ταυτοποίησης η σάρωση της ίριδας έχει προκαλέσει ανησυχία σε ομάδες υποστηρικτών για τα ανθρώπινα δικαιώματα, αφού θεωρούν ότι οι κυβερνήσεις θα μπορούν να παρακολουθούν άτομα παρά τη θέλησή τους.

1.2.1.3 Ζητήματα ασφαλείας

Όπως και άλλες τεχνολογίες ανίχνευσης βιομετρικών δεδομένων, ένα πρόβλημα το οποίο δεν έχει λυθεί ακόμη και για την σάρωση της ίριδας είναι το πρόβλημα του ζώντος ιστού. Η αξιοπιστία κάθε βιομετρικής ταυτοποίησης βασίζεται στο ότι το σήμα το οποίο λαμβάνεται και συγκρίνεται προέρχεται από ένα ζωντανό μέρος του ατόμου το οποίο ταυτοποιείται και δεν προέρχεται από κάποιο τεχνητό πρότυπο. Πολλά εμπορικά διαθέσιμα συστήματα αναγνώρισης ίριδας μπορούν εύκολα να παραπλανηθούν εάν παρουσιαστεί μία υψηλής ανάλυσης φωτογραφία του προσώπου παρά το ίδιο το πρόσωπο, κάτι το οποίο κάνει τα συγκεκριμένα συστήματα ακατάλληλα για εφαρμογές χωρίς επίβλεψη, όπως τα συστήματα ελέγχου θυρών. Το πρόβλημα αυτό δεν υφίσταται σε συστήματα με επίβλεψη, όπου ένα άτομο-χειριστής επιβλέπει την διαδικασία λήψης της εικόνας.

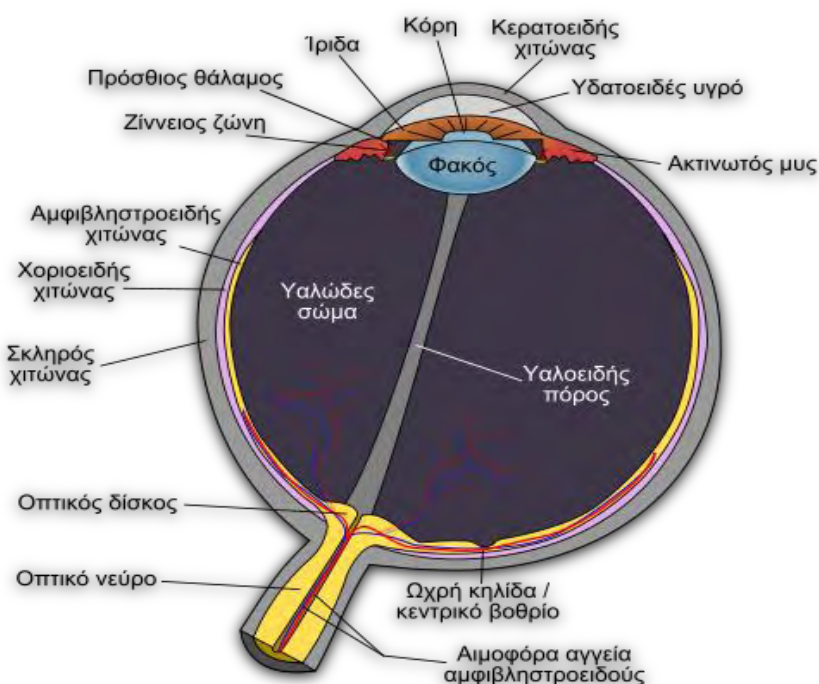
Έχουν παρουσιαστεί διάφορες μέθοδοι για την καταπολέμηση του φαινομένου των “ψευδικών” ματιών και ιρίδων, μερικές από τις οποίες είναι οι παρακάτω:

- Η αλλαγή του φωτός στον περιβάλλοντα χώρο (χρησιμοποιώντας κάποια φωτεινή λυχνία), έτσι ώστε να επιβεβαιωθεί ο αντανακλαστικός μηχανισμός της κόρης και να ληφθούν πολλές εικόνες της ίριδας με διαφορετικές

διαμέτρους αυτής

- Ανάλυση του δυσδιάστατου φάσματος χωρικών συχνοτήτων της εικόνας της ίριδας για την εύρεση κορυφών, οι οποίες δημιουργούνται από τα πρότυπα του εκτυπωτή στους εμπορικά διαθέσιμους φακούς επαφής
- Χρήση της φασματικής ανάλυσης έναντι των απλών μονοχρωματικών φακών για να γίνει διάκριση μεταξύ του ιστού της ίριδας και άλλων υλικών
- Παρατηρώντας τις χαρακτηριστικές κινήσεις του ματιού (μέτρηση του νυσταγμού, παρακολούθηση του ματιού κατά την ανάγνωση κειμένου κ.α.)
- Έλεγχος για την ύπαρξη αντανάκλασης του αμφιβληστροειδούς (φαινόμενο κόκκινων ματιών)
- Χρήση τρισδιάστατης απεικόνισης για την επιβεβαίωση της θέσης και του σχήματος της ίριδας σε αναλογία με τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του ματιού.

1.3 Ανατομία οφθαλμού



Εικόνα 3. Παρουσίαση των ανατομικών μορφών του οφθαλμού.

Μάτι ή **οφθαλμός** ονομάζεται το αισθητήριο όργανο της όρασης των ζωντανών οργανισμών. Μέσω αυτού λαμβάνονται τα οπτικά ερεθίσματα και γίνεται αντιληπτό το περιβάλλον. Με τα μάτια του ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται τον κόσμο γύρω του. Είναι το **κύριο όργανο** που χρησιμοποιεί καθημερινά για να διεκπεραιώσει κάθε του επιθυμία. Τα μάτια, μας βοηθούν να επιβιώσουμε και ταυτόχρονα εξασφαλίζουν άμεση επικοινωνία με τον 'εξωσωματικό' μας κόσμο. Τα πιο απλά μάτια δεν κάνουν τίποτα άλλο από το να αναγνωρίσουν εάν τα γύρω τους αντικείμενα είναι σκοτεινά ή φωτεινά, ενώ τα πιο εξελιγμένα μάτια μπορούν να διακρίνουν σχήματα και χρώματα. Τα οπτικά πεδία κάποιων εξελιγμένων ματιών επικαλύπτονται επιτρέποντας καλύτερη αντίληψη βάθους (διόφθαλμη όραση), όπως στους ανθρώπους και άλλα είναι έτσι τοποθετημένα ώστε να ελαχιστοποιούν την επικάλυψη.

Ο οφθαλμός αποτελείται κατά κύριο λόγο από την περιοχή του φακού από την οποία εισέρχεται το φως και την οπίσθια περιοχή στην οποία γίνεται αντιληπτή η πληροφορία του φωτός. Τα ανατομικά χαρακτηριστικά του οφθαλμού που παρουσιάζονται στην εικόνα 3, παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω:

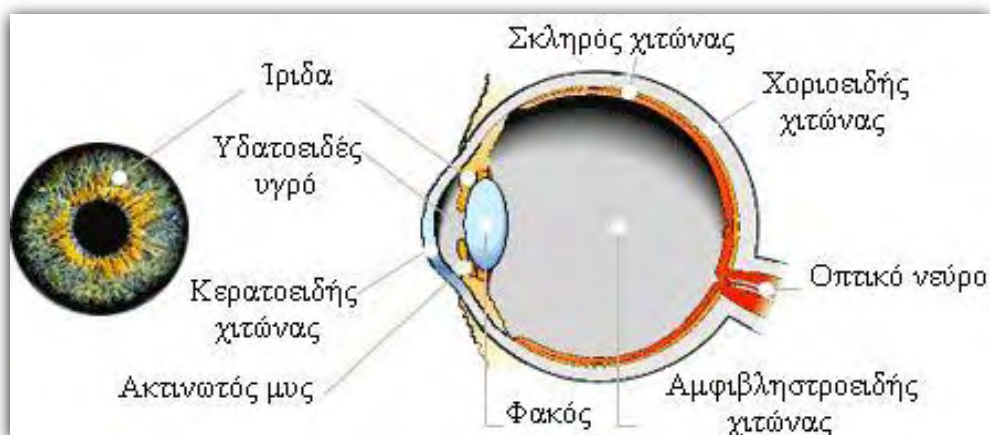
Πρόσθιος Θάλαμος: Η κοιλότητα στο μπροστινό μέρος του ματιού, μεταξύ του φακού και του κερατοειδούς, ονομάζεται πρόσθιος θάλαμος. Είναι γεμάτος με το υδατοειδές υγρό, ένα υγρό σαν το νερό. Αυτό το υγρό παράγεται από το ακτινωτό σώμα και διοχετεύεται πίσω στην κυκλοφορία του αίματος μέσω πόρων στη γωνία του προσθίου θαλάμου. Το υδατοειδές υγρό ανακυκλώνεται κάθε 100 λεπτά.

Ακτινωτό Σώμα: Μία ανατομική δομή που βρίσκεται πίσω από την ίριδα (πολύ δύσκολα ορατή) και παράγει το υδατοειδές υγρό που γεμίζει το πρόσθιο μέρος του ματιού και έτσι διατηρείται η ενδοφθάλμια πίεση. Επίσης, επιτρέπει την εστίαση/προσαρμογή του φακού.

Επιπεφυκότας: Μία λεπτή μεμβράνη, συνήθως διαφανής που βρίσκεται επάνω στο σκληρό χιτώνα του οφθαλμού. Ο σκληρός χιτώνας είναι το άσπρο τοίχωμα του ματιού ή αλλιώς το άσπρο μέρος του ματιού. Ο επιπεφυκότας επικαλύπτει και το εσωτερικό των βλεφάρων. Κύτταρα του επιπεφυκότα παράγουν βλέννα, η οποία βοηθάει στη λίπανση του ματιού.

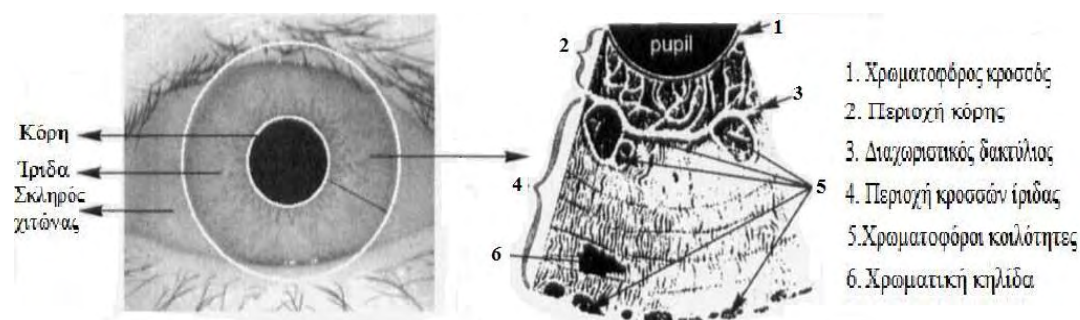
Κερατοειδής: Το διαφανές, εξωτερικό «παράθυρο» και κυριότερο στοιχείο εστίασης του ματιού. Η εξωτερική στιβάδα του κερατοειδούς, είναι γνωστή ως επιθήλιο. Ο κύριος σκοπός του είναι να προστατεύει το μάτι. Το επιθήλιο είναι φτιαγμένο από διαυγή κύτταρα που έχουν την ικανότητα να αναγεννιούνται γρήγορα. Η έσω στιβάδα του κερατοειδούς είναι επίσης φτιαγμένη από διαφανή ιστό, που επιτρέπει στη διέλευση του φωτός.

Ίριδα: Η **ίρις**, κοινώς **ίριδα**, ονομάζεται στην ανατομία του οφθαλμού το δισκοειδές διάτρητο διάφραγμα στην πρόσθια μοίρα του οφθαλμού που βρίσκεται μεταξύ του κερατοειδή χιτώνα και του φακού και στο μέσον της οποίας βρίσκεται το άνοιγμα της κόρης, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 4.



Εικόνα 4. Παρουσίαση της θέσης της ίριδας σε σχέση με τα υπόλοιπα ανατομικά χαρακτηριστικά του οφθαλμού.

Ο ρόλος της είναι να ρυθμίζει την ποσότητα του φωτός που μπαίνει στο μάτι και φτάνει στον αμφιβληστροειδή, συστέλλομενη όταν το φως είναι άφθονο και διαστελλόμενη όταν είναι λίγο, βοηθώντας έτσι την όραση και την αίσθηση βάθους. Αυτό είναι εφικτό λόγω του ότι η ίριδα αποτελείται από μυϊκό ιστό όπως φαίνεται στην εικόνα 5. Η ίριδα μπορεί να έχει διάφορα χρώματα, όπως μαύρο, καφέ, γαλάζιο ή πράσινο. Σε μερικούς ανθρώπους η ίριδα του ενός ματιού έχει διαφορετικό χρώμα από του άλλου, μια κατάσταση που ονομάζεται ετεροχρωμία.

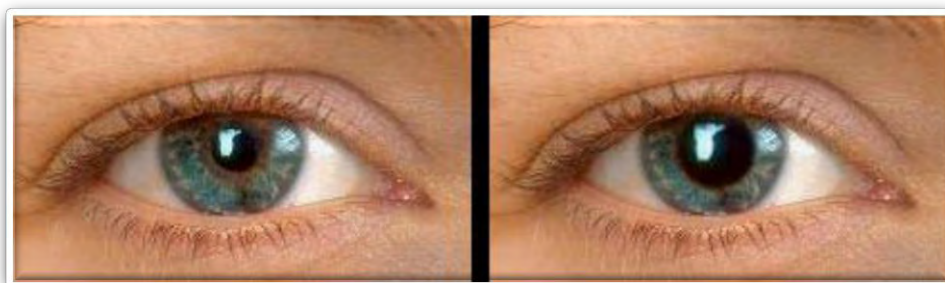


Εικόνα 5. Παρουσίαση της διαστρωμάτωσης του μυϊκού ιστού της ίριδας.

Κόρη: Η **κόρη** είναι το μεταβλητό σε μέγεθος άνοιγμα του ματιού στο κέντρο της ίριδας. Έχει κυκλικό σχήμα και ρυθμίζει την ποσότητα του φωτός που μπαίνει στο μάτι. Φαίνεται μαύρη επειδή το φως που τη διαπερνά απορροφάται από τους ιστούς στο εσωτερικό του ματιού. Συνήθως οι κόρες και των δύο ματιών έχουν το ίδιο μέγεθος. Το μέγεθος της ελέγχεται με ακούσια συστολή και διαστολή της ίριδας μέσω του φωτοανακλαστικού, έτσι ώστε να ρυθμίζεται η ποσότητα του φωτός που μπαίνει στο μάτι. Σε κανονικό φωτισμό, η κόρη του ματιού έχει διάμετρο περίπου 3-4 χιλιοστά· σε έντονο φως η κόρη έχει διάμετρο περίπου 1,5 χιλιοστά, ενώ σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού διαστέλλεται σε διάμετρο περίπου 8 χιλιοστών. Όταν στο μάτι πέφτει δυνατό φως, η κόρη θα συσταλεί αυτόματα (μύση). Αυτή η αντίδραση είναι το λεγόμενο φωτοανακλαστικό, και η λειτουργία του ή μη αποτελεί

σοβαρή ένδειξη για τον έλεγχο της λειτουργίας των βασικών εγκεφαλικών λειτουργιών. Επιπλέον, η κόρη συστέλλεται όταν βλέπουμε κοντινά αντικείμενα (αντανακλαστικό της προσαρμογής), όταν ένα ξένο σώμα αγγίζει τον κερατοειδή (αντανακλαστικό του τριδύμου) και όταν κλείνουμε τα βλέφαρα (αντανακλαστικό του σφικτήρα των βλεφάρων). Αντίθετα, η κόρη διαστέλλεται (μυδρίαση) αν κάποιος δει ένα αντικείμενο που προκαλεί ενδιαφέρον, ή αν αισθανθεί απειλή, κίνδυνο ή πόνο (ψυχοαισθητικό αντανακλαστικό). Επίσης, όταν μόνο το ένα μάτι φωτίζεται, συστέλλονται και οι δύο κόρες (συνεργές αντανακλαστικό). Η διαφορά μύσης και μυδρίασης είναι εμφανής στην εικόνα 6.

Σε κατάσταση ηρεμίας, η κόρη παρουσιάζει αδιάκοπα ανεπαίσθητες μεταβολές της διαμέτρου της (φυσιολογικός ίππος) λόγω της ανταγωνιστικής δράσης συμπαθητικού και παρασυμπαθητικού. Η μέση διάμετρός της είναι στον ενήλικο 3 έως 4 χιλιοστά, ελαττώνεται όταν η κόρη συστέλλεται (μύση) και αυξάνεται όταν διαστέλλεται (μυδρίαση).



Εικόνα 6. Παρουσίαση της κόρης κατά τη μύση (αριστερά) και κατά την μυδρίαση (δεξιά).

Φακός: Το τμήμα του ματιού ακριβώς πίσω από την ίριδα που δημιουργεί τον ακριβή εστιασμό των φωτεινών ακτινών επάνω στον αμφιβληστροειδή. Σε άτομα κάτω των 40 ετών, ο φακός είναι μαλακός και εύκαμπτος, επιτρέποντας μια καλή εστίαση σε διαφορετικές αποστάσεις. Στα άτομα άνω των 40 ετών, ο φακός αρχίζει να γίνεται λιγότερο εύκαμπτος, κάνοντας πιο δύσκολη την εστίαση των παρατηρούμενων αντικειμένων κοντά στο μάτι. Αυτό καλείται πρεσβυωπία.

Ωχρά κηλίδα: Το τμήμα του αμφιβληστροειδούς που είναι το πιο ευαίσθητο και είναι υπεύθυνο για την κεντρική όραση. Βρίσκεται κοντά στο οπτικό νεύρο, ακριβώς στο εσωτερικό πίσω μέρος του ματιού. Η περιοχή αυτή είναι, επίσης, υπεύθυνη και για την έγχρωμη όραση.

Οπτικός Δίσκος: Η θέση στο πίσω μέρος του ματιού, όπου τα νεύρα, μαζί με την αρτηρία και τη φλέβα, εισέρχονται στο μάτι. Αυτό το σημείο εισόδου αντιστοιχεί στο «τυφλό σημείο», καθώς δεν υπάρχουν κωνία ή ραβδία σε αυτή την περιοχή. Κανονικά, ένα άτομο δεν αντιλαμβάνεται αυτό το τυφλό σημείο, καθώς οι γρήγορες κινήσεις του ματιού βοηθούν στο να λαμβάνει ο εγκέφαλος ερεθίσματα από άλλα σημεία του αμφιβληστροειδούς γύρω από την τυφλή κηλίδα, τα οποία καλύπτουν το «κενό».

Οπτικό Νεύρο: Το οπτικό νεύρο είναι η δομή η οποία παίρνει την πληροφορία από τον αμφιβληστροειδή σαν ηλεκτρικά σήματα και την μεταφέρει στον εγκέφαλο, όπου αυτή η πληροφορία μετατρέπεται σε οπτική εικόνα. Το οπτικό νεύρο αποτελείται από μία δέσμη περίπου ενός εκατομμυρίου νευρικών ιών.

Αμφιβληστροειδής: Η μεμβράνη που βρίσκεται στο πίσω μέρος του ματιού και περιέχει τους φωτοϋποδοχείς. Οι φωτοϋποδοχείς αντιδρούν στην παρουσία και την ένταση του φωτός, στέλνοντας το ερέθισμα στον εγκέφαλο μέσω του οπτικού νεύρου. Στον εγκέφαλο, ένα πλήθος νευρικών ερεθισμάτων λαμβάνονται από τους φωτοϋποδοχείς του αμφιβληστροειδούς και μετατρέπονται σε εικόνα.

Σκληρός Χιτών: Το άσπρο, σκληρό τοίχωμα του ματιού. Λίγες παθήσεις επηρεάζουν αυτή τη στιβάδα. Καλύπτεται από τον επισκλήριο (μια ινώδης στιβάδα μεταξύ του επιπεφυκότα και του σκληρού) και τον επιπεφυκότα. Οι οφθαλμοκινητικοί μύες συνδέονται με αυτόν.

Υαλώδες Σώμα: Είναι μία ουσία σαν ζελέ, που γεμίζει το εσωτερικό του ματιού. Φυσιολογικά είναι διαυγές. Αρχικά, είναι γερά προσκολλημένο στον αμφιβληστροειδή. Με τα χρόνια, το υαλώδες ρευστοποιείται και μπορεί να αποκολληθεί από τον αμφιβληστροειδή [3].

2. Υλικά και Μέθοδοι

2.1 Εισαγωγικά

2.1.1 Εύρεση βιβλιογραφίας

Διεξήγαμε συστηματική και εκτενή έρευνα στο διαδίκτυο για την εύρεση της σχετικής βιβλιογραφίας. Η αναζήτηση έλαβε μέρος στη βάση δεδομένων IEEE [4] καθώς και στο διαδίκτυο, χρησιμοποιώντας διάφορους συνδυασμούς λέξεων-κλειδιών, όπως 'iris recognition' ή 'iris extraction' και 'texture extraction'. Για να μπορέσει να αποφασιστεί εάν τα άρθρα που ανακτήθηκαν εμπεριείχαν πληροφορίες πάνω στο αντικείμενο του ενδιαφέροντός μας, μελετήθηκε ολόκληρο το κείμενο τους. Για να ερευνηθεί το ενδεχόμενο ύπαρξης άρθρων σχετικών με το θέμα τα οποία δεν αναγνωρίστηκαν από την αρχική αναζήτηση, ερευνήθηκαν οι βιβλιογραφίες των άρθρων που ανευρέθηκαν καθώς και οι βιβλιογραφίες κριτικών άρθρων που σχετίζονταν με το θέμα ενδιαφέροντος.

Τα άρθρα που επιλέχθηκαν αφορούσαν την δημιουργία αλγορίθμων αναγνώρισης ίριδας, εξαγωγής υφής καθώς επίσης εξετάστηκαν και άρθρα τα οποία παρουσίαζαν μεθόδους βελτιστοποίησης των ήδη υπαρχόντων αλγορίθμων.

Τα δεδομένα που λήφθηκαν από τα πλήρη κείμενα των άρθρων που επιλέχθηκαν, κωδικοποιήθηκαν για να γίνει η περαιτέρω επεξεργασία τους.

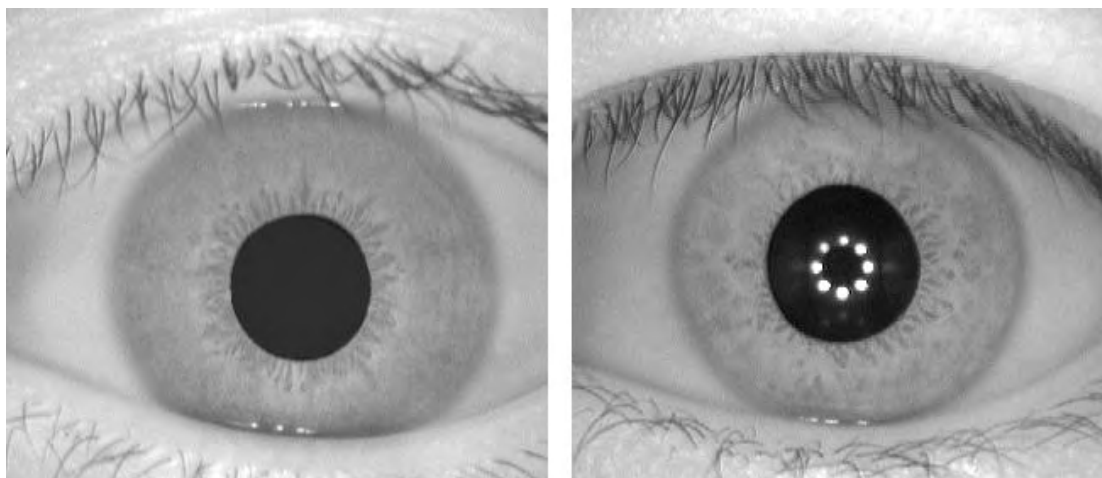
2.1.2 Η βάση δεδομένων CASIA

Η Casia [5] αποτελεί μία βάση δεδομένων βιομετρικών χαρακτηριστικών. Περιλαμβάνει σύνολα δεδομένων που αφορούν την ίριδα, το πρόσωπο, τα δακτυλικά αποτυπώματα, τα αποτυπώματα παλάμης καθώς και σύνολα δειγμάτων γραφής. Τα δεδομένα της είναι διαθέσιμα στο κοινό μέσω του διαδικτύου. Όλες οι εικόνες οφθαλμών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα πτυχιακή εργασία προέρχονται από την βάση δεδομένων Casia v1.0.

Η Casia v1.0 περιέχει 756 εικόνες ιρίδων οι οποίες προέρχονται από 108 άτομα. Από το κάθε άτομο λήφθηκαν εικόνες και από τους δύο οφθαλμούς του, ενώ για τον κάθε οφθαλμό περιέχονται 3-4 εικόνες στις οποίες παρουσιάζεται η κόρη σε διαφορετικές φάσεις διαστολής. Όλες οι εικόνες είναι σε μορφή bitmap (.bmp) και σε αποχρώσεις τις κλίμακας του γκρι και με διαστάσεις 280x320 εικονοστοιχείων.

Οι εικόνες της Casia v1.0 έχουν υποστεί επεξεργασία. Στην κάθε εικόνα εντοπίστηκε η περιοχή της κόρης και αντικαταστάθηκε με μία κυκλική περιοχή σταθερής φωτεινότητας με τιμή γύρω στο 40. Η διαδικασία αυτή έγινε για να αφαιρεθούν οι αντανάκλασεις των λυχνιών που παρουσιαζόταν στην κόρη όπως φαίνεται στην εικόνα 7. Η επεξεργασία αυτή βοηθά στον ευκολότερο εντοπισμό του περιγράμματος της κόρης και κατ' επέκταση στον ευκολότερο καθορισμό των ορίων

της ίριδας, αλλά παρ' όλα αυτά επηρεάζει ελάχιστα έως καθόλου τα υπόλοιπα στοιχεία στο σύστημα αναγνώρισης ίριδας όπως ο καθορισμός της υψής.



Εικόνα 7. Εικόνες που περιέχονται στην βάση δεδομένων Casia. Αριστερά η εικόνα αφού έχει υποστεί επεξεργασία, δεξιά η αρχική εικόνα που λήφθηκε από τον σαρωτή.

2.1.3 Το περιβάλλον ανάπτυξης Matlab

Το **MATLAB** [6] είναι ένα περιβάλλον ανάπτυξης επιστημονικού λογισμικού το οποίο έχει γίνει ιδιαίτερα δημοφιλές στην επιστημονική κοινότητα για το πλήθος μαθηματικών εργαλείων τα οποία παρέχει και την ευκολία χρήσης του που συνεπάγεται ταχύτερη ανάπτυξη πηγαίου κώδικα. Παράλληλα προσφέρει όλα σχεδόν τα πλεονεκτήματα μίας παραδοσιακής γλώσσας ανάπτυξης λογισμικού.. Το όνομά του προέρχεται από τις λέξεις **Matrix Laboratory** και ως εκ τούτου ονομάστηκε «**Matlab**» καθώς αποθηκεύει και κάνει τις πράξεις με βάση την άλγεβρα πινάκων. Η τρέχουσα έκδοσή του είναι η R2009b.

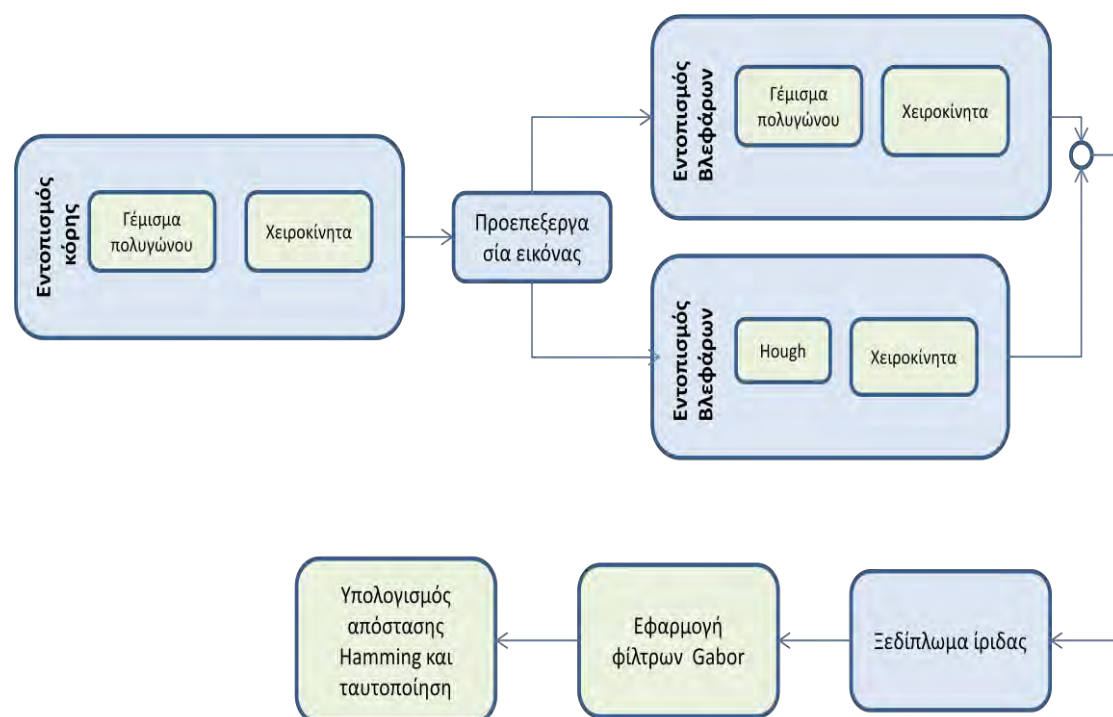
Στο δυναμικό του Matlab συμπεριλαμβάνονται μοντέρνοι αλγόριθμοι, δυνατότητες χειρισμού τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων, και ισχυρά προγραμματιστικά εργαλεία. Υποστηρίζει την χρήση πολλαπλών επεξεργαστών και πολλαπλών πυρήνων, και μπορεί να λειτουργήσει σε προσαρμοσμένα συστήματα linux χρησιμοποιώντας γραμμή εντολών χωρίς να είναι απαραίτητη η χρήση γραφικού περιβάλλοντος (Graphical User Interface, GUI).

2.2 Παρουσίαση των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν

2.2.1 Εισαγωγή

Για να μπορέσουμε να συγκρίνουμε την εικόνα του ατόμου που μόλις σαρώθηκε με αυτές στη βάση δεδομένων, θα πρέπει να συλλέξουμε τα βιομετρικά χαρακτηριστικά του που τον διαφοροποιούν από τους υπόλοιπους ανθρώπους και να τα συγκρίνουμε με τα αντίστοιχα της βάσης. Συνεπώς θα πρέπει, βάση της ανατομίας της ίριδας του ματιού, να συλλέξουμε τα δεδομένα της και να τα μετατρέψουμε σε μορφή που κάνει τον έλεγχο αξιόπιστο αλλά και γρήγορο.

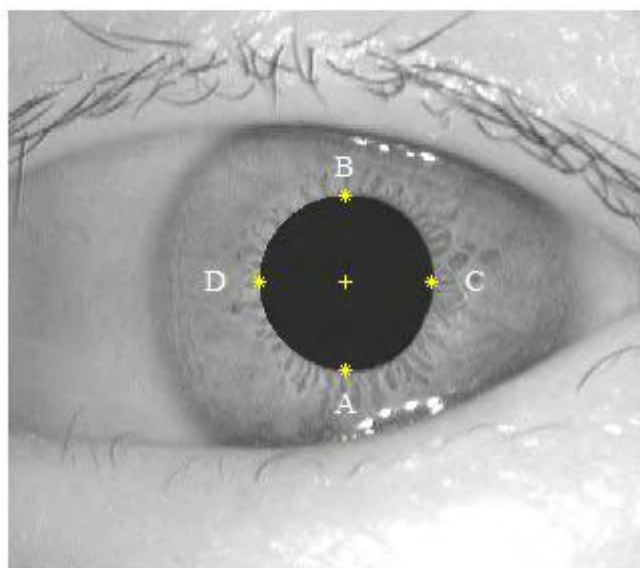
Για να περιγράψουμε την περιοχή ενδιαφέροντος την οριοθετήσαμε γεωμετρικά υπολογίζοντας κύκλους που ταυτίζονται με το περίγραμμά τους για την κόρη και την ίριδα αντίστοιχα, και παραβολές που συμπίπτουν με τα περιγράμματα για το άνω και κάτω βλέφαρο [2]. Έπειτα από αυτή την περιοχή συλλέγουμε τα δεδομένα σε έναν πίνακα μέσω του ξεδιπλώματος της προσδιορισμένης περιοχής. Στη συνέχεια από τον αρχικό πίνακα παράγονται δύο πίνακες σύγκρισης για την κάθε εικόνα, που χρησιμοποιούν μόνο τις βασικές πληροφορίες, αυξάνοντας την ευαισθησία των δεδομένων ενώ ταυτόχρονα ελαχιστοποιείται ο χρόνος αναζήτησης η διαδικασία περιγράφεται στην εικόνα 8.



Εικόνα 8. Η διαδικασία ταυτοποίησης. Στο πρώτο στάδιο γίνεται εύρεση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της κόρης. Έπειτα μετά από συγκεκριμένη επεξεργασία παράγονται οι καμπύλες του άνω και κάτω βλεφάρου, χρησιμοποιώντας αυτά προσδιορίζονται τα χαρακτηριστικά της ίριδας. Η ίριδα στην συνέχεια ξεδιπλώνεται. Τέλος μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gabor υπολογίζεται η απόσταση Hamming για τον έλεγχο της ύπαρξης ταυτοποίησης.

2.2.2 Οριοθέτηση της κόρης

Το απλούστερο μοντέλο της κόρης του οφθαλμού είναι το κυκλικό [2]. Για την εύρεση του κύκλου που περιγράφει την κόρη είναι αναγκαίος ο προσδιορισμός του κέντρου και της ακτίνας του. Για την επίτευξη αυτού βρέθηκαν τα τέσσερα ακραία σημεία της περιφέρειας του κύκλου (εικόνα 9) μέσω του αλγορίθμου γεμίσματος πολυγώνου με ουρά [7], αφού πρώτα είχε προσδιοριστεί ως σημείο εκκίνησης ένα τυχαίο εσωτερικό σημείο της κόρης.



Εικόνα 9. Παρουσίαση των τεσσάρων ακραίων σημείων καθώς και του κέντρου της κόρης.

Για να προσδιορίσουμε το τυχαίο εσωτερικό σημείο της κόρης εκμεταλλευόμαστε το γεγονός ότι τα pixel της κόρης έχουν χαμηλή τιμή, ενώ η κόρη είναι ένα εκτενές αντικείμενο, με μεγαλύτερο εμβαδό από άλλες ανατομικές δομές με μικρή τιμή pixel, όπως τα βλέφαρα. Έτσι υποδιπλασιάζουμε διαδοχικά την εικόνα, επιλέγοντας ως τιμή του νέου pixel την μέγιστη τιμή των 4 τα οποία αντικαθιστά:

for n=1:k

for all (x,y)

$$I^n(y, x) = \max(I^{n-1}(2y - 1, 2x - 1), I^{n-1}(2y - 1, 2x), I^{n-1}(2y, 2x - 1), I^{n-1}(2y, 2x))$$

όπου n ο δείκτης της επανάληψης και I^0 η αρχική εικόνα.

Έστω ότι αρκούν k υποδιπλασιασμοί της αρχικής εικόνας ώστε να υπάρχει τουλάχιστον ένα σημείο στην τελική που ανήκει στην κόρη. Από την νέα εικόνα που προκύπτει από αυτούς τους υποδιπλασιασμούς υπολογίζουμε τις συντεταγμένες του

σημείου με την ελάχιστη φωτεινότητα,. Τέλος ανάγουμε τις νέες συντεταγμένες στις αντίστοιχες της αρχικής εικόνας χρησιμοποιώντας k φορές τους παρακάτω τύπους,

$$x' = 2x - 1, y' = 2y - 1$$

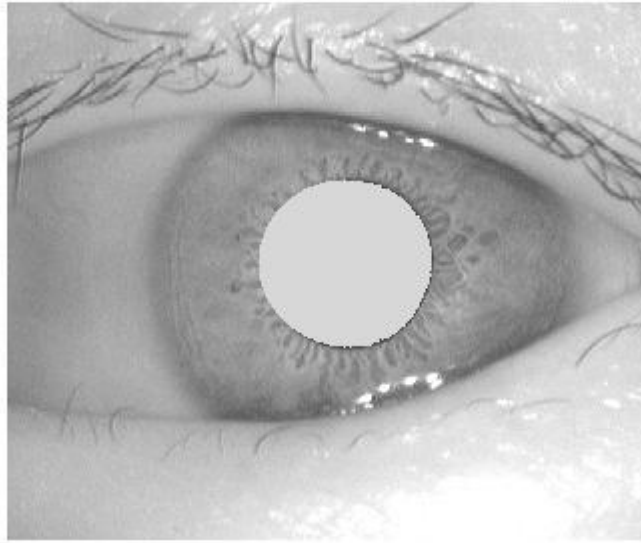
Όπου x' , y' οι συντεταγμένες του σημείου στην εικόνα πριν τον υποδιπλασιασμό και x, y οι συντεταγμένες στην υποδιπλασιασμένη.

Το εμβαδόν της κόρης κυμαίνεται περίπου στα 5000 εικονοστοιχεία, εμπειρικά παρατηρήθηκε ότι αρκούν πέντε υποδιπλασιασμοί της αρχικής εικόνας ώστε το σημείο που λαμβάνουμε από την υποδιπλασιασμένη να αντιστοιχεί σε κάποιο από τα σημεία αυτά. Αυτό συμβαίνει καθώς το κάθε εικονοστοιχείο της υποδιπλασιασμένης αντιστοιχεί σε τέσσερα εικονοστοιχεία της αρχικής, άρα μετά από πέντε υποδιπλασιασμούς ένα σημείο στην τελική εικόνα αντιστοιχεί σε μία περιοχή 32×32 , δηλαδή 1024 εικονοστοιχείων της αρχικής (τα οποία έχουν χαμηλή φωτεινότητα). Επομένως λόγω της έκτασης της περιοχής αυτής θεωρούμε σίγουρο ότι η περιοχή ανήκει στην κόρη, διότι οι υπόλοιπες σκοτεινές περιοχές της εικόνας, όπως αυτές των βλεφαρίδων, είναι αδύνατο να έχουν τόσο μεγάλο εμβαδό.

Γνωρίζοντας πλέον τις συντεταγμένες του τυχαίου εσωτερικού σημείου χρησιμοποιούμε τον *αλγόριθμο γεμίσματος πολυγώνου*. Αρχικά ορίζουμε τις λίστες που θα περιέχουν τις συντεταγμένες των σημείων που εμπεριέχονται στον κύκλο. Πρώτο σημείο της λίστας αποτελεί το τυχαίο εσωτερικό σημείο που έχουμε βρει, ορίζουμε μία τιμή απόρριψης στη κλίμακα του γκρι για να αποφύγουμε τη περίπτωση του ατέρμονου βρόγχου καθώς και τις διπλό-εγγραφές στη λίστα και μία τιμή αποδοχής όσο οι λίστες δεν είναι κενές αφαιρείται το τρέχον σημείο που είναι και το πρώτο στοιχείο σε αυτές. Η τιμή φωτεινότητας του σημείου αυτού αντικαθίσταται με την τιμή απόρριψης ώστε να μην εισαχθεί το ίδιο σημείο ξανά στις λίστες. Έπειτα ελέγχεται αν το σημείο αποτελεί ακραίο σημείο του κύκλου και στη συνέχεια εξετάζονται τα γειτονικά αυτού. Όποια από αυτά πληρούν την προϋπόθεση αποδοχής εισάγονται στις λίστες και αντικαθίστανται οι τιμές φωτεινότητάς τους με την τιμή απόρριψης. Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου γεμίσματος πολυγώνου εμφανίζεται στην εικόνα 10. Στη συνέχεια ο αλγόριθμος επιστρέφει τα ακραία σημεία του κύκλου, ως εξής:

$$A \left(\max(P_x), \frac{(\min(P_y) + \max(P_y))}{2} \right), B \left(\min(P_x), \frac{(\min(P_y) + \max(P_y))}{2} \right)$$

$$C \left(\max(P_y), \frac{(\min(P_x) + \max(P_x))}{2} \right), D \left(\min(P_y), \frac{(\min(P_x) + \max(P_x))}{2} \right)$$



Εικόνα 10. Αποτέλεσμα τμηματοποίησης της κόρης με τον αλγόριθμο γεμίματος πολυγώνου, για τυπική εικόνα της ΒΔ.

Η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου οι λίστες γίνουν κενές. Έχοντας τις συντεταγμένες των τεσσάρων αντιδιαμετρικών σημείων A, B, C, D , έχουμε τη δυνατότητα να προσδιορίσουμε τον κύκλο που είναι περιγεγραμμένος της κόρης υπολογίζοντας τις συντεταγμένες του κέντρου (x_0, y_0) καθώς και την ακτίνα του R , σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους, για το κέντρο

$$x_0 = \frac{C_x + D_x}{2}$$
$$y_0 = \frac{A_y + B_y}{2}$$

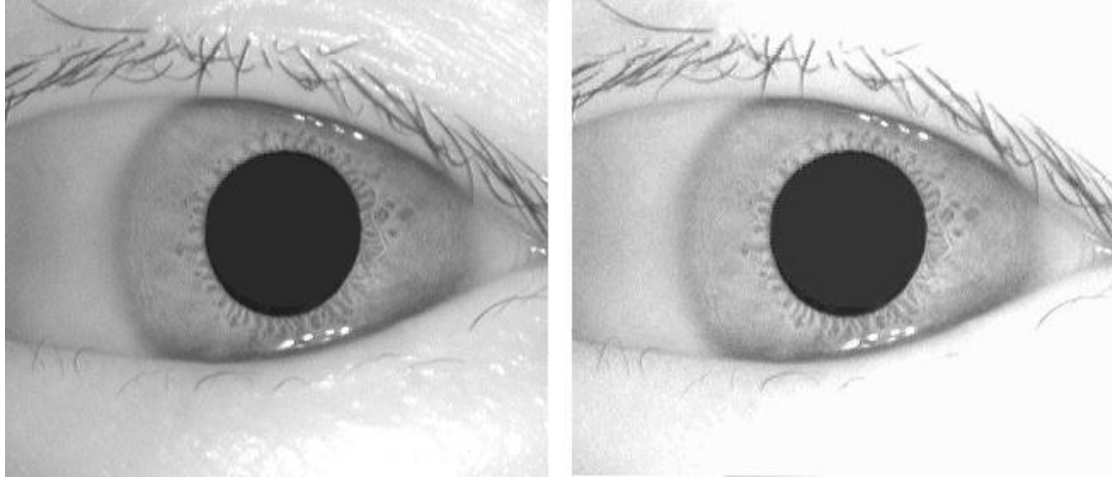
και για την ακτίνα,

$$R = \frac{1}{4} (|A_y - B_y| + |C_x - D_x|)$$

2.2.3 Προεπεξεργασία της εικόνας για τον εντοπισμό των βλεφάρων και της ίριδας

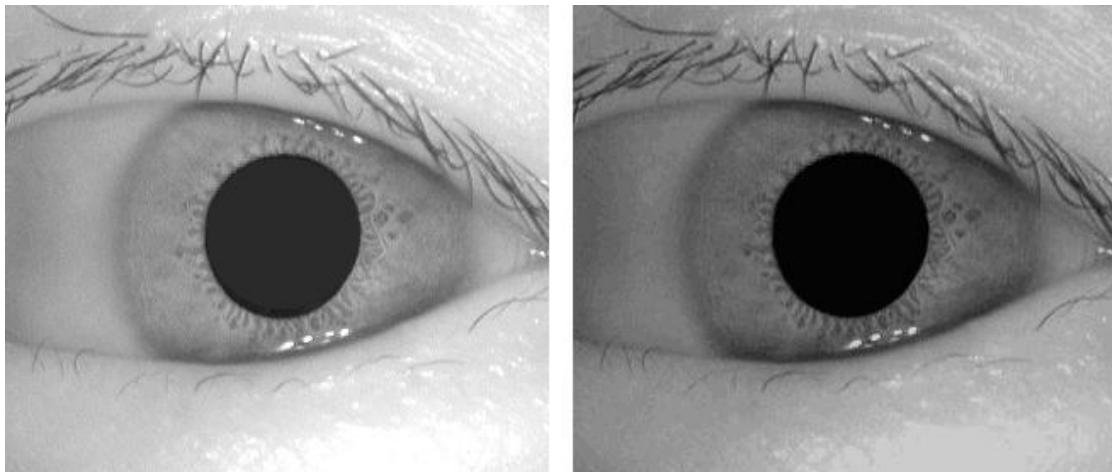
Στο στάδιο αυτό προετοιμάζουμε την εικόνα για τους αλγόριθμους εύρεσης βλεφάρων και εύρεσης ίριδας. Θα δημιουργηθούν τρεις εικόνες, η μία εκ των οποίων θα χρησιμοποιηθεί στην διαδικασία εύρεσης των βλεφάρων και οι άλλες δύο στους

αλγορίθμους εύρεσης της ίριδας. Η πρώτη εικόνα που δημιουργείται, είναι μία εκδοχή της αρχικής εικόνας αλλά με μεγαλύτερο δείκτη αντίθεσης όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 11. Στον αλγόριθμο εύρεσης των βλεφάρων χρησιμοποιείται η εικόνα που προκύπτει από την εύρεση ακμών αυτής.



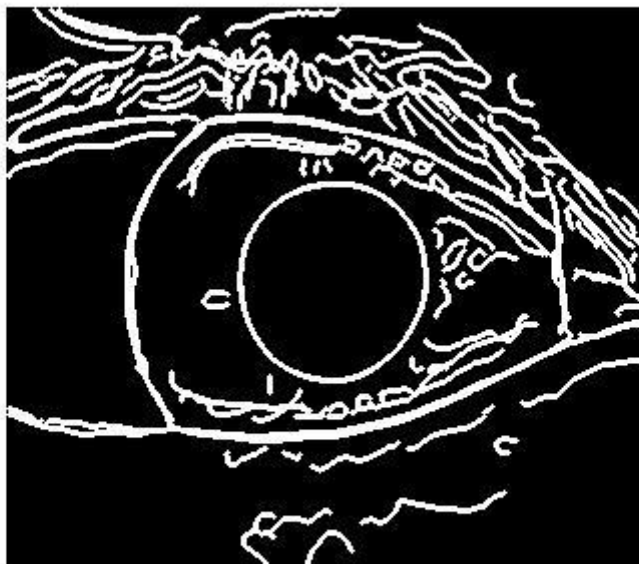
Εικόνα 11. Η εικόνα μετά από την αύξηση του δείκτη αντίθεσης. Αριστερά φαίνεται η αρχική ενώ δεξιά η εικόνα μετά από την αύξηση της αντίθεσης.

Η δεύτερη εικόνα που παράγεται χρησιμοποιείται στους αλγορίθμους εύρεσης ίριδας (Hough [8, 9] και αλγόριθμο προσαρμοσμένων σημείων). Προκύπτει από την εύρεση ακμών στην εικόνα, αφού έχει μειωθεί ο δείκτης αντίθεσής της (εικόνα 12).



Εικόνα 12. Η αρχική εικόνα (αριστερά) και η εικόνα που προκύπτει μετά από την μείωση του δείκτη αντίθεσης (δεξιά).

Έπειτα παράγεται μία τρίτη εικόνα η οποία προκύπτει από την πρόσθεση των εικόνων των ακμών των δύο προηγούμενων. Η εικόνα αυτή ενισχύεται, αναθέτοντας τιμή φωτεινότητας στα γειτονικά εικονοστοιχεία κάθε σημείου που αποτελεί ακμή (εικόνα 13).



Εικόνα 13. Εύρεση ακμών η οποία έχει ενισχυθεί αναθέτοντας τιμή, για κάθε εικονοστοιχείο που αποτελεί ακμή, και στα γειτονικά του.

Για να είναι δυνατή η εύρεση της ίριδας μέσω του αλγορίθμου γεμίσματος πολυγώνου, είναι αναγκαία η εξομάλυνση της εικόνας ώστε η υφή της ίριδας να είναι αποδεκτή από τον αλγόριθμο με μικρή ανοχή. Για τον λόγο αυτό εφαρμόζεται το φίλτρο γκαουσιανής θόλωσης στην αρχική εικόνα και έπειτα γίνεται πρόσθεση αυτής που προκύπτει με την εικόνα 13 ώστε να περιορίζεται η περιοχή της ίριδας από τον επιπεφυκότα.

2.2.3.1 Γκαουσιανό φίλτρο

Η γκαουσιανή θόλωση αποτελεί έναν τρόπο εξομάλυνσης εικόνας, ο οποίος χρησιμοποιεί την συνάρτηση του Gauss για τον υπολογισμό του μετασχηματισμού που θα εφαρμοστεί στο κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας [10].

Η συνάρτηση Gauss για μία διάσταση είναι η

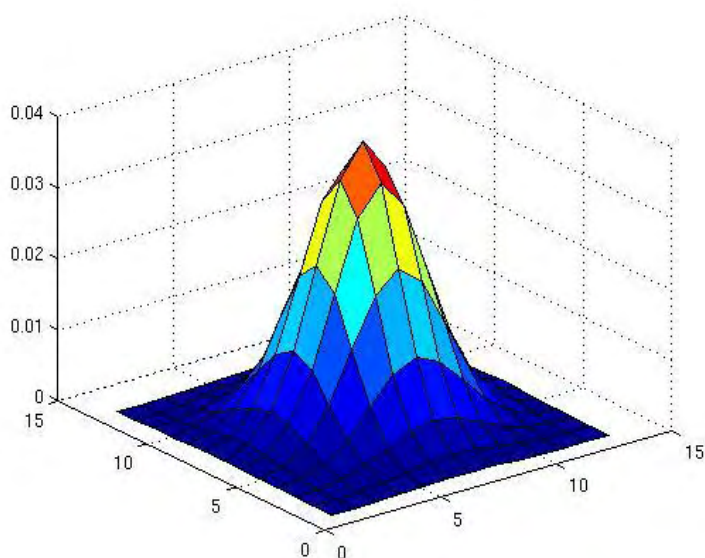
$$g(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot \sigma} \cdot e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

ενώ η δυσδιάστατη συνάρτηση προκύπτει από τον συνδυασμό δύο γκαουσιανών συναρτήσεων, μία για την κάθε διάσταση

$$g(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

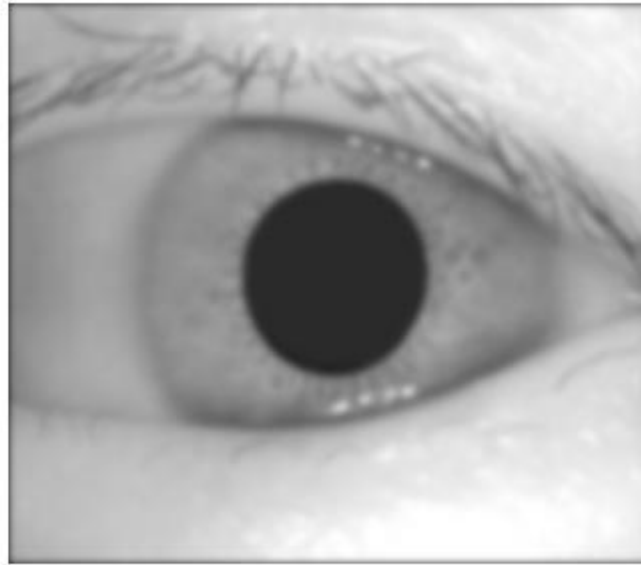
όπως είναι η τυπική απόκλιση της κατανομής Gauss. Για την παραγωγή του φίλτρου εξομάλυνσης χρησιμοποιήσαμε $\sigma = 2$.

Με την εφαρμογή σε δύο διαστάσεις ο τύπος αυτός παράγει μία επιφάνεια περιστρέφοντας ουσιαστικά μία κανονική κατανομή κατά τον άξονα που διέρχεται από το μέγιστο σημείο της και είναι κάθετος στο επίπεδο $x - y$, η επιφάνεια αυτή παρουσιάζεται στην εικόνα 14.



Εικόνα 14. Δισδιάστατο γκαουσιανό φίλτρο με $\sigma=2$.

Τιμές από την κατανομή αυτή χρησιμοποιούνται για την δημιουργία ενός πίνακα, ο οποίος χρησιμοποιείται για συνέλιξη με την αρχική εικόνα. Ο πίνακας αποτελεί τη μάσκα για την εξομάλυνση της εικόνας. Στην παρούσα εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε μάσκα μεγέθους 13×13 . Η διαδικασία αυτή έχει ως αποτέλεσμα μια θολή εκδοχή της αρχικής εικόνας, η οποία όμως διατηρεί τα όρια και τις ακμές της αρχικής όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 15.



Εικόνα 15. Εφαρμογή του φίλτρου γκαουσιανής θόλωσης στην αρχική εικόνα.

2.2.3.2 Αλγόριθμος εύρεσης ακμών Canny

Η διαδικασία εύρεσης ακμών Canny χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο πολλαπλών βημάτων για τον εντοπισμό μεγάλου εύρους ακμών σε εικόνες [11]. Αρχικά χρησιμοποιεί ένα φίλτρο βασισμένο στην πρώτη παράγωγο μιας γκαουσιανής, επειδή ο αλγόριθμος έχει μια ευαισθησία όσον αφορά τον θόρυβο που υπάρχει σε μη επεξεργασμένες εικόνες, για τον λόγο αυτό γίνεται εξομάλυνση της εικόνας με τη συνέλιξη αυτής με ένα γκαουσιανό φίλτρο το οποίο έχει $\sigma = 2$. Το αποτέλεσμα είναι μια ελαφρώς θολή εκδοχή της αρχικής το οποίο δεν επηρεάζεται σε σημαντικό βαθμό από μεμονομένα εικονοστοιχεία θορύβου, δηλαδή από εικονοστοιχεία η τιμή φωτεινότητας των οποίων έχει μεγάλη απόκλιση από αυτές των γειτονικών.

Μια ακμή σε μία εικόνα μπορεί να έχει διάφορους προσανατολισμούς, έτσι ο αλγόριθμος Canny χρησιμοποιεί τέσσερα φίλτρα για τον εντοπισμό των οριζόντιων, κάθετων και διαγώνιων ακμών της θολής εικόνας. Ο αλγόριθμος εύρεσης ακμών επιστρέφει μία τιμή της πρώτης παραγώγου στην οριζόντια διεύθυνση (G_x) και στην κάθετη (G_y). Από τις τιμές αυτές μπορούν να καθοριστούν η κλίση και η κατεύθυνση της ακμής :

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{G_x}{G_y}\right)$$

Η γωνία που αντιστοιχεί στην διεύθυνση της ακμής στρογγυλοποιείται προς μία από τις τέσσερις γωνίες που αντιπροσωπεύουν την οριζόντια κατεύθυνση, την κάθετη και τις δύο διαγώνιους (0,45,90 και 135 για παράδειγμα). Έχοντας εκτιμήσεις για τις κλίσεις που υπάρχουν στην εικόνα διεξάγουμε έναν έλεγχο για να καθορίσουμε εάν για τις κλίσεις αυτές υπολογίζεται ένα τοπικό μέγιστο στην κατεύθυνση της κλίσης. Έτσι για παράδειγμα,

- εάν η στρογγυλοποιημένη γωνία είναι στις 0 μοίρες, το σημείο θα θεωρηθεί ακμή εφόσον η έντασή του είναι μεγαλύτερη από τις εντάσεις στη νότια και τη βόρεια κατεύθυνση,
- εάν η στρογγυλοποιημένη γωνία είναι στις 90 μοίρες, το σημείο θα θεωρηθεί ακμή εφόσον η έντασή του είναι μεγαλύτερη από τις εντάσεις στη ανατολική και τη δυτική κατεύθυνση,
- εάν η στρογγυλοποιημένη γωνία είναι στις 135 μοίρες, το σημείο θα θεωρηθεί ακμή εφόσον η έντασή του είναι μεγαλύτερη από τις εντάσεις στη βόρειο-ανατολική και τη νότιο-δυτική κατεύθυνση,
- εάν η στρογγυλοποιημένη γωνία είναι στις 45 μοίρες, το σημείο θα θεωρηθεί ακμή εφόσον η έντασή του είναι μεγαλύτερη από τις εντάσεις στη βόρειο-δυτική και τη νότιο-ανατολική κατεύθυνση.

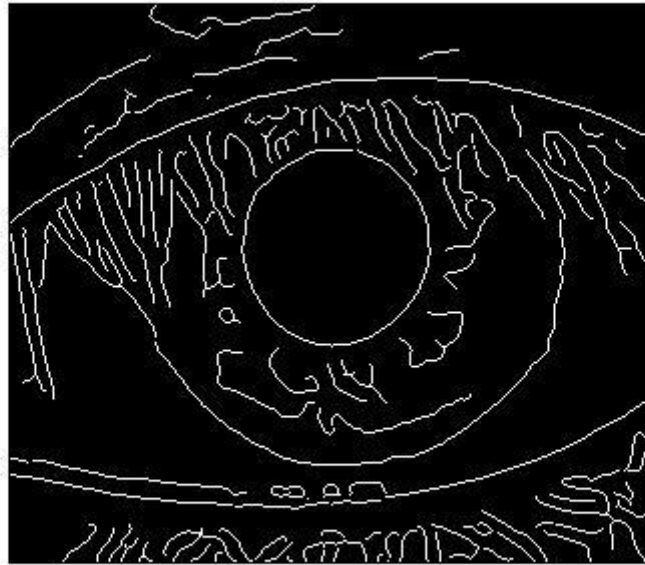
Από αυτό το στάδιο εξάγεται ένα σύνολο σημείων ακμής, στη μορφή μιας δυαδικής εικόνας. Οι οποίες είναι γνωστές συχνά με τον όρο “λεπτές ακμές” (thin edges).

Οι κλίσεις με μεγάλη ένταση είναι πιο πιθανό να θεωρηθούν ακμές σε σχέση με αυτές με μικρότερες τιμές εντάσεως. Στις περισσότερες περιπτώσεις είναι σχεδόν αδύνατο να καθοριστεί μία συγκεκριμένη τιμή κατωφλίου στην οποία η τιμή εντάσεως αλλάζει στο να μην αντιστοιχεί σε ακμή. Για τον λόγο αυτό ο Canny χρησιμοποιεί κατωφλίωση με υστέρηση (Hysteresis thresholding), ως εξής:

Τα προηγούμενα βήματα έχουν δημιουργήσει ένα αριθμό από υποψήφια pixel ακμών, βάσει του διανύσματος κλίσης το οποίο έχει υπολογιστεί.

Ορίζονται δύο κατώφλια (thresholds), TL, TH (TL < TH) , εντοπίζεται ένα (αρχικό) pixel ακμής με μέτρο κλίσης $|G| > TH$ και στη συνέχεια, εντοπίζονται όλα τα pixel ακμής με μέτρο κλίσης $|G| > TL$ τα οποία είναι συνδεδεμένα με το (αρχικό) pixel ακμής. Το βήμα αυτό επαναλαμβάνεται έως να εξεταστούν όλα τα πιθανά pixels ακμών.

Μετά το πέρας της διαδικασίας παράγεται μία δυαδική εικόνα στην οποία το κάθε εικονοστοιχείο έχει χαρακτηριστεί ως σημείο ακμής ή όχι (εικόνα 16).



Εικόνα 16. Εικόνα που προκύπτει έπειτα από την εύρεση ακμών μέσω του αλγορίθμου Canny.

2.2.4 Οριοθέτηση των βλεφάρων

Λόγω του θορύβου που προκύπτει από τις βλεφαρίδες, η οριοθέτηση των βλεφάρων αποτελεί διαδικασία που παρουσιάζει υψηλό βαθμό δυσκολίας. Βάσει παρατήρησης θεωρήσαμε ότι οι καμπύλες των βλεφάρων μπορούν να περιγραφούν επιτυχώς από παραβολές της μορφής [2, 12-16]

$$y - y_0 = \frac{1}{a} \cdot (x - x_0)^2,$$

όπου x_0 η τετμημένη της κορυφής της παραβολής $x \in [x_{rup} - 2R_{rup}, x_{rup} + 2R_{rup}]$ και $x_{rup}, y_{rup}, R_{rup}$ οι συντεταγμένες του κέντρου και η ακτίνα της κόρης. Χρησιμοποιώντας τις παραβολές αυτές ως πρότυπα στην γενικευμένη μορφή του μετασχηματισμού Hough, είναι δυνατή η εύρεση των βέλτιστων καμπυλών που περιγράφουν τα βλέφαρα [8].

Στο σημείο αυτό περιγράφεται η ανεύρεση του άνω βλεφάρου και για τον λόγο αυτό περιορίζουμε την περιοχή αναζήτησης στο άνω μισό της εικόνας. Σκοπός του περιορισμού αυτού είναι να υπολογιστεί κατά προσέγγιση η παραβολή αλλά στην περιοχή της ίριδας η απόκλιση να ελαχιστοποιείται. Παρατηρήθηκε ότι οι παραβολές

των άνω βλεφάρων είναι παρόμοιες και για τον λόγο αυτό οριοθετήσαμε τις τιμές στις οποίες θα κυμανθεί ο συντελεστής a της παραβολής 450-500.

Μετά από τους παραπάνω περιορισμούς, το σφάλμα των βλεφάρων, ελαχιστοποιείται στην περιοχή της παραβολής που βρίσκεται στο πλαίσιο της ίριδας.

Ο Ψευδοκώδικας για τον εντοπισμό του βλεφάρου με τη βοήθεια του HT έχει ως εξής:

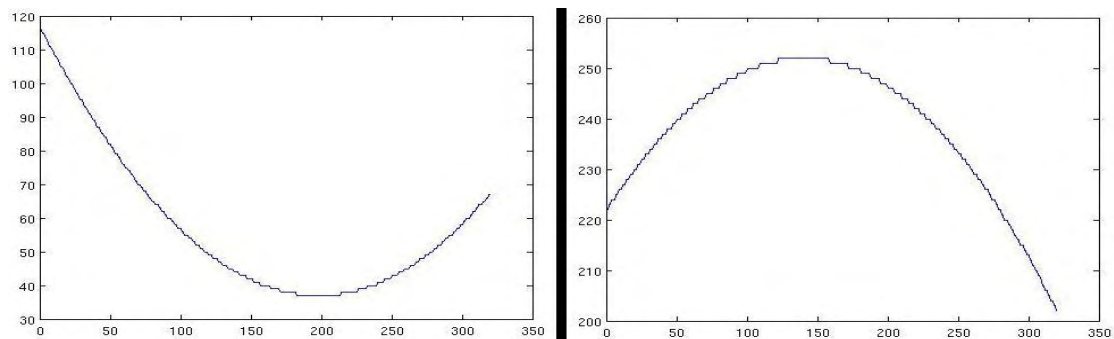
```

For all  $a$ 
  for all (x,y) such that (x,y) edge pixel
    calculate  $y - y_0 = \frac{1}{a} \cdot (x - x_0)^2$ 
    for all pixels  $(x_p, y_p)$  of a parabol with outmost  $(x_0, y_0)$  and
    coefficient  $a$ 
       $B(a, x_0, y_0) = B(a, x_0, y_0) + 1$ 
    }
  }
}

```

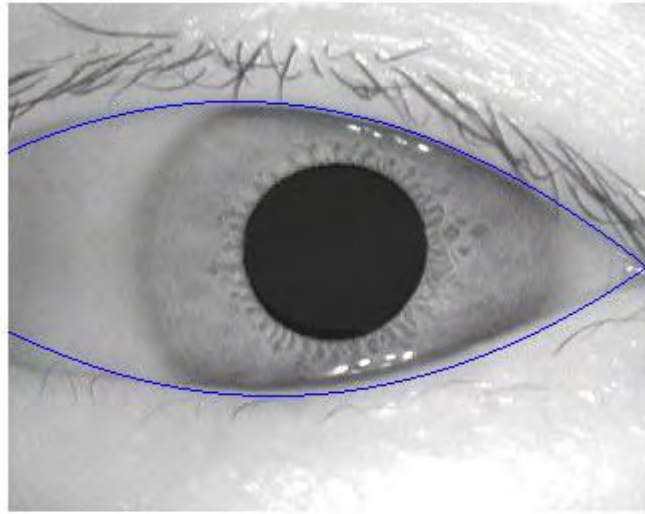
Με αντίστοιχο τρόπο βρίσκουμε και την βέλτιστη καμπύλη για το κάτω βλέφαρο, αλλά μετά από τις αναγκαίες αλλαγές στην ακτίνα τιμών των παραμέτρων. Αντίθετα με τα άνω βλέφαρα, τα κάτω δεν παρουσιάζουν μεγάλη ομοιότητα μεταξύ τους, για τον λόγο αυτό ο συντελεστής a έχει αρνητικό πρόσημο και κυμαίνεται από τις τιμές 450 έως 650 και από 900 έως 950 για τις περιπτώσεις βλεφάρων που εμφανίζουν πολύ μικρή καμπυλότητα. Λόγω του μεγάλου εύρους του συντελεστή καμπυλότητας των κάτω βλεφάρων, ο αλγόριθμος αυτός απαιτεί περισσότερο υπολογιστικό χρόνο σε σχέση με όλους τους υπόλοιπους.

Έχοντας βρει τις βέλτιστες καμπύλες για τα βλέφαρα, οι οποίες φαίνονται στην εικόνα 17.



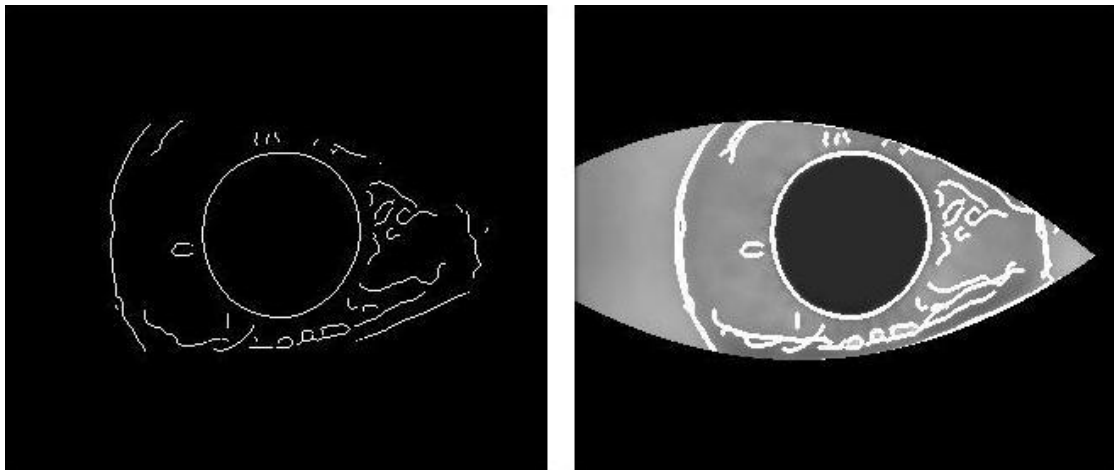
Εικόνα 17. Οι βέλτιστες καμπύλες που προκύπτουν για τα βλέφαρα. Αριστερά φαίνεται η καμπύλη του άνω βλεφάρου, ενώ δεξιά του κάτω. Οι καμπυλότητες είναι αντίθετες καθώς η αρχή των αξόνων στην εικόνα βρίσκεται στην πάνω αριστερά γωνία, σε αντίθεση με το διάγραμμα όπου βρίσκεται κάτω αριστερά.

Έπειτα υπερτίθενται οι καμπύλες των βλεφάρων στην εικόνα, όπως φαίνονται στην εικόνα 18.



Εικόνα 18. Αποτελέσματα της εφαρμογής της αυτόματης μεθόδου ανεύρεσης των βλεφάρων σε ενδεικτική εικόνα.

Οι περιοχές που βρίσκονται άνω του άνω βλεφάρου και κάτω του κάτω βλεφάρου με μια μικρή απόκλιση, εμφανίζονται ως μαύρες κρατώντας μόνο την περιοχή του οφθαλμού που περιέχει δεδομένα, την περιοχή δηλαδή ανάμεσα στα δύο βλέφαρα, (Εικόνα 19). Ο χρωματισμός χρησιμοποιείται για να καλυφθεί το τυχόν σφάλμα της καμπύλης που βρέθηκε από την πραγματική καμπύλη του βλεφάρου.



Εικόνα 19. Μετά από την επεξεργασία ώστε να εμφανίζονται μαύρες οι περιοχές άνω του άνω βλεφάρου και κάτω του κάτω βλεφάρου, κρατώντας μόνο την περιοχή του οφθαλμού που περιέχει δεδομένα. Αριστερά παρουσιάζεται η εικόνα που θα χρησιμοποιηθεί από τους αλγόριθμους εύρεσης ίριδας του Hough και των προσαρμοσμένων σημείων. Δεξιά παρουσιάζεται η εικόνα που θα χρησιμοποιηθεί από τον αλγόριθμο γεμίματος πολυγώνου.

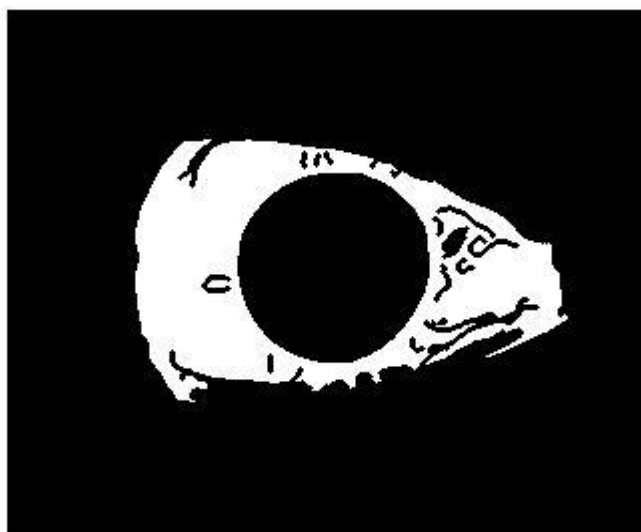
2.2.5 Εύρεση ίριδας

Για την εύρεση της ίριδας ακολουθείται παρόμοια διαδικασία με αυτήν της εύρεσης της κόρης αλλά λόγω της ανομοιομορφίας του εσωτερικού της την προσεγγίσαμε με τρεις διαφορετικές και περισσότερο απαιτητικές υλοποιήσεις. Η πρώτη προσέγγιση αφορά τον αλγόριθμο γεμίματος πολυγώνου ενώ η δεύτερη την παραμετρική εύρεση κύκλου μέσω του αλγορίθμου Hough. Τέλος ο τρίτος αλγόριθμος αποτελεί μία γρήγορη υλοποίηση, χάριν του μικρού χρόνου υπολογισμού όμως έχει θυσιαστεί η ακρίβεια των αποτελεσμάτων του αλγορίθμου. Για τον λόγο αυτό η τρίτη υλοποίηση δεν αποτελεί πραγματική λύση στο πρόβλημα της εύρεσης της ίριδας αλλά χρησιμοποιήθηκε για να παρουσιαστεί η σχέση της ποιότητας των αποτελεσμάτων με τον χρόνο υπολογισμού τους.

2.2.5.1 Εύρεση ίριδας μέσω του αλγορίθμου γεμίματος πολυγώνου

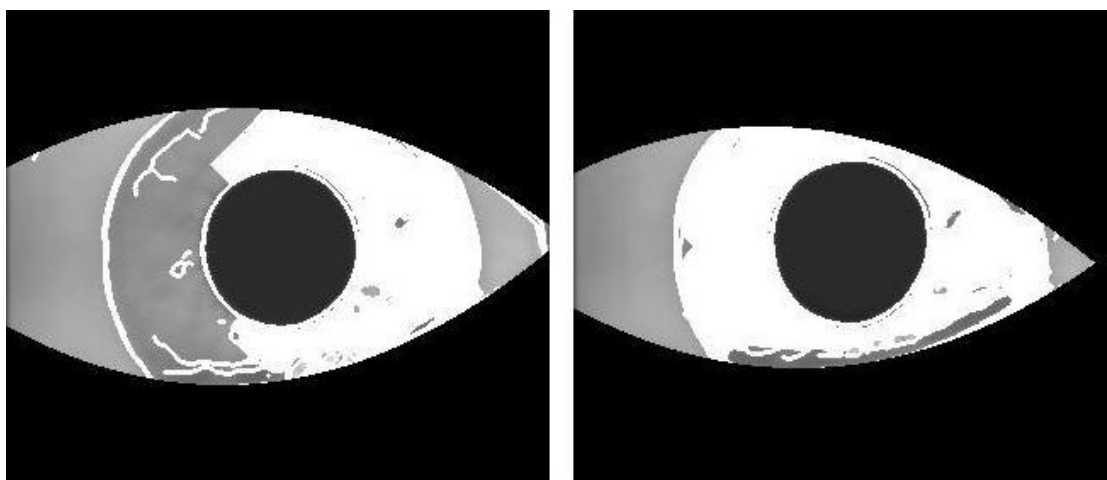
Σε αυτή την προσέγγιση χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος γεμίματος πολυγώνου ο οποίος έχει προαναφερθεί, αλλά με κάποιες διαφοροποιήσεις. Η βασική διαφορά της κόρης και της ίριδας είναι ότι οι τιμές φωτεινότητας των εικονοστοιχείων της κόρης είναι παραπλήσιες ενώ αντιθέτως οι τιμές φωτεινότητας στην ίριδα παρουσιάζουν μεγάλη ανομοιογένεια. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούμε την εικόνα που παράχθηκε στο στάδιο προεπεξεργασίας της εικόνας, η οποία προκύπτει μετά από την πρόσθεση του γκαουσιανού φίλτρου και της εύρεσης ακμών μέσω του αλγορίθμου Canny (εικόνα 19).

Εφόσον έχουμε ήδη τμηματοποιήσει την κόρη, ως αρχικό σημείο του αλγορίθμου μπορούμε να ορίσουμε ένα σημείο που να βρίσκεται έξω από την περίμετρο της κόρης αλλά το οποίο ταυτόχρονα να βρίσκεται αρκετά κοντά στην περίμετρο της ίριδας, συγκεκριμένα η τετμημένη του σημείου είναι ίδια με αυτή του κέντρου της κόρης, ενώ η τεταγμένη αυτού είναι η τεταγμένη του κέντρου της κόρης αυξημένη κατά προσέγγιση μιάμιση φορά την ακτίνα τη κόρης. Ο λόγος που το σημείο αυτό θα πρέπει να μην βρίσκεται κοντά στο άνω βλέφαρο, ώστε να μην επηρεαστεί ο αλγόριθμος από την ύπαρξη των βλεφαρίδων. Εάν το αρχικό σημείο αποτελεί σημείο ακμής τότε μετατοπίζεται προς τα κάτω και δεξιά. Η βασική διαφοροποίηση του αλγορίθμου είναι ότι το κριτήριο αποδοχής pixel εξαρτάται από την τρέχουσα μέση τιμή των συλλεγμένων pixel. Κάθε φορά που συλλέγεται ενημερώνεται η μέση τιμή των φωτεινότητων. Συνεπακόλουθα τροποποιείται και το κριτήριο αποδοχής pixels. Τελικά προκύπτει μία δυαδική εικόνα η οποία έχει τιμή 1 στα σημεία που ανήκουν στην ίριδα (εικόνα 20).



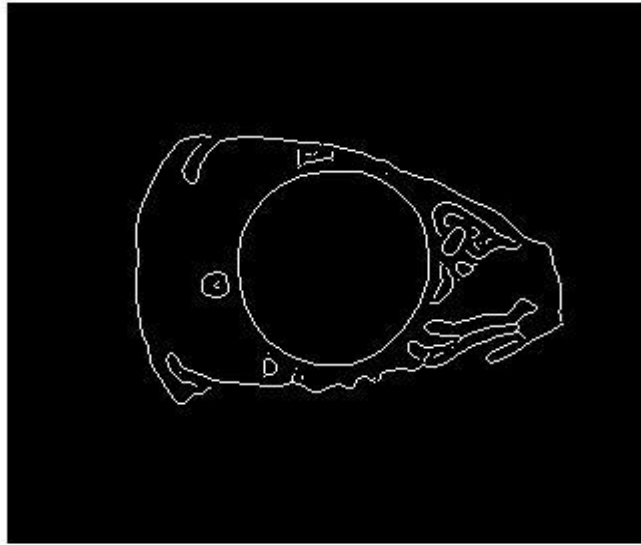
Εικόνα 20. Παρουσίαση των σημείων που επισκέφθηκε ο αλγόριθμος γεμίσματος πολυγώνου.

Καθώς στην αρχική εικόνα έχει εφαρμοστεί ο αλγόριθμος εύρεσης των βλεφάρων και η εικόνα έχει ενισχυθεί με ακμές, ο αλγόριθμος γεμίσματος πολυγώνου δεν θα υπολογίσει τιμές πέρα από τα όρια αυτά, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 21.



Εικόνα 21. Δεξιά παρουσιάζεται ένα στιγμιότυπο κατά την εφαρμογή του αλγορίθμου γεμίσματος πολυγώνου. Αριστερά παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της εφαρμογής του αλγορίθμου.

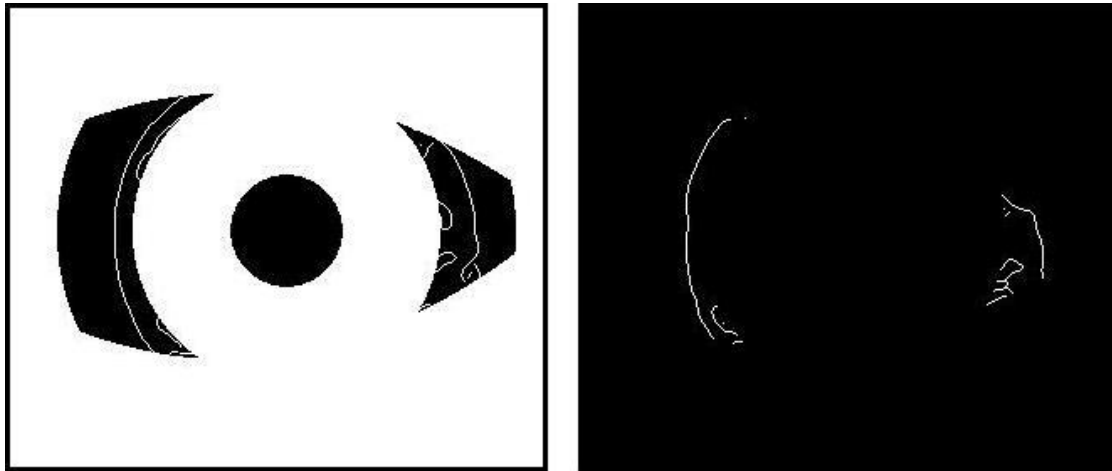
Πλέον ο υπολογισμός του κύκλου δεν προκύπτει από την εύρεση των τεσσάρων ακραίων σημείων, όπως γινόταν στην κόρη, αλλά από την εύρεση των σημείων της περιφέρειας μέσω κάποιων άλλων βημάτων. Αρχικά εφαρμόζεται ο αλγόριθμος Canny (εικόνα 22) στην δυαδική εικόνα για την εύρεση των ακμών που αντιστοιχούν στο γραμμοσκιασμένο τμήμα της εικόνας 20.



Εικόνα 22. Εύρεση ακμών στην περιοχή που προκύπτει από την εφαρμογή του αλγορίθμου γεμίσματος πολυγώνου.

Εάν η υφή της ίριδας δεν είναι ομαλή, στην εικόνα που προκύπτει μετά την εύρεση ακμών εμφανίζονται σκοτεινές κηλίδες στην περιοχή της. Για την αποφυγή του υπολογισμού αυτών ως σημεία της περιφέρειας εφαρμόζουμε ένα πρότυπο το οποίο περιορίζει προσεγγιστικά την περιφέρεια της ίριδας μεταξύ των βλεφάρων και δύο ομόκεντρων ως προς την κόρη κύκλων όπως φαίνεται στην εικόνα 23. Πιο συγκεκριμένα, η εσωτερική ακτίνα είναι ίση με την ακτίνα της κόρης μειωμένη κατά 10 εικονοστοιχεία, και εξωτερική ακτίνα διπλάσια αυτής της κόρης. Έτσι εξαλείφουμε τις κηλίδες που έχουν τυχόν εμφανιστεί στην περιοχή της ίριδας καθώς και τον κύκλο της κόρης.

Μετά την εφαρμογή του προτύπου προκύπτουν δύο τόξα τα οποία βρίσκονται επάνω στην περιφέρεια της ίριδας. Αποθηκεύονται οι συντεταγμένες των σημείων των τόξων σε δύο λίστες, και πλέον έχοντας τις συντεταγμένες αυτές εφαρμόζουμε τον αλγόριθμο ελαχίστων τετραγώνων για κύκλο ώστε να εντοπίσουμε τελικά τον κύκλο που περιγράφει την ίριδα. [17].

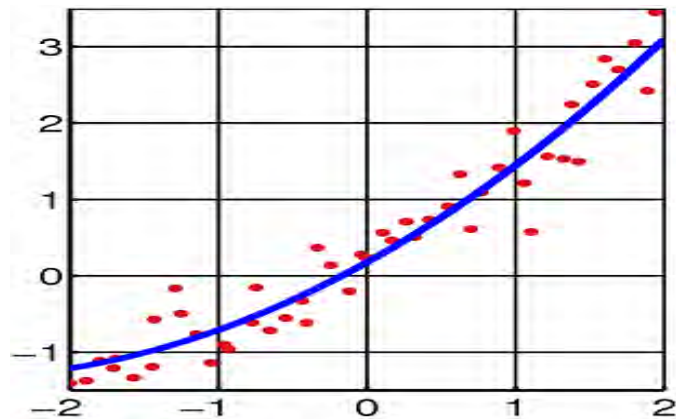


Εικόνα 23. Εφαρμογή του προτύπου των βλεφάρων και του προτύπου των κύκλων για τον κατά προσέγγιση περιορισμό της περιφέρειας της ίριδας. Στην εικόνα αριστερά, για λόγους απεικόνισης, τα πρότυπα παρουσιάζονται με αντίθετα χρώματα. Στη εικόνα δεξιά παρουσιάζεται το αποτέλεσμα μετά την εφαρμογή των προτύπων.

2.2.5.1.1 Μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων για κύκλο

Στη στατιστική και στα μαθηματικά, η γραμμική μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων αποτελεί μία υπολογιστική προσέγγιση για την εφαρμογή ενός μαθηματικού ή στατιστικού μοντέλου στα δεδομένα [17]. Μαθηματικά, η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων ορίζεται ως το πρόβλημα της προσεγγιστικής λύσης ενός συστήματος γραμμικών εξισώσεων. Η καλύτερη προσέγγιση της λύσης ορίζεται ως εκείνη η οποία ελαχιστοποιεί το άθροισμα των τετραγώνων των διαφορών μεταξύ των τιμών των δεδομένων και των αντίστοιχων τιμών του μοντέλου.

Στην περίπτωση που εξετάζουμε, το ζητούμενο είναι η εύρεση του κύκλου που εφαρμόζει καλύτερα στα σημεία που έχουμε αποθηκεύσει τα οποία βρίσκονται επάνω στα τόξα που περιγράφουν την ίριδα όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 24.



Εικόνα 24. Εφαρμογή κύκλου σε δεδομένα μέσω του αλγορίθμου ελαχίστων τετραγώνων.

Έστω ότι ο κύκλος περιγράφεται από την εξής εξίσωση

$$x^2 + y^2 + 2Ax + 2By + C = 0$$

Τότε το κέντρο του κύκλου είναι το σημείο με συντεταγμένες $(-A, -B)$ και η ακτίνα του δίνεται από την εξίσωση

$$R = \sqrt{A^2 + B^2 - C}$$

Εάν θεωρήσουμε ότι ο κύκλος χρησιμοποιείται για να προσεγγίσει τα σημεία $p_i (i = 1, 2, \dots, n)$. Τότε το συνολικό τετραγωνικό σφάλμα δίνεται από την

$$\varphi = \sum (x_i^2 + y_i^2 + 2Ax_i + 2By_i + C)^2$$

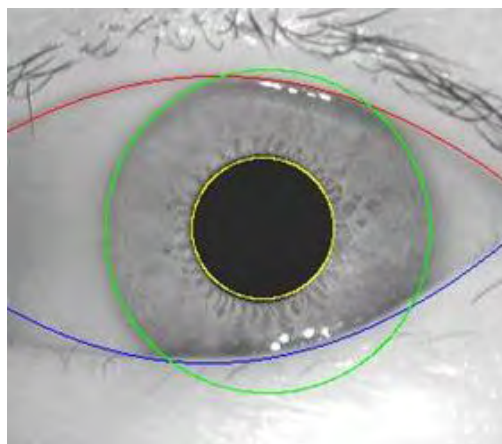
Έτσι το ζητούμενο είναι να βρεθούν οι τιμές των παραμέτρων A, B, C καθώς το φ ελαχιστοποιείται. Αυτό γίνεται με την λύση του ακόλουθου συστήματος γραμμικών εξισώσεων

$$2 \sum x_i^2 \cdot A + 2 \sum x_i y_i \cdot B + \sum x_i \cdot C + \sum (x_i^2 + y_i^2) \cdot x_i = 0$$

$$2 \sum x_i y_i \cdot A + 2 \sum y_i^2 \cdot B + \sum y_i \cdot C + \sum (x_i^2 + y_i^2) y_i = 0$$

$$2 \sum x_i \cdot A + 2 \sum y_i \cdot B + n \cdot C + \sum (x_i^2 + y_i^2) = 0$$

Μετά την λύση των εξισώσεων προκύπτει η εξίσωση του κύκλου ο οποίος εφαρμόζει στα σημεία των τόξων με το ελάχιστο τετραγωνικό σφάλμα. Ο κύκλος αυτός είναι ο ζητούμενος, ο κύκλος δηλαδή που περιγράφει την ίριδα. Ενδεικτικό αποτέλεσμα μετά την εφαρμογή των βλεφάρων και την εύρεση του κύκλου που περιγράφει την ίριδα φαίνεται στην εικόνα 25. (αναλυτικά τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 8 του παραρτήματος 1).



Εικόνα 25. Η εικόνα που προκύπτει μετά από την εύρεση του κύκλου της ίριδας με τον αλγόριθμο γεμίσματος πολυγώνου.

2.2.5.2 Εύρεση ίριδας μέσω του μετασχηματισμού Hough

Για την εύρεση της ίριδας μέσω του μετασχηματισμού Hough χρησιμοποιείται η εικόνα 19. Για να αυξηθεί η ακρίβεια περιορίζουμε τον χώρο αναζήτησης μέσω της εφαρμογής του προτύπου, όπως αυτό περιγράφηκε στον αλγόριθμο γεμίσματος πολυγώνου.

Η συνάρτηση μετασχηματισμού Hough (Hough Transform, HT) (Hough, 1962) αποτελεί μια τεχνική η οποία χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό σχημάτων (συνηθέστερα εξαγωγή γραμμών, κύκλων και ελλείψεων (ή κωνικών τμημάτων) μέσα σε εικόνες [8,9]. Ο HT δημιουργεί ένα χώρο σημείων παραμέτρων, ο οποίος κατάλληλα διακριτοποιημένος υλοποιείται υπολογιστικά σαν πίνακας διάστασης ίσης με το πλήθος των παραμέτρων του ζητούμενου σχήματος, που καλείται αθροιστής. Η παραμετρική μορφή της εξίσωσης του κύκλου είναι η εξής:

$$\begin{aligned}x &= x_0 + r \cdot \cos(\theta) \\y &= y_0 + r \cdot \sin(\theta)\end{aligned}$$

Καθίσταται προφανές ότι ο αθροιστής θα έχει διάσταση 3. Ο Ψευδοκώδικας για τον εντοπισμό της ίριδας με τη βοήθεια του HT έχει ως εξής:

For all R

for all (x,y) such that (x,y) edge pixel

calculate $(x_0, y_0) = (x, y) - R(\cos(\theta), \sin(\theta))$

for all pixels (x_p, y_p) of a circle with center (x_0, y_0) and radius R

$$A(R, x_p, y_p) = A(R, x_p, y_p) + 1$$

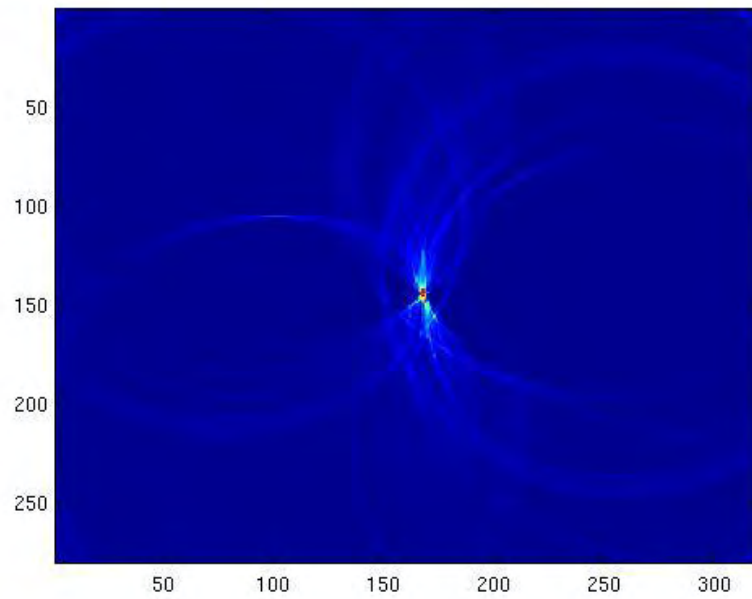
}

}

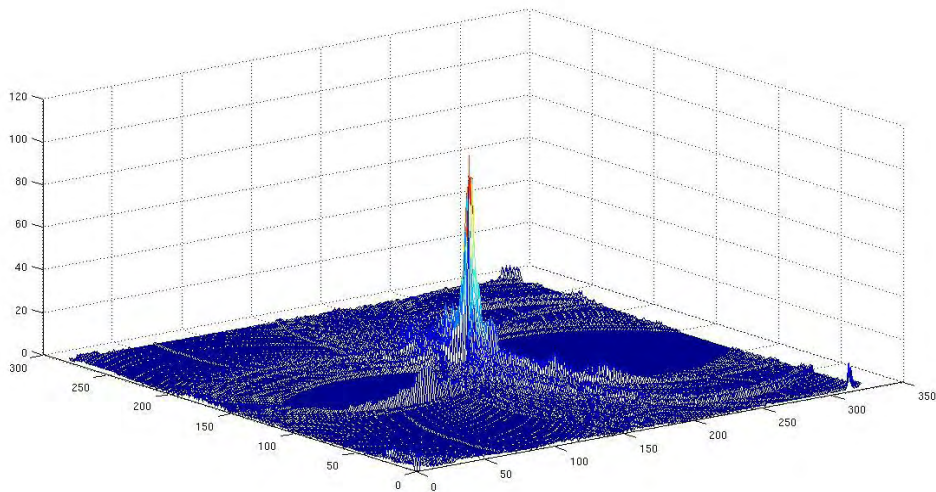
}

Για δεδομένη ακτίνα R , ο υπολογισμός των pixel ενός κύκλου δεδομένης ακτίνας γίνεται βάσει του αλγορίθμου του Bresenham. Το pixel του αθροιστή A με τη μέγιστη τιμή αντιστοιχεί στις ζητούμενες παραμέτρους του κύκλου που τμηματοποιεί την ίριδα.

Ο χώρος του αθροιστή για την ορθή ακτίνα παρουσιάζεται στις εικόνες 26-27, για μία τυπική εικόνα οφθαλμού.

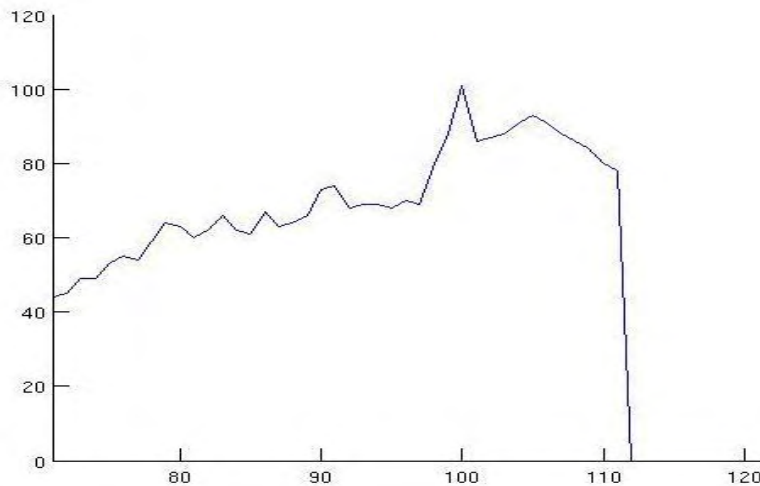


Εικόνα 26. Κάτοψη του χώρου του αθροιστή. Με κόκκινο απεικονίζονται τα σημεία που έχουν την μέγιστη τιμή προσπέλασης από το πρότυπο.



Εικόνα 27. Ο χώρος του αθροιστή της βέλτιστης ακτίνας σε τρισδιάστατη προβολή.

Η τιμή του μεγίστου του αθροιστή για συγκεκριμένη ακτίνα, παρουσιάζεται ως συνάρτηση της ακτίνας στην εικόνα 28.



Εικόνα 28. Απεικόνιση των μέγιστων τιμών του χώρου του αθροιστή για τις διάφορες τιμές του r .

2.2.5.2.1 Ο αλγόριθμος του μέσου σημείου για κύκλο

Στα γραφικά των υπολογιστών, ο αλγόριθμος μέσου σημείου για κύκλο χρησιμοποιείται για να καθοριστούν τα σημεία που χρειάζονται για τον σχεδιασμό ενός κύκλου. Ο αλγόριθμος είναι μια παραλλαγή του αλγορίθμου του Bresenham για ευθεία, και είναι γνωστός σαν ο αλγόριθμος του Bresenham για κύκλο, παρότι δεν έχει εφευρεθεί από αυτόν [18]. Ξεκινά σύμφωνα με την εξίσωση του κύκλου

$$x^2 + y^2 = R^2$$

Θεωρούμε αρχικά μόνο το πρώτο ογδοημόριο και σχεδιάζουμε μια καμπύλη η οποία ξεκινά από το σημείο $(R, 0)$ και συνεχίζει προς τα πάνω και αριστερόστροφα, έως ότου φτάσει σε γωνία 45 μοιρών. Μπορούμε να αποφύγουμε τους συχνούς υπολογισμούς των τετραγώνων στην εξίσωση του κύκλου, όπως επίσης και την επίλυση των τριγωνομετρικών εκφράσεων και των τετραγωνικών ριζών, αναλύοντας τους σε απλά βήματα και επιλύοντας αναδρομικά τους επαναληπτικούς υπολογισμούς των τετραγωνικών όρων. Από την εξίσωση του κύκλου λαμβάνουμε την εξής εξίσωση $x^2 + y^2 - R^2 = 0$, όπου το R^2 υπολογίζεται μόνο μία φορά κατά την αρχικοποίηση εφόσον παραμένει σταθερό :

$$x_{n+1}^2 = (x_n - 1)^2 = x_n^2 - 2x_n + 1$$

παρόμοια και για την τεταγμένη y .

Το σφάλμα στον άξονα των x αρχικοποιείται σε μία τιμή ανάλογη της ακτίνας και του μέσου σημείου. Ενώ το σφάλμα στον άξονα των y αρχικοποιείται στην τιμή 1. Το συνολικό σφάλμα προκύπτει από την άθροιση των δυο επιμέρους σφαλμάτων. Όταν καθορίζουμε ένα σημείο πρέπει να συνυπολογίσουμε και τις συντεταγμένες του

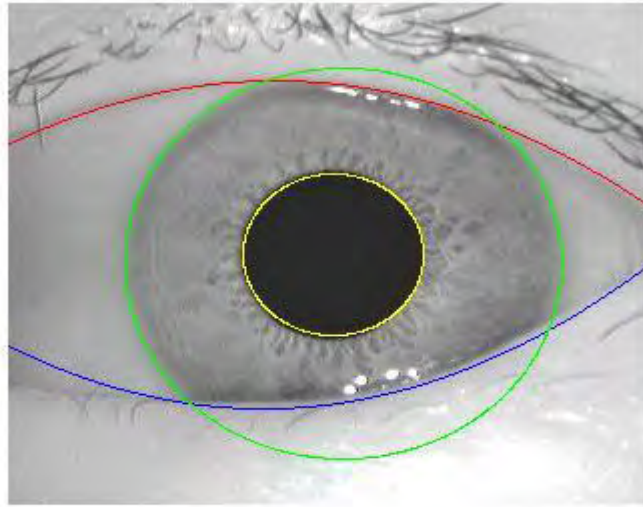
μέσου σημείου. Το 0 στην εξίσωση αντικαθιστάται από τον όρο του σφάλματος.

Για τον υπολογισμό ενός σημείου της καμπύλης ο αλγόριθμος ελέγχει την τιμή του συνολικού σφάλματος στο προηγούμενο σημείο, εάν η τιμή αυτή είναι αρνητική αυξάνει κατά ένα μόνο στον άξονα των y , ενώ εάν η τιμή είναι θετική αυξάνει κατά ένα στον άξονα των x και μειώνει κατά ένα στον άξονα των y , η κάθε μετακίνηση στους άξονες αλλάζει την τιμή του σφάλματος του εκάστοτε άξονα. Έπειτα υπολογίζεται η τιμή του νέου σφάλματος. Η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου το x γίνει ίσο με το y δηλαδή να φτάσουμε σε γωνία 45 μοιρών. Για τον υπολογισμό της καμπύλης στα υπόλοιπα ογδοημόρια του κύκλου χρησιμοποιούνται οι αντίστοιχες συμμετρίες (εικόνα 29).



Εικόνα 29. Δημιουργία του κύκλου χρησιμοποιώντας το πρώτο ογδοημόριο και δημιουργώντας τα υπόλοιπα συμμετρικά ως προς αυτό.

Με τον υπολογισμό και των υπόλοιπων ογδοημορίων προκύπτει ο κύκλος που περιγράφει την ίριδα, όπως αυτός φαίνεται στην εικόνα 30 (αναλυτικά τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 7 του παραρτήματος 1).



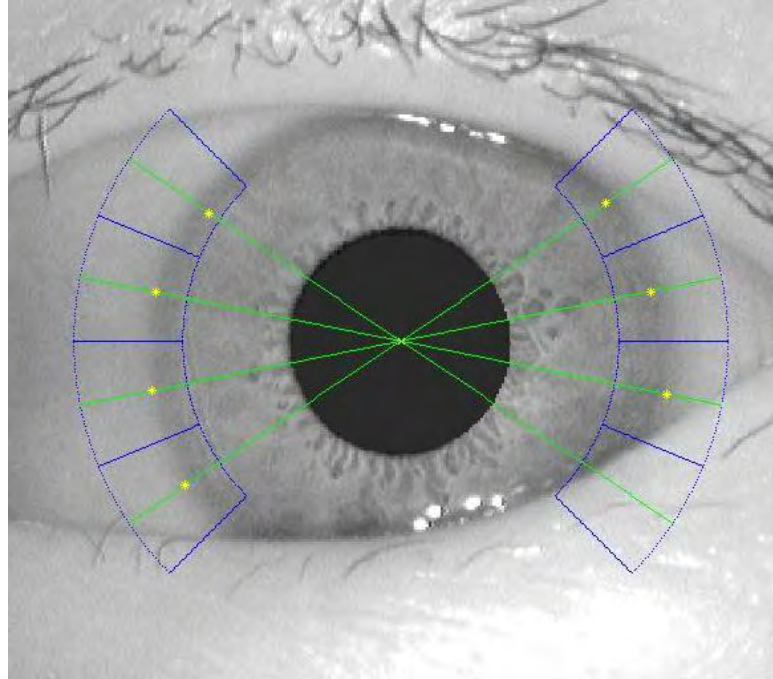
Εικόνα 30. Ο κύκλος που περιγράφει την ίριδα όπως αυτός προκύπτει από την εφαρμογή του μετασχηματισμού Hough.

2.2.5.2.2 Αλγόριθμος προσαρμοσμένων σημείων

Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί την εικόνα που δημιουργήθηκε μετά την εύρεση ακμών και μετά από την εφαρμογή του αλγορίθμου εύρεσης των βλεφάρων. Υπολογίζει την μέγιστη και την ελάχιστη ακτίνα μεταξύ των οποίων θα κυμανθεί. Η ελάχιστη ακτίνα υπολογίζεται ως η διπλάσια της ακτίνας της κόρης ενώ η μέγιστη ως η τριπλάσιά της. Για τα ογδοημόρια που φαίνονται στην εικόνα 31 και για τις ενδιάμεσες ακτίνες από την μέγιστη έως την ελάχιστη, καλείται ο αλγόριθμος μέσου σημείου για κύκλο για κάθε ενδιάμεση ακτίνα. Δημιουργούνται έτσι δύο πίνακες, ένας για την δεξιά πλευρά και ένας για την αριστερή, στους οποίους είναι αποθηκευμένες οι φωτεινότητες των σημείων που βρέθηκαν από τον αλγόριθμο μέσου σημείου.

Ο κάθε πίνακας χωρίζεται σε τέσσερα μέρη όσον αφορά της γραμμές, το κάθε μέρος αντιστοιχεί σε 1/16 του κυκλικού δακτυλίου που περιέχεται μεταξύ της μέγιστης ακτίνας και της ελάχιστης. Για κάθε ένα από αυτά τα μέρη ο αλγόριθμος ελέγχει ποιες στήλες περιέχουν την τιμή ένα, τις αποθηκεύει και έπειτα επιστρέφει την στήλη που βρίσκεται στο μέσο των στηλών που αποθηκεύτηκαν, η οποία αντιστοιχεί σε μία ακτίνα. Για το τμήμα αυτό υπολογίζονται οι συντεταγμένες στην αρχική εικόνα, του σημείου τομής της ακτίνας αυτής με τη διχοτόμο του τμήματος. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλα τα τμήματα. Υπάρχει η περίπτωση κάποιο από τα τμήματα να επικαλύπτεται από τα βλέφαρα, τότε για το τμήμα αυτό ο αλγόριθμος δεν επιστρέφει κάποιο σημείο. Για τα τμήματα που δεν επικαλύπτονται

από τα βλέφαρα, τα σημεία που προκύπτουν αποθηκεύονται σε έναν πίνακα, χρησιμοποιώντας έπειτα τον αλγόριθμο ελαχίστων τετραγώνων για τα σημεία αυτά υπολογίζουμε τον κύκλο που περιγράφει την ίριδα (αναλυτικά τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 9 του παραρτήματος 1).

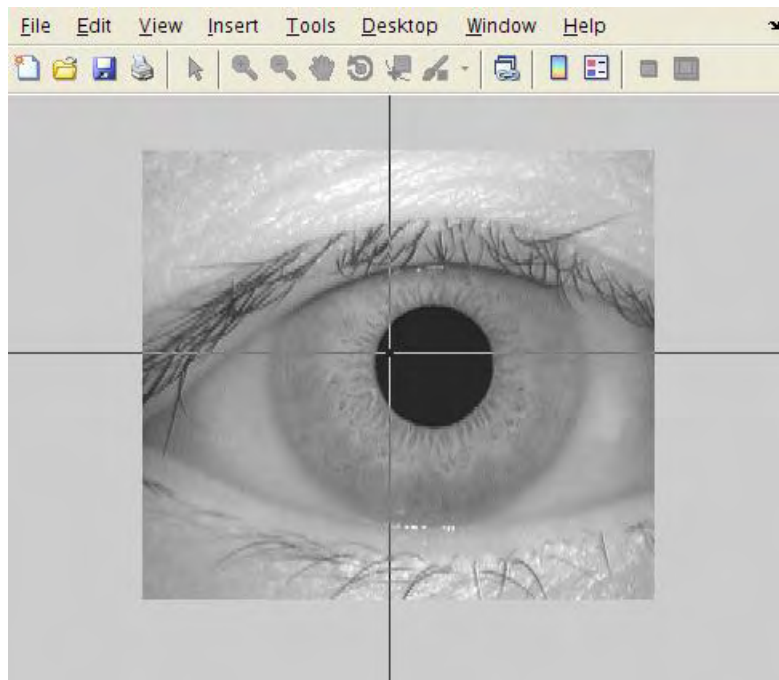


Εικόνα 31. Εύρεση των προσαρμοσμένων σημείων στα προκαθορισμένα τμήματα.

2.2.5.2.3 Αλγόριθμος χειροκίνητης εισαγωγής των σημείων

Η υλοποίηση ενός αλγορίθμου οριοθέτησης των ζητούμενων ανατομικών δομών που βασίζεται στην χειροκίνητη εισαγωγή των σημείων του περιγράμματός τους, ήταν αναγκαία γι να υπάρχει μέτρο σύγκρισης των αυτοματοποιημένων μεθόδων που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Η εύρεση των βέλτιστων κύκλων της κόρης και της ίριδας καθώς και των παραβολών των βλεφάρων, προκύπτει με την συμμετοχή ενός εκπαιδευμένου χρήστη.

Ο αλγόριθμος χρησιμοποιώντας την συνάρτηση `ginput` του Matlab επιτρέπει στον χρήστη να δώσει επιλέγοντας με το ποντίκι του υπολογιστή του 15 σημεία που βρίσκονται στην περίμετρο της κόρης, όπως φαίνεται στην εικόνα 32. Οι συντεταγμένες των σημείων αποθηκεύονται σε δύο λίστες, μία για τις τεταγμένες και μία για τις τετμημένες. Τα σημεία αυτά έπειτα εισάγονται στον αλγόριθμο ελαχίστων τετραγώνων για κύκλο, από τον οποίο προκύπτει ο κύκλος της κόρης. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται για την εύρεση του βέλτιστου κύκλου που περιγράφει την ίριδα.



Εικόνα 32. Χειροκίνητη εισαγωγή των σημείων μέσω της συνάρτησης `ginput` του Matlab.

Για την εύρεση των βλεφάρων ακολουθείται η ίδια λογική, ο αλγόριθμος εμφανίζει την εικόνα στον χρήστη και του ζητά να εισάγει 15 σημεία για το κάθε βλέφαρο. Τα σημεία αυτά αποθηκεύονται σε μία δυαδική εικόνα η οποία έχει τιμή 1 στα αντίστοιχα σημεία με αυτά που έχει εισάγει ο χρήστης στην αρχική. Στην δυαδική εικόνα έπειτα εφαρμόζεται ο αλγόριθμος εύρεσης των βλεφάρων, που έχει αναλυθεί προηγουμένως. Έτσι προκύπτουν και οι βέλτιστες παραβολές των βλεφάρων.

Οι κύκλοι και οι παραβολές που προκύπτουν από τον αλγόριθμο αυτό είναι οι βέλτιστοι καθώς ο χρήστης που συμμετέχει είναι πλήρως καταρτισμένος και εξειδικευμένος (αναλυτικά τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 10 του παραρτήματος 1).

2.2.6 Ξεδίπλωμα της ίριδας

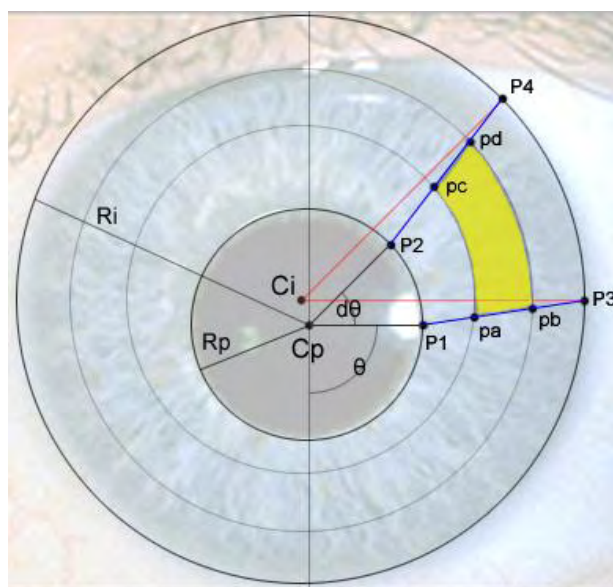
Στο σημείο αυτό έχουμε καταφέρει να προσδιορίσουμε την περιοχή ενδιαφέροντος, το ορατό τμήμα της ίριδας, πάραυτα δεν είναι αξιοποιήσιμη. Σκοπός του συγκεκριμένου βήματος είναι η μετατροπή της σε μία μορφή η οποία θα της επιτρέψει την σύγκριση σε αρκετά μικρό χρονικό διάστημα διατηρώντας ταυτόχρονα την υψηλή ποιότητα της πληροφορίας [2, 8].

Στόχος μας είναι η δημιουργία ενός πίνακα του οποίου οι γραμμές και οι στήλες θα περιέχουν τα στοιχεία της ίριδας. Για να αντιμετωπιστεί το γεγονός ότι η ίριδα και η κόρη είναι ελαφρά έκκεντρες δημιουργούμε δακτύλιους ανάμεσα τους, καθώς και κυκλικούς τομείς. [2]

Οι δακτύλιοι δε θα είναι ομόκεντροι και τα κέντρα τους θα είναι σημεία τα οποία βρίσκονται επάνω στο ευθύγραμμο τμήμα που ενώνει τα κέντρα της κόρης και της ίριδας. Οι τομείς θα έχουν σταθερή γωνία θ που εισάγεται επίσης ως παράμετρος του αλγορίθμου. Τα 4 σημεία που καθορίζουν ένα τομέα υπολογίζονται ως εξής:

- Με κέντρο το κέντρο της κόρης φέρουμε δύο ευθείες με μεταξύ τους γωνία ίση με θ και υπολογίζουμε την τομή τους με τον κύκλο της κόρης. Τα σημεία τομής αποτελούν δύο από τα ζητούμενα σημεία P1, P2.
- Με κέντρο το κέντρο της ίριδας φέρουμε δύο ευθείες με μεταξύ τους γωνία ίση με θ και υπολογίζουμε την τομή τους με τον κύκλο της ίριδας. Τα σημεία τομής αποτελούν τα υπόλοιπα δύο από τα ζητούμενα σημεία P3, P4.
- Ο υπολογισμός των σημείων τομής των ομόκεντρων δακτυλίων με τον τομέα γίνεται βάσει των ευθυγράμμων τμημάτων P1, P3 και P2, P4

Η συμπλήρωση του πίνακα της «ξεδιπλωμένης» ίριδας γίνεται ανά γραμμή και από αριστερά προς τα δεξιά. Στην εικόνα αυτό αντιστοιχεί σε κίνηση από τον έσω προς τον έξω δακτύλιο και έχοντας ως αρχικό σημείο την γωνία 0 μοιρών κινούμαστε αριστερόστροφα όπως φαίνεται στην εικόνα 33.



Εικόνα 33. Αλγόριθμος για το ξεδίπλωμα της ίριδας.

Πιο συγκεκριμένα υπολογίζουμε το πλήθος των κυκλικών δακτυλίων καθώς και το πλήθος των κυκλικών τομέων. Βάση του πλήθους των δακτυλίων υπολογίζουμε τους κύκλους που θα περιέχονται μεταξύ αυτών της κόρης και της ίριδας. Αν ζητούνται n δακτύλιοι θα χρειαστεί να υπολογίσουμε $n+1$ κύκλους εκ των οποίων οι δύο ακραίοι είναι αυτοί της κόρης και της ίριδας τους οποίους ήδη γνωρίζουμε. Στην παρούσα εφαρμογή ορίσαμε ότι ο αριθμός των δακτυλίων είναι 16

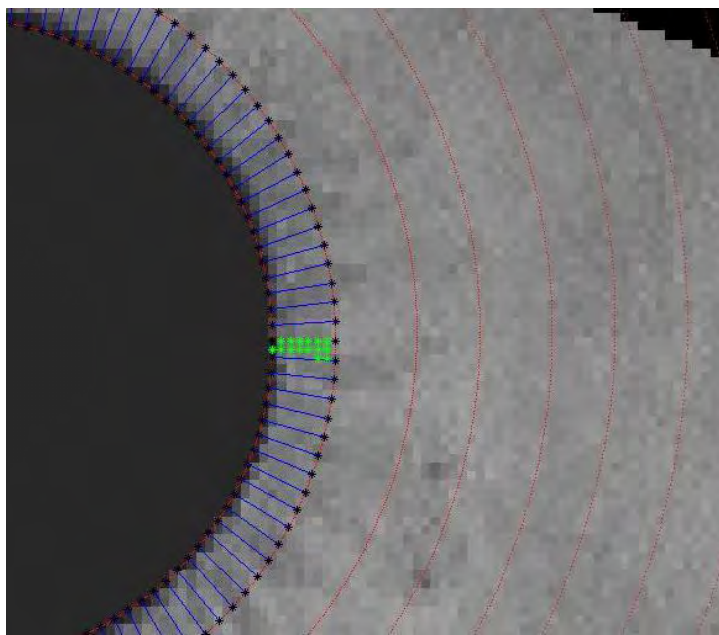
άρα υπολογίζουμε 17 κύκλους.

Στην συγκεκριμένη εφαρμογή ορίζουμε τον πίνακα με διαστάσεις 16×64 , συνεπώς η γωνία του κάθε τομέος υπολογίζεται ως $2\pi/64$. Για τον κάθε δακτύλιο υπολογίζουμε τα τμήματα στα οποία χωρίζεται από τους τομείς. Το κάθε τμήμα καθορίζεται από δύο τόξα, ένα για κάθε κύκλο, και από δύο ευθύγραμμα τμήματα (Εικόνα 34). Τα άκρα των ευθυγράμμων τμημάτων υπολογίζονται σύμφωνα με τον σχετικό αλγόριθμο.

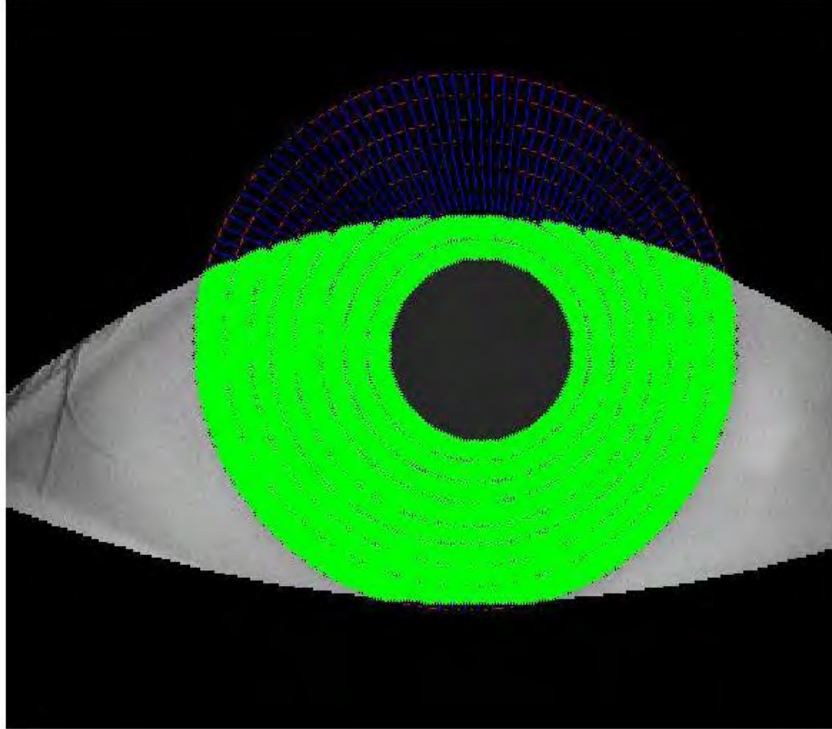
Για κάθε pixel της ίριδας (όπως αυτή έχει τμηματοποιηθεί), υπολογίζουμε σε ποιο τμήμα δακτυλίου ανήκει, βάσει του ακόλουθου κριτηρίου:

Ένα pixel (x_0, y_0) ανήκει στο τμήμα που καθορίζεται από τα ευθύγραμμα τμήματα $(P1, P3)$ και $(P2, P4)$ και τους δακτυλίους με ακτίνα $R1, R2$, αν οι δυνάμεις του (x_0, y_0) ως προς τις ευθείες τις οριζόμενες από τα $(P1, P3)$ και $(P2, P4)$ είναι ετερόσημες και η απόσταση του (x_0, y_0) από το κέντρο της ίριδας είναι στο διάστημα $[R_1, R_2)$.

Η εικόνα που προκύπτει μετά το πέρας της διαδικασίας παρουσιάζεται στην εικόνα 35.



Εικόνα 34. Περιορισμός της περιοχής αναζήτησης των σημείων για το συγκεκριμένο τμήμα.



Εικόνα 35. Η σύνθεση των τμημάτων της ίριδας, ως αποτέλεσμα του αλγόριθμου ξεδιπλώματος.

Η τελική εικόνα όπου παρουσιάζεται η ίριδα ξεδιπλωμένη αφού έχουν υπολογιστεί οι γραμμές και οι στήλες του πίνακα φαίνεται στην εικόνα 36.



Εικόνα 35. Η ξεδιπλωμένη μορφή της ίριδας.

2.2.7 Φίλτρα Gabor

Για την κατανόηση των φίλτρων Gabor, πρέπει αρχικά να ορίσουμε την έννοια του κυματιδίου Gabor [2]. Τα κυματίδια Gabor σχηματίζονται από δύο συνιστώσες, έναν μιγαδικό ημιτονοειδή φορέα και μία γκαουσιανή περικλείουσα

$$g(x, y) = s(x, y)w_r(x, y)$$

Ο φορέας έχει τη μορφή :

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

Το πραγματικό μέρος της συνάρτησης δίνεται από τον εξής τύπο:

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

και το φανταστικό μέρος της συνάρτησης :

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

Η δεύτερη συνιστώσα του κυματιδίου Gabor είναι ο φάκελός του. Το παραγόμενο κυματίδιο είναι αποτέλεσμα του πολλαπλασιασμού του ημιτονοειδούς φορέα με την περικλείουσα. Η περικλείουσα αποτελεί ένα γκαουσιανό πρότυπο για τον περιορισμό της αρμονικής, και περιγράφεται από την ακόλουθη εξίσωση:

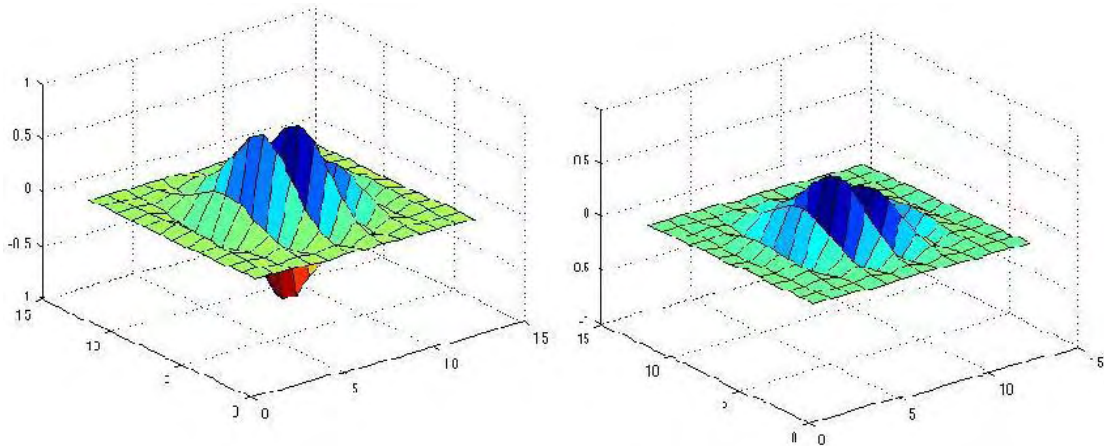
$$g(x, y) = Ke^{-\pi(a^2(x-x_0)_r^2 + b^2(y-y_0)_r^2)}$$

όπου

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

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

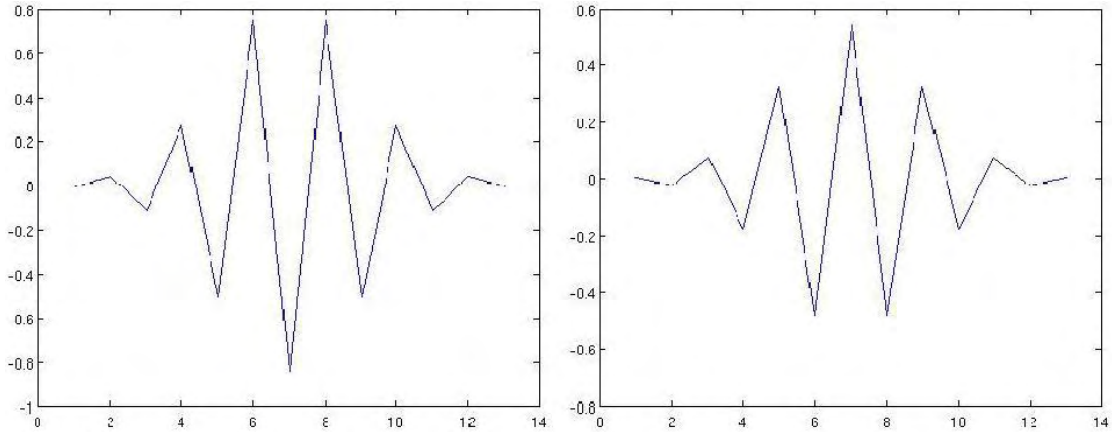
Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν παραπάνω είναι: K , μια σταθερά κλιμάκωσης, (a, b) οι σταθερές κλιμάκωσης των αξόνων του γκαουσιανού φακέλου, θ η σταθερά περιστροφής του φακέλου, (x_0, y_0) το σημείο κορυφής της γκαουσιανής. Τελικά πολλαπλασιάζουμε τα $s(x, y)$ και $w_r(x, y)$. Από τον πολλαπλασιασμό προκύπτει ένα κυματίδιο όπως αυτό στην εικόνα 36.



Εικόνα 36. Αριστερά το φανταστικό μέρος του κυματιδίου Gabor, ενώ δεξιά το πραγματικό μέρος του κυματιδίου.

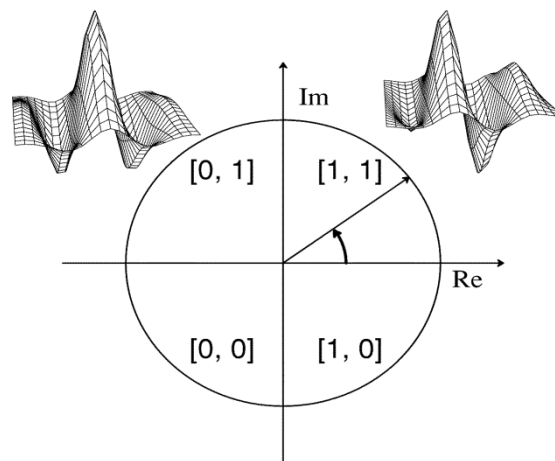
Γνωρίζουμε ότι κάθε ίριδα έχει μία μοναδική υφή, η οποία παράγεται τυχαία μέσω μίας διαδικασίας πριν από τη γέννησή. Φίλτρα τα οποία βασίζονται σε κυματίδια Gabor μπορούν να αναγνωρίσουν σε μεγάλο βαθμό πρότυπα σε εικόνες.

Έτσι έχοντας την ξεδιπλωμένη εικόνα της ίριδας χρησιμοποιήσαμε ένα μονοδιάστατο φίλτρο Gabor για να ερευνήσουμε την ύπαρξη προτύπων στην ξεδιπλωμένη ίριδα. Για να εξάγουμε το μονοδιάστατο φίλτρο επιλέξαμε μόνο τη μεσαία γραμμή του φίλτρου, αφού στην περιοχή εκείνη εμφανίζεται το μεγαλύτερο πλάτος του φίλτρου, όπως φαίνεται στην εικόνα 37. Για τη διαδικασία αυτή θα πρέπει να γίνει συνέλιξη της εικόνας με ένα φίλτρο Gabor.



Εικόνα 37. Παρουσίαση του μονοδιάστατου φίλτρου Gabor. Αριστερά το φανταστικό μέρος του κυματιδίου και δεξιά το πραγματικό μέρος.

Αρχικά παίρνουμε μια γραμμή από την ξεδιπλωμένη εικόνα και κάνουμε συνέλιξη αυτής με το μονοδιάστατο κυματίδιο. Καθώς το φίλτρο Gabor είναι μιγαδικό, το αποτέλεσμα θα έχει ένα πραγματικό και ένα φανταστικό μέρος τα οποία εξετάζονται ξεχωριστά. Εάν η τιμή στον πίνακα των αποτελεσμάτων είναι θετική αποθηκεύεται η τιμή 1, διαφορετικά η τιμή 0 όπως συνοψίζεται στην εικόνα 38. Αφότου φιλτραριστούν όλες οι στήλες της εικόνας, σχηματίζουμε μία νέα δυαδική εικόνα τοποθετώντας όλες τις στήλες τη μία δίπλα στην άλλη.



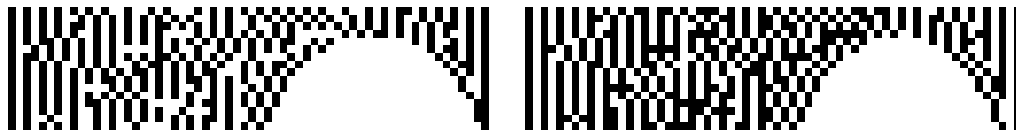
Εικόνα 38. Διαδικασία κατά την οποία αποφασίζεται το πρόσημο των δυαδικών εικόνων.

Όπως προαναφέραμε η περιοχή όπου τα βλέφαρα επικαλύπτουν την ίριδα, στην ξεδιπλωμένη εικόνα έχει τιμή 0. Μετά την εφαρμογή του φίλτρου, καθώς τα σημεία αυτά θα επηρεαστούν από τα γειτονικά τους αποκτούν κάποια τιμή φωτεινότητας, για την αποφυγή αυτού του φαινομένου δημιουργήσαμε ένα πρότυπο πριν την εφαρμογή του φίλτρου όπου στις θέσεις που η εικόνα είχε φωτεινότητα τοποθετούσε την τιμή 1 ενώ στις περιοχές όπου η εικόνα δεν είχε φωτεινότητα τοποθετούσε την τιμή 0. Έτσι μετά την συνέλιξη εφαρμόζουμε το πρότυπο ώστε οι περιοχές που δεν είχαν φωτεινότητα προηγουμένως να αποκτήσουν και πάλι τιμή 0. Το πρότυπο που παράγεται παρουσιάζεται στην εικόνα 39.



Εικόνα 39. Πρότυπο που εφαρμόζεται στην εικόνα ώστε να οι περιοχές των βλεφάρων που είχαν τιμή 0 πριν από την εφαρμογή του φίλτρου να αποκτήσουν και πάλι την τιμή αυτή. Αριστερά φαίνεται το πρότυπο που εφαρμόζεται σε εικόνα όπου υπάρχει επικάλυψη μόνο από το άνω βλέφαρο. Δεξιά φαίνεται το πρότυπο που εφαρμόζεται σε εικόνα όπου υπάρχει επικάλυψη της ίριδας και από το άνω και από το κάτω βλέφαρο.

Το πραγματικό και φανταστικό μέρος της εικόνας που προκύπτει μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gabor φαίνονται παρακάτω στην εικόνα 40.



Εικόνα 40. Αριστερά παρουσιάζεται το πραγματικό μέρος της εικόνας που προκύπτει μετά την εφαρμογή του φίλτρου Gabor, δεξιά παρουσιάζεται το φανταστικό μέρος αυτής.

2.2.8 Απόσταση Hamming

Μετά από την εξαγωγή των δύο δυαδικών εικόνων πραγματικού και φανταστικού μέρους μέσω του φίλτρου Gabor μπορούμε να προχωρήσουμε πλέον στην σύγκριση της εικόνας με αυτές που βρίσκονται ήδη στην βάση δεδομένων.

Για να επιτευχθεί η σύγκριση θα χρησιμοποιήσουμε την απόσταση Hamming. Η απόσταση Hamming μεταξύ οποιονδήποτε δύο δυαδικών διανυσμάτων, ίσου μήκους, είναι το πλήθος των θέσεων των bits στα οποία διαφέρουν, διά το μήκος των διανυσμάτων. Με την μέτρηση αυτή προκύπτει ότι δύο πανομοιότυπα διανύσματα έχουν απόσταση Hamming ίση με 0 ενώ δύο εντελώς διαφορετικά διανύσματα έχουν απόσταση Hamming ίση με 1. Η απόσταση Hamming μαθηματικά ορίζεται από την εξής εξίσωση:

$$D = \frac{A \oplus B}{length(A)}$$

Θεωρητικά, δύο ανεξάρτητοι κώδικες που προκύπτουν από την ίδια ίριδα είναι πανομοιότυποι. Στην πραγματικότητα αυτό δεν συμβαίνει λόγω χαμηλής ποιότητας της κάμερας, του φωτισμού ή σφαλμάτων από την τμηματοποίηση των απαιτούμενων ανατομικών δομών και την εφαρμογή των φίλτρων Gabor. Για την αποφυγή αυτών των προβλημάτων, συγκρίνονται οι κώδικες και εφόσον η απόσταση Hamming μεταξύ τους είναι μικρότερη από κάποιο κατώφλι τότε θεωρούμε ότι υπάρχει ταυτοποίηση. Η διαδικασία αυτή βασίζεται στην θεωρία της στατιστικής ανεξαρτησίας. Η υφή της ίριδας παράγεται μέσω μιας τυχαίας διαδικασίας, έτσι οι κώδικες που προκύπτουν από δύο διαφορετικές ίριδες θα είναι στατιστικά ανεξάρτητοι (η απόσταση Hamming μεταξύ τους είναι μεγαλύτερη από το κατώφλι). Για τον λόγο αυτό μόνο οι κώδικες που προκύπτουν από την ίδια ίριδα θα αποτύχουν στον έλεγχο της στατιστικής ανεξαρτησίας.

Για τις ανάγκες του αλγορίθμου σύγκρισης μετατρέπεται ο κάθε πίνακας από δυσδιάστατος σε πίνακα γραμμή, καθώς η απόσταση Hamming μπορεί να υπολογιστεί μόνο για πίνακα γραμμή. Για να το επιτύχουμε αυτό τοποθετούμε στη σειρά τις γραμμές του πίνακα. Έπειτα για κάθε ζευγάρι πινάκων (πραγματικού και φανταστικού) υπολογίζεται η απόσταση Hamming. Η τελική τιμή της απόστασης μεταξύ των δύο εικόνων προκύπτει από τη μέση τιμή των δύο αποστάσεων που προέκυψαν.

Το κατώφλι απόρριψης έχει οριστεί στην τιμή 0,3. Εάν η απόσταση μεταξύ των δύο εικόνων είναι μικρότερη της τιμής του κατωφλίου τότε έχει επιτευχθεί η ταυτοποίηση της εικόνας, εάν η απόσταση υπερβαίνει την τιμή του κατωφλίου τότε οι δύο εικόνες είναι ανεξάρτητες.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

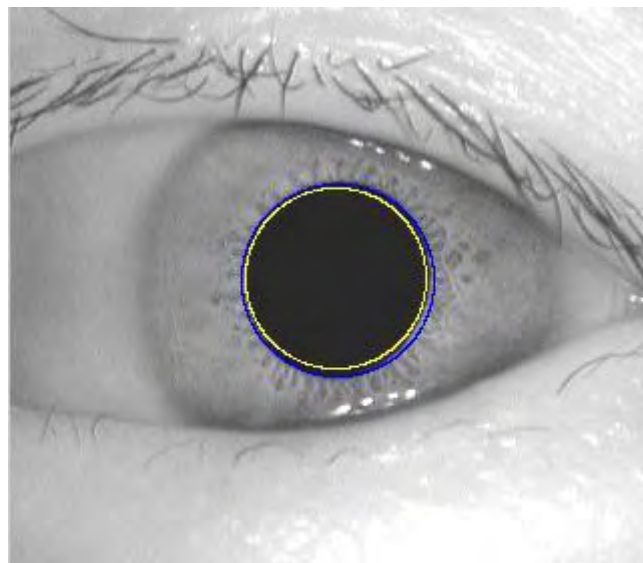
3.1 Τμηματοποίηση ανατομικών στοιχείων της εικόνας

3.1.1 Τμηματοποίηση της κόρης του οφθαλμού

Ως ένδειξη ακρίβειας υπολογίστηκε το κατά προσέγγιση σφάλμα μεταξύ των αυτόματων μεθόδων και της χειροκίνητης. Η χειροκίνητη μέθοδος παράγει τα ιδανικά δεδομένα, οπότε θεωρήθηκε ως βάση για την σύγκριση των αποτελεσμάτων των υπολοίπων μεθόδων. Ως μέτρο σύγκρισης για την εύρεση του κυκλικού δίσκου της κόρης υπολογίστηκε το κλάσμα του κοινού εμβαδού των δύο κύκλων διά το εμβαδό του κύκλου που προκύπτει από την χειροκίνητη τμηματοποίηση. Η διαφορές υπολογίζονται σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$d = \frac{E_a \cap E_i}{E_i}$$

Όπου E_a εμβαδό που προκύπτει από την αυτοματοποιημένη μέθοδο και E_i το ιδανικό εμβαδό που προκύπτει από την χειροκίνητη. Η διαφορές παρουσιάζονται στην εικόνα 41.



Εικόνα 41. Απεικονίσεις αποτελεσμάτων της χειροκίνητης (μπλε) και της αυτόματης μεθόδου (κίτρινο) για την τμηματοποίηση της κόρης του οφθαλμού.

Αναλυτικά οι εικόνες που προκύπτουν παρουσιάζονται στον πίνακα 11 του παραρτήματος 1. Στον πίνακα 2 παρουσιάζεται το σφάλμα σύγκρισης των αποτελεσμάτων για την τμηματοποίηση της κόρης με την αυτόματη μέθοδο σε σχέση με την χειροκίνητη.

Εικόνες		Εμβαδό		Δείκτης ομοιότητας
		Αυτόματο	Χειροκίνητο	
Person 1	image1	4071.5	4536.5	.89
	image2	4778.4	5026.5	.95
	image3	4536.5	4778.4	.94
Person 2	image1	7854	8171.3	.96
	image2	7543	7543	1.00
	image3	6647.6	6939.8	.95
Person 3	image1	5541.8	5808.8	.95
	image2	5026.5	5281	.95
	image3	5541.8	6082.1	.91
Person 4	image1	5808.8	6082.1	.87
	image2	7238.2	7238.2	.97
	image3	7238.2	7238.2	.93
Person 5	image1	3848.5	4071.5	.94
	image2	4071.5	4300.8	.94
	image3	4071.5	4071.5	.96

Εικόνες		Εμβαδό		Δείκτης ομοιότητας
		Αυτόματο	Χειροκίνητο	
Person 6	image1	6361.70	7238.2	.88
	image2	5808.8	6082.1	.95
	image3	6361.7	6647.6	.95
Person 7	image1	5808.8	6082.1	.93
	image2	4300.8	4300.8	.94
	image3	5808.8	6082.1	.95
Person 8	image1	4778.4	5026.5	.95
	image2	4536.5	4778.4	.94
	image3	4778.4	5026.5	.94
Person 9	image1	5281	5541.8	.94
	image2	5281	5541.8	.94
	image3	5281	5281	.99
Person 10	image1	7854	8171.3	.96
	image2	6939.8	7543	.92
	image3	7543	7854	.95

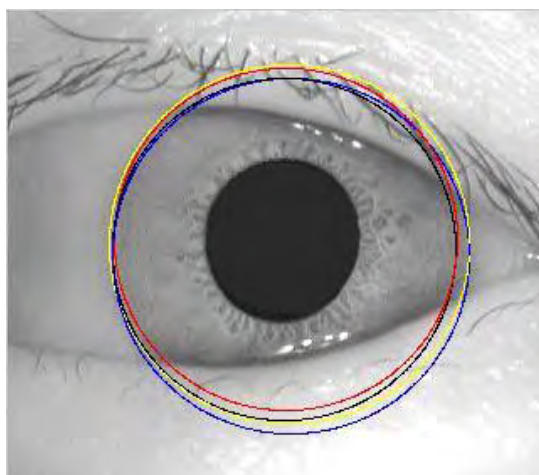
Πίνακας 2. Αριθμητικός πίνακας σύγκρισης δείκτη ομοιότητας του υπολογισμού της κόρης με την αυτόματη σε σχέση με την χειροκίνητη μέθοδο.

3.1.2 Τμηματοποίηση Ίριδας

Ως ένδειξη ακρίβειας υπολογίστηκε το κατά προσέγγιση σφάλμα μεταξύ των αυτόματων μεθόδων και της χειροκίνητης. Ως μέτρο σύγκρισης για την εύρεση του δακτυλίου της ίριδας υπολογίστηκαν οι διαφορές των εμβαδών που προκύπτουν από τα ιδανικά. Η διαφορές υπολογίζονται σύμφωνα με τον τύπο που χρησιμοποιήθηκε και για την εύρεση του σφάλματος στην τμηματοποίηση της κόρης.

$$d = \frac{E_a \cap E_i}{E_i}$$

Όπου E_a εμβαδό που προκύπτει από την αυτοματοποιημένη μέθοδο και E_i το ιδανικό εμβαδό που προκύπτει από την χειροκίνητη. Η διαφορές παρουσιάζονται στην εικόνα 42.



Εικόνα 42. Απεικονίσεις αποτελεσμάτων της χειροκίνητης (μπλε) και των αυτόματων μεθόδων για την τμηματοποίηση της ίριδας. Γέμισμα πολυγώνου (κόκκινο), Hough (κίτρινο), προσαρμοσμένων σημείων (μαύρο).

Αναλυτικά οι εικόνες που προκύπτουν παρουσιάζονται στον πίνακα 12 του παραρτήματος 1. Στον πίνακα 3 παρουσιάζεται το σφάλμα σύγκρισης των αποτελεσμάτων για την τμηματοποίηση της ίριδας με τις αυτόματες μεθόδους σε σχέση με την χειροκίνητη.

Εικόνες		Δείκτης ομοιότητας		
		Γεμ. Πολυγ.	Μετ. Hough	Προσ. Σημ.
Person 1	image1	.98	.99	.95
	image2	.99	.99	.98
	image3	.96	.99	.96
Person 2	image1	.97	.97	.87
	image2	.94	.95	.90
	image3	.96	.97	.94
Person 3	image1	.93	.97	.90
	image2	.97	.99	.86
	image3	.96	.99	.89
Person 4	image1	.94	.99	.92
	image2	.96	.97	.94
	image3	.93	.99	.96
Person 5	image1	.96	1.00	.90
	image2	.97	1.00	.85
	image3	.99	1.00	.86

Εικόνες		Δείκτης ομοιότητας		
		Γεμ. Πολυγ.	Μετ. Hough	Προσ. Σημ.
Person 6	image1	.90	.97	.92
	image2	.91	.99	.88
	image3	.91	1.00	.95
Person 7	image1	.96	1.00	.93
	image2	.94	1.00	.76
	image3	.94	.99	.99
Person 8	image1	.94	.95	.86
	image2	.96	1.00	.93
	image3	.97	.99	.88
Person 9	image1	.94	.97	.97
	image2	.96	.99	1.00
	image3	.95	.98	.96
Person 10	image1	.98	1.00	1.00
	image2	.97	1.00	1.00
	image3	1.00	.99	1.00

Πίνακας 3. Αριθμητικός πίνακας σύγκρισης δείκτη ομοιότητας του υπολογισμού της ίριδας με τις αυτόματες σε σχέση με την χειροκίνητη μέθοδο.

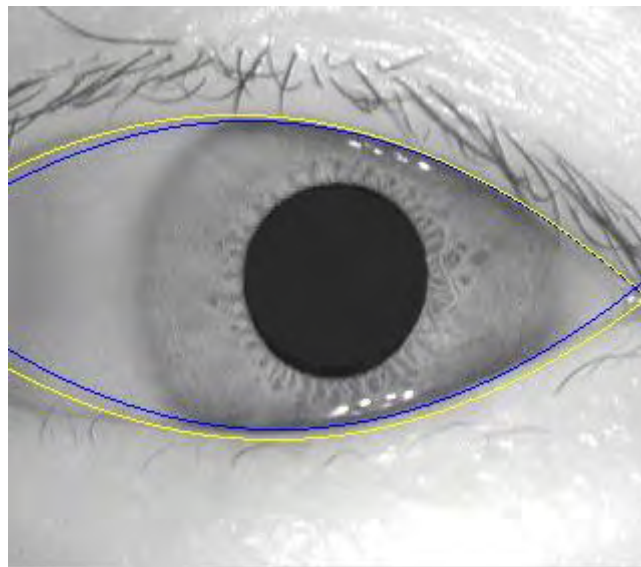
3.1.3 Οριοθέτηση των βλεφάρων

Για τον υπολογισμό των διαφορών που παρουσιάζουν τα βλέφαρα κατά την εύρεσή τους από την χειροκίνητη μέθοδο και από την αυτοματοποιημένη,

υπολογίστηκε η απόκλιση των βλεφάρων ως προς την καμπυλότητα και ως προς το ύψος από τα ιδανικά, στην περιοχή της ίριδας. Η απόκλιση υπολογίστηκε σύμφωνα με τον τύπο

$$d = \frac{\left| \sum_{j=y_0-\frac{3R_k}{2}}^{y_0+\frac{3R_k}{2}} x_a(j) - \sum_{j=y_0-\frac{3R_k}{2}}^{y_0+\frac{3R_k}{2}} x_i(j) \right|}{3R_k}$$

όπου το διάστημα $\left[y_0 - \frac{3R_k}{2}, y_0 + \frac{3R_k}{2} \right]$ περιγράφει τις στήλες στην περιοχή της ίριδας, οι x_a και x_i είναι τα σημεία της καμπύλης στο παραπάνω διάστημα από την αυτοματοποιημένη και από την χειροκίνητη μέθοδο αντίστοιχα και R_k είναι η ακτίνα της κόρης. Η διαφορά παρουσιάζεται στην εικόνα 43.



Εικόνα 43. Απεικονίσεις αποτελεσμάτων της χειροκίνητης και της αυτόματης μεθόδου. Χειροκίνητη (μπλε), αυτόματη (κίτρινο).

Αναλυτικά οι εικόνες που προκύπτουν παρουσιάζονται στον πίνακα 13 του παραρτήματος 1. Στον πίνακα 4 παρουσιάζεται το σφάλμα σύγκρισης των αποτελεσμάτων για την τμηματοποίηση των βλεφάρων με την αυτόματη μέθοδο σε σχέση με την χειροκίνητη.

Εικόνες		Άνω βλέφαρο	Κάτω βλέφαρο
Person 1	image1	4.8438	0.325
	image2	7.0375	1.3125
	image3	5.975	0.5875
Person 2	image1	5.925	3.0688
	image2	5.6188	3.2563
	image3	9.7812	4.3125
Person 3	image1	10.206	1.2875
	image2	1.1875	3.0938
	image3	2.225	0.56875
Person 4	image1	0.2	8.0125
	image2	9.3125	3.0562
	image3	7.6063	0.59375
Person 5	image1	16.738	2.1875
	image2	5.0687	0.9625
	image3	4.0938	3.0125

Εικόνες		Άνω βλέφαρο	Κάτω βλέφαρο
Person 6	image1	1.9625	5.3688
	image2	3.9312	3.175
	image3	1.5	1.6313
Person 7	image1	5.7313	3.3062
	image2	4.7062	4.4562
	image3	2.475	3.15
Person 8	image1	1.4812	10.05
	image2	1.0625	3.7938
	image3	3.2938	6.05
Person 9	image1	13.75	0.76875
	image2	2.2687	0.9125
	image3	0.3	6.2625
Person 10	image1	11.956	3.0562
	image2	22.656	2.9062
	image3	9.35	1.525

Πίνακας 4. Αριθμητικός πίνακας σύγκρισης σφάλματος υπολογισμού βλεφάρων με την αυτόματη σε σχέση με την χειροκίνητη μέθοδο.

3.2 Ταυτοποίηση ίριδας

Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάστηκαν διάφοροι τρόποι εύρεσης των χαρακτηριστικών του οφθαλμού. Καθώς επίσης και αλγόριθμοι για την μετατροπή των δεδομένων που λαμβάνουμε από την εκάστοτε ίριδα, σε μία μορφή αξιοποιήσιμη για την σύγκρισή τους. Για να έχουμε μια αντικειμενική σύγκριση των τρόπων αυτών χρησιμοποιήθηκε ένας τρόπος χειροκίνητης εισαγωγής των σημείων ενδιαφέροντος, στον οποίο ένας εξειδικευμένος χρήστης εισήγαγε χειροκίνητα ιδανικά σημεία για την εύρεση των κύκλων της κόρης και της ίριδας καθώς και των παραβολών των βλεφάρων και στη συνέχεια εφαρμόστηκε η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων.

Για την ταυτοποίηση της ίριδας πραγματοποιήθηκαν πολλαπλές συγκρίσεις για κάθε μέθοδο εξαγωγής αποτελεσμάτων. Η κάθε εικόνα που ανήκει στην βάση δεδομένων, χρησιμοποιήθηκε σαν εικόνα αναφοράς και συγκρίθηκε με όλες τις εικόνες της βάσης, συμπεριλαμβανομένων των δύο υπαρχουσών εικόνων που ανήκουν στο οφθαλμό του ίδιου ατόμου με την εικόνα αναφοράς. Για κάθε μία μέθοδο ανάλυσης της ίριδας, παρήχθηκε ένας τετραγωνικός πίνακας.

Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε για όλες τις μεθόδους, έγιναν όμως και συγκρίσεις μεταξύ των μεθόδων καθώς τα αποτελέσματά τους διαφέρουν. Με τον τρόπο αυτό προσθέτουμε το στοιχείο του τυχαίου στην σύγκριση, μπορώντας έτσι μελετήσουμε εάν το αποτέλεσμα της σύγκρισης δεν επηρεάζεται από δευτερεύοντα χαρακτηριστικά, όπως η θέση των βλεφάρων, αλλά εξαρτάται αποκλειστικά από την

υφή της ίριδας. Τα αποτελέσματα των πινάκων που προέκυψαν από τις συγκρίσεις μελετήθηκαν ενδελεχώς για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Για το ορισμό της τιμής του κατωφλίου απόρριψης/αποδοχής μελετήθηκαν τα αποτελέσματα και εξετάστηκαν οι τιμές της απόστασης Hamming που συγκέντρωσε η εκάστοτε εικόνα. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στις τιμές της απόστασης που συγκέντρωνε η εικόνα με τον εαυτό της και με τις υπόλοιπες εικόνες που προέρχονταν από το ίδιο άτομο και παρουσίαζαν τις διαφορετικές φάσεις του οφθαλμού. Επίσης εξετάστηκαν οι τιμές της απόστασης που συγκέντρωσε η εικόνα με τις λοιπές εικόνες της βάσης δεδομένων. Παρατηρήθηκε ότι η εκάστοτε εικόνα με τον εαυτό της κατείχε τιμή απόστασης Hamming ίση με το 0, όπως ήταν φυσικό. Επίσης οι τιμές της αποστάσεως της εικόνας με εκείνες που ανήκαν στο ίδιο άτομο κυμαίνονταν από 0,1 έως 0,2. Οι αποστάσεις της εικόνας με τις λοιπές εικόνες της βάσης ξεπερνούσαν προσεγγιστικά την τιμή 0,35. Βάσει των παρατηρήσεων αυτών η τιμή του κατωφλίου απόρριψης/αποδοχής ορίστηκε 0,3, έτσι ώστε εάν η εικόνα συγκέντρωνε απόσταση Hamming μικρότερη του κατωφλίου είχε επιτευχθεί ταυτοποίηση και στην αντίθετη περίπτωση η εικόνα απορρίπτονταν ως ανεξάρτητη. Η τιμή του κατωφλίου επηρεάζεται από τις συνθήκες που λαμβάνουν χώρα κατά τη λήψη της φωτογραφίας, την ύπαρξη υφής στην ίριδα, το ποσοστό της αντίθεσης στην φωτογραφία καθώς και την φάση της διαστολής της κόρης του οφθαλμού.

3.2.1 Αποτελέσματα μεθόδων ταυτοποίησης της ίριδας

Στην πράξη το τελικό πρόγραμμα θα υπολογίζει τα βιομετρικά χαρακτηριστικά του οφθαλμού χρησιμοποιώντας έναν μόνο αλγόριθμο. Για τον λόγο αυτό πραγματοποιήθηκαν οι συγκρίσεις όπου υπολογίζεται η απόσταση Hamming μεταξύ εικόνων στις οποίες έχουν χρησιμοποιηθεί οι ίδιοι αλγόριθμοι για την εύρεση των βλεφάρων, της κόρης και της ίριδας. Με τον τρόπο αυτό μελετήσαμε την προσαρμογή των αλγορίθμων στην ταυτοποίηση της υφής της ίριδας, όταν υπάρχουν μεγάλες διαφορές στο άνοιγμα των βλεφάρων, στην τοποθεσία των βλεφαρίδων και στην διαστολή της κόρης μεταξύ των διαφορετικών στιγμιότυπων του ίδιου οφθαλμού. Τα αποτελέσματα των συγκρίσεων αυτών παρουσιάζονται στους πίνακες 14-17 του παραρτήματος 2.

Στους πίνακες κάθε γραμμή αναπαριστά μία από τις τρεις εικόνες. Οι στήλες αφορούν όλες τις εικόνες που υπάρχουν στη βάση δεδομένων. Έτσι το κάθε κελί παρουσιάζει την τιμή της απόστασης Hamming μεταξύ των αντίστοιχων εικόνων. Σύμφωνα με την απόσταση Hamming η εικόνα με τον εαυτό της παρουσιάζει απόσταση 0 ενώ η εικόνα με κάποια άλλη ανεξάρτητη παρουσιάζει απόσταση που τείνει στην τιμή 1.

Έχουμε ορίσει ως τιμή κατωφλίου απόρριψης/αποδοχής την τιμή 0,3. Επομένως όπως βλέπουμε στους πίνακες τιμή μικρότερη του κατωφλίου εμφανίζουν μόνο οι εικόνες του ίδιου οφθαλμού, τιμή 0 παρουσιάζεται μόνο όταν συγκρίνεται η

συγκεκριμένη εικόνα με τον εαυτό της ενώ τιμή μεγαλύτερη του κατώφλιου παρουσιάζουν οι συγκρίσεις της εκάστοτε εικόνας με τις υπόλοιπες ανεξάρτητες που βρίσκονται στην βάση δεδομένων.

Όσο αυξάνεται η πολυπλοκότητα του αλγορίθμου αυξάνεται και η ακρίβεια στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων, αλλά και ο χρόνος υπολογισμού. Συγκεκριμένα παρατηρήσαμε ότι ο μετασχηματισμός Hough δεν επηρεάζεται από τις αλλαγές στα παραπάνω χαρακτηριστικά, δίνοντας τα βέλτιστα αποτελέσματα, έχοντας ως κόστος όμως τον υψηλότερο χρόνο υπολογισμού μεταξύ των αλγορίθμων. Ο αλγόριθμος γεμίσματος πολυγώνου παρουσίασε αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα, εκτός από κάποιες εξειδικευμένες περιπτώσεις όπου υπήρξε ταυτοποίηση μεν αλλά οι αποστάσεις Hamming της εικόνας με τα διαφορετικά στιγμιότυπα αυτής είχαν τιμή ελάχιστα μεγαλύτερη από το κατώφλι. Τέλος στον αλγόριθμο προσαρμοσμένων σημείων, αν και παρουσίασε τον μικρότερο χρόνο υπολογισμού, στις περισσότερες περιπτώσεις όπως ήταν αναμενόμενο δεν υπήρξε ταυτοποίηση με τα υπόλοιπα στιγμιότυπα παρά μόνο με εκείνο για το οποίο γινόταν ο έλεγχος.

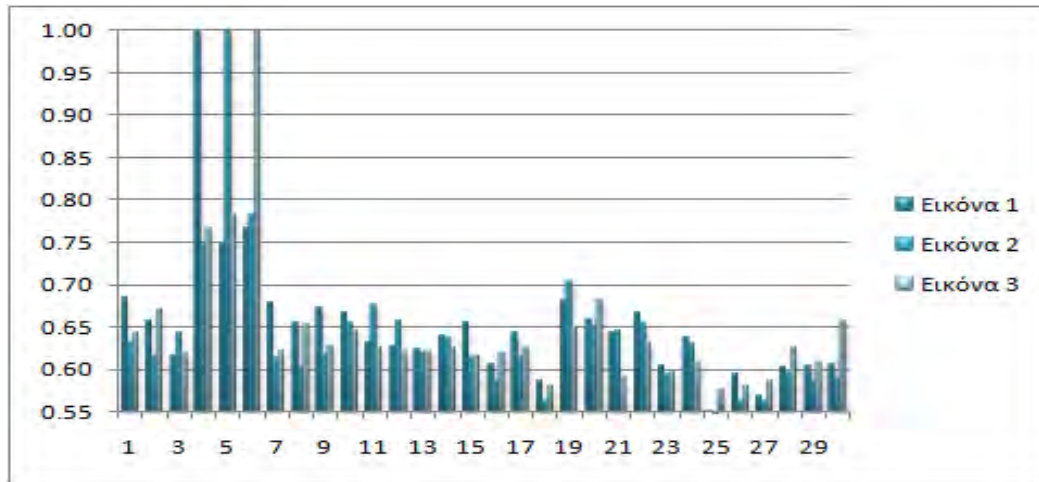
Στον πίνακα 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των συγκρίσεων ενδεικτικά για τρεις διαφορετικούς οφθαλμούς. Παρουσιάζονται οι συγκρίσεις των τριών εικόνων ενός τυχαίου ατόμου με τις βάσεις δεδομένων ξεχωριστά για κάθε τρόπο εύρεσης της ίριδας. Ενώ στις εικόνες 44-47 παρουσιάζονται τα ιστογράμματα που παρουσιάζουν τα αποτελέσματα των αντιστοίχων πινάκων.

Μέθοδος		Person 1			Person 2			Person 3			Person 4			Person 5			
		Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	
Μετ.Hough	Person 1	Image 1	.00	.26	.25	.32	.37	.36	.34	.37	.35	.34	.40	.35	.45	.38	.35
		Image 2	.26	.00	.25	.34	.38	.33	.34	.34	.32	.36	.34	.34	.38	.36	.31
		Image 3	.25	.25	.00	.38	.36	.38	.35	.34	.37	.36	.35	.34	.41	.37	.34
Γέμισμα Πολυγώνου	Person 1	Image 1	.00	.26	.26	.34	.36	.34	.34	.31	.34	.37	.32	.33	.43	.35	.37
		Image 2	.26	.00	.20	.33	.33	.28	.35	.31	.36	.37	.32	.34	.39	.33	.31
		Image 3	.26	.20	.00	.34	.35	.29	.37	.33	.36	.37	.32	.33	.42	.34	.34
Προσαρμοσμένου σημείου	Person 1	Image 1	.00	.33	.29	.47	.46	.43	.33	.34	.35	.37	.33	.34	.44	.41	.41
		Image 2	.33	.00	.20	.44	.43	.41	.32	.33	.31	.40	.36	.32	.42	.40	.38
		Image 3	.29	.20	.00	.45	.44	.43	.32	.33	.34	.39	.38	.35	.43	.39	.41
Χειροκίνητη	Person 1	Image 1	.00	.22	.20	.35	.37	.35	.35	.34	.36	.35	.36	.35	.40	.38	.37
		Image 2	.22	.00	.19	.38	.38	.34	.33	.36	.36	.38	.36	.35	.35	.39	.34
		Image 3	.20	.19	.00	.38	.37	.37	.35	.37	.36	.38	.34	.34	.36	.37	.36

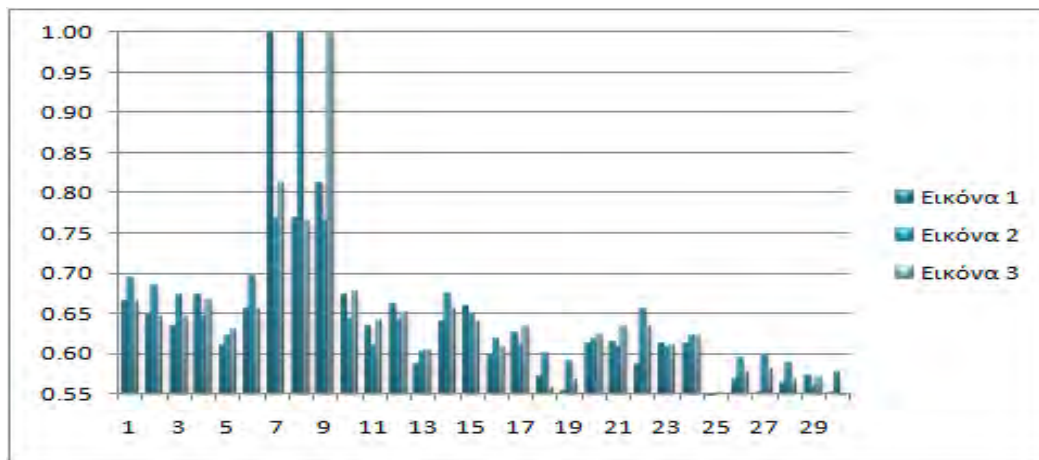
Πίνακας 5 (1/2). Σύγκριση τριών εικόνων (του ίδιου οφθαλμού) χρησιμοποιώντας τον μετασχηματισμό Hough, το γέμισμα πολυγώνου, την μέθοδο προσαρμοσμένου σημείου και την χειροκίνητη μέθοδο.

Μέθοδος		Person 6			Person 7			Person 8			Person 9			Person 10			
		Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	
Μετ.Hough	Person 1	Image 1	.37	.38	.42	.35	.37	.39	.31	.41	.40	.42	.40	.43	.39	.40	.42
		Image 2	.40	.43	.42	.43	.38	.43	.36	.41	.42	.40	.44	.40	.40	.45	.40
		Image 3	.40	.40	.41	.36	.40	.43	.30	.36	.40	.44	.43	.40	.42	.44	.41
Γέμισμα Πολυγώνου	Person 1	Image 1	.38	.38	.45	.39	.38	.41	.38	.38	.40	.44	.42	.41	.39	.41	.42
		Image 2	.44	.44	.41	.41	.40	.44	.36	.43	.42	.42	.46	.43	.42	.45	.43
		Image 3	.40	.43	.41	.36	.42	.45	.38	.37	.41	.40	.40	.39	.44	.47	.45
Προσαρμοσμένου σημείου	Person 1	Image 1	.36	.41	.42	.35	.47	.37	.39	.42	.45	.41	.45	.45	.48	.47	.47
		Image 2	.41	.45	.42	.39	.43	.40	.45	.45	.43	.43	.45	.39	.43	.45	.47
		Image 3	.41	.42	.42	.36	.44	.39	.40	.43	.46	.39	.44	.37	.44	.45	.47
Χειροκίνητη	Person 1	Image 1	.38	.39	.41	.37	.34	.39	.40	.35	.41	.38	.44	.39	.41	.38	.40
		Image 2	.40	.43	.43	.41	.39	.44	.34	.37	.43	.39	.45	.40	.43	.45	.43
		Image 3	.41	.40	.42	.36	.39	.40	.36	.33	.44	.39	.43	.39	.43	.42	.44

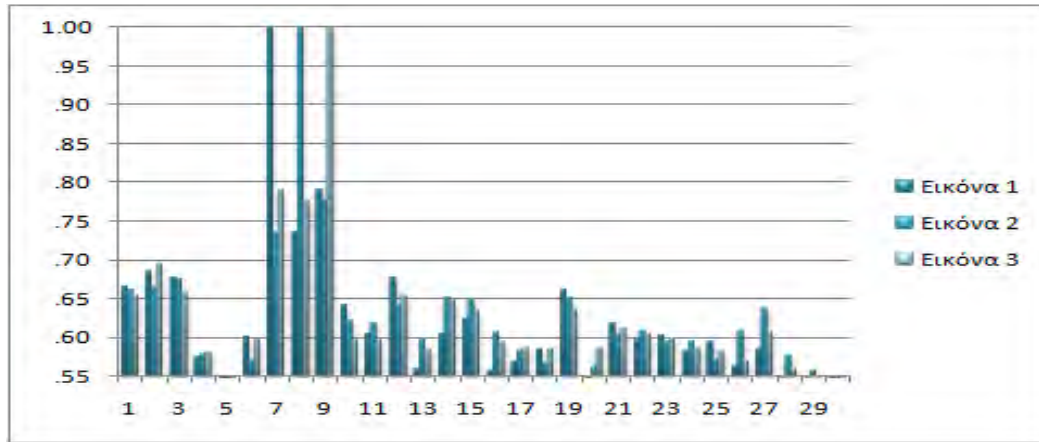
Πίνακας 5 (2/2). Σύγκριση τριών εικόνων (του ίδιου οφθαλμού) χρησιμοποιώντας τον μετασχηματισμό Hough, το γέμισμα πολυγώνου, την μέθοδο προσαρμοσμένου σημείου και την χειροκίνητη μέθοδο.



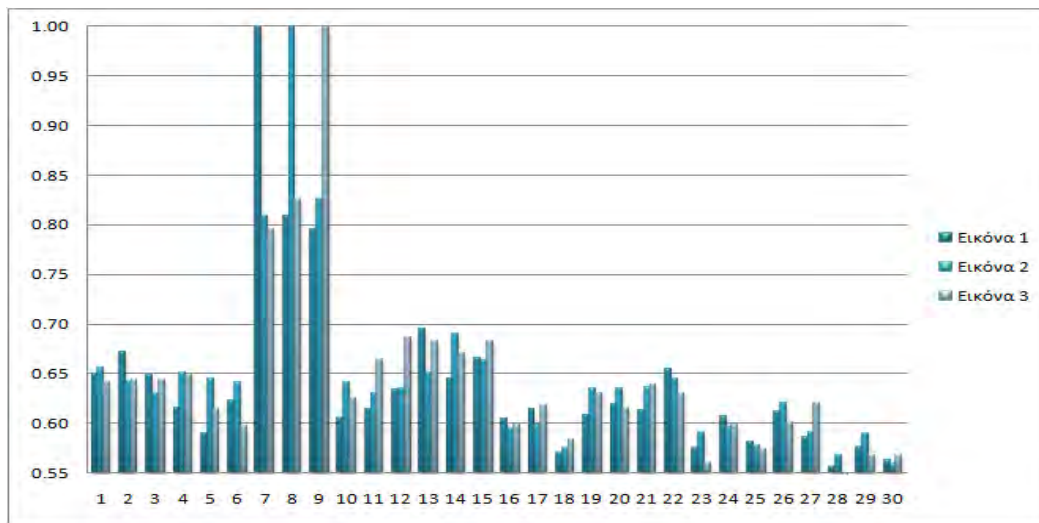
Εικόνα 44. Σύγκριση τριών εικόνων (του ίδιου οφθαλμού) χρησιμοποιώντας τον μετασχηματισμό Hough.



Εικόνα 45. Σύγκριση τριών εικόνων (του ίδιου οφθαλμού) χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο γεμίσματος πολυγώνου.



Εικόνα 46. Σύγκριση τριών εικόνων (του ίδιου οφθαλμού) χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο προσαρμοσμένων σημείων.



Εικόνα 47. Σύγκριση τριών εικόνων (του ίδιου οφθαλμού) χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο χειροκίνητης εισαγωγής σημείων.

Λόγω των παραμέτρων που επηρεάζουν την ακρίβεια του αποτελέσματος, δίνουμε ως είσοδο στο τελικό πρόγραμμα πολλαπλά στιγμιότυπα του νέου οφθαλμού που ελέγχεται, και συγκρίνουμε αυτά με πολλαπλά στιγμιότυπα των οφθαλμών των ατόμων που υπάρχουν στην ήδη στην βάση δεδομένων. Με τον τρόπο αυτό προσομοιώνουμε ένα σύστημα σε πραγματικές συνθήκες, όπου οι απεικονίσεις του οφθαλμού ενός ατόμου που λαμβάνονται από την κάμερα δεν ταυτίζονται ποτέ πλήρως με τις απεικονίσεις του ίδιου οφθαλμού που βρίσκονται αποθηκευμένες στην βάση δεδομένων πραγματοποιήσαμε άλλου τύπου συγκρίσεις. Σε αυτές, στις εικόνες που λάμβαναν μέρος η ίριδα, η κόρη και τα βλέφαρα είχαν προσδιοριστεί χρησιμοποιώντας διαφορετικούς αλγορίθμους. Με τον τρόπο αυτό προκλήθηκε κατά κάποιον τρόπο ένας βαθμός τυχαιότητας.

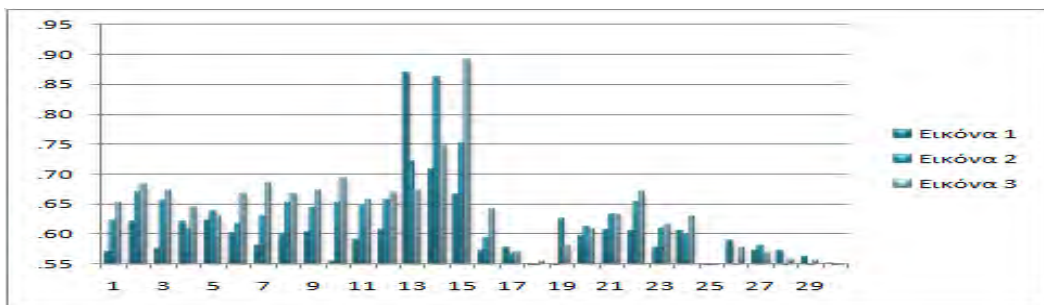
Ο μετασχηματισμός Hough σε σχέση με τον χειροκίνητο τρόπο εισαγωγής σημείων και με τον αλγόριθμο γεμίσματος πολυγώνου παρουσίασε τα βέλτιστα αποτελέσματα, όσον αφορά όλα τα στιγμιότυπα της εικόνας. Ο αλγόριθμος γεμίσματος πολυγώνου παρουσίασε αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα όταν συγκρίθηκε με τον μετασχηματισμό Hough και με τον χειροκίνητο τρόπο εισαγωγής σημείων. Σε όλες τις περιπτώσεις υπήρξε ταυτοποίηση της εικόνας είτε με όλα τα στιγμιότυπα αυτής είτε με κάποια από αυτά, εκτός από μία περίπτωση όπου υπήρξε μεν ταυτοποίηση αλλά έγινε αποδεκτό ένα μόνο στιγμιότυπο αυτής. Το αποτέλεσμα αυτό ήταν αναμενόμενο καθώς απ'ότι παρατηρούμε ούτε στον πίνακα των ιδανικών αποτελεσμάτων (πίνακας 16, παράρτημα 2) δεν υπήρξε ταυτοποίηση. Τα αποτελέσματα των συγκρίσεων αυτών παρουσιάζονται αναλυτικά στους πίνακες 18-20 του παραρτήματος 2. Στη συνέχεια στον πίνακα 6 παρουσιάζονται οι ενδεικτικά οι συγκρίσεις των τριών εικόνων ενός τυχαίου ατόμου συγκρίνοντας τους διαφορετικούς τρόπους μεταξύ τους. Ενώ στις εικόνες 48-50 παρουσιάζονται τα ιστογράμματα που παρουσιάζουν τα αποτελέσματα των αντιστοιχών πινάκων.

Μέθοδος		Γέμισμα πολυγώνου με ουρά															
		Person 1			Person 2			Person 3			Person 4			Person 5			
		Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	
Μετ. Hough	Person 1	Image 1	.20	.28	.26	.34	.38	.32	.33	.33	.32	.34	.36	.35	.45	.37	.39
		Image 2	.26	.20	.26	.34	.37	.30	.36	.33	.34	.37	.33	.33	.39	.35	.33
		Image 3	.24	.18	.16	.31	.35	.30	.36	.34	.34	.37	.34	.34	.40	.37	.32
Χειροκίνητη μέθοδος																	
Μετ. Hough	Person 1	Image 1	.26	.34	.30	.31	.38	.36	.36	.34	.33	.38	.36	.34	.41	.35	.38
		Image 2	.25	.23	.24	.31	.36	.36	.37	.38	.33	.37	.29	.30	.36	.33	.32
		Image 3	.21	.23	.18	.38	.34	.38	.35	.32	.34	.35	.33	.32	.37	.35	.35
Χειροκίνητη μέθοδος																	
Γέμισμα πολυγώνου	Person 1	Image 1	.22	.30	.26	.32	.38	.38	.32	.35	.34	.33	.36	.33	.37	.36	.35
		Image 2	.23	.18	.22	.37	.32	.35	.35	.32	.34	.34	.35	.35	.37	.38	.37
		Image 3	.26	.20	.17	.37	.33	.37	.35	.33	.34	.37	.35	.35	.39	.36	.37

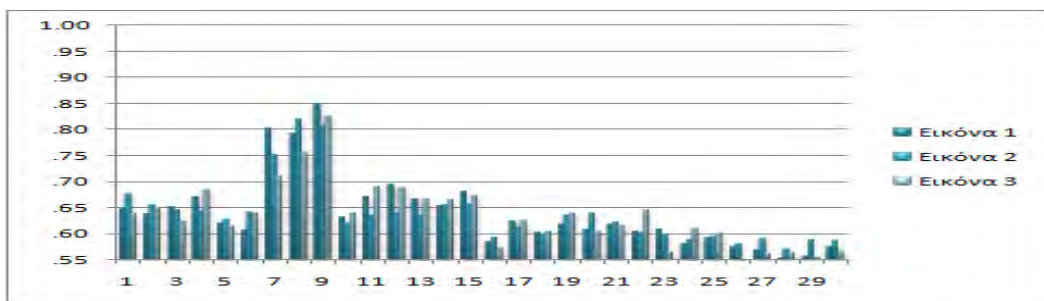
Πίνακας 6 (1/2). Σύγκριση τριών εικόνων (του ίδιου οφθαλμού) χρησιμοποιώντας συνδυασμό των μεθόδων μετασχηματισμού Hough, αλγόριθμο γεμίματος πολυγώνου και της χειροκίνητης μεθόδου.

Μέθοδος		Γέμισμα πολυγώνου με ουρά															
		Person 6			Person 7			Person 8			Person 9			Person 10			
		Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	
Μετ. Hough	Person 1	Image 1	.37	.39	.45	.35	.39	.42	.33	.37	.40	.41	.42	.42	.38	.42	.42
		Image 2	.39	.45	.44	.44	.40	.43	.36	.41	.41	.46	.45	.41	.42	.44	.40
		Image 3	.40	.43	.42	.36	.40	.44	.34	.39	.41	.41	.42	.40	.41	.43	.43
Χειροκίνητη μέθοδος																	
Μετ. Hough	Person 1	Image 1	.40	.38	.44	.41	.40	.43	.36	.41	.39	.41	.42	.42	.38	.42	.44
		Image 2	.44	.42	.43	.39	.39	.42	.40	.41	.41	.40	.43	.42	.44	.47	.42
		Image 3	.40	.40	.42	.37	.38	.41	.35	.38	.40	.41	.41	.39	.43	.42	.45
Χειροκίνητη μέθοδος																	
Γέμισμα πολυγώνου	Person 1	Image 1	.38	.37	.40	.39	.36	.39	.38	.39	.39	.40	.40	.41	.41	.40	.43
		Image 2	.39	.41	.42	.39	.38	.44	.35	.41	.42	.40	.47	.44	.42	.44	.44
		Image 3	.41	.41	.42	.39	.42	.42	.35	.38	.43	.41	.40	.39	.43	.45	.45

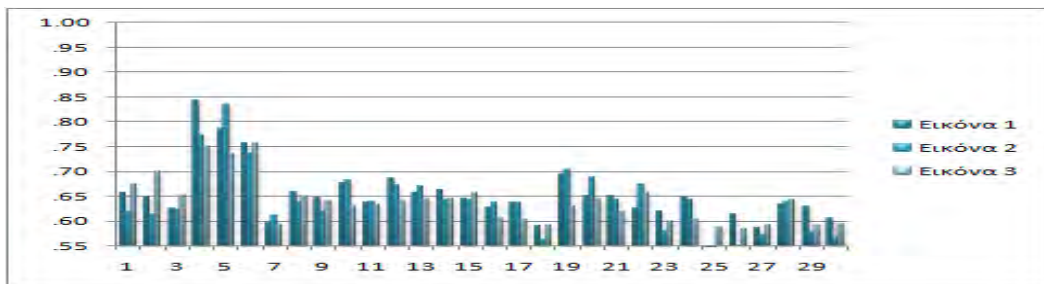
Πίνακας 6 (2/2). Σύγκριση τριών εικόνων (του ίδιου οφθαλμού) χρησιμοποιώντας συνδυασμό των μεθόδων μετασχηματισμού Hough, αλγόριθμο γεμίματος πολυγώνου και της χειροκίνητης μεθόδου.



Εικόνα 48. Σύγκριση τριών εικόνων (του ίδιου οφθαλμού) χρησιμοποιώντας συνδυασμό των μεθόδων μετασχηματισμού Hough και αλγορίθμου γεμίσματος πολυγώνου.



Εικόνα 49. Σύγκριση τριών εικόνων (του ίδιου οφθαλμού) χρησιμοποιώντας συνδυασμό των μεθόδων μετασχηματισμού Hough και χειροκίνητης εισαγωγής σημείων.



Εικόνα 50. Σύγκριση τριών εικόνων (του ίδιου οφθαλμού) χρησιμοποιώντας συνδυασμό των μεθόδων γεμίσματος πολυγώνου και χειροκίνητης εισαγωγής σημείων.

3.2.2 Παράμετροι που επηρεάζουν το αποτέλεσμα

Πραγματοποιήθηκαν πολλαπλές συγκρίσεις για κάθε μέθοδο εξαγωγής αποτελεσμάτων. Η κάθε εικόνα που ανήκει στην βάση δεδομένων συγκρίθηκε με όλες τις εικόνες της βάσης. Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε για όλες τις μεθόδους, έγιναν όμως και συγκρίσεις μεταξύ των μεθόδων καθώς τα αποτελέσματα τους διαφέρουν. Με τον τρόπο αυτό προσθέτουμε το στοιχείο του τυχαίου στην σύγκριση, μπορώντας έτσι μελετήσουμε εάν το αποτέλεσμα της σύγκρισης δεν επηρεάζεται από δευτερεύοντα χαρακτηριστικά, όπως η θέση των βλεφάρων, αλλά εξαρτάται αποκλειστικά από την υφή της ίριδας. Τα αποτελέσματα των πινάκων που προέκυψαν από τις συγκρίσεις μελετήθηκαν ενδελεχώς για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Το κύριο χαρακτηριστικό που μελετάται στην σύγκριση των οφθαλμών για την επίτευξη ταυτοποίησης είναι η υφή που κατέχει η ίριδα. Καθώς η υφή αυτή παράγεται τυχαία κατά την εμβρυϊκή ηλικία του ατόμου και παραμένει αμετάβλητη καθ' όλη τη ζωή του. Τα χαρακτηριστικά της υφής που μελετώνται είναι το μέγεθος της επιφάνειας της ίριδας την οποία καλύπτει, η ύπαρξη μοναδικών χαρακτηριστικών όπως μεγάλες αντιθέσεις στο χρωματισμό αυτής και η ύπαρξη κηλίδων. Οι κηλίδες που περιέχονται στη υφή της ίριδας αποτελούν εξαιρετικούς δείκτες ταυτοποίησης καθώς το μέγεθος και η θέση τους είναι μοναδικά. Επομένως εφόσον οι κηλίδες δύο οφθαλμών είναι όμοιες και ταυτίζονται μπορούμε χωρίς αμφιβολία να θεωρήσουμε ότι πρόκειται για εικόνες που προέρχονται από το ίδιο άτομο.

Το ποσοστό της αντίθεσης που υπάρχει στην φωτογραφία του οφθαλμού μπορεί να επηρεάσει το αποτέλεσμα της σύγκρισης. Η ύπαρξη υψηλής αντίθεσης βοηθά στην απαλοιφή του θορύβου των μικρών ακμών και στην ενίσχυση των έντονων αντιθέσεων που υπάρχουν στην υφή της ίριδας. Αντιθέτως όταν το ποσοστό της αντίθεσης είναι χαμηλό, είναι ορατές και οι λιγότερο εμφανής αντιθέσεις στην υφή, προσδίνοντας περισσότερη λεπτομέρεια στην εικόνα, αλλά ενισχύοντας και τον θόρυβο που υπάρχει σε αυτή.

Κατά τις διάφορες φάσεις διαστολής της κόρης του οφθαλμού αλλάζει η διάμετρος της κόρης, μειώνεται όταν η κόρη βρίσκεται σε μύση και αυξάνεται όταν αυτή βρίσκεται σε μυδρίαση. Με την αυξομείωση της διαμέτρου της κόρης αλλάζουν και τα χαρακτηριστικά της υφής που υπάρχει στην περιοχή της ίριδας. Κατά την μυδρίαση η κόρη διαστέλλεται συμπιέζοντας τα χαρακτηριστικά της υφής που βρίσκονται κοντά της. Λόγω του φαινομένου αυτού οι κηλίδες που υπάρχουν στην υφή της ίριδας αλλάζουν γεωμετρία και μέγεθος κάνοντας δυσκολότερη την ταύτισή τους με τις αντίστοιχες κηλίδες που υπάρχουν σε εικόνες που παρουσιάζουν τον ίδιο οφθαλμό σε διαφορετική φάση διαστολής.

Τα βλέφαρα αποτελούν και αυτά μοναδικό χαρακτηριστικό του ατόμου, καθώς η καμπυλότητα των οποίων δεν αλλάζει εκτός των κλινικών περιπτώσεων. Το χαρακτηριστικό των βλεφάρων που υπόκειται στη θέληση του ατόμου είναι το ποσοστό κατά το οποία είναι ανοιχτά. Εικόνες στις οποίες ο χρήστης δεν κράτησε εντελώς ανοιχτά τα βλέφαρά του παρουσιάζουν μεγάλο ποσοστό επικάλυψης της ίριδας από αυτά. Στις περιπτώσεις αυτές λαμβάνουμε ελάχιστη πληροφορία από την υφή της ίριδας καθώς το μεγαλύτερο μέρος αυτής είναι επικαλυμμένο.

Το ποσοστό της αντίθεσης, η φάση διαστολής της κόρης και το ποσοστό ανοίγματος των βλεφάρων είναι οι λόγοι για τους οποίους είναι αναγκαία η λήψη πολλαπλών εικόνων του ίδιου οφθαλμού. Με τον τρόπο αυτό λαμβάνουμε εικόνες που προσεγγιστικά περιέχουν όλες τις φάσεις διαστολής της κόρης, πολλές διαφορετικές θέσεις των βλεφάρων και διαφορετικά ποσοστά αντίθεσης.

Οι διαστάσεις που έχουν επιλεγεί για τους πίνακες σύγκρισης περιέχουν ένα ποσοστό ανοχής για την εσφαλμένη απόρριψη. Σε περιπτώσεις όπου η κόρη έχει διασταλεί ή η κεφαλή του χρήστη έχει διαφορετική κλίση στις διάφορες εικόνες, αλλάζουν τα χαρακτηριστικά της υφής. Στην περίπτωση της διαστολής όπως προείπαμε αλλάζει η γεωμετρία και το μέγεθος των κηλίδων ενώ κατά τις διάφορες κλίσεις του οφθαλμού αλλάζει η θέση των κηλίδων. Στις περιπτώσεις αυτές οι θέσεις όπου φαίνονται οι κηλίδες στους πίνακες αλλάζουν και υπάρχει η περίπτωση να απέχουν πολύ μεταξύ των δύο πινάκων. Έτσι οι μεγαλύτερες διαστάσεις στους πίνακες βοηθούν στην ύπαρξη μεγαλύτερου ορίου ανοχής μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο λανθασμένης απόρριψης.

Ένας τρόπος για την αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών είναι κατά την διαδικασία του ξεδιπλώματος της ίριδας να επιλέγονται περιοχές γειτονικών εικονοστοιχείων και να λαμβάνεται ως τελική τιμή του πίνακα σύγκρισης η μέση τιμή αυτών. Με αυτό τον τρόπο μειώνονται οι διαφορές που θα υπάρχουν όσον αφορά το μέγεθος και τη θέση των κηλίδων στους πίνακες συγκρίσεων.

3.3 Δημιουργία δομής αρχείων για την εκτέλεση του αλγορίθμου

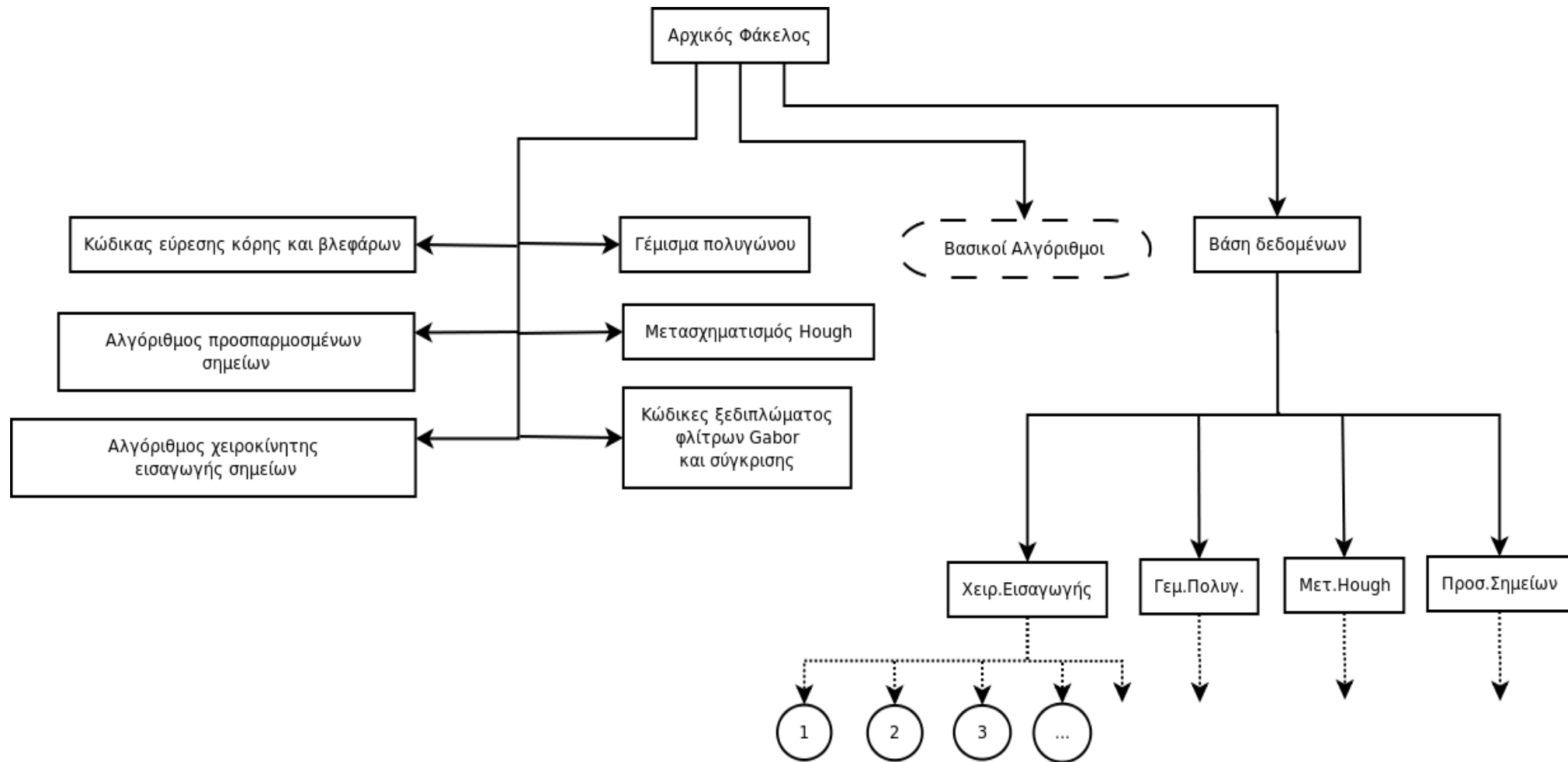
Βασιζόμενοι στην διαθέσιμη βάση δεδομένων εικόνων Casia [6], δημιουργήσαμε μία δομή αρχείων για την εκτέλεση του αλγορίθμου ανάλυσης και ταυτοποίησης ίριδας. Για τη δημιουργία της βάσης δεδομένων συγκεντρώθηκαν από κάθε άτομο τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για την λειτουργία των αλγορίθμων, τα στοιχεία αυτά απαρτίζουν τον προσωπικό φάκελο του κάθε ατόμου. Στον αρχικό φάκελο υπάρχουν επίσης κώδικες για την αυτόματη δημιουργία της βάσης καθώς επίσης και ο κώδικας που παράγει την σύγκριση τυχαίας εικόνας με αυτές που υπάρχουν ήδη στη βάση.

Ξεκινώντας από τον αρχικό φάκελο παρατηρούμε την ύπαρξη ενός φακέλου που περιέχει όλη τη βάση δεδομένων, έναν ακόμη φάκελο ο οποίος περιέχει τυχαίες εικόνες που χρησιμοποιούνται για σύγκριση καθώς και τους φακέλους που περιέχουν τους κώδικες που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Ο φάκελος που περιέχει τη βάση δεδομένων εμπεριέχει 4 υποφακέλους, έναν για κάθε αυτοματοποιημένο τρόπο εύρεσης ίριδας και ένα ακόμη για τον χειροκίνητο τρόπο. Στον κάθε υποφάκελο από αυτούς, εμπεριέχονται τρεις εικόνες για το κάθε άτομο, οι οποίες λήφθηκαν από την βάση δεδομένων Casia, και παριστάνουν τις διαφορετικές χρονικές στιγμές του οφθαλμού. Για το κάθε άτομο επιλέχθηκε μόνο ο ένας οφθαλμός, έτσι στον φάκελο του στη δική μας βάση δεδομένων περιέχονται τρεις εικόνες του οφθαλμού του, επίσης ένα αρχείο που περιέχει τα προσωπικά στοιχεία του καθώς και ανά εικόνα, δύο πίνακες σύγκρισης που προκύπτουν όπως αναφέραμε προηγουμένως, η ξεδιπλωμένη εικόνα της ίριδας και το πραγματικό και το φανταστικό μέρος του φίλτρου Gabor της

ξεδιπλωμένης εικόνας.

Για να διευκόλυνση της επανάληψης της διαδικασίας ταυτοποίησης της ίριδας, για κάθε μία από τις εικόνες αποθηκεύεται ένας πίνακα που περιέχει τα στοιχεία των κύκλων της ίριδας και της κόρης, δηλαδή τις συντεταγμένες του κέντρου και την ακτίνα τους καθώς επίσης και ένα πίνακα ακόμη ο οποίος περιέχει τις συντεταγμένες των σημείων που ανήκουν στις παραβολές των βλεφάρων. Τα παραπάνω συνοψίζονται στην εικόνα 51.



Εικόνα 51. Παρουσίαση της βάσεως δεδομένων και των περιεχομένων της

3.3.1 Κώδικες δημιουργίας βάσης δεδομένων

Οι αλγόριθμοι αυτοί περιγράφουν τον τρόπο δημιουργίας της βάσης δεδομένων. Η διαδικασία δημιουργίας της βάσης αποτελείται από τρία μέρη άρα κατ'επέκταση βασίζεται σε τρεις αλγορίθμους. Ο πρώτος αλγόριθμος παράγει τα στοιχεία που περιγράφουν την κόρη, την ίριδα και τα βλέφαρα, ο δεύτερος παράγει την ξεδιπλωμένη εικόνα της ίριδας και ο τρίτος παράγει το πραγματικό και το φανταστικό μέρος του Gabor για την ξεδιπλωμένη εικόνα.

Αρχικά υπάρχουν μόνο τα τρία στιγμιότυπα για τον κάθε οφθαλμό στους αρχικούς φακέλους. Ο αλγόριθμος επισκέπτεται τον φάκελο του κάθε ατόμου, αποθηκεύει στην μνήμη την κάθε εικόνα, καλεί τον αντίστοιχο κώδικα ο οποίος επιστρέφει τους δύο πίνακες. Στη συνέχεια επισκέπτεται πάλι τον φάκελο του ατόμου και αποθηκεύει τους πίνακες.

Με παρόμοιο τρόπο επισκέπτεται τους φακέλους για την δημιουργία της ξεδιπλωμένης εικόνας καθώς και για τη δημιουργία των πινάκων του φανταστικού και του πραγματικού μέρους του φίλτρου Gabor.

3.3.2 Κώδικας ταυτοποίησης τυχαίας εικόνας

Ο κώδικας αυτός παράγει ένα πίνακα ο οποίος περιέχει τα ποσοστά ομοιότητας της τυχαίας εικόνας με αυτές της βάσης δεδομένων. Αρχικά εισάγεται η τυχαία εικόνα, επιλέγεται ο αλγόριθμος σύμφωνα με τον οποίο θα γίνει η εύρεση της ίριδας καθώς επίσης και με ποια από τις τέσσερις βάσεις δεδομένων θα γίνει η σύγκριση. Σε ένα αυτοματοποιημένο σύστημα δεν τίθεται θέμα επιλογής καθώς ο αλγόριθμος εύρεσης ίριδας και η βάση έχουν προεπιλεγεί από τον διαχειριστή. Επίσης κατά την διαδικασία σάρωσης, στο αυτοματοποιημένο σύστημα, λαμβάνονται περισσότερες από μία εικόνες ώστε ο αλγόριθμος να επιλέξει την βέλτιστη στην οποία τα ανατομικά χαρακτηριστικά του οφθαλμού είναι περισσότερο εμφανή.

Γίνεται η εύρεση της κόρης και των βλεφάρων, και έπειτα ανάλογα με την επιλογή που έχει δοθεί εκτελείται ο αντίστοιχος κώδικας εύρεσης ίριδας. Έπειτα επιστρέφονται τα στοιχεία που περιγράφουν την γεωμετρία της κόρης, της ίριδας και των βλεφάρων.

Στην συνέχεια εφαρμόζεται ο αλγόριθμος για την επικάλυψη των βλεφάρων και ξεδιπλώνεται η εικόνα της ίριδας. Παράγεται το πρότυπο των βλεφάρων στην ξεδιπλωμένη εικόνα, όπως προαναφέρθηκε στην ανάλυση των φίλτρων Gabor, και στη συνέχεια παράγονται το πραγματικό και το φανταστικό μέρος του φίλτρου Gabor.

Ο αλγόριθμος έπειτα επισκέπτεται τον φάκελο του κάθε ματιού μέσα στην βάση δεδομένων και ανακτά στη μνήμη το πραγματικό και το φανταστικό μέρος που είναι αποθηκευμένα στον φάκελο αυτό. Στη συνέχεια καλείται ο αλγόριθμος που

υπολογίζει την απόσταση Hamming μεταξύ των δύο εικόνων.

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για κάθε εικόνα μέσα στη βάση δεδομένων, μέχρι είτε να επιτευχθεί η ταυτοποίηση του ατόμου είτε να προσπελαστεί ολόκληρη η βάση δεδομένων. Στην δεύτερη περίπτωση το άτομο δεν έχει καταχωρηθεί στην βάση δεδομένων. Η ταυτοποίηση προκύπτει με την εικόνα που κατέχει την μικρότερη τιμή της απόστασης Hamming.

4. Συζήτηση

4.1 Προτάσεις βελτίωσης

Η χρήση των κωδίκων σε κάποιο νέο σύστημα αναγνώρισης της ίριδας μπορεί να καταστήσουν αναγκαία την επιπλέον παραμετροποίηση τους. Πρέπει να δοθεί βάση στην αναλογία ακρίβειας και χρόνου υπολογισμού. Η χρήση κωδίκων που παρουσιάζουν μεγάλες τιμές ακρίβειας στα αποτελέσματά τους οδηγεί σε αύξηση του χρόνου υπολογισμού, όπως φάνηκε από την χρήση του μετασχηματισμού Hough στην παρούσα μελέτη. Αντίθετα η μείωση του χρόνου υπολογισμού οδηγεί αναπόφευκτα σε μείωση της ακρίβειας του συστήματος όπως παρουσιάστηκε με την χρήση του αλγορίθμου προσαρμοσμένων σημείων στην μελέτη αυτή. Βέλτιστη είναι η μέση λύση κατά την οποία δεν θυσιάζεται η ακρίβεια για χάριν του μικρού χρόνου υπολογισμού.

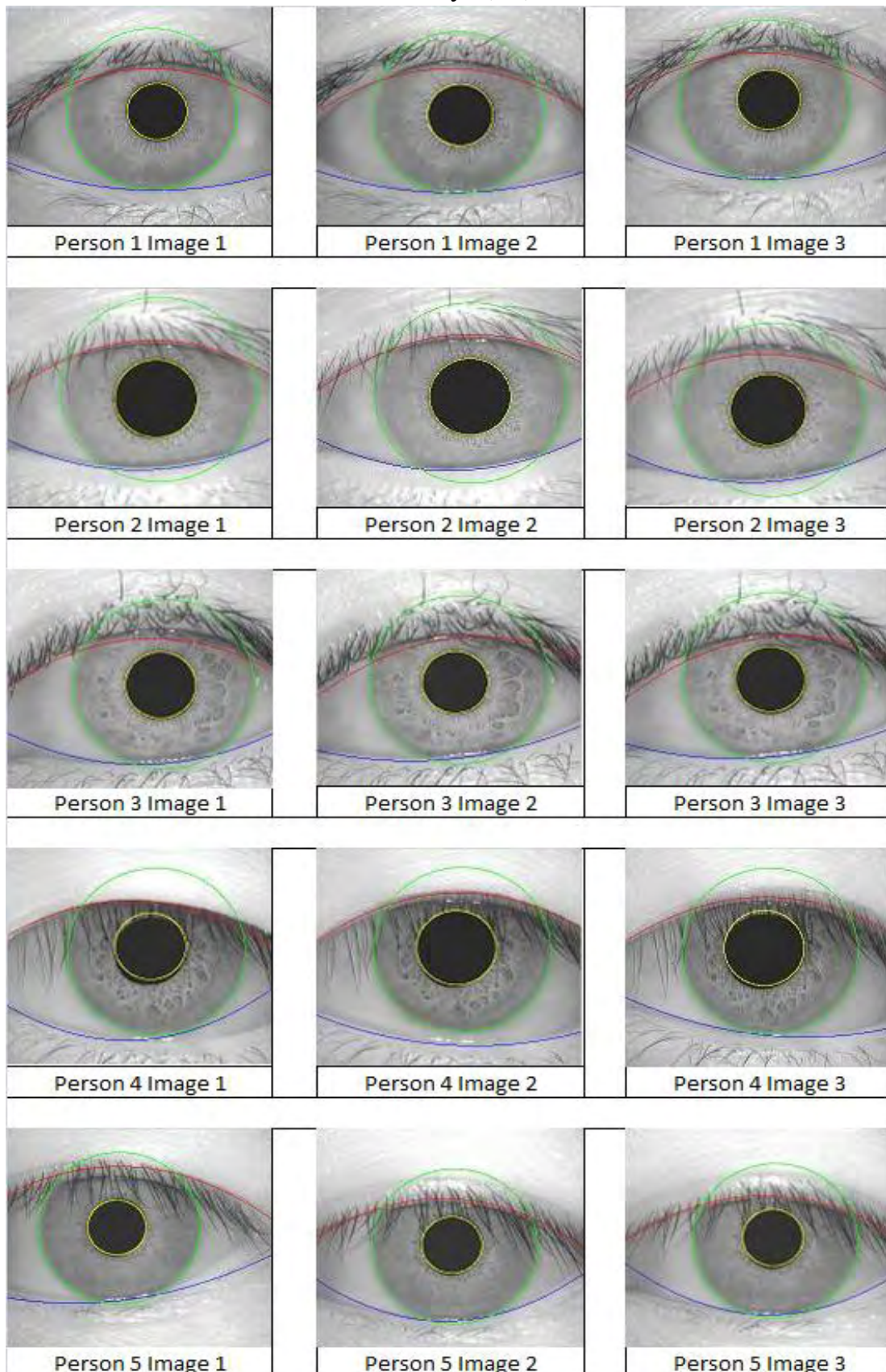
Ένας από τους λόγους για τους οποίους μπορεί να αυξηθεί ο χρόνος απόκρισης είναι γιατί τα δεδομένα είναι αποθηκευμένα στην βάση δεδομένων και πρέπει να ανακτηθούν στην μνήμη κάθε φορά που πρέπει να πραγματοποιηθεί μία νέα σύγκριση. Μία λύση στο πρόβλημα αυτό αποτελεί η χρήση μηχανημάτων υψηλής υπολογιστικής ισχύος τα οποία κατέχουν υψηλή προσωρινή αποθηκευτική ικανότητα με γρήγορη προσπέλαση. Με τον τρόπο αυτό η εκτέλεση των αλγορίθμων γίνεται γρηγορότερη και υπάρχει η δυνατότητα τα δεδομένα να έχουν ήδη ανακτηθεί στην μνήμη προτού εμφανιστεί η ανάγκη κάποιας σύγκρισης.

Η μεγάλη ανομοιομορφία που εμφανίζεται στις εικόνες αυξάνοντας τον κίνδυνο λανθασμένης απόρριψης μπορεί να ελαχιστοποιηθεί εξαλείφοντας τους παράγοντες που την δημιουργούν. Ο πρώτος παράγοντας αφορά την ύπαρξη διαφορετικών συνθηκών κατά την λήψη των εικόνων. Καθιστώντας ελεγχόμενο το περιβάλλον κατά το οποίο γίνεται η λήψη μειώνουμε την ανομοιομορφία που εμφανίζεται όσον αφορά τον φωτισμό και την αντίθεση που εμφανίζεται στις εικόνες. Ο δεύτερος παράγοντας αφορά τις διαφορές που εμφανίζονται στην κλίση του οφθαλμού και στο ποσοστό επικάλυψης της ίριδας από τα βλέφαρα. Ο παράγοντας αυτός είναι εύκολο να εξαλειφθεί με την ενημέρωση και την καθοδήγηση των χρηστών ώστε οι εικόνες που λαμβάνονται να έχουν όμοια χαρακτηριστικά.

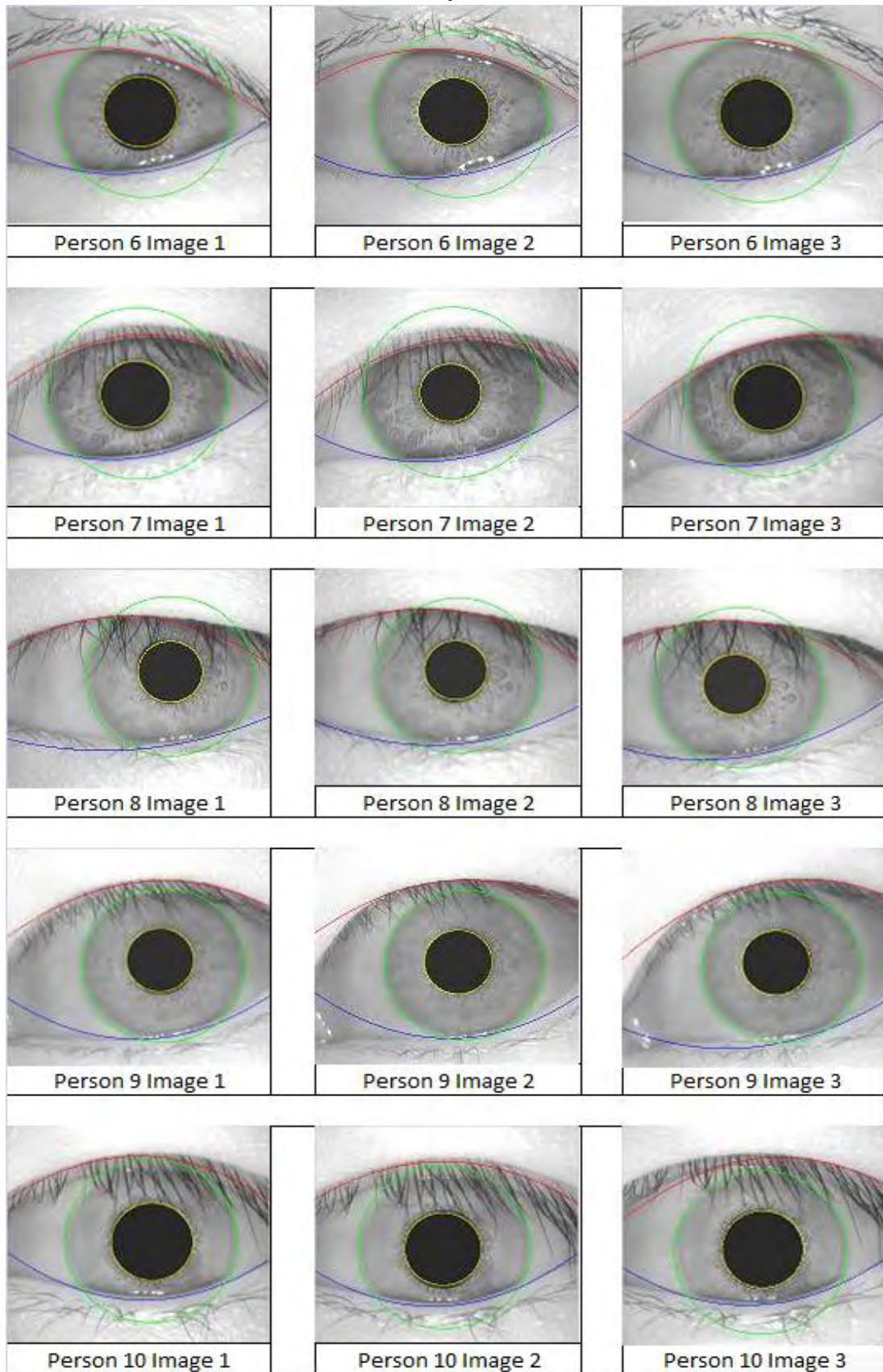
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

Πίνακες αποτελεσμάτων εύρεσης ανατομικών στοιχείων με όλες τις μεθόδους.

Πίνακας 7 (1/2)

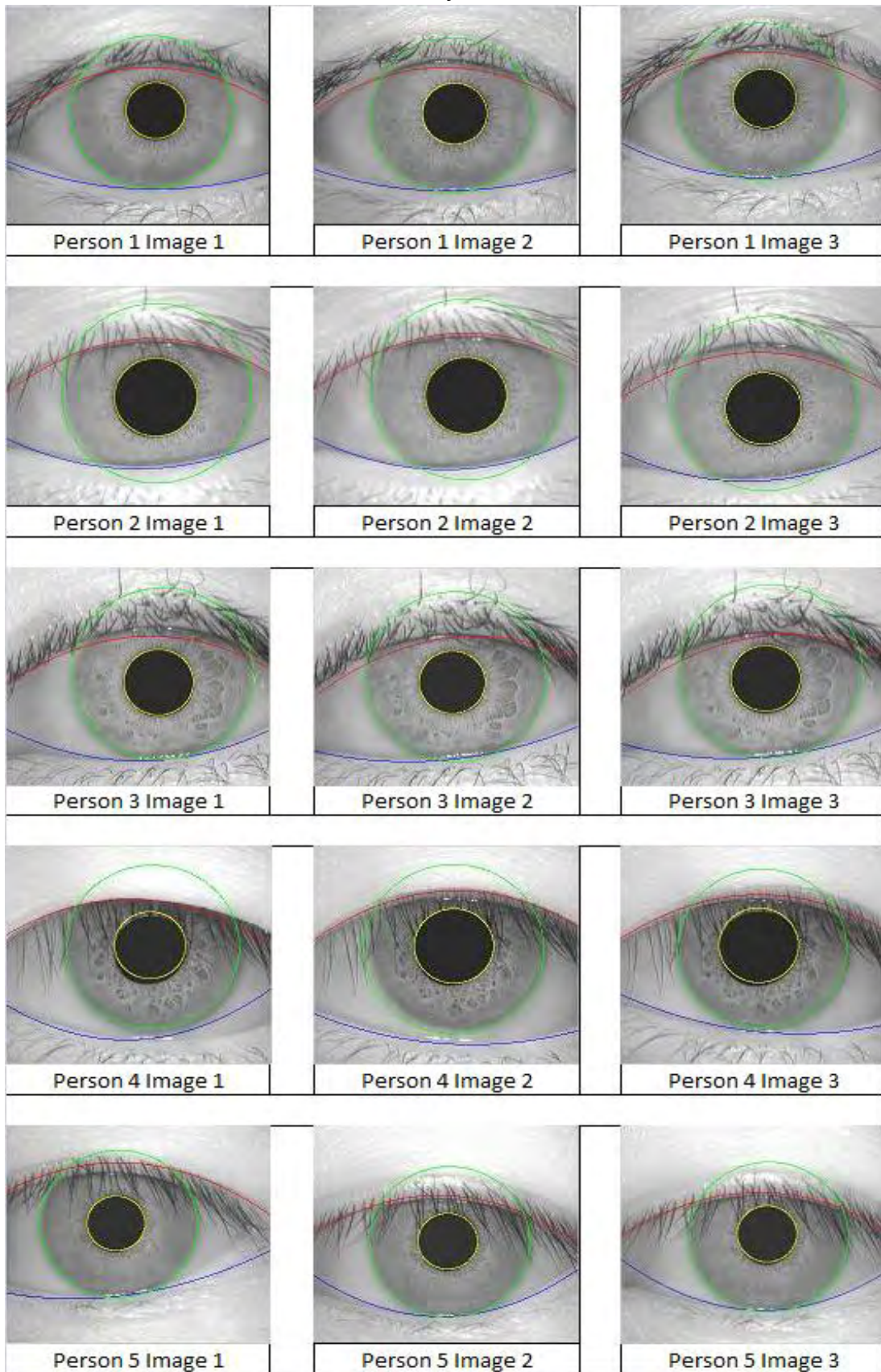


Πίνακας 7 (2/2)

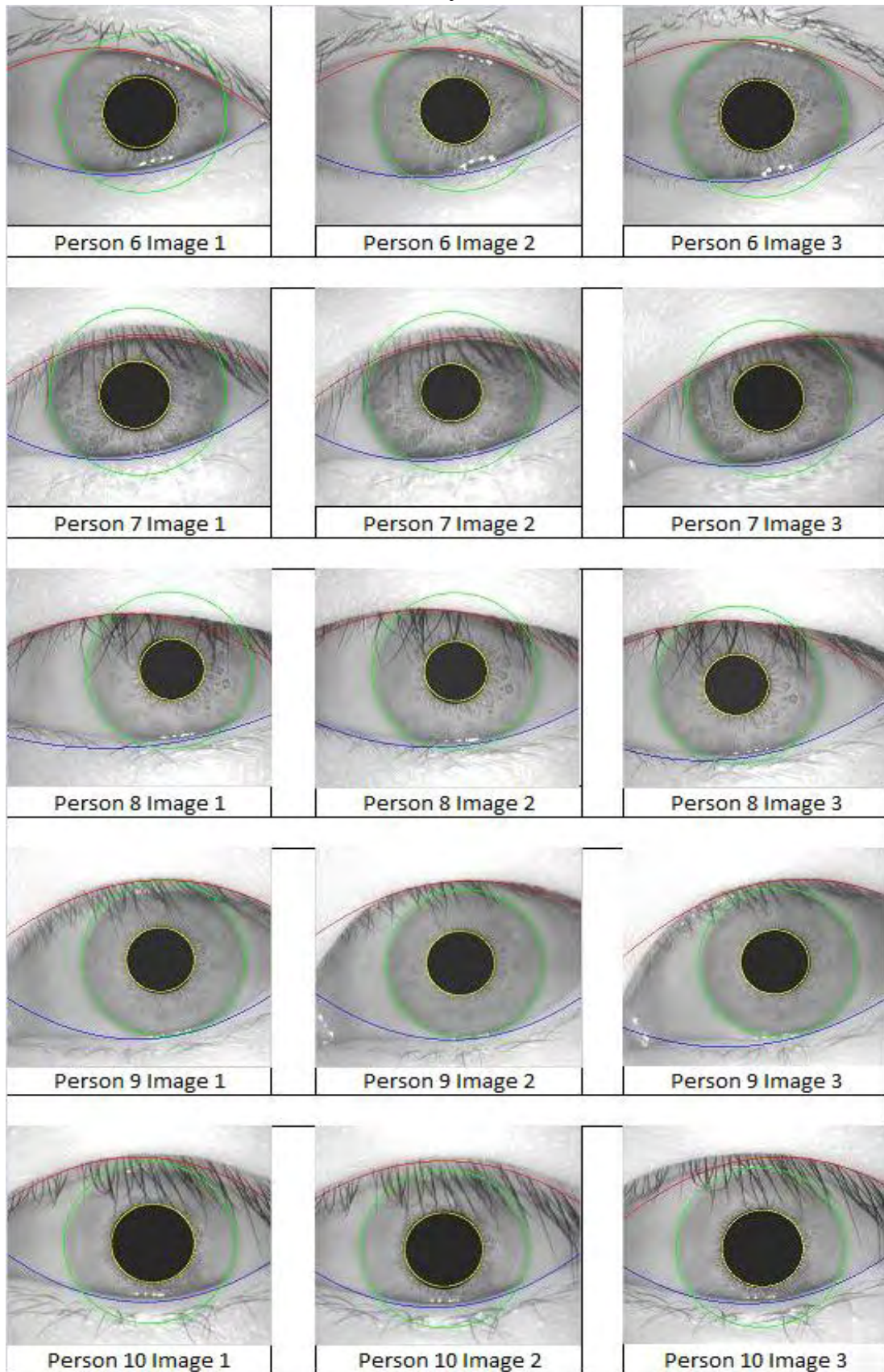


Πίνακας 7. Αποτελέσματα εύρεσης της κόρης, της ίριδας και των βλεφάρων βάσει του μετασχηματισμού Hough.

Πίνακας 8 (1/2)

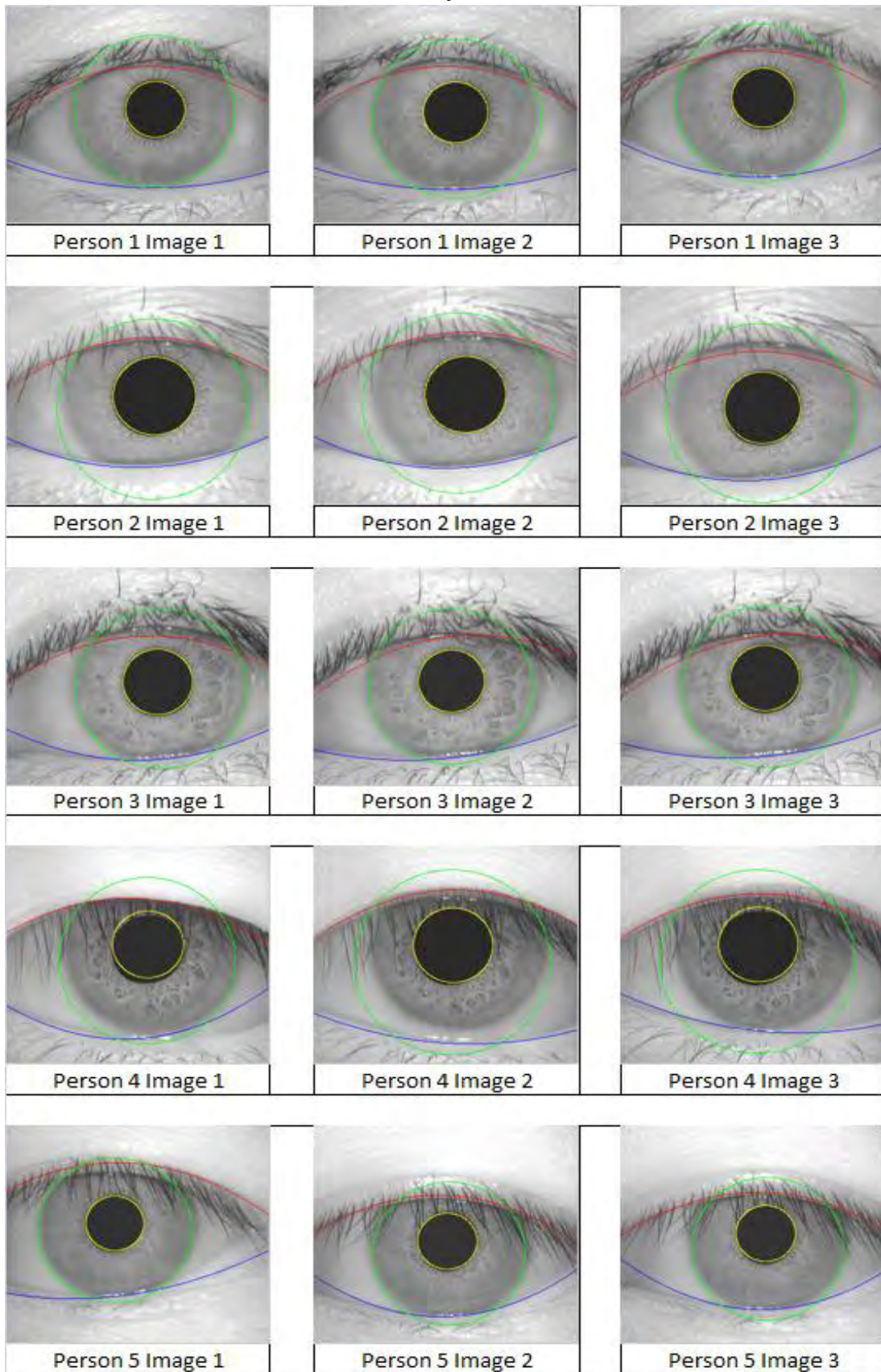


Πίνακας 8 (2/2)

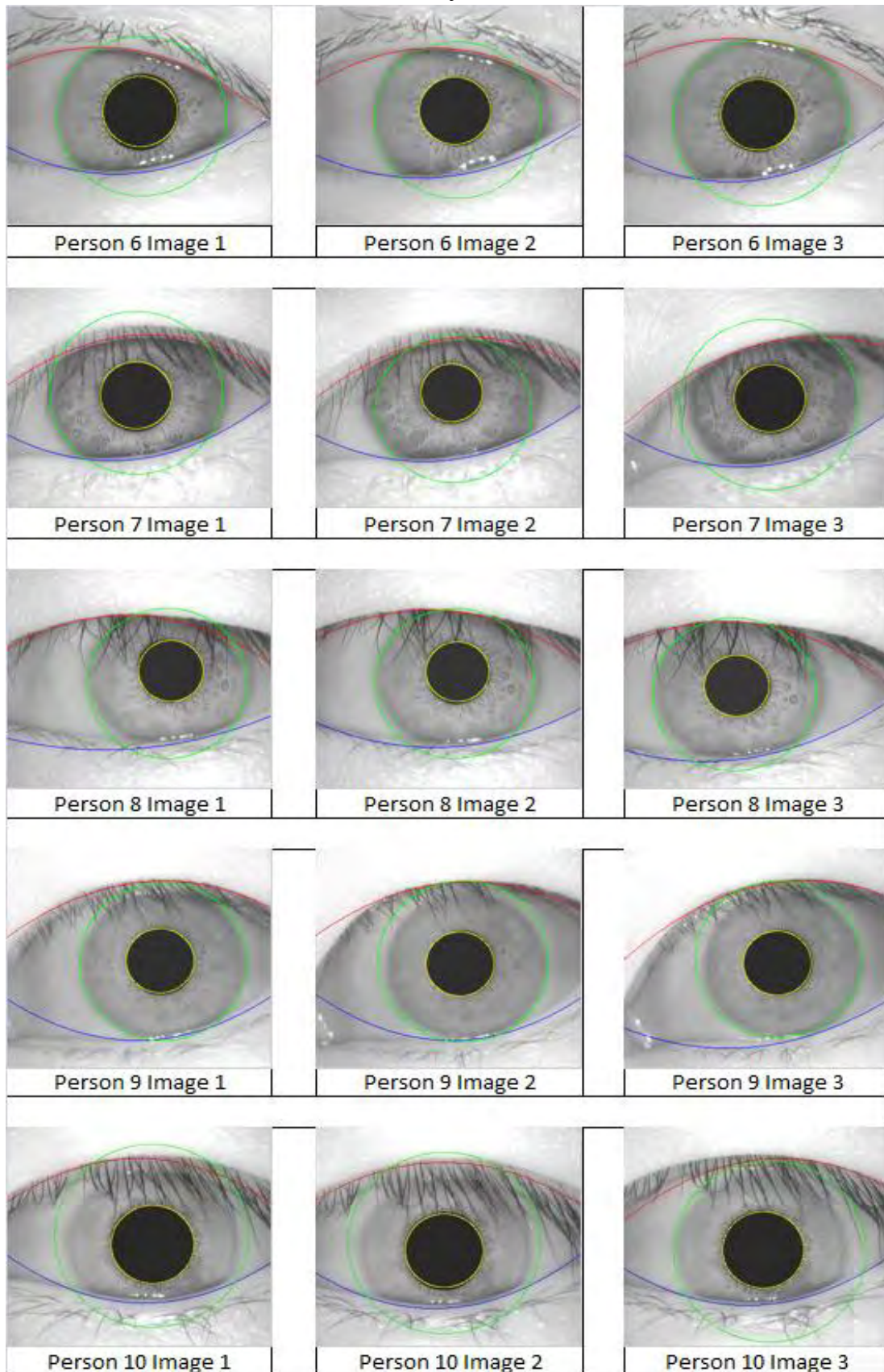


Πίνακας 8. Αποτελέσματα εύρεσης της κόρης, της ίριδας και των βλεφάρων με την μέθοδο γεμίσματος πολυγώνου.

Πίνακας 9 (1/2)

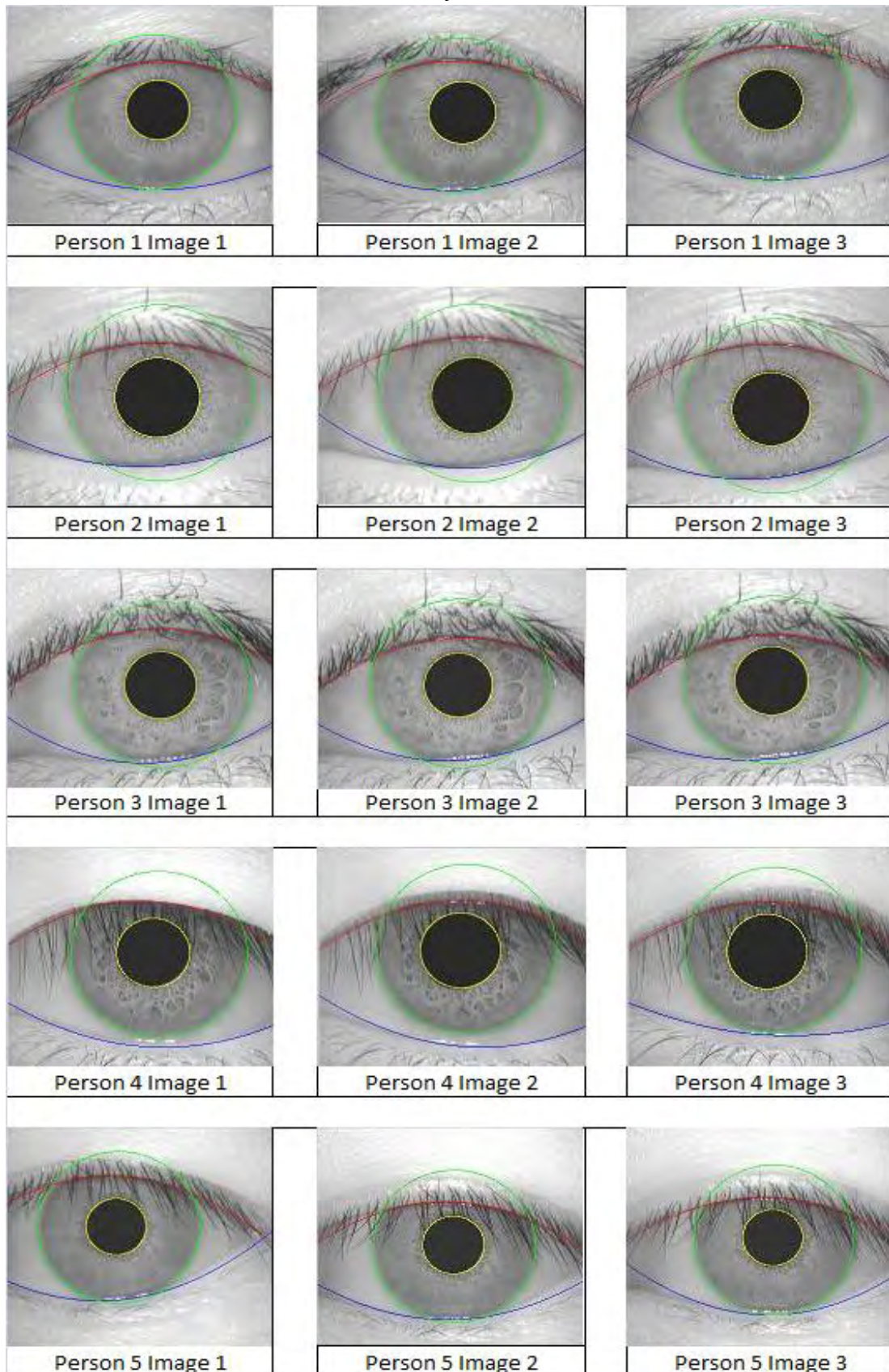


Πίνακας 9 (2/2)

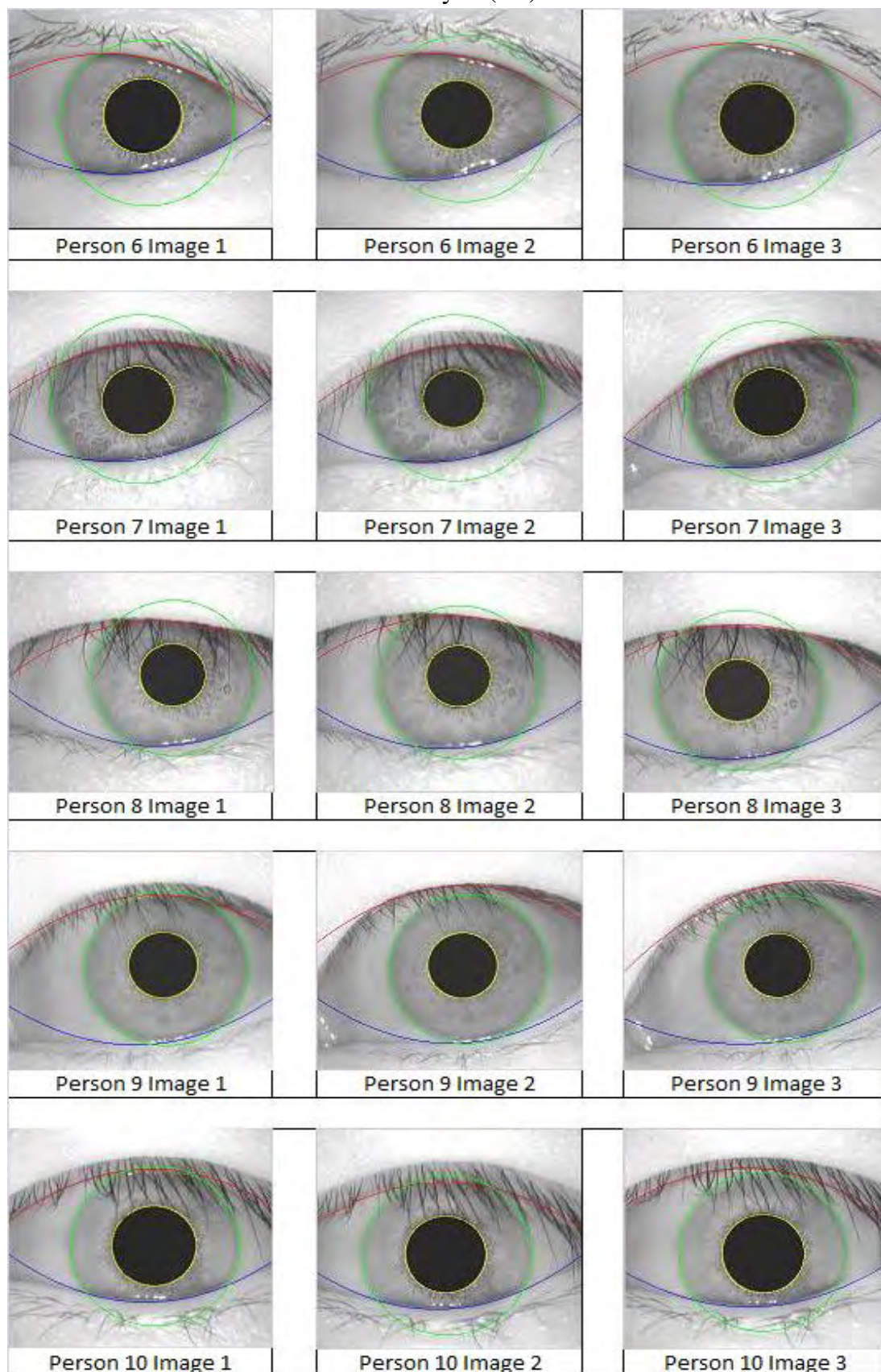


Πίνακας 9. Αποτελέσματα εύρεσης της κόρης, της ίριδας και των βλεφάρων βάσει του αλγορίθμου προσαρμοσμένων σημείων.

Πίνακας 10 (1/2)

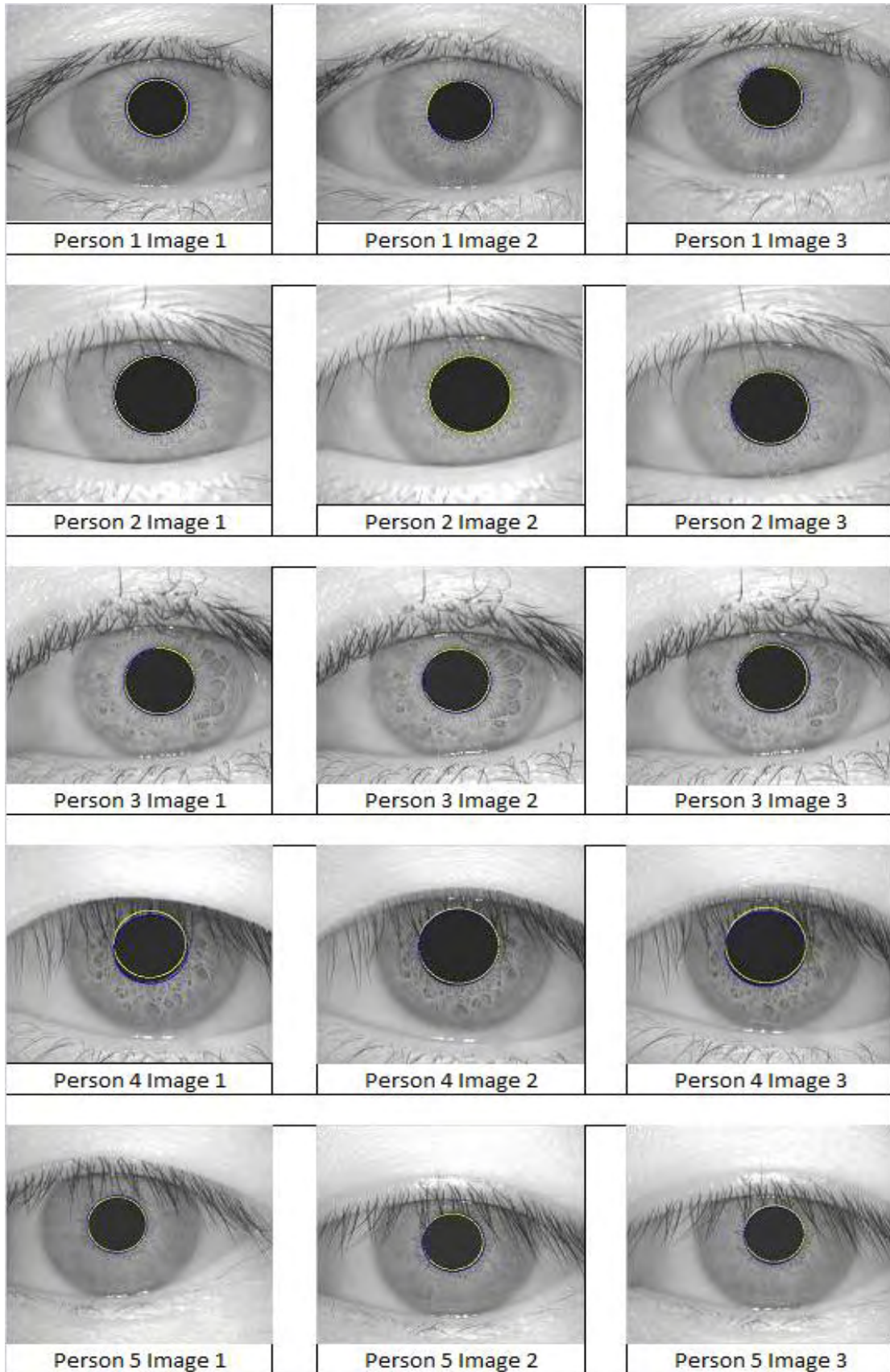


Πίνακας 10 (2/2)

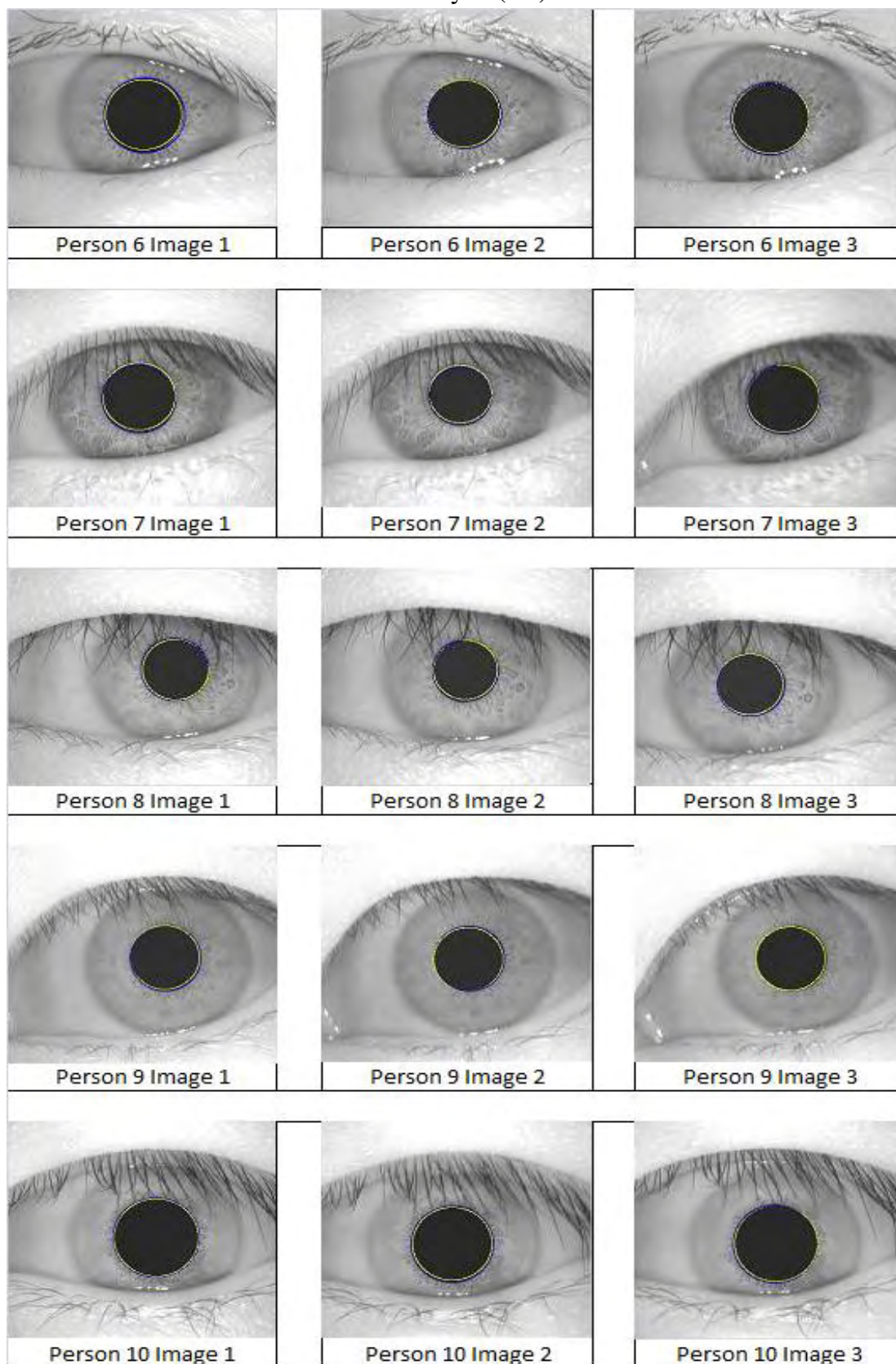


Πίνακας 10. Αποτελέσματα εύρεσης της κόρης, της ίριδας και των βλεφάρων βάσει του αλγορίθμου χειροκίνητης εισαγωγής σημείων.

Πίνακας 11 (1/2)

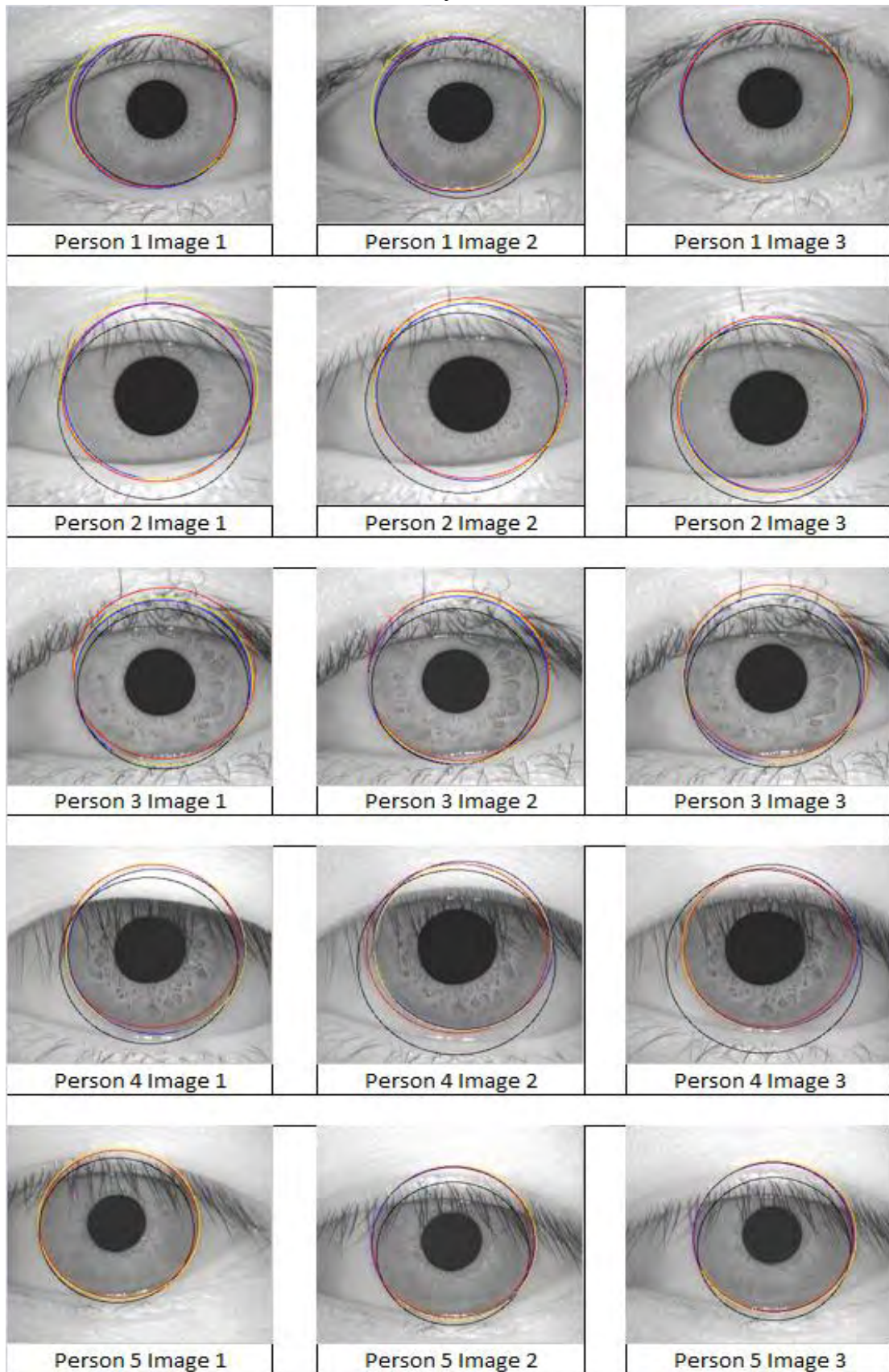


Πίνακας 11 (2/2)

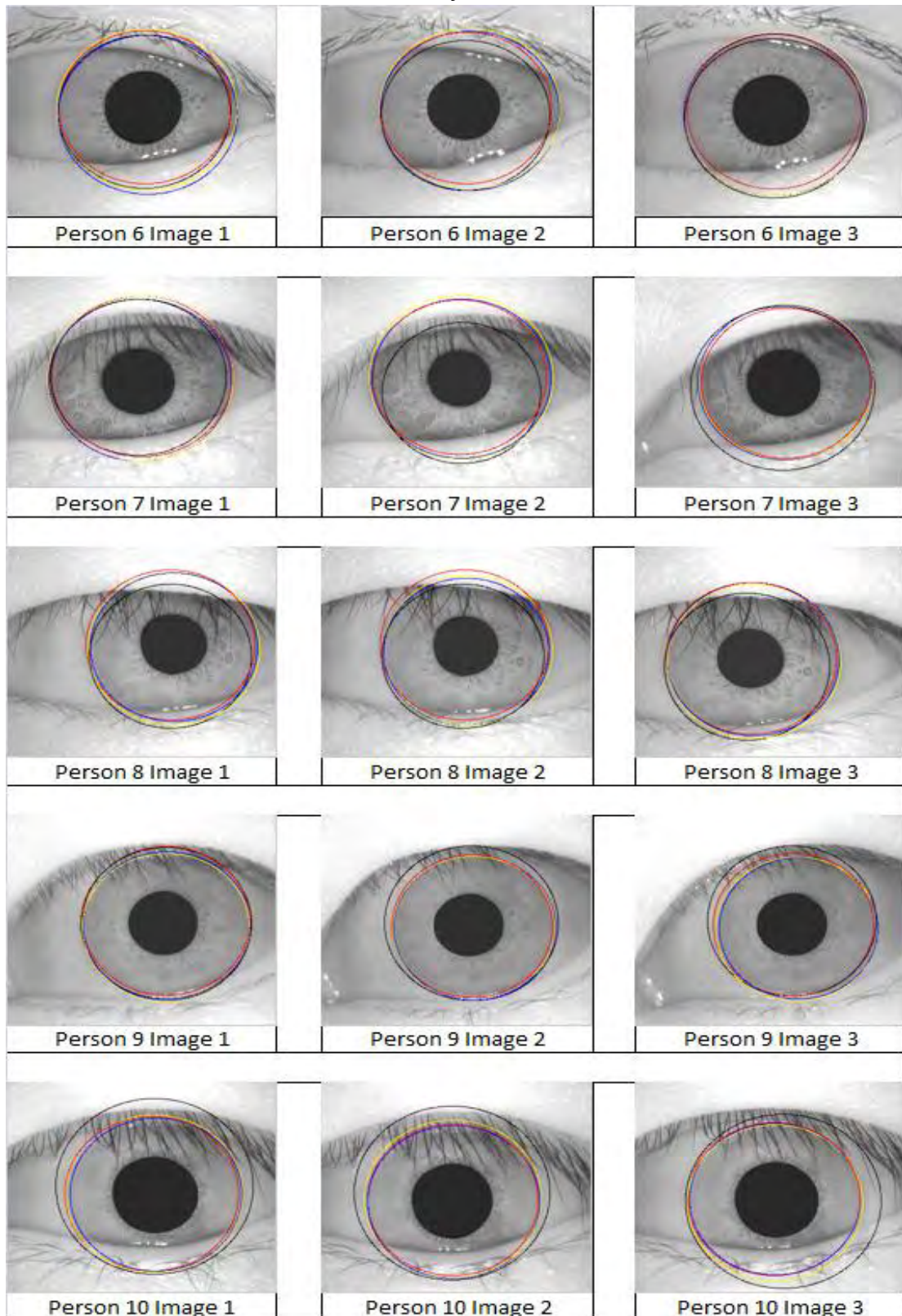


Πίνακας 11. Απεικονίσεις της κόρης όπως αυτή βρέθηκε από την αυτοματοποιημένη μέθοδο (κίτρινο) και τον αλγόριθμο χειροκίνητης εισαγωγής σημείων (μπλε).

Πίνακας 12 (1/2)

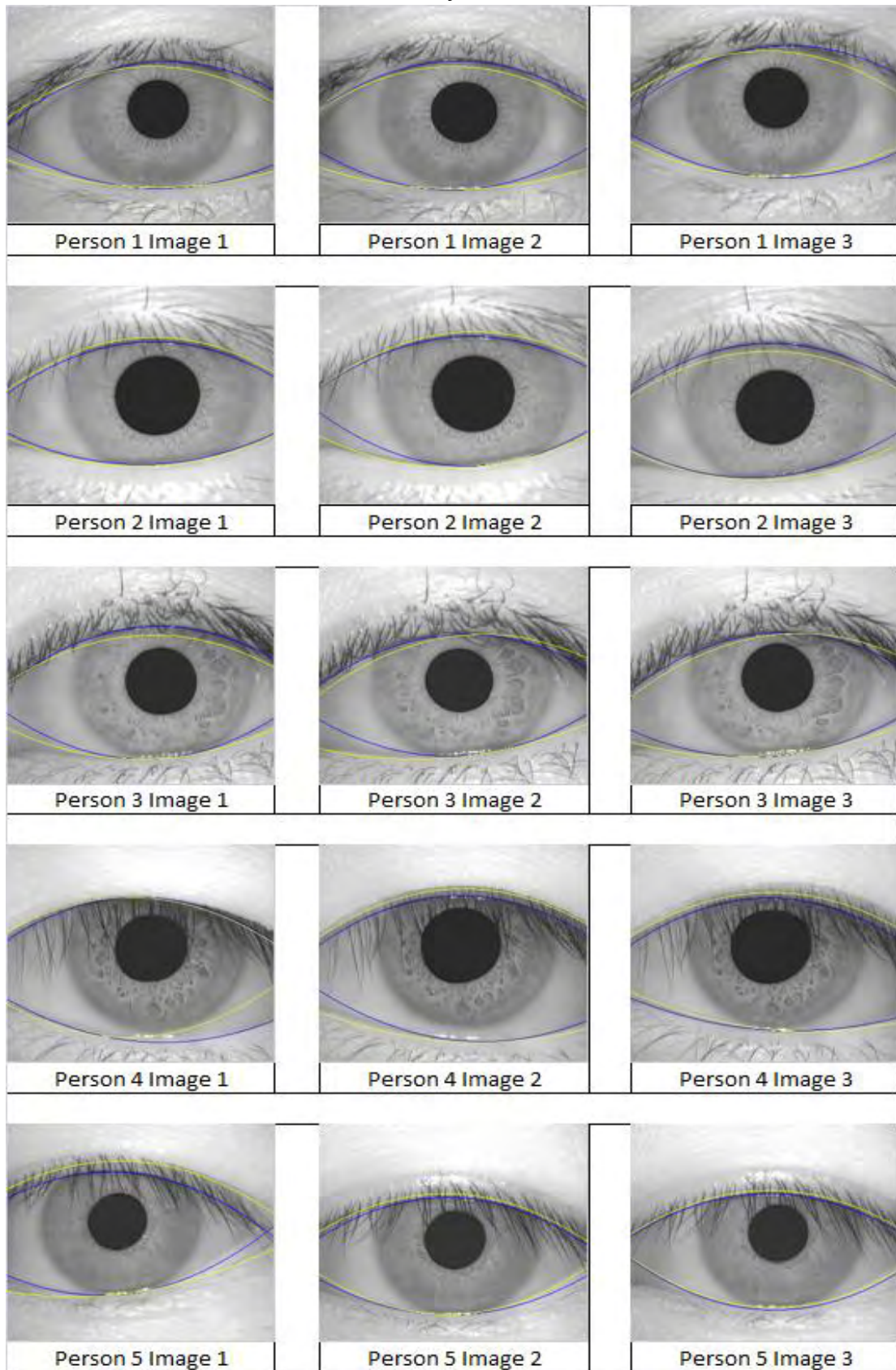


Πίνακας 12 (2/2)

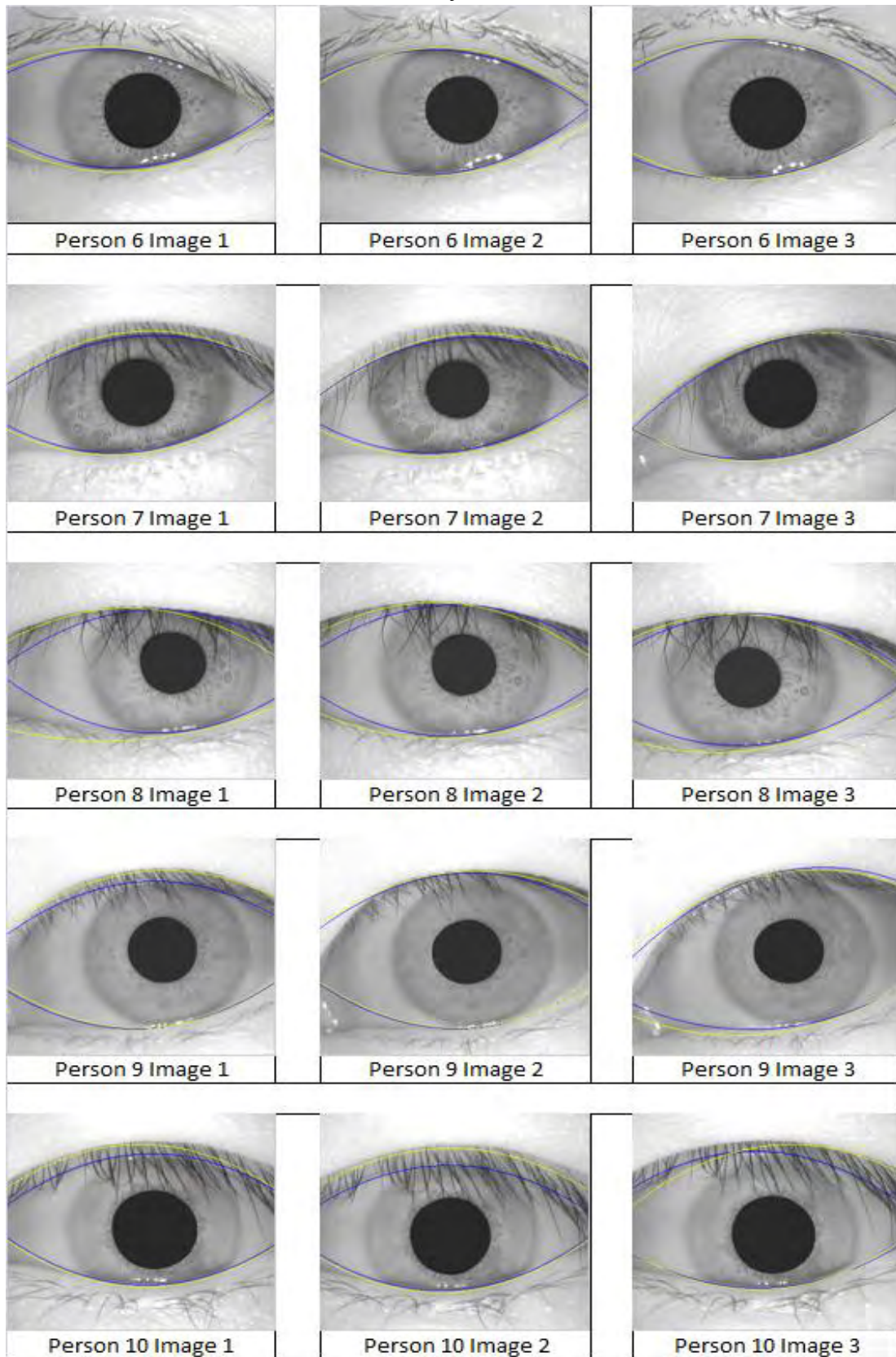


Πίνακας 12. Απεικονίσεις της ίριδας όπως αυτή βρέθηκε από τον μετασχηματισμό Hough (κίτρινο), τον αλγόριθμο χειροκίνητης εισαγωγής σημείων (μπλε), τον αλγόριθμο γεμίσματος πολυγώνου (κόκκινο) και τον αλγόριθμο προσαρμοσμένων σημείων (μαύρο).

Πίνακας 13 (1/2)



Πίνακας 13 (2/2)



Πίνακας 13. Απεικονίσεις των βλεφάρων όπως αυτά βρέθηκαν από την αυτοματοποιημένη μέθοδο (κίτρινο) και τον αλγόριθμο χειροκίνητης εισαγωγής σημείων (μπλε).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

Πίνακες αποτελεσμάτων σύγκρισης των αποστάσεων Hamming μεταξύ των εικόνων για όλες τις μεθόδους.

Πίνακας 14

		Person 1			Person 2			Person 3			Person 4			Person 5			Person 6			Person 7			Person 8			Person 9			Person 10		
		Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3
Person 1	Image 1	.00	.26	.25	.32	.37	.36	.34	.37	.35	.34	.40	.35	.45	.38	.35	.37	.38	.42	.35	.37	.39	.31	.41	.40	.42	.40	.43	.39	.40	.42
	Image 2	.26	.00	.25	.34	.38	.33	.34	.34	.32	.36	.34	.34	.38	.36	.31	.40	.43	.42	.43	.38	.43	.36	.41	.42	.40	.44	.40	.40	.45	.40
	Image 3	.25	.25	.00	.38	.36	.38	.35	.34	.37	.36	.35	.34	.41	.37	.34	.40	.40	.41	.36	.40	.43	.30	.36	.40	.44	.43	.40	.42	.44	.41
Person 2	Image 1	.32	.34	.38	.00	.25	.23	.32	.34	.33	.33	.37	.37	.38	.36	.34	.39	.36	.41	.32	.34	.36	.33	.40	.36	.45	.41	.43	.40	.40	.39
	Image 2	.37	.38	.36	.25	.00	.22	.39	.40	.38	.34	.32	.34	.38	.36	.39	.41	.39	.44	.30	.35	.35	.35	.41	.37	.46	.44	.44	.40	.41	.41
	Image 3	.36	.33	.38	.23	.22	.00	.38	.35	.37	.38	.38	.38	.38	.38	.38	.37	.42	.35	.32	.41	.37	.40	.39	.42	.42	.42	.41	.37	.39	.34
Person 3	Image 1	.34	.34	.35	.32	.39	.38	.00	.16	.18	.38	.34	.34	.39	.35	.34	.42	.35	.42	.43	.38	.37	.39	.37	.42	.42	.43	.44	.42	.44	.42
	Image 2	.37	.34	.34	.34	.40	.35	.16	.00	.18	.39	.39	.37	.41	.35	.36	.39	.38	.39	.41	.37	.39	.39	.36	.41	.41	.42	.40	.43	.47	.41
	Image 3	.35	.32	.37	.33	.38	.37	.18	.18	.00	.39	.34	.33	.37	.32	.30	.41	.37	.42	.42	.36	.37	.35	.42	.39	.40	.44	.44	.43	.45	.43
Person 4	Image 1	.34	.36	.36	.33	.34	.35	.38	.39	.39	.00	.28	.25	.42	.35	.36	.39	.41	.42	.38	.36	.37	.39	.39	.41	.45	.47	.47	.47	.45	.49
	Image 2	.40	.34	.35	.37	.32	.37	.34	.39	.34	.28	.00	.22	.38	.35	.32	.42	.41	.45	.40	.39	.36	.39	.38	.43	.44	.48	.48	.47	.45	.46
	Image 3	.35	.34	.34	.37	.34	.38	.34	.37	.33	.25	.22	.00	.38	.34	.33	.42	.39	.44	.36	.37	.36	.37	.39	.41	.47	.44	.46	.48	.46	.48
Person 5	Image 1	.45	.38	.41	.38	.38	.38	.39	.41	.37	.42	.38	.38	.00	.27	.32	.43	.44	.44	.45	.40	.40	.38	.41	.41	.46	.43	.44	.41	.42	.41
	Image 2	.38	.36	.37	.36	.36	.38	.35	.35	.32	.35	.35	.34	.27	.00	.23	.38	.40	.45	.40	.39	.37	.34	.42	.41	.48	.45	.45	.47	.45	.45
	Image 3	.35	.31	.34	.34	.39	.38	.34	.36	.30	.36	.32	.33	.32	.23	.00	.38	.39	.40	.41	.39	.38	.35	.40	.38	.46	.43	.45	.42	.45	.45
Person 6	Image 1	.37	.40	.40	.39	.41	.38	.42	.39	.41	.39	.42	.42	.43	.38	.38	.00	.40	.41	.39	.38	.38	.39	.37	.42	.38	.41	.41	.41	.41	.38
	Image 2	.38	.43	.40	.36	.39	.37	.35	.38	.37	.41	.41	.39	.44	.40	.39	.40	.00	.34	.30	.34	.33	.39	.49	.45	.35	.45	.40	.44	.41	.40
	Image 3	.42	.42	.41	.41	.44	.42	.42	.39	.42	.42	.45	.44	.44	.45	.40	.41	.34	.00	.33	.40	.40	.39	.44	.38	.43	.45	.43	.35	.37	.41
Person 7	Image 1	.35	.43	.36	.32	.30	.35	.43	.41	.42	.38	.40	.36	.45	.40	.41	.39	.30	.33	.00	.30	.30	.33	.40	.36	.42	.45	.45	.41	.40	.40
	Image 2	.37	.38	.40	.34	.35	.32	.38	.37	.36	.36	.39	.37	.40	.39	.39	.38	.34	.40	.30	.00	.28	.39	.40	.41	.37	.45	.47	.39	.38	.43
	Image 3	.39	.43	.43	.36	.35	.41	.37	.39	.37	.37	.36	.40	.37	.38	.38	.33	.40	.30	.28	.00	.40	.41	.38	.41	.47	.46	.39	.38	.44	
Person 8	Image 1	.31	.36	.30	.33	.35	.37	.39	.39	.35	.39	.39	.37	.38	.34	.35	.39	.39	.39	.33	.39	.40	.00	.35	.35	.45	.45	.44	.42	.41	.41
	Image 2	.41	.41	.36	.40	.41	.40	.37	.36	.42	.39	.38	.39	.41	.42	.40	.37	.45	.44	.40	.40	.41	.35	.00	.43	.40	.38	.41	.43	.43	.38
	Image 3	.40	.42	.40	.36	.37	.39	.42	.41	.39	.41	.43	.41	.41	.41	.38	.42	.35	.38	.36	.41	.38	.35	.43	.00	.47	.45	.44	.41	.45	.42
Person 9	Image 1	.42	.40	.44	.45	.46	.42	.42	.41	.40	.45	.44	.47	.46	.48	.46	.38	.45	.43	.42	.37	.41	.45	.40	.47	.00	.44	.42	.39	.37	.45
	Image 2	.40	.44	.43	.41	.44	.42	.43	.42	.44	.47	.48	.44	.43	.45	.43	.41	.40	.45	.45	.45	.47	.45	.38	.45	.44	.00	.24	.42	.40	.40
	Image 3	.43	.40	.40	.43	.44	.41	.44	.40	.44	.47	.48	.46	.44	.45	.45	.41	.44	.43	.45	.45	.47	.46	.44	.41	.44	.42	.24	.00	.44	.42
Person 10	Image 1	.39	.40	.42	.40	.40	.37	.42	.43	.43	.47	.47	.48	.41	.47	.42	.41	.41	.35	.41	.39	.39	.42	.43	.41	.39	.42	.44	.00	.27	.33
	Image 2	.40	.45	.44	.40	.41	.39	.44	.47	.45	.45	.45	.46	.42	.45	.45	.41	.40	.37	.40	.38	.38	.41	.43	.45	.37	.40	.42	.27	.00	.41
	Image 3	.42	.40	.41	.39	.41	.34	.42	.41	.43	.49	.46	.48	.41	.45	.45	.38	.40	.41	.40	.43	.44	.41	.38	.42	.45	.40	.41	.33	.41	.00

Πίνακας 14. Υπολογισμός της απόστασης Hamming για όλα τα ζεύγη που προκύπτουν από τις εικόνες της βάσης δεδομένων. Το σκιαγραφημένο τμήμα παρουσιάζει τις αποστάσεις Hamming μεταξύ των εικόνων που ανήκουν στο ίδιο άτομο και αφορούν διαφορετικά στιγμιότυπα του ίδιου οφθαλμού. Οι γραμμές του πίνακα αντιπροσωπεύουν εικόνες στις οποίες για την εύρεση της ίριδας χρησιμοποιήθηκε ο μετασχηματισμός Hough. Ο ίδιος αλγόριθμος χρησιμοποιήθηκε και για τις εικόνες που αντιπροσωπεύουν οι στήλες του πίνακα.

Πίνακας 15

		Person 1			Person 2			Person 3			Person 4			Person 5			Person 6			Person 7			Person 8			Person 9			Person 10					
		Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3
Person 1	Image 1	.00	.26	.26	.34	.36	.34	.34	.31	.34	.37	.32	.33	.43	.35	.37	.38	.38	.45	.39	.38	.41	.38	.38	.40	.44	.42	.41	.39	.41	.42			
	Image 2	.26	.00	.20	.33	.33	.28	.35	.31	.36	.37	.32	.34	.39	.33	.31	.44	.44	.41	.41	.40	.44	.36	.43	.42	.42	.46	.43	.42	.45	.43			
	Image 3	.26	.20	.00	.34	.35	.29	.37	.33	.36	.37	.32	.33	.42	.34	.34	.40	.43	.41	.36	.42	.45	.38	.37	.41	.40	.40	.39	.44	.47	.45			
Person 2	Image 1	.34	.33	.34	.00	.22	.17	.33	.35	.33	.36	.39	.37	.38	.38	.33	.36	.37	.37	.38	.38	.40	.38	.37	.40	.43	.38	.38	.40	.40	.41			
	Image 2	.36	.33	.35	.22	.00	.24	.39	.38	.37	.35	.35	.37	.39	.38	.37	.40	.40	.39	.36	.37	.39	.39	.39	.39	.41	.40	.39	.41	.43	.42			
	Image 3	.34	.28	.29	.17	.24	.00	.34	.30	.35	.34	.41	.38	.38	.37	.33	.36	.43	.34	.40	.40	.41	.39	.36	.42	.42	.37	.38	.41	.42	.41			
Person 3	Image 1	.34	.35	.37	.33	.39	.34	.00	.23	.19	.33	.37	.34	.41	.36	.34	.40	.37	.43	.45	.39	.39	.41	.39	.39	.45	.43	.45	.44	.43	.45			
	Image 2	.31	.31	.33	.35	.38	.30	.23	.00	.24	.36	.39	.36	.40	.33	.35	.38	.39	.40	.41	.38	.39	.34	.39	.38	.45	.41	.40	.41	.44	.42			
	Image 3	.34	.36	.36	.33	.37	.35	.19	.24	.00	.32	.36	.35	.40	.35	.36	.39	.37	.44	.43	.38	.37	.37	.39	.38	.45	.42	.42	.43	.43	.46			
Person 4	Image 1	.37	.37	.37	.36	.35	.34	.33	.36	.32	.00	.35	.34	.45	.35	.33	.41	.43	.43	.40	.38	.37	.38	.42	.40	.48	.47	.48	.45	.44	.49			
	Image 2	.32	.32	.32	.39	.35	.41	.37	.39	.36	.35	.00	.28	.42	.35	.35	.40	.39	.46	.40	.38	.33	.39	.38	.39	.45	.49	.47	.45	.44	.43			
	Image 3	.33	.34	.33	.37	.37	.38	.34	.36	.35	.34	.28	.00	.41	.37	.35	.41	.40	.42	.41	.39	.36	.37	.38	.40	.45	.45	.46	.49	.47	.46			
Person 5	Image 1	.43	.39	.42	.38	.39	.38	.41	.40	.40	.45	.42	.41	.00	.29	.31	.43	.43	.44	.45	.41	.41	.39	.40	.40	.47	.41	.42	.44	.43	.47			
	Image 2	.35	.33	.34	.38	.38	.37	.36	.33	.35	.35	.35	.37	.29	.00	.25	.39	.43	.49	.37	.42	.38	.37	.42	.42	.52	.44	.44	.47	.46	.47			
	Image 3	.37	.31	.34	.33	.37	.33	.34	.35	.36	.33	.35	.35	.31	.25	.00	.36	.44	.45	.40	.42	.37	.35	.40	.40	.47	.42	.46	.46	.45	.50			
Person 6	Image 1	.38	.44	.40	.36	.40	.36	.40	.38	.39	.41	.40	.41	.43	.39	.36	.00	.41	.43	.37	.39	.40	.37	.34	.42	.46	.43	.45	.40	.40	.41			
	Image 2	.38	.44	.43	.37	.40	.43	.37	.39	.37	.43	.39	.40	.43	.43	.44	.41	.00	.36	.31	.34	.33	.42	.40	.33	.41	.40	.42	.42	.42	.45			
	Image 3	.45	.41	.41	.37	.39	.34	.43	.40	.44	.43	.46	.42	.44	.49	.45	.43	.36	.00	.38	.40	.42	.43	.41	.40	.37	.43	.41	.38	.38	.39			
Person 7	Image 1	.39	.41	.36	.38	.36	.40	.45	.41	.43	.40	.40	.41	.45	.37	.40	.37	.31	.38	.00	.32	.39	.36	.40	.39	.40	.43	.41	.40	.42	.40			
	Image 2	.38	.40	.42	.38	.37	.40	.39	.38	.38	.38	.38	.39	.41	.42	.42	.39	.34	.40	.32	.00	.28	.43	.37	.40	.41	.44	.45	.41	.36	.41			
	Image 3	.41	.44	.45	.40	.39	.41	.39	.39	.37	.37	.33	.36	.41	.38	.37	.40	.33	.42	.39	.28	.00	.41	.39	.37	.43	.46	.47	.41	.40	.42			
Person 8	Image 1	.38	.36	.38	.38	.39	.36	.41	.34	.37	.38	.39	.37	.39	.37	.35	.37	.42	.43	.36	.43	.41	.00	.37	.34	.41	.43	.41	.41	.47	.42			
	Image 2	.38	.43	.37	.37	.39	.36	.39	.39	.39	.42	.38	.38	.40	.42	.40	.34	.40	.41	.40	.37	.39	.37	.00	.42	.41	.37	.37	.41	.40	.40			
	Image 3	.40	.42	.41	.40	.39	.42	.39	.38	.38	.40	.39	.40	.40	.42	.40	.42	.33	.40	.39	.40	.37	.34	.42	.00	.42	.43	.41	.43	.43	.45			
Person 9	Image 1	.44	.42	.40	.43	.41	.42	.45	.45	.45	.48	.45	.45	.47	.52	.47	.46	.41	.37	.40	.41	.43	.41	.41	.42	.00	.41	.41	.40	.43	.41			
	Image 2	.42	.46	.40	.38	.40	.37	.43	.41	.42	.47	.49	.45	.41	.44	.42	.43	.40	.43	.43	.44	.46	.43	.37	.43	.41	.00	.24	.45	.45	.41			
	Image 3	.41	.43	.39	.38	.39	.38	.45	.40	.42	.48	.47	.46	.42	.44	.46	.45	.42	.41	.41	.45	.47	.41	.37	.41	.41	.24	.00	.40	.44	.43			
Person 10	Image 1	.39	.42	.44	.40	.41	.41	.44	.41	.43	.45	.45	.49	.44	.47	.46	.40	.42	.38	.40	.41	.41	.41	.41	.43	.40	.45	.40	.00	.32	.27			
	Image 2	.41	.45	.47	.40	.43	.42	.43	.44	.43	.44	.44	.47	.43	.46	.45	.40	.42	.38	.42	.36	.40	.47	.40	.43	.43	.45	.44	.32	.00	.35			
	Image 3	.42	.43	.45	.41	.42	.41	.45	.42	.46	.49	.43	.46	.47	.47	.50	.41	.45	.39	.40	.41	.42	.42	.40	.45	.41	.41	.43	.27	.35	.00			

Πίνακας 15. Υπολογισμός της απόστασης Hamming για όλα τα ζεύγη που προκύπτουν από τις εικόνες της βάσης δεδομένων. Το σκιαγραφημένο τμήμα παρουσιάζει τις αποστάσεις Hamming μεταξύ των εικόνων που ανήκουν στο ίδιο άτομο και αφορούν διαφορετικά στιγμιότυπα του ίδιου οφθαλμού. Οι γραμμές του πίνακα αντιπροσωπεύουν εικόνες στις οποίες για την εύρεση της ίριδας χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος γεμίματος πολυγώνου. Ο ίδιος αλγόριθμος χρησιμοποιήθηκε και για τις εικόνες που αντιπροσωπεύουν οι στήλες του πίνακα.

Πίνακας 16

		Person 1			Person 2			Person 3			Person 4			Person 5			Person 6			Person 7			Person 8			Person 9			Person 10		
		Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3
Person 1	Image 1	.00	.22	.20	.35	.37	.35	.35	.34	.36	.35	.36	.35	.40	.38	.37	.38	.39	.41	.37	.34	.39	.40	.35	.41	.38	.44	.39	.41	.38	.40
	Image 2	.22	.00	.19	.38	.38	.34	.33	.36	.36	.38	.36	.35	.35	.39	.34	.40	.43	.43	.41	.39	.44	.34	.37	.43	.39	.45	.40	.43	.45	.43
	Image 3	.20	.19	.00	.38	.37	.37	.35	.37	.36	.38	.34	.34	.36	.37	.36	.41	.40	.42	.36	.39	.40	.36	.33	.44	.39	.43	.39	.43	.42	.44
Person 2	Image 1	.35	.38	.38	.00	.25	.25	.38	.35	.35	.31	.31	.27	.34	.34	.34	.39	.35	.39	.30	.32	.34	.36	.40	.36	.46	.41	.45	.34	.39	.39
	Image 2	.37	.38	.37	.25	.00	.25	.41	.35	.39	.31	.35	.31	.37	.36	.34	.35	.35	.42	.31	.31	.32	.32	.40	.34	.44	.44	.43	.38	.40	.41
	Image 3	.35	.34	.37	.25	.25	.00	.38	.36	.40	.38	.36	.36	.34	.37	.39	.39	.43	.36	.34	.38	.33	.36	.38	.41	.43	.40	.33	.38	.38	.38
Person 3	Image 1	.35	.33	.35	.38	.41	.38	.00	.19	.20	.39	.39	.37	.31	.36	.33	.40	.39	.43	.39	.38	.39	.35	.42	.39	.42	.39	.41	.44	.42	.44
	Image 2	.34	.36	.37	.35	.35	.36	.19	.00	.17	.36	.37	.37	.35	.31	.34	.41	.40	.42	.37	.37	.36	.35	.41	.40	.42	.38	.41	.43	.41	.44
	Image 3	.36	.36	.36	.35	.39	.40	.20	.17	.00	.38	.33	.31	.32	.33	.32	.40	.38	.42	.37	.38	.36	.37	.44	.40	.43	.40	.38	.46	.43	.43
Person 4	Image 1	.35	.38	.38	.31	.31	.38	.39	.36	.38	.00	.31	.28	.38	.35	.35	.38	.39	.44	.32	.34	.40	.37	.40	.39	.44	.46	.46	.44	.43	.44
	Image 2	.36	.36	.34	.31	.35	.36	.39	.37	.33	.31	.00	.19	.34	.30	.35	.40	.42	.43	.35	.37	.36	.39	.44	.42	.40	.46	.47	.45	.46	.45
	Image 3	.35	.35	.34	.27	.31	.36	.37	.37	.31	.28	.19	.00	.37	.33	.32	.41	.42	.44	.34	.37	.37	.38	.43	.41	.44	.45	.45	.43	.45	.45
Person 5	Image 1	.40	.35	.36	.34	.37	.34	.31	.35	.32	.38	.34	.37	.00	.26	.27	.39	.41	.44	.40	.36	.39	.37	.43	.42	.46	.42	.45	.44	.39	.43
	Image 2	.38	.39	.37	.34	.36	.37	.36	.31	.33	.35	.30	.33	.26	.00	.25	.41	.42	.47	.38	.38	.37	.38	.44	.40	.44	.44	.45	.46	.42	.45
	Image 3	.37	.34	.36	.34	.34	.39	.33	.34	.32	.35	.35	.32	.27	.25	.00	.37	.42	.45	.39	.39	.36	.37	.41	.37	.47	.45	.47	.46	.42	.47
Person 6	Image 1	.38	.40	.41	.39	.35	.39	.40	.41	.40	.38	.40	.41	.39	.41	.37	.00	.37	.43	.35	.35	.38	.39	.40	.40	.43	.45	.44	.34	.32	.34
	Image 2	.39	.43	.40	.35	.35	.39	.39	.40	.38	.39	.42	.42	.41	.42	.42	.37	.00	.25	.32	.37	.33	.40	.46	.34	.44	.48	.42	.36	.38	.44
	Image 3	.41	.43	.42	.39	.42	.43	.43	.42	.42	.44	.43	.44	.44	.47	.45	.43	.25	.00	.33	.38	.35	.43	.45	.36	.40	.47	.43	.37	.35	.42
Person 7	Image 1	.37	.41	.36	.30	.31	.36	.39	.37	.37	.32	.35	.34	.40	.38	.39	.35	.32	.33	.00	.28	.30	.36	.42	.35	.41	.42	.44	.38	.36	.41
	Image 2	.34	.39	.39	.32	.31	.34	.38	.37	.38	.34	.37	.37	.36	.38	.39	.35	.37	.38	.28	.00	.27	.38	.41	.35	.41	.43	.42	.39	.33	.38
	Image 3	.39	.44	.40	.34	.32	.38	.39	.36	.36	.40	.36	.37	.39	.37	.36	.38	.33	.35	.30	.27	.00	.41	.37	.35	.40	.44	.41	.40	.36	.42
Person 8	Image 1	.40	.34	.36	.36	.32	.33	.35	.35	.37	.37	.39	.38	.37	.38	.37	.39	.40	.43	.36	.38	.41	.00	.36	.33	.41	.45	.43	.41	.41	.44
	Image 2	.35	.37	.33	.40	.40	.36	.42	.41	.44	.40	.44	.43	.43	.44	.41	.40	.46	.45	.42	.41	.37	.36	.00	.43	.38	.42	.42	.39	.37	.43
	Image 3	.41	.43	.44	.36	.34	.38	.39	.40	.40	.39	.42	.41	.42	.40	.37	.40	.34	.36	.35	.35	.35	.33	.43	.00	.41	.44	.42	.37	.35	.45
Person 9	Image 1	.38	.39	.39	.46	.44	.41	.42	.42	.43	.44	.40	.44	.46	.44	.47	.43	.44	.40	.41	.41	.40	.41	.38	.41	.00	.45	.36	.40	.40	.43
	Image 2	.44	.45	.43	.41	.44	.43	.39	.38	.40	.46	.46	.45	.42	.44	.45	.45	.48	.47	.42	.43	.44	.45	.42	.44	.45	.00	.32	.45	.43	.38
	Image 3	.39	.40	.39	.45	.43	.40	.41	.41	.38	.46	.47	.45	.45	.45	.47	.44	.42	.43	.44	.42	.41	.43	.42	.42	.36	.32	.00	.42	.41	.41
Person 10	Image 1	.41	.43	.43	.34	.38	.33	.44	.43	.46	.44	.45	.43	.44	.46	.46	.34	.36	.37	.38	.39	.40	.41	.39	.37	.40	.45	.42	.00	.25	.30
	Image 2	.38	.45	.42	.39	.40	.38	.42	.41	.43	.43	.46	.45	.39	.42	.42	.32	.38	.35	.36	.33	.36	.41	.37	.35	.40	.43	.41	.25	.00	.31
	Image 3	.40	.43	.44	.39	.41	.38	.44	.44	.43	.44	.45	.45	.43	.45	.47	.34	.44	.42	.41	.38	.42	.44	.43	.45	.43	.38	.41	.30	.31	.00

Πίνακας 16. Υπολογισμός της απόστασης Hamming για όλα τα ζεύγη που προκύπτουν από τις εικόνες της βάσης δεδομένων. Το σκιαγραφημένο τμήμα παρουσιάζει τις αποστάσεις Hamming μεταξύ των εικόνων που ανήκουν στο ίδιο άτομο και αφορούν διαφορετικά στιγμιότυπα του ίδιου οφθαλμού. Οι γραμμές του πίνακα αντιπροσωπεύουν εικόνες στις οποίες για την εύρεση της ίριδας χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος χειροκίνητης εισαγωγής σημείων. Ο ίδιος αλγόριθμος χρησιμοποιήθηκε και για τις εικόνες που αντιπροσωπεύουν οι στήλες του πίνακα.

Πίνακας 17

		Person 1			Person 2			Person 3			Person 4			Person 5			Person 6			Person 7			Person 8			Person 9			Person 10		
		Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3
Person 1	Image 1	.00	.33	.29	.47	.46	.43	.33	.34	.35	.37	.33	.34	.44	.41	.41	.36	.41	.42	.35	.47	.37	.39	.42	.45	.41	.45	.45	.48	.47	.47
	Image 2	.33	.00	.20	.44	.43	.41	.32	.33	.31	.40	.36	.32	.42	.40	.38	.41	.45	.42	.39	.43	.40	.45	.45	.43	.43	.45	.39	.43	.45	.47
	Image 3	.29	.20	.00	.45	.44	.43	.32	.33	.34	.39	.38	.35	.43	.39	.41	.41	.42	.42	.36	.44	.39	.40	.43	.46	.39	.44	.37	.44	.45	.47
Person 2	Image 1	.47	.44	.45	.00	.27	.23	.42	.42	.42	.43	.46	.45	.47	.41	.43	.41	.45	.41	.43	.41	.39	.41	.41	.44	.48	.47	.48	.27	.30	.30
	Image 2	.46	.43	.44	.27	.00	.28	.48	.47	.47	.46	.45	.44	.48	.43	.45	.40	.40	.44	.46	.40	.42	.45	.48	.46	.52	.46	.49	.30	.33	.30
	Image 3	.43	.41	.43	.23	.28	.00	.40	.43	.40	.41	.44	.38	.46	.44	.40	.40	.43	.39	.41	.40	.35	.40	.45	.43	.45	.46	.47	.28	.29	.31
Person 3	Image 1	.33	.32	.32	.42	.48	.40	.00	.26	.21	.36	.40	.32	.44	.40	.38	.44	.43	.41	.34	.47	.38	.40	.40	.42	.41	.44	.42	.45	.45	.47
	Image 2	.34	.33	.33	.42	.47	.43	.26	.00	.22	.38	.38	.36	.40	.35	.35	.39	.42	.43	.35	.44	.40	.39	.41	.41	.43	.39	.36	.42	.44	.47
	Image 3	.35	.31	.34	.42	.47	.40	.21	.22	.00	.40	.40	.35	.42	.35	.37	.41	.41	.42	.36	.41	.39	.40	.40	.41	.42	.43	.39	.44	.45	.46
Person 4	Image 1	.37	.40	.39	.43	.46	.41	.36	.38	.40	.00	.39	.37	.44	.38	.39	.38	.40	.45	.41	.38	.35	.37	.44	.42	.43	.44	.44	.43	.43	.47
	Image 2	.33	.36	.38	.46	.45	.44	.40	.38	.40	.39	.00	.25	.38	.34	.33	.40	.43	.43	.37	.40	.36	.39	.43	.43	.45	.39	.42	.42	.44	.45
	Image 3	.34	.32	.35	.45	.44	.38	.32	.36	.35	.37	.25	.00	.40	.38	.34	.39	.43	.39	.36	.40	.35	.35	.42	.46	.42	.41	.43	.41	.42	.46
Person 5	Image 1	.44	.42	.43	.47	.48	.46	.44	.40	.42	.44	.38	.40	.00	.33	.33	.43	.46	.45	.41	.41	.43	.40	.43	.40	.42	.44	.43	.42	.44	.47
	Image 2	.41	.40	.39	.41	.43	.44	.40	.35	.35	.38	.34	.38	.33	.00	.29	.37	.42	.44	.40	.42	.40	.35	.38	.42	.45	.43	.42	.45	.48	.47
	Image 3	.41	.38	.41	.43	.45	.40	.38	.35	.37	.39	.33	.34	.33	.29	.00	.36	.43	.42	.36	.43	.37	.38	.41	.41	.43	.46	.44	.45	.47	.44
Person 6	Image 1	.36	.41	.41	.41	.40	.40	.44	.39	.41	.38	.40	.39	.43	.37	.36	.00	.34	.36	.40	.38	.36	.36	.38	.44	.44	.44	.48	.41	.40	.43
	Image 2	.41	.45	.42	.45	.40	.43	.43	.42	.41	.40	.43	.43	.46	.42	.43	.34	.00	.39	.38	.34	.36	.42	.41	.39	.38	.45	.46	.42	.42	.37
	Image 3	.42	.42	.42	.41	.44	.39	.41	.43	.42	.45	.43	.39	.45	.44	.42	.36	.39	.00	.37	.33	.37	.39	.40	.42	.39	.47	.46	.45	.43	.42
Person 7	Image 1	.35	.39	.36	.43	.46	.41	.34	.35	.36	.41	.37	.36	.41	.40	.36	.40	.38	.37	.00	.41	.34	.40	.45	.36	.37	.41	.43	.38	.41	.42
	Image 2	.47	.43	.44	.41	.40	.40	.47	.44	.41	.38	.40	.40	.41	.42	.43	.38	.34	.33	.41	.00	.39	.46	.41	.35	.42	.38	.40	.43	.39	.43
	Image 3	.37	.40	.39	.39	.42	.35	.38	.40	.39	.35	.36	.35	.43	.40	.37	.36	.36	.37	.34	.39	.00	.36	.43	.42	.42	.46	.46	.38	.38	.40
Person 8	Image 1	.39	.45	.40	.41	.45	.40	.40	.39	.40	.37	.39	.35	.40	.35	.38	.36	.42	.39	.40	.46	.36	.00	.39	.44	.47	.46	.42	.44	.45	.46
	Image 2	.42	.45	.43	.41	.48	.45	.40	.41	.40	.44	.43	.42	.43	.38	.41	.38	.41	.40	.45	.41	.43	.39	.00	.43	.41	.44	.44	.43	.45	.44
	Image 3	.45	.43	.46	.44	.46	.43	.42	.41	.41	.42	.43	.46	.40	.42	.41	.44	.39	.42	.36	.35	.42	.44	.43	.00	.43	.44	.44	.40	.40	.44
Person 9	Image 1	.41	.43	.39	.48	.52	.45	.41	.43	.42	.43	.45	.42	.42	.45	.43	.44	.38	.39	.37	.42	.42	.47	.41	.43	.00	.41	.44	.48	.49	.50
	Image 2	.45	.45	.44	.47	.46	.46	.44	.39	.43	.44	.39	.41	.44	.43	.46	.44	.45	.47	.41	.38	.46	.46	.44	.44	.41	.00	.28	.45	.45	.48
	Image 3	.45	.39	.37	.48	.49	.47	.42	.36	.39	.44	.42	.43	.43	.42	.44	.48	.46	.46	.43	.40	.46	.42	.44	.44	.44	.28	.00	.45	.47	.51
Person 10	Image 1	.48	.43	.44	.27	.30	.28	.45	.42	.44	.43	.42	.41	.42	.45	.45	.41	.42	.45	.38	.43	.38	.44	.43	.40	.48	.45	.45	.00	.14	.24
	Image 2	.47	.45	.45	.30	.33	.29	.45	.44	.45	.43	.44	.42	.44	.48	.47	.40	.42	.43	.41	.39	.38	.45	.45	.40	.49	.45	.47	.14	.00	.25
	Image 3	.47	.47	.47	.30	.30	.31	.47	.47	.46	.47	.45	.46	.47	.47	.44	.43	.37	.42	.42	.43	.40	.46	.44	.44	.50	.48	.51	.24	.25	.00

Πίνακας 17. Υπολογισμός της απόστασης Hamming για όλα τα ζεύγη που προκύπτουν από τις εικόνες της βάσης δεδομένων. Το σκιαγραφημένο τμήμα παρουσιάζει τις αποστάσεις Hamming μεταξύ των εικόνων που ανήκουν στο ίδιο άτομο και αφορούν διαφορετικά στιγμιότυπα του ίδιου οφθαλμού. Οι γραμμές του πίνακα αντιπροσωπεύουν εικόνες στις οποίες για την εύρεση της ίριδας χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος προσαρμοσμένων σημείων. Ο ίδιος αλγόριθμος χρησιμοποιήθηκε και για τις εικόνες που αντιπροσωπεύουν οι στήλες του πίνακα.

Πίνακας 18

		Person 1			Person 2			Person 3			Person 4			Person 5			Person 6			Person 7			Person 8			Person 9			Person 10		
		Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3
Person 1	Image 1	.20	.28	.26	.34	.38	.32	.33	.33	.32	.34	.36	.35	.45	.37	.39	.37	.39	.45	.35	.39	.42	.33	.37	.40	.41	.42	.42	.38	.42	.42
	Image 2	.26	.20	.26	.34	.37	.30	.36	.33	.34	.37	.33	.33	.39	.35	.33	.39	.45	.44	.44	.40	.43	.36	.41	.41	.46	.45	.41	.42	.44	.40
	Image 3	.24	.18	.16	.31	.35	.30	.36	.34	.34	.37	.34	.34	.40	.37	.32	.40	.43	.42	.36	.40	.44	.34	.39	.41	.41	.42	.40	.41	.43	.43
Person 2	Image 1	.33	.38	.38	.23	.26	.29	.34	.34	.30	.33	.36	.35	.42	.37	.38	.37	.36	.40	.38	.32	.33	.36	.37	.40	.43	.41	.42	.42	.43	.42
	Image 2	.39	.33	.37	.23	.12	.27	.38	.38	.38	.35	.33	.33	.39	.38	.38	.38	.40	.41	.36	.34	.36	.38	.39	.39	.42	.42	.43	.39	.42	.40
	Image 3	.37	.34	.34	.24	.25	.21	.40	.35	.38	.38	.36	.35	.41	.35	.40	.37	.39	.40	.37	.34	.41	.37	.37	.41	.42	.40	.41	.40	.42	.36
Person 3	Image 1	.30	.37	.36	.37	.38	.39	.28	.24	.26	.38	.37	.33	.40	.37	.36	.42	.34	.42	.40	.38	.38	.39	.37	.38	.43	.43	.42	.41	.46	.41
	Image 2	.32	.33	.33	.37	.40	.35	.32	.14	.30	.38	.41	.37	.41	.37	.35	.38	.37	.41	.37	.38	.42	.35	.38	.38	.45	.42	.39	.41	.46	.41
	Image 3	.35	.35	.37	.33	.38	.34	.28	.19	.25	.40	.38	.33	.37	.35	.33	.40	.35	.41	.41	.37	.37	.35	.41	.36	.45	.44	.43	.45	.43	.44
Person 4	Image 1	.37	.34	.38	.37	.36	.36	.35	.37	.33	.21	.32	.26	.43	.34	.36	.38	.43	.46	.38	.37	.37	.35	.40	.41	.47	.46	.47	.46	.44	.49
	Image 2	.39	.34	.36	.38	.35	.39	.35	.39	.34	.38	.25	.20	.40	.35	.33	.39	.42	.43	.40	.40	.37	.38	.41	.41	.45	.49	.47	.47	.46	.47
	Image 3	.36	.32	.32	.38	.36	.37	.35	.35	.34	.35	.30	.15	.40	.36	.33	.41	.43	.47	.40	.41	.36	.35	.39	.42	.43	.43	.44	.48	.45	.47
Person 5	Image 1	.43	.38	.43	.38	.38	.40	.42	.40	.40	.45	.41	.39	.13	.29	.33	.43	.42	.45	.45	.40	.39	.39	.42	.39	.45	.41	.43	.43	.44	.45
	Image 2	.38	.33	.34	.39	.36	.38	.37	.35	.36	.35	.35	.34	.28	.14	.25	.41	.43	.47	.37	.39	.37	.35	.39	.40	.49	.45	.42	.46	.47	.46
	Image 3	.35	.32	.33	.35	.37	.33	.31	.33	.33	.31	.34	.33	.33	.25	.11	.36	.43	.45	.42	.39	.37	.33	.39	.37	.46	.42	.43	.44	.44	.48
Person 6	Image 1	.38	.41	.40	.37	.43	.39	.40	.40	.40	.41	.42	.42	.44	.36	.38	.19	.42	.45	.36	.39	.42	.38	.39	.42	.47	.44	.46	.41	.41	.38
	Image 2	.39	.43	.42	.35	.38	.38	.40	.38	.35	.42	.39	.40	.44	.40	.40	.37	.23	.36	.33	.34	.32	.40	.41	.36	.39	.40	.42	.38	.40	.39
	Image 3	.42	.41	.42	.42	.44	.39	.43	.39	.44	.42	.45	.41	.43	.45	.44	.41	.38	.24	.36	.38	.40	.40	.45	.41	.40	.47	.43	.35	.38	.38
Person 7	Image 1	.38	.39	.37	.34	.31	.36	.43	.41	.40	.40	.37	.38	.47	.40	.40	.35	.33	.35	.19	.31	.33	.36	.41	.39	.38	.47	.44	.42	.38	.41
	Image 2	.36	.38	.40	.34	.34	.36	.39	.36	.36	.36	.36	.39	.40	.40	.40	.39	.33	.42	.29	.21	.30	.41	.38	.39	.43	.44	.44	.40	.33	.42
	Image 3	.40	.44	.43	.41	.37	.43	.38	.39	.38	.38	.35	.38	.39	.39	.38	.37	.33	.43	.34	.27	.17	.42	.42	.37	.42	.48	.49	.40	.38	.43
Person 8	Image 1	.33	.33	.34	.36	.33	.35	.39	.35	.36	.38	.35	.37	.37	.35	.36	.39	.39	.35	.39	.37	.22	.38	.43	.44	.44	.40	.44	.45	.45	
	Image 2	.36	.42	.36	.38	.42	.40	.37	.40	.41	.43	.38	.38	.39	.42	.39	.34	.42	.42	.40	.37	.41	.40	.26	.45	.43	.40	.42	.42	.43	.40
	Image 3	.40	.39	.40	.38	.35	.41	.39	.41	.37	.42	.42	.41	.43	.43	.42	.40	.30	.38	.38	.41	.39	.36	.40	.23	.40	.42	.40	.40	.43	.45
Person 9	Image 1	.40	.41	.42	.45	.46	.41	.44	.42	.43	.46	.41	.44	.45	.50	.48	.43	.44	.43	.45	.34	.40	.45	.42	.42	.33	.49	.44	.40	.36	.41
	Image 2	.41	.49	.40	.40	.44	.39	.45	.42	.45	.46	.47	.42	.45	.46	.44	.40	.43	.42	.44	.45	.45	.43	.37	.44	.40	.18	.31	.42	.42	.38
	Image 3	.41	.44	.40	.40	.44	.41	.46	.43	.45	.49	.45	.44	.43	.46	.44	.41	.45	.44	.43	.46	.45	.43	.40	.44	.42	.31	.27	.42	.43	.41
Person 10	Image 1	.40	.43	.43	.40	.42	.40	.43	.41	.44	.45	.46	.47	.42	.47	.45	.39	.41	.36	.40	.39	.41	.41	.41	.42	.39	.43	.40	.14	.31	.29
	Image 2	.41	.45	.44	.39	.44	.42	.44	.47	.42	.41	.44	.45	.44	.44	.46	.41	.40	.38	.41	.39	.38	.45	.42	.46	.38	.43	.45	.31	.22	.35
	Image 3	.42	.42	.41	.39	.41	.40	.43	.42	.44	.50	.42	.46	.45	.45	.48	.39	.43	.41	.40	.40	.45	.42	.37	.47	.45	.40	.43	.34	.39	.19

Πίνακας 18. Υπολογισμός της απόστασης Hamming για όλα τα ζεύγη που προκύπτουν από τις εικόνες της βάσης δεδομένων. Το σκιαγραφημένο τμήμα παρουσιάζει τις αποστάσεις Hamming μεταξύ των εικόνων που ανήκουν στο ίδιο άτομο και αφορούν διαφορετικά στιγμιότυπα του ίδιου οφθαλμού. Οι γραμμές του πίνακα αντιπροσωπεύουν εικόνες στις οποίες για την εύρεση της ίριδας χρησιμοποιήθηκε ο μετασχηματισμός Hough. Οι στήλες του πίνακα αντιπροσωπεύουν εικόνες στις οποίες για την εύρεση της ίριδας χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος γεμίματος πολυγώνου.

Πίνακας 20

		Person 1			Person 2			Person 3			Person 4			Person 5			Person 6			Person 7			Person 8			Person 9			Person 10		
		Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3	Img 1	Img 2	Img 3
Person 1	Image 1	.22	.30	.26	.32	.38	.38	.32	.35	.34	.33	.36	.33	.37	.36	.35	.38	.37	.40	.39	.36	.39	.38	.39	.39	.40	.40	.41	.41	.40	.43
	Image 2	.23	.18	.22	.37	.32	.35	.35	.32	.34	.34	.35	.35	.37	.38	.37	.39	.41	.42	.39	.38	.44	.35	.41	.42	.40	.47	.44	.42	.44	.44
	Image 3	.26	.20	.17	.37	.33	.37	.35	.33	.34	.37	.35	.35	.39	.36	.37	.41	.41	.42	.39	.42	.42	.35	.38	.43	.41	.40	.39	.43	.45	.45
Person 2	Image 1	.34	.35	.37	.16	.21	.24	.40	.34	.35	.32	.36	.31	.34	.34	.35	.37	.36	.41	.31	.35	.35	.37	.38	.35	.45	.39	.41	.37	.37	.39
	Image 2	.38	.39	.38	.23	.16	.26	.39	.36	.38	.32	.36	.33	.33	.36	.36	.36	.36	.44	.30	.31	.36	.33	.42	.36	.45	.45	.43	.36	.42	.43
	Image 3	.33	.30	.35	.25	.27	.24	.41	.35	.36	.37	.37	.36	.36	.35	.34	.39	.40	.41	.37	.35	.38	.34	.40	.40	.41	.42	.41	.36	.41	.40
Person 3	Image 1	.39	.41	.38	.36	.38	.40	.38	.36	.28	.36	.33	.35	.37	.36	.36	.43	.39	.43	.39	.42	.39	.40	.41	.39	.43	.46	.46	.43	.43	.43
	Image 2	.32	.35	.37	.36	.39	.34	.31	.24	.24	.36	.34	.37	.36	.36	.36	.43	.40	.42	.38	.39	.41	.38	.43	.41	.42	.44	.45	.42	.43	.43
	Image 3	.38	.36	.37	.32	.38	.38	.37	.35	.29	.36	.33	.33	.35	.32	.35	.43	.36	.44	.40	.37	.39	.39	.43	.39	.41	.45	.45	.41	.44	.44
Person 4	Image 1	.40	.44	.39	.35	.35	.41	.40	.37	.38	.36	.38	.41	.39	.36	.36	.39	.37	.44	.38	.35	.34	.39	.42	.40	.45	.46	.47	.46	.45	.51
	Image 2	.33	.33	.32	.37	.36	.36	.36	.40	.39	.31	.29	.30	.38	.36	.38	.42	.40	.42	.36	.35	.36	.36	.39	.40	.39	.45	.44	.44	.45	.45
	Image 3	.35	.35	.33	.36	.34	.36	.35	.38	.35	.35	.25	.29	.37	.40	.37	.39	.37	.40	.37	.38	.38	.35	.39	.39	.44	.45	.46	.46	.47	.48
Person 5	Image 1	.40	.38	.40	.41	.41	.38	.38	.38	.39	.42	.41	.42	.22	.34	.31	.44	.43	.41	.44	.42	.40	.40	.40	.43	.45	.48	.41	.43	.43	.44
	Image 2	.39	.38	.39	.39	.39	.39	.36	.33	.36	.35	.36	.39	.27	.26	.28	.39	.42	.46	.40	.42	.40	.36	.43	.45	.46	.43	.45	.47	.45	.45
	Image 3	.34	.36	.33	.36	.36	.40	.35	.33	.32	.34	.32	.34	.31	.30	.22	.37	.40	.44	.36	.38	.36	.39	.41	.42	.44	.45	.43	.44	.45	.48
Person 6	Image 1	.39	.40	.40	.37	.38	.36	.42	.42	.39	.41	.40	.38	.40	.37	.37	.31	.36	.41	.38	.35	.37	.36	.38	.40	.43	.42	.42	.40	.39	.42
	Image 2	.43	.43	.44	.35	.40	.40	.35	.36	.37	.39	.43	.42	.40	.40	.41	.43	.25	.35	.35	.38	.35	.39	.41	.33	.43	.40	.45	.41	.40	.43
	Image 3	.42	.40	.44	.35	.40	.37	.43	.40	.43	.41	.44	.41	.45	.47	.45	.43	.35	.26	.37	.40	.38	.39	.42	.37	.45	.45	.46	.33	.35	.41
Person 7	Image 1	.40	.42	.40	.35	.33	.38	.36	.34	.39	.37	.39	.40	.44	.37	.39	.35	.32	.36	.29	.36	.32	.36	.45	.38	.43	.42	.43	.37	.40	.38
	Image 2	.38	.42	.40	.35	.36	.35	.39	.39	.38	.38	.34	.37	.39	.35	.40	.40	.35	.37	.30	.27	.29	.40	.39	.38	.37	.46	.46	.39	.37	.40
	Image 3	.40	.43	.41	.40	.37	.38	.38	.39	.37	.39	.38	.38	.37	.40	.40	.38	.36	.38	.33	.28	.25	.37	.40	.34	.36	.45	.43	.39	.37	.44
Person 8	Image 1	.38	.35	.37	.36	.37	.35	.36	.32	.33	.39	.36	.37	.34	.34	.32	.37	.44	.44	.37	.39	.41	.27	.45	.35	.40	.40	.42	.44	.41	.44
	Image 2	.34	.38	.37	.36	.38	.35	.37	.37	.39	.42	.41	.39	.39	.39	.37	.42	.41	.43	.41	.38	.37	.35	.30	.40	.39	.39	.43	.36	.37	.41
	Image 3	.42	.42	.41	.43	.37	.42	.36	.38	.37	.39	.43	.42	.37	.37	.36	.43	.37	.43	.38	.38	.37	.39	.45	.23	.41	.45	.44	.41	.38	.46
Person 9	Image 1	.42	.42	.41	.42	.41	.41	.43	.46	.41	.42	.44	.42	.47	.47	.47	.45	.40	.40	.42	.46	.46	.40	.43	.41	.35	.43	.38	.38	.41	.42
	Image 2	.42	.45	.44	.39	.42	.40	.46	.41	.44	.45	.46	.46	.41	.46	.45	.47	.45	.46	.45	.41	.46	.45	.43	.43	.45	.28	.33	.42	.43	.40
	Image 3	.41	.43	.42	.40	.41	.39	.45	.40	.43	.44	.44	.46	.39	.43	.47	.47	.45	.42	.43	.41	.48	.43	.44	.40	.43	.33	.33	.38	.42	.40
Person 10	Image 1	.39	.45	.44	.41	.42	.38	.40	.42	.41	.45	.48	.46	.44	.47	.44	.36	.41	.38	.42	.38	.40	.41	.41	.39	.43	.41	.41	.25	.30	.31
	Image 2	.38	.46	.44	.42	.42	.41	.46	.47	.47	.44	.46	.45	.44	.46	.47	.41	.37	.37	.38	.35	.37	.45	.39	.42	.39	.43	.42	.31	.27	.35
	Image 3	.41	.42	.44	.39	.42	.37	.40	.43	.43	.43	.45	.43	.45	.46	.45	.35	.46	.41	.41	.38	.41	.42	.41	.44	.41	.38	.40	.29	.33	.12

Πίνακας 20. Υπολογισμός της απόστασης Hamming για όλα τα ζεύγη που προκύπτουν από τις εικόνες της βάσης δεδομένων. Το σκιαγραφημένο τμήμα παρουσιάζει τις αποστάσεις Hamming μεταξύ των εικόνων που ανήκουν στο ίδιο άτομο και αφορούν διαφορετικά στιγμιότυπα του ίδιου οφθαλμού. Οι γραμμές του πίνακα αντιπροσωπεύουν εικόνες στις οποίες για την εύρεση της ίριδας χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος γεμίσματος πολυγώνου. Οι στήλες του πίνακα αντιπροσωπεύουν εικόνες στις οποίες για την εύρεση της ίριδας χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος χειροκίνητης εισαγωγής σημείων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3

Κώδικες εύρεσης Κόρης - βλεφάρων

```
function [img, img2, x10, y10, Rk, linup, lindow] = pup_blef (img, ch)

% euresh eswterikou shmeiou gia region grow sthn korh

A=img;
mval=sb(A);

%region grow sthn korh
MAXMIN=gemisma_polygonou_me_oura(A,mval(1),mval(2),0);

%gewmetria korhs
x10=floor((MAXMIN(1)+MAXMIN(2))/2);
y10=floor((MAXMIN(3)+MAXMIN(4))/2);
Rk=floor(abs(y10-MAXMIN(4)));

%contrast
Jes = imadjust(img, stretchlim(img), [0 0.8]);

%gaussian
s=2;
g2b=fspecial('gaussian', [6*s+1, 6*s+1], s);
i2=imfilter(img, g2b, 'conv', 'same');

zx=[];
if ch==1
    zx=[];
end

%canny
img3=edge(Jes, 'canny', zx, s);

%contrast
J6 = imadjust(img, [0 0.8], []);

%canny
img6=edge(J6, 'canny', zx, 4);

%2plo canny+ enisxush geitonias
img7=zeros(size(img3));

for f1=1:280
    for f2=1:320
        if img3(f1, f2)==1 || img6(f1, f2)==1
            img7(f1, f2)=1;
            img7(f1-1, f2)=1;
            img7(f1+1, f2)=1;
            img7(f1, f2-1)=1;
            img7(f1, f2+1)=1;
        end
    end
end
```

```

end

%prosthesh dcanny se gauss

for f1=1:280
    for f2=1:320
        img4(f1,f2)=i2(f1,f2)+double(img7(f1,f2))*255;
    end
end

end

%euresh blefarwn + efarmogh skiashs
[img2,nimg,linup,lindown]=BlVlefMdpt(img3,img4,img6);

function f=sb(a)

%algotirhmos ypodiplasiasmou

f=[0,0];

%5 ypodiplasiamoi
for i=1:5
    a=subsample(a);
end

%euresh theshs elaxistou
m=a(1,1);

for i=1: size(a,1)
    for j=1:size(a,2)
        if a(i,j)<m
            m=a(i,j);
            ii=i;
            jj=j;
        end
    end
end

end

%antistoixhsh stis diastaseis ths arxikhs
for i=1:5
    ii=2*ii-1;
    jj=2*jj-1;

```

```

end

f=[ii,jj];

function b=subsample(a)

%ypodiplasiasmos
%euresh megistwn sthn perioxh geitonias
for i=1: size(a,1)/2

    for j=1:size(a,2)/2

        b(i,j)=max(max(a(2*i-1:2*i,2*j-1:2*j)));

    end

end

end

function MAXMIN=gemisma_polygonou_me_oura(A,x0,y0,ch)

%gemisma poligwnou gia euresh korhs

MAXMIN=[0,0,0,0];

%arxikes listes
Qx=[];

Qy=[];

%defaults
Qx(1)=x0;
Qy(1)=y0;

k=60;
k1=215;

maxx=x0;
minx=x0;
maxy=y0;
miny=y0;

%region grow
while ((length(Qx))>0 && (length(Qy))>0)

    x0=Qx(1);
    y0=Qy(1);

%epishmansh me timh apokleismou
A(x0,y0)=k1;

    Qx(1)=[];
    Qy(1)=[];

%euresh max,min x,y

    if (minx>x0)

        minx=x0;

```



```

end

if (maxx<x0)
    maxx=x0;
end

if (miny>y0)
    miny=y0;
end

if (maxy<y0)
    maxy=y0;
end

%telos

%elegxos geitonias
%prosthiki se lista kai timh apokleismou
if A(x0+1,y0)<=k

    Qx(length(Qx)+1)=x0+1;
    Qy(length(Qy)+1)=y0;
    A(x0+1,y0)=k1;
end

if A(x0-1,y0)<=k

    Qx(length(Qx)+1)=x0-1;
    Qy(length(Qy)+1)=y0;
    A(x0-1,y0)=k1;
end

if A(x0,y0+1)<=k

    Qx(length(Qx)+1)=x0;
    Qy(length(Qy)+1)=y0+1;
    A(x0,y0+1)=k1;
end

```

```

        if A(x0,y0-1)<=k
            Qx(length(Qx)+1)=x0;
            Qy(length(Qy)+1)=y0-1;
            A(x0,y0-1)=k1;
        end
    end
end

MAXMIN=[maxx,minx,maxy,miny];

%apeikonisi pixel pou episkeftike
if ch==1

    figure;imshow(A);

end

function [img2,nimg,linup,lindown]=BlVlefMdpt(img,img2,img6)

%euresh blefarwn kai efarmogh skiashs

%euresh anw blefarou
[colup,linup]=HT_par1(img6);
%euresh katw blefarou
[coldown,lindown]=HT_par1k(img6);

minl=min(linup);
maxl=max(lindown);

%anoxh gia anw kai katw blefaro
thresup=15;
thresdown=5;

%efarnogh skiashs
for j=1:320

    for i=1:280

        if((i<minl)|| (i>maxl))

            img(i,j)=0;
            img2(i,j)=0;
            img6(i,j)=0;
        end

        if(i<linup(j))

            img(i+thresup,j)=0;
            img2(i+thresup,j)=0;
            img6(i+thresup,j)=0;

        end
    end
end

```

```

        if(i>lindown(j))
            img(i-thresdown,j)=0;
            img2(i-thresdown,j)=0;
            img6(i-thresdown,j)=0;
        end
    end
end
nimg=img;

function [col0,linpar,stats]=HT_par1(I)

%euresh anw blefarou

BW=I;

%oriothethsh y0 gia pattern + defaults
col0=1:320;
a=480;
prev_maxv=0;

%gia diafores times tou a,gia tis perioxes endiaferontos
%efarmogh tou pattern stis akmes kai euresh accumulator
for a=450:500

    HT=zeros(size(BW));

    for lin=40:size(I,1)/2

        for col=90:250

            if BW(lin,col)>0

                lin0=lin-(1/a)*((col-col0).^2);

                lin0=round(lin0);

                ind1=find(lin0>0 & lin0<min(size(BW)));

                if length(ind1)>0

                    for k=1:length(ind1)

HT(lin0(ind1(k)),col0(ind1(k)))=HT(lin0(ind1(k)),col0(ind1(k)))+1;

                    end

                end

            end

        end

    end

end
end

```

```

end

max(max(HT));

%oriothethsh perioxhs endiaferontos ston accumulator
HTi=HT(40:140,90:250);

% euresh megistou

HT1=reshape(HTi,[1,prod(size(HTi))]);
[maxv,imax]=max(HT1);
[linC,colC]=ind2sub(size(HTi),imax);

if maxv>prev_maxv

    linCmax=linC+40;
    colCmax=colC+90;
    amax=a;
    max_maxv=maxv;
    prev_maxv=maxv;

end

end

linpar=round((1/amax)*(col0-colCmax).^2+linCmax);

ind1=find(linpar>0 & linpar<min(size(BW)));

function [col0,linpar,stats]=HT_par1k(I)

%euresh anw blefarou

BW=I;

%oriothethsh y0 gia pattern + defaults
col0=1:320;
a=480;
prev_maxv=0;

%gia diafores times tou a,gia tis perioxes endiaferontos
%efarmogh tou pattern stis akmes kai euresh accumulator
for a=450:950

    if a<650||a>900

        HT=zeros(size(BW));

for    lin=190:size(I,1)-20

        for col=70:290

            if BW(lin,col)>0

                lin0=lin+(1/a)*((col-col0).^2);

                lin0=round(lin0);

                ind1=find(lin0>0 & lin0<min(size(BW)));

```

```

        if length(ind1)>0
            for k=1:length(ind1)

HT(lin0(ind1(k)),col0(ind1(k)))=HT(lin0(ind1(k)),col0(ind1(k)))+1;

                end
            end
        end
    end
end

end

max(max(HT));

%oriothethsh perioxhs endiaferontos ston accumulator
Hti=HT(190:260,70:290);

% euresh megistou
HT1=reshape(HTi,[1,prod(size(HTi))]);

[maxv,imax]=max(HT1);
[linC,colC]=ind2sub(size(HTi),imax);

if maxv>prev_maxv

    linCmax=linC+190;
    colCmax=colC+70;
    amax=a;
    max_maxv=maxv;
    prev_maxv=maxv;

end

end

linpar=round(-(1/amax)*(col0-colCmax).^2+linCmax);
ind1=find(linpar>0 & linpar<min(size(BW)));

```

Κώδικες για την μέθοδο γεμίματος πολυγώνου

```

function auto_rg(savev)

%euresh gewmetrias iridas bash tou region grow
%gia save dwse 1 : auto_rg(1);

%fakelos kwdika
cd rgrow

%xronos ypologismou algorithmou apo to roloi ths cpu
t=cputime;

```

```

%main
auto_rg(savev);

%emfanish xronou
cputime-t

function auto_rg(savev)

% auto data gia region grow ston rg_data
% savev == 1 kanei eggraph

cd ..
%string gia thn perihghsh stous fakelous
allc=['1','2','3','4','5','6','7','8','9','0'];

js='_1_';
bmp='.bmp';
pi_s='pi.txt';
data_s='data.txt';

%perihghsh stous fakelous
for i=1:11

    for j=1:3

        if i<10

            cstr=[allc(10),allc(10),allc(i),js,allc(j),bmp];
            nm=[allc(10),allc(i),allc(j)];

        else

            if i==10

                l=i;

            else

                l=i-10;

            end

            cstr=[allc(10),allc(1),allc(1),js,allc(j),bmp];
            nm=[allc(1),allc(1),allc(j)];

        end

    end

%fakelos db gia region grow
    cd all_data/regrow_data

%fakelos atomou
    fnm=[nm(1),nm(2)];

    cd(fnm);

%diabasma eikonas
    img=imread(cstr,'bmp');

    cd ..

```

```

        cd ..
        cd ..

%fakelos kwdika
        cd rgrow
%algorithmos eureshs gewmetrias me region grow
%epistrefei ta stoixeia gia kuklous kai paraboles
        [pi_data,all_data]=rg(img);

        cd ..

%apothikeush apeikonhsh sto fakelo plots
        FG=getframe(gcf);

        cd plots
        cd RG

%eggrafh apeikonhshs
        imwrite(FG.cdata,nm,'bmp');

        close

        cd ..
        cd ..

%apothikeush data shth bash dedomenwn
        if savev ==1

                cd all_data/regrow_data
                cd(fnm);

                nm

                fstrpi=[nm,pi_s];
                fstrdata=[nm,data_s];

                save(fstrpi,'-ASCII','pi_data');
                save(fstrdata,'-ASCII','all_data');

                cd ..
                cd ..
                cd ..

                end

                clear img

        end

end

function [pi_data,all_data]=rg(img)

%algorithmos eureshs gewmetrias bash region grow gia dwsmenh eikona

% pupil : P,R
% iris : P,R
% linup
% lindow

```

```

img6=img;

cd ..
cd pup_bl

%euresh korhs kai blefarwn
[BWimg,nimg,x10,y10,Rk,linup,lindown]=pup_blef(img,0);

cd ..
cd rgrow

%defaults gia region grow
k1=1;
tolerance=45;

xs=x10+10;
ys=y10+Rk+floor(Rk/2)+15;

%euresh allou arxikou shmeiou se periptwsh pou to apo panw apotelei shmeio
akmhs
while(nimg(xs,ys)==255)

    ys=ys+1;
    xs=xs+10;

end

iris_pat=rg_grow_iris(nimg,xs,ys,k1,tolerance);

%sigma gia gauss kai canny
s=2;
img4=edge(iris_pat,'canny',[],s);

%efarmogh pattern gia periorismo ths perixhs anazhthshs
img4=blankimg(img4,linup,lindown,x10,y10,Rk);

img5=double(img4*256);

%elegxos gia ta oria ths eikonas
cen=0;
ysize=7*Rk/3;
if (y10+ysize+2)>size(img,2)

    cen=50;
    img5=incbounds(img5,cen);
    img6=incbounds(img,cen);

end

%metafora suntetagmenwn akmwon se pinaka
sii=min(linup);
lil=max(lindown);
ljj=size(img5,2);

cod=1;

for ii=sii:lil

    for jj=1:ljj

        if(img5(ii,jj)==256)

```



```

        datx(cod,1)=ii;
        daty(cod,1)=jj;
        cod=cod+1;

    end

end

end

%kuklos elaxistwn tetragwnwn
data=[datx,daty];

[P,R]=lmsc_svd(img6,2,data);

%apeikonhsh olwn
plot_all(img6,x10,y10,Rk,P(1),P(2),R,linup,lindown);

%dhmiourgia pinakwn pou tha epistrafoun
pi_data=[x10,y10,Rk;P(1),P(2),R];
all_data(1,:)=linup;
all_data(2,:)=lindown;

function BW=rg_grow_iris(I,x0,y0,k1,tolerance)

%gemisma polugonou me oura gia irida

A=I;

%arxikopoihsh listas
Qx=[];
Qy=[];

%defaults
Qx(1)=x0;
Qy(1)=y0;

BW=zeros(size(I));
k=double(A(x0,y0));
k2=255;
cf=0;
me=0;
coun=0;

%region grow
while ((length(Qx))>0 && (length(Qy))>0)

    x0=Qx(1);
    y0=Qy(1);

    BW(x0,y0)=k1;

    Qx(1)=[];
    Qy(1)=[];

%ypologismos athroismatos fwteinothtwn shmeiwn pou episkeftike kai plithos
    coun=coun+double(A(x0,y0));
    me=me+1;

```

```

%apeikonhsh gia endiameso stadio
    cf=cf+1;
    if cf==100

        cf=0;
    %        imshow(I);

    end
%ypologismos meshes timhs gia anoxh
    k=floor(coun/me);
%timh apokleismou
    I(x0,y0)=k2;

%elegxos shmeiwn geitonias gia prosthiki sth lista
    if I(x0+1,y0)<=k+tolerance && I(x0+1,y0)>=k-tolerance

        Qx(length(Qx)+1)=x0+1;
        Qy(length(Qy)+1)=y0;

        I(x0+1,y0)=k2;

    end

    if I(x0-1,y0)<=k+tolerance && I(x0-1,y0)>=k-tolerance

        Qx(length(Qx)+1)=x0-1;
        Qy(length(Qy)+1)=y0;

        I(x0-1,y0)=k2;

    end

    if I(x0,y0+1)<=k+tolerance && I(x0,y0+1)>=k-tolerance

        Qx(length(Qx)+1)=x0;
        Qy(length(Qy)+1)=y0+1;

        I(x0,y0+1)=k2;

    end

    if I(x0,y0-1)<=k+tolerance && I(x0,y0-1)>=k-tolerance

        Qx(length(Qx)+1)=x0;
        Qy(length(Qy)+1)=y0-1;

        I(x0,y0-1)=k2;

    end

end

function A=incbounds(img,th)

%auksisi oriwn eikonas gia apofugh error

```

```

b=zeros(th,size(img,2)+2*th);
a=zeros(size(img,1),th);
A=[b;a,img,a;b];

function nimg=blankimg(img,linup,lindown,x10,y10,Rk)

%dhmiourgia kai efarmogh pattern gia thn perioxh endiaferontos
for i=-1:1:1
    for j=-1:1:1
        for Rc=Rk-10:90
            img = MidpointCirclek(img, Rc, x10+i, y10+j, 0);
        end
    end
end

end

%dhmiourgia ekswterikou pattern
patimg=createimg(img,x10,y10,Rk);

%efarmogh skiashs blefarwn
minl=min(linup);
maxl=max(lindown);

thresup=15;
thresdown=10;

for j=1:320
    for i=1:280
        if((i<minl)|| (i>maxl))
            img(i,j)=0;
        end

        if(i<linup(j))
            img(i+thresup,j)=0;
        end

        if(i>lindown(j))
            img(i-thresdown,j)=0;
        end

        if patimg(i,j)==1

```

```

                img(i,j)=0;
            end
        end
    end

    nimg=img;

function patimg=createimg(img,x10,y10,Rk)
%dhmiourgia ekswterikou pattern

patimg=ones(size(img));

%euresh an o algorithmos ksefeugei apo ta oria ths eikonas kai an nai
prosarmogh

fr1=1000;
fr2=1000;
fr3=1000;
fr4=1000;

fy=3*Rk;
fx1=x10-fy-2;
fx2=x10+fy+1;
fy1=y10-fy-2;
fy2=y10+fy+1;

if (fy1<=0)
    fr1=y10-2;
end

if (fy2>=size(img,2))
    fr2=size(img,2)-y10-2;
end

if (fx1<=0)
    fr3=x10-2;
end

if (fx2>=size(img,1))
    fr4=size(img,1)-x10-2;
end

fr=min([fy,fr1,fr2,fr3,fr4]);

for i=-1:1:1

```

```

    for j=-1:1:1
        for Rc=1:fr
            patimg = MidpointCirclek(patimg, Rc, x10+i, y10+j, 0);
        end
    end
end

end

function [P,R]=lmsc_svd(img,ch,data)

%kuklos elaxistwn tetragwnwn (grammikos)

i=0;

%elegxos an dwthikan data kai an oxi xrhsimopoihsh manual tropou
if(size(data,1)<2)

figure;imshow(img);
[x,y]=GINPUT(15);

else

    x=data(:,1);
    y=data(:,2);

end

if(ch==2)

%Algorithmos eureshs kuklou elaxistwn tetragwnwn

A(1,1)=2*sum(x.*x);
A(1,2)=2*sum(x.*y);
A(1,3)=sum(x);
A(2,1)=A(1,2);
A(2,2)=2*sum(y.*y);
A(2,3)=sum(y);
A(3,1)=2*sum(x);
A(3,2)=2*sum(y);
A(3,3)=length(x);
B(1,1)=sum((x.*x+y.*y).*x);
B(2,1)=sum((x.*x+y.*y).*y);
B(3,1)=sum(x.*x+y.*y);
P=-A^(-1)*B;

R=sqrt(P(1)*P(1)+P(2)*P(2)-P(3));

i=0;

for theta=0:0.1:2*pi
    i=i+1;
    x1(i)=-P(1)+R*cos(theta);
    y1(i)=-P(2)+R*sin(theta);
end

```

```
end
```

```
end
```

```
%kentro kai aktina
```

```
P=round(-P);
```

```
R=round(R);
```

Κώδικες για την μέθοδο μετασχηματισμού Hough

```
function auto_HTC(savev)
```

```
%euresh gewmetrias iridas bash tou metasxhmatismou Hough
```

```
%gia save dwse 1 : auto_HTC(1);
```

```
%fakelos kwdika
```

```
cd HTC
```

```
%xronos ypologismou apo to roloi ths cpu
```

```
t=cputime;
```

```
%algorithmos
```

```
auto_HTC(savev);
```

```
%epistrefei to xrono ypologismou
```

```
cputime-t
```

```
function auto_HTC(savev)
```

```
cd ..
```

```
%string gia perihghsh
```

```
allc=['1','2','3','4','5','6','7','8','9','0'];
```

```
js='_1_';
```

```
bmp='.bmp';
```

```
pi_s='pi.txt';
```

```
data_s='data.txt';
```

```
%perihghsh stous fakelous
```

```
for i=1:11
```

```
    for j=1:3
```

```
        if i<10
```

```
            cstr=[allc(10),allc(10),allc(i),js,allc(j),bmp];
```

```
            nm=[allc(10),allc(i),allc(j)];
```

```
        else
```

```
            if i==10
```

```
                l=i;
```

```

        else

            l=i-10;

        end

        cstr=[allc(10),allc(1),allc(1),js,allc(j),bmp];
        nm=[allc(1),allc(1),allc(j)];

    end

%database
    cd all_data/hough_data
    fnm=[nm(1),nm(2)];
    cd(fnm);

%fortwsh eikonas
    img=imread(cstr,'bmp');

    cd ..
    cd ..
    cd ..

%path kwdika
    cd HTC

%euresh data apo algorithmo hough
    [pi_data,all_data]=HTC(img);

    cd ..

    FG=getframe(gcf);

    cd plots
    cd HTC
%apothikeush apeikonhshs
    imwrite(FG.cdata,nm,'bmp');

    close

    cd ..
    cd ..

%apothikeush data
    if savev ==1

        cd all_data/hough_data
        cd(fnm);
        fstrpi=[nm,pi_s];
        fstrdata=[nm,data_s];

        save(fstrpi,'-ASCII','pi_data');
        save(fstrdata,'-ASCII','all_data');

        cd ..
        cd ..
        cd ..

    end

```

```

        clear img
    end

end

function [pi_data,all_data]=HTC(i0)

%algorithmos eureshs gewmetrias bash metasxhmatismou Hough gia dwsmenh
eikona

cd ..

cd pup_bl

%euresh korhs kai blefarwn
[BWimg,nimg,x10,y10,Rk,linup,lindown]=pup_blef(i0,1);

cd ..

cd HTC

%efarmogh pattern gia periorismo ths perioxhs anazhthshs
nimg=blankimg(BWimg,x10,y10,Rk);

i=nimg;

[rows,columns]=size(i);

%times accumulator
dret=zeros(1,116);
ii=[];
jj=[];

%oriothethsh aktinas
R1=80;
R2=120;

dret_max=0;
%gia diafores times tou R ektelesh tou Hough transform
for r=R1:R2

%epistrefei thn timh tou accumulator kai tis suntetagmenes
    [acc,dret(r-R1+1),ii(r-R1+1),jj(r-R1+1)]=HTCircle(i,r,0);

%euresh megistwn
    if dret_max<dret(r-R1+1)

        dret_max=dret(r-R1+1);
        col_best=ii(r-R1+1);
        lin_best=jj(r-R1+1);
        r_best=r;

    end

end

end

%kentro kai aktina

```



```

y0=lin_best;
x0=col_best;
Rc=r_best;

%dhmiourgia pinakwn pou tha epistrafoun
pi_data=[x10,y10,Rk;x0,y0,Rc];
all_data(1,:)=linup;
all_data(2,:)=lindown;

%apeikonhsh olwn
plot_all(i0,x10,y10,Rk,x0,y0,Rc,linup,lindown);

function [ret,centerval,ii,jj]=HTCircle(inimage,r,gr_on)

%algorithmos hough euresh kentrou gia dedomenh aktina

[rows,columns]=size(inimage);

%accumulator
acc=zeros(rows,columns);

rc=r;
inputimage=inimage;

%dhmiourgia protupou eureshs(kuklos mesou shmeiou)
[xcirc,ycirc]=Brescircle(r);

for x=1:columns
    for y=1:rows

%efarmogh tou protupou kuklou gia shmeia akwn
        if(inputimage(y,x)~=0)

                x0=xcirc+x;
                y0=ycirc+y;

                for k=1:length(x0)
%dhmiourgia xwrou tou accumulator
                    if (x0(k)<=columns)&&(x0(k)>0)&&(y0(k)<=rows)&&(y0(k)>0)

                            acc(y0(k),x0(k))=acc(y0(k),x0(k))+1;

                    end

                end

        end

    end

end

end

%euresh megistwn
ret=acc;
centerval=max(max(acc));
%euresh shmeiou kentrou apo megisto accumulator
accl=reshape(acc,prod(size(acc)),1);
[vmax,imax]=max(accl);
[ii,jj]=ind2sub(size(acc),imax);

```

```

function [xp3,yp3]=Brescircle(R)

%kuklos mesou shmeiou
x0=[];
y0=[];
xp=0;
yp=R;

x0(1)=xp;
y0(1)=yp;

%arxiko sfalma
d=5/4-R;

while (yp>=xp)

    if d<=0 % epomeno shmeio E, mesos M

        d=d+2*xp+3;
        xp=xp+1;
        yp=yp;

    else %epomenos mesos (MSE h' ME)

        d=d+2*(xp-yp)+5;
        xp=xp+1;
        yp=yp-1;

    end

    x0=[x0,xp];
    y0=[y0,yp];

end

% summetria gia 1 ogdoimorio

xp1=[x0,y0];
yp1=[y0,x0];

% summetria gia 2 tetartimorio

xp2=[xp1,-xp1];
yp2=[yp1,yp1];

% summetria gia 3,4 tetartimoria

xp3=[xp2,xp2];
yp3=[yp2,-yp2];

```

Κώδικες για την μέθοδο προσαρμοσμένων σημείων

```
function auto_m2(savev)

%euresh gewmetrias bash tou algorithmou prosarmosmenou shmeiou
%gia eggraph dwse 1 : auto_m2(1);

%fakelos kwdika
cd poical

%xronos ypologismou apo to roloi ths cpu
t=cputime;

%algorithmos
auto_m2(savev);

%emfanhsh xronou
cputime-t

function auto_m2(savev)

%automath euresh gewmetrias kai eggraph ths sth db gia ton algorithmo
prosarmosmenou shmeiou

cd ..

%string gia perihghsh
allc=['1','2','3','4','5','6','7','8','9','0'];

js='_1_';
bmp='.bmp';
pi_s='pi.txt';
data_s='data.txt';

for i=1:11

    for j=1:3

        if i<10

            cstr=[allc(10),allc(10),allc(i),js,allc(j),bmp];
            nm=[allc(10),allc(i),allc(j)];

        else

            if i==10

                l=i;

            else

                l=i-10;

            end

            cstr=[allc(10),allc(1),allc(1),js,allc(j),bmp];
            nm=[allc(1),allc(1),allc(j)];

        end

    end

end
```

```

%database
    cd all_data/poical_data
    fnm=[nm(1),nm(2)];
    cd(fnm);

%fortwsh eikonas
    img=imread(cstr,'bmp');

    cd ..
    cd ..
    cd ..

    cd poical

%ektelesh algorithmwn
%kai epistrofh pinakwn
    [pi_data,all_data]=m2(img);
    cd ..

    FG=getframe(gcf);

    cd plots
    cd PC

    nm

%eggrafh apeikonhshs
    imwrite(FG.cdata,nm,'bmp');

    close

    cd ..
    cd ..

%eggrafh data sth bash dedomenwn
    if savev ==1

        cd all_data/poical_data
        cd(fnm);

        fstrpi=[nm,pi_s];
        fstrdata=[nm,data_s];

        save(fstrpi,'-ASCII','pi_data');
        save(fstrdata,'-ASCII','all_data');

        cd ..
        cd ..
        cd ..

        end

        clear img

    end

end
end

```

```

function [pi_data,all_data]=m2(img)

%algorithmos prosarmosmenou shmeiou

ilil=img;

cd ..

cd pup_bl

%euresh korhs kai blefarwn
[nimg,img2,x10,y10,Rk,linup,lindown]=pup_blef(img,0);

img=nimg;

cd ..

cd poical

%kathorismos elaxisths kai megisths aktinas anazhthshs

Rmin=2*Rk;
Rmax=3*Rk;

img(1:5,:)=0;
img(size(img,1)-5:size(img,1),:)=0;
img(:,1:5)=0;
img(:,size(img,2)-5:size(img,2))=0;

%elegxos oriwn eikonas
cen=0;

if (y10+Rmax+1)>size(img,2) || (x10+Rmax+1)>size(img,1)

    cen=50;
    img=incbounds(img,cen);
    x10=x10+cen;
    y10=y10+cen;

end

ValAi=[];

%gia diafores times tou R euresh twn perioxwn deksia kai aristera
for Rcur=Rmax:-1:Rmin

    [img,SubValAi,SubValDi]=MidpointCircleSha(img, Rcur, x10,y10, 255);
    L=length(SubValAi);

    %ypologismos aristerou tomea
    ValAi(1:L,c1)=SubValAi(:,1);

    %ypologismos deksiou tomea
    ValDi(1:L,c1)=SubValDi(:,1);

    c1=c1+1;

end

```

```

ew=x10;
x10=y10;
y10=ew;

%tmhmatopoihsh tw'n 2 pinakwn se 8 kai 8 antistoixa
ppla=retvals(ValAi);
ppld=retvals(ValDi);

%ypologismos gwniwn pou brisketai to shmeio
tha1=pi/2+pi/8+pi/16;
tha2=pi/2+pi/16;
tha3=pi/2-pi/16;
tha4=pi/2-pi/8-pi/16;

thd1=3*pi/2-pi/8-pi/16;
thd2=3*pi/2-pi/16;
thd3=3*pi/2+pi/16;
thd4=3*pi/2+pi/8+pi/16;

%euresh shmeiwn
xa(1,1)=x10+(Rmax-ppla(1,1))*sin(thd1);
xa(1,2)=x10+(Rmax-ppla(1,2))*sin(thd2);
xa(1,3)=x10+(Rmax-ppla(1,3))*sin(thd3);
xa(1,4)=x10+(Rmax-ppla(1,4))*sin(thd4);

ya(1,1)=y10+(Rmax-ppla(1,1))*cos(thd1);
ya(1,2)=y10+(Rmax-ppla(1,2))*cos(thd2);
ya(1,3)=y10+(Rmax-ppla(1,3))*cos(thd3);
ya(1,4)=y10+(Rmax-ppla(1,4))*cos(thd4);

xd(1,1)=x10+(Rmax-ppld(1,1))*sin(tha1);
xd(1,2)=x10+(Rmax-ppld(1,2))*sin(tha2);
xd(1,3)=x10+(Rmax-ppld(1,3))*sin(tha3);
xd(1,4)=x10+(Rmax-ppld(1,4))*sin(tha4);

yd(1,1)=y10+(Rmax-ppld(1,1))*cos(tha1);
yd(1,2)=y10+(Rmax-ppld(1,2))*cos(tha2);
yd(1,3)=y10+(Rmax-ppld(1,3))*cos(tha3);
yd(1,4)=y10+(Rmax-ppld(1,4))*cos(tha4);

%prosthiki suntetagmenwn tw'n shmeiwn se pinaka
datxa=[];
datya=[];
datxd=[];
datyd=[];

for icoun=1:4

    if (0==isnan(xa(1,icoun)))&&(0==isnan(ya(1,icoun)))

        datxa=[xa(1,icoun);datxa];
        datya=[ya(1,icoun);datya];

    end

    if (0==isnan(xd(1,icoun)))&&(0==isnan(yd(1,icoun)))

        datxd=[xd(1,icoun);datxd];
        datyd=[yd(1,icoun);datyd];

```

```

        end

end

%dhmiourgia telikou pinaka me ola ta shmeia
data=[datxa,datya;datxd,datyd];

%euresh kuklou me elaxista tetragwna
[P,R]=lmsc_svd(i1i1,2,data);
P(1)=P(1)-cen;
P(2)=P(2)-cen;

%apeikonhsh olwn
plot_all(i1i1,y10-cen,x10-cen,Rk,P(2),P(1),R,linup,lindown);

%dhmiourgia pinakwn pou tha epistrafoun
pi_data=[y10,x10,Rk;P(2),P(1),R];
all_data(1,:)=linup;
all_data(2,:)=lindown;

function [i,valai,valdi] = MidpointCircleSha(i, radius, xc, yc, value)

%kuklos mesou shmeiou (oxi olos o kuklos
%mono apo -45 ews 45 kai 135 ews 225

xc = xc;
yc = yc;

x = 0;
k=1;
y = radius;
d = 1 - radius;

i9=i;

%euresh 0 ews kai 45 kai summetries
while ( x < y - 1 )

    x = x + 1;

    if ( d < 0 )

        d = d + x + x + 1;

    else

        y = y - 1;
        a = x - y + 1;
        d = d + a + a;

    end

%deksia

valduisw(x,1)=i(-x+xc,y+yc);

```

```

i9(-x+xc, y+yc) = value;
    valddi(x,1)=i(x+xc,y+yc);
i9( x+xc, y+yc) = value;
%aristera
    valauisw(x,1)=i(-x+xc,-y+yc);
i9(-x+xc, -y+yc) = value;
    valadi(x,1)=i(x+xc,-y+yc);
i9( x+xc, -y+yc) = value;
end

% matrix swap
valdui=valduisw;
valaui=valauisw;

si=size(valduisw);
for co=si(1):-1:1
    valdui(co)=valduisw(si(1)-co+1);
    valaui(co)=valauisw(si(1)-co+1);
end

%dhmiourgia telikwn pinakwn
valdi(1:x,1)=valdui(1:x) ;
valdi(x+1:2*x,1)=valddi(1:x);
valai(1:x,1)=valaui(1:x) ;
valai(x+1:2*x,1)=valadi(1:x);

function pplace=retvals(Vali)

%diairesh pinaka iridas kai euresh thesewn shmeiwn
stepval=size(Vali,1)/4;
stadat=1;
findat=stepval;

for i=1:4

%euresh thehs
    [dat(i,:),sdat(i,.)]=nozero(Vali(stadat:findat,:));

    stadat=stadat+stepval;
    findat=findat+stepval;

    c=0;
    sumi=0;

    for j=1:size(dat(i,:),2)

```



```

        if dat(i,j)==1
            sumi=sumi+j;
            c=c+1;
        end
    end
    pplace(i)=round(sumi/c);
end

function [RVali,a]=nozero(Vali)

%ypologismos meshes timhs ana sthlih (eksairwntas ta mhdenika)

sval=size(Vali);
medval=zeros(1,sval(2));
a=zeros(1,sval(2));

for i=1:sval(2);
    medval(1,i)=round(sum(sum(Vali(:,i)))/sum(sum(Vali(:,i)~=0)));
end

Rvali=medval;

```

Κώδικες για την μέθοδο χειροκίνητης εισαγωγής σημείων

```

function auto_md(savev)

% auto data gia manual ston man_data
% savev == 1 kanei eggraph

%datbase
cd mandata

%ypologismos xronou apo to roloi ths cpu
t=cputime;

%algorithmos gia manual
auto_md(savev);

%emfanizei ton xrono ekteleshs
cputime-t

function auto_md(savev)

% auto data gia manual ston man_data
% savev == 1 kanei eggraph

cd ..

```

```

%string gia perihghsh sth db kai stous kwdikes
allc=['1','2','3','4','5','6','7','8','9','0'];

js='_1_';
bmp='.bmp';
pi_s='pi.txt';
data_s='data.txt';

%perihghsh
for i=1:11

    for j=1:3

        if i<10
            cstr=[allc(10),allc(10),allc(i),js,allc(j),bmp];
            nm=[allc(10),allc(i),allc(j)];
        else

            if i==10

                l=i;
            else
                l=i-10;
            end

            cstr=[allc(10),allc(1),allc(1),js,allc(j),bmp];
            nm=[allc(1),allc(1),allc(j)];
        end

    end

%database
    cd all_data/man_data

%fakelos atomou
    fnm=[nm(1),nm(2)];
    cd(fnm);

%fortwsh eikonas
    img=imread(cstr,'bmp');

    cd ..
    cd ..
    cd ..

%fakelos kwdika
    cd mandata

%gewmetria korhs iridas blefarwn
    [pi_data,all_data]=datacount(img);

    cd ..
%apothikeush apeikonhshs ston fakelo plots
    FG=getframe(gcf);

    cd plots
    cd MD

    imwrite(FG.cdata,nm,'bmp');

close

```

```

        cd ..
        cd ..

%apothikeush gewmetrikwn dedomenwn sth db
    if savev ==1

        cd all_data/man_data

        cd(fnm);

        nm

        fstrpi=[nm,pi_s];
        fstrdata=[nm,data_s];

        save(fstrpi,'-ASCII','pi_data');
        save(fstrdata,'-ASCII','all_data');

        cd ..
        cd ..
        cd ..

    end

    clear img

end

end

function [pi_data,all_data]=datacount(i1)

%% manual gia euresh data korhs iridas kai blefarwn

%korh
[Pko,Rko]=lmsc_svd(i1,2,0);
close

%irida
[Pi,Ri]=lmsc_svd(i1,2,0);
close

%anw blefaro
[linup]=parab(i1,0);
Close

%katw blefaro
[lindown]=parabdown(i1,0);
close

%dhmiourgia pinakwn pou tha epistrepsoun ta dedomena
pi_data=[Pko(2),Pko(1),Rko;Pi(2),Pi(1),Ri];
all_data(1,:)=linup;
all_data(2,:)=lindown;

%apeikonhsh olwn
plot_all(i1,Pko(2),Pko(1),Rko, Pi(2),Pi(1),Ri,linup,lindown);

```

Κώδικες για την μέθοδο ξεδιπλώματος της ίριδας

```
function auto_unfold(ch)

%automato ksediplwma ths iridas
%gia kathe mia apo tis baseis dedomenwn
% ch=1 : Hough
% ch=2 : Region_grow
% ch=3 : Poi_cal
% ch=4 : manual

cd unf-gab-comp

%xronos ekteleshs tou algorithmou apo to roloi ths cpu
t=cputime;

%algorithmos
auto_unfold(ch);

%emfanish xronou ekteleshs
cputime-t
```

```
function auto_unfold(ch)

%automato ksediplwma ths iridas
%gia kathe mia apo tis baseis dedomenwn
% ch=1 : Hough
% ch=2 : Region_grow
% ch=3 : Poi_cal
% ch=4 : manual

cd ..

%string gia perihghsh stis baseis dedomenwn
allc=['1','2','3','4','5','6','7','8','9','0'];

js='_1_';
bmp='.bmp';
datbmp='dat.bmp';
pi_s='pi.txt';
data_s='data.txt';

%paths analoga th bash
%Hough && Hough data
htcd='HTC';
htdt='hough_data';

% Rgrow && Rgrow data
rgcd='rgrow';
rgdt='regrow_data';

% PoiCal && Poical data
pccd='poical';
pcdt='poical_data';

% Man && Man data
```

```

mncd='mandata';
mndt='man_data';

% Folder code unif-gab-comp
ugccd='unf-gab-comp';

% current code paths and data

currcd=[];
currdt=[];

if ch==1

    currcd=htcd;
    currdt=htdt;

else if ch==2

    currcd=rgcd;
    currdt=rgdt;

    else if ch==3

        currcd=pccd;
        currdt=pcdt;

        else if ch==4

            currcd=mncd;
            currdt=mndt;

            end
        end
    end
end
end

%perihghsh stous fakelous twm atomwn
for i=1:11
    for j=1:3

        if i<10
            cstr=[allc(10),allc(10),allc(i),js,allc(j),bmp];
            nm=[allc(10),allc(i),allc(j)];
        else

            if i==10

                l=i;
            else
                l=i-10;
            end

            cstr=[allc(10),allc(l),allc(l),js,allc(j),bmp];
            nm=[allc(l),allc(l),allc(j)];
        end

        cd all_data
        cd(currdt);
    end
end

```

```

    fnm=[nm(1),nm(2)];
    cd(fnm);

%fortwsh arxikhs eikonas
    img=imread(cstr,'bmp');

%contrast gia megaluterh akribeia
    img = imadjust(img,[0 0.8],[[]]);

%fortwsh gewmetrikwn dedomenwn
    cst=[nm,pi_s];
    cpi=load(cst);

    cst=[nm,data_s];
    cdata=load(cst);

%efarmogh skiashs blefarwn
    newimg=img;

    for icoun=1:size(img,1)
        for jcoun=1:size(img,2)
            if (cdata(1,jcoun)>icoun)

                newimg(icoun+5,jcoun)=0;
                newimg(icoun,jcoun)=0;

            end

            if (cdata(2,jcoun)<icoun)

                newimg(icoun-5,jcoun)=0;
                newimg(icoun,jcoun)=0;

            end

        end
    end

    cd ..
    cd ..
    cd ..

    cd(ugccd);

    cen=0;

%elegxos oriwn eikonas
    if
        (cpi(2,2)+cpi(2,3)>size(newimg,1)) || (cpi(2,1)+cpi(2,3)>size(newimg,2))

        cen=50;
        newimg=incbounds(newimg,cen);

    end

%ksediplwma
    datimg=uint8(unfold(newimg,cpi(1,2)+cen,cpi(1,1)+cen,cpi(1,3),cpi(2,2)+cen,
        cpi(2,1)+cen,cpi(2,3),0));
    cdatbmp=[nm,datbmp];

```

```

        cd ..
        cd all_data
        cd(currdt);
        cd(fnm);

%eggraphh ksediplwmenhs eikonas
        imwrite(dating,cdatbmp,'bmp');

        cd ..
        cd ..
        cd ..

        clear newimg
        clear dating
        clear img;

    end
end

function newdat=unfold(img,cp_lin,cp_col,Rp,ci_lin,ci_col,Ri,pval)

%ksediplwma iridas
%input: eikona,datakorhs,datairidas,dataupblef,datadoblef,emfanish

%kathorismos grammwn kai sthlwn eikoans
nr=16;
nsector=64;

%ypologismos "bhmatos" sthlwn
dtheta=2*pi/nsector;

img=double(img);

%% endiamesoi kukloi

Rsss(1,1)=Rp;
xc(1,1)=cp_lin;
yc(1,1)=cp_col;

for colin=1:nr-1

    Rsss(1,colin+1)=round(Rp*(1-colin/nr)+Ri*(colin/nr));
    xc(1,colin+1)=round(cp_lin*(1-colin/nr)+ci_lin*(colin/nr));
    yc(1,colin+1)=round(cp_col*(1-colin/nr)+ci_col*(colin/nr));

end

Rsss(1,nr+1)=Ri;
xc(1,nr+1)=ci_lin;
yc(1,nr+1)=ci_col;

%% print
if pval==1

    for th=1:nr+1

        Rp=Rsss(1,th);
        c_lin=xc(1,th);

```

```

c_col=yc(1,th);

for theta=0:1/180:2*pi
    p_col=c_col+Rp*sin(theta);
    p_lin=c_lin+Rp*cos(theta);
    plot(p_lin,p_col,'r-');
    hold on;
end
end
end

%% euresh meswn timwn gia kathe pixel sthn nea eikona
newdat=zeros(nr,nsector);
for cln=1:nr

%eswterikos kai ekswterikos kuklos
Rs=Rsss(1,cln);
Re=Rsss(1,cln+1);
xs=xc(1,cln);
ys=yc(1,cln);
xe=xc(1,cln+1);
ye=yc(1,cln+1);

%ypologismos shmeiwn ston daktylio
for k=1:nsector
    theta=(k-1)*dtheta;
    P1_x(k)=xs+Rs*cos(theta);
    P1_y(k)=ys+Rs*sin(theta);
    P2_x(k)=xs+Rs*cos(theta+dtheta);
    P2_y(k)=ys+Rs*sin(theta+dtheta);
    P3_x(k)=xe+Re*cos(theta);
    P3_y(k)=ye+Re*sin(theta);
    P4_x(k)=xe+Re*cos(theta+dtheta);
    P4_y(k)=ye+Re*sin(theta+dtheta);
    if pval==1
        plot(P1_x(k),P1_y(k),'k*');
        plot(P2_x(k),P2_y(k),'k*');
        plot(P3_x(k),P3_y(k),'k*');
        plot(P4_x(k),P4_y(k),'k*');
        plot([P1_x(k),P3_x(k)], [P1_y(k),P3_y(k)], 'b-');
        hold on;
    end
end

dx1=P1_x-P3_x;
dy1=P1_y-P3_y;
AA1=dy1;
BB1=-dx1;
CC1=-P1_x.*dy1+P1_y.*dx1;
dx2=P2_x-P4_x;
dy2=P2_y-P4_y;
AA2=dy2;
BB2=-dx2;
CC2=-P2_x.*dy2+P2_y.*dx2;

%ypologismos perioxhs bash max-min
%gia periorismo perioxhs anazhthshs
for cosect=1:nsector

sm=0;

```



```

c=0;

sisqxmin=round(min([P1_x(cosect),P2_x(cosect),P3_x(cosect),P4_x(cosect)]));
sisqxmax=round(max([P1_x(cosect),P2_x(cosect),P3_x(cosect),P4_x(cosect)]));
sisqymin=round(min([P1_y(cosect),P2_y(cosect),P3_y(cosect),P4_y(cosect)]));
sisqymax=round(max([P1_y(cosect),P2_y(cosect),P3_y(cosect),P4_y(cosect)]));

%elegxos shmeiwn perioxhs an anhkoun ston ypologismo
for x=sisqxmin:sisqxmax
    for y=sisqymin:sisqymax

%apostash shmeiou apo eutheia
        dyn1=AA1*x+BB1*y+CC1;
        dyn2=AA2*x+BB2*y+CC2;
%apostash shmeiou apo to akthe kentro
        d1=sqrt((y-ys)^2+(x-xs)^2);
        d2=sqrt((y-ye)^2+(x-xe)^2);

%elegxos an brisketai mesa sto daktylio kai anamesa apo ta euthugramma
tmhmata
        if d1>Rs && d2<Re && img(y,x)~=0 && dyn1(cosect)>=0 &&
dyn2(cosect)<=0 %inclpoi==1

                c=c+1;
                sm=sm+img(y,x);
                if pval==1
                plot(y,x,'g*');
                hold on;
                end

        end

    end

end

%elegxos an den yparxoun katholou shmeia sthn perioxh
if c>0
    newdat(cln,cosect)=round(sm/c);
else
    newdat(cln,cosect)=0;
end

end

end

```

Κώδικες για την εφαρμογή του φίλτρου Gabor

```
function auto_gabor(ch)

%automath euresh pragmatikou kai fantastikou
%merous gia thn ksediplwmenh
%bash tou filtrou gabor
%gia kathe mia bash dedomenwn
% ch=1 : Hough
% ch=2 : Region_grow
% ch=3 : Poi_cal
% ch=4 : manual

%kwdikas
cd unf-gab-comp

%ypologizei to xrono ekteleshs bash to roloi ths cpu
t=cputime;

%algorithmos
auto_gabor(ch);

%emfanizei to xrono ekteleshs
cputime-t

function auto_gabor(ch)

%automath euresh pragmatikou kai fantastikou
%merous gia thn ksediplwmenh
%bash tou filtrou gabor
%gia kathe mia bash dedomenwn
% ch=1 : Hough
% ch=2 : Region_grow
% ch=3 : Poi_cal
% ch=4 : manual

cd ..

%string gia perihghsh stis database
allc=['1','2','3','4','5','6','7','8','9','0'];

datbmp='dat.bmp';
regab='regab.bmp';
imgab='imgab.bmp';

%paths gia kwdika kai database
%Hough && Hough data
htcd='HTC';
htdt='hough_data';

% Rgrow && Rgrow data
rgcd='rgrow';
rgdt='regrow_data';
```

```

% PoiCal && Poical data
pccd='poical';
pcdt='poical_data';

% Man && Man data
mncd='mandata';
mndt='man_data';

% Folder code unf-gab-comp
ugccd='unf-gab-comp';

% current code paths and data

currcd=[];
currdt=[];

if ch==1

    currcd=htcd;
    currdt=htdt;

else if ch==2

    currcd=rgcd;
    currdt=rgdt;

else if ch==3

    currcd=pccd;
    currdt=pcdt;

else if ch==4

    currcd=mncd;
    currdt=mndt;

end
end
end
end

for i=1:11
    for j=1:3

        if i<10
            nm=[allc(10),allc(i),allc(j)];
        else
            if i==10
                l=i;
            else
                l=i-10;
            end

            nm=[allc(1),allc(l),allc(j)];
        end
    end
end

```

```

%database
    cd all_data
    cd(currdt);

%fakeios atomou
    fnm=[nm(1),nm(2)];
    cd(fnm);

%fortwsh eikonas
    cstr=[nm,datbmp];
    img=imread(cstr,'bmp');

    cd ..
    cd ..
    cd ..

%path tou kwdika
    cd(ugccd);

%euresh tou pragmatikou kai fantastikou merous ths ksediplwmenhs
    [redat,imdat]=create_gabor_img(img);

    credat=[nm,regab];
    cimdat=[nm,imgab];

    cd ..
    cd all_data
    cd(currdt);
    cd(fnm);

%apothikeush tw n 2 newn eikonwn
    imwrite(redat,credat,'bmp');
    imwrite(imdat,cimdat,'bmp');

    cd ..
    cd ..
    cd ..

    end
end

```

```

function [fredat,fimdat]=create_gabor_img(dat)

% gabor filter kai efarmogh sto dat
% epistrefei pragmatiko kai fantastiko
% [fredat,fimdat]=create_gabor_img(dat)

%megethos pinakwn bash tou dat
[nr,nsector]=size(dat);

%euresh pattern gia apofugh epikalupshs
%tou filtrou gabor sta blefara
patdat=(dat>0);

%dhmiourgia pragmatikou kai fantastikou filtrou gabor
[gbr,gbi]=ngabord(2,0,2,1,1);

```

```

%suneliksi me thn unfolded
redat=convn(dat,gbr,'same');
imdat=convn(dat,gbi,'same');

fredat=zeros(nr,nsector);
fimdat=zeros(nr,nsector);

%epikalupsh tw n blefarwn
for i=1:nr
    for j=1:nsector

        fredat(i,j)=patdat(i,j)*redat(i,j);
        fimdat(i,j)=patdat(i,j)*imdat(i,j);

    end
end

%apeikonhsh tw n 2 newn pinakwn
% figure; imagesc(fredat);
% figure; imagesc(fimdat);

%assos gia tis thetikas h mhden kai mhden gia tis arnhtikes
fredat(fredat>=0)=1;
fredat(fredat<0)=0;
fimdat(fimdat>=0)=1;
fimdat(fimdat<0)=0;

function [maxgbr,maxgbi]=ngabord(sigma,theta,lambda,fi,gamma)

%dhmiourgia real kai imaginary filtrou gabor
%input: sigma,theta,lambda,fi,gamma

%xwros (megethos) pou kumainetai
gb=zeros(3*sigma,3*sigma);

sigma_x = sigma;
sigma_y = sigma/gamma;

%dhmiourgia xwrou
[x,y]=meshgrid(-3*sigma:3*sigma,-3*sigma:3*sigma);
rx=x*cos(theta)+y*sin(theta);
ry=-x*sin(theta)+y*cos(theta);

%real & imaginary kumatidio
gbr=exp(-.5*(rx.^2/sigma_x^2+ry.^2/sigma_y^2)).*cos(2*pi/lambda*rx+fi);
gbi=exp(-.5*(rx.^2/sigma_x^2+ry.^2/sigma_y^2)).*(-sin(2*pi/lambda*rx+fi));

%euresh megistou
mes=round(size(gbr,1)/2);

maxgbr(1,:)=gbr(mes,:);
maxgbi(1,:)=gbi(mes,:);

```

```

%apeikonhsh olwn
% figure;plot(maxgbr);
% figure;plot(maxgbi);
%
% figure;surf(gbr);
% figure;surf(gbi);

```

Κώδικες συγκρίσεων

```

function auto_comp(ch1,ch2)

%automath dhmiourgia pinakwn
%pou emfanizoun tis susxetiseis anamesa stis eikones
% auto_comp(ch1,ch2);
% ch=1 : Hough
% ch=2 : Region_grow
% ch=3 : Poi_cal
% ch=4 : manual

%fakelos kwdika
cd unf-gab-comp

%xronos ekteleshsh apo to roloi ths cpu
t=cputime;

%algorithmos
auto_comp(ch1,ch2);

%emfanizei to xrono ekteleshhs
cputime-t

function auto_comp(ch1,ch2)

%automath dhmiourgia pinakwn
%pou emfanizoun tis susxetiseis anamesa stis eikones
% ch=1 : Hough
% ch=2 : Region_grow
% ch=3 : Poi_cal
% ch=4 : manual

iicoun=1;

for i=1:11
    for ii=1:3

        jjcoun=1;

        for j=1:11
            for jj=1:3

%perihghsh kai fortwsh tw'n real kai imag pinakwn
%gia th sugkrish kathws kai to pattern gia kathe ena apo ta 2 matia
                [fstredat,fstimdat,patdat]=sub_comp(ch1,i,ii);
                cd unf-gab-comp
                [sndredat,sndimdat,patidat]=sub_comp(ch2,j,jj);
                cd unf-gab-comp
            end
        end
    end
end

```

```

%% elegxos metaksu 2 eikonwn(a.k.a. (re & im) = 4 eikones)

%ypologismos apostashs haming
[pscr,psci]=hamdist(fstredat,fstimdat,sndredat,sndimdat,patdat,patidat);

%sunupologismos tw n 2 apotelesmatwn
score=(pscr+psci)/2;

%dhmiourgia telikou pinaka
fscore(iicoun,jjcoun)=score;

jjcoun=jjcoun+1;

end
end

iicoun=iicoun+1;
end
i
end

%% save

cd ..
cd all_data

allc=['1','2','3','4'];

str='scores';

fstr=[allc(ch1),allc(ch2),str];

%save se morfhn ypologistikou fullou excell
xlswrite(fstr,fscore);

cd ..

function [redat,imdat,patdat]=sub_comp(ch,i,ii)

%epistrefei gia ena mati enos atomou(perihghsh gia kathe db)
%tous real kai imag pinakes gia sugkrish
% ch=1 : Hough
% ch=2 : Region_grow
% ch=3 : Poi_cal
% ch=4 : manual

cd ..

%string gia perihghsh
allc=['1','2','3','4','5','6','7','8','9','0'];

datbmp='dat.bmp';
regab='regab.bmp';
imgab='imgab.bmp';

%paths gia code kai db

```

```

%Hough && Hough data
htcd='HTC';
htdt='hough_data';

% Rgrow && Rgrow data
rgcd='rgrow';
rgdt='regrow_data';

% PoiCal && Poical data
pccd='poical';
pcdt='poical_data';

% Man && Man data
mncd='mandata';
mndt='man_data';

% current code paths and data

currcd=[];
currdt=[];

if ch==1

    currcd=htcd;
    currdt=htdt;

else if ch==2

    currcd=rgcd;
    currdt=rgdt;

    else if ch==3

        currcd=pccd;
        currdt=pcdt;

        else if ch==4

            currcd=mncd;
            currdt=mndt;

        end
    end
end

if i<10
    nm=[allc(10),allc(i)];
end

if i==10
    nm=[allc(1),allc(10)];
end

if i>10
    nm=[allc(1),allc(i-10)];
end

%eisodos sth bash
cd all_data
cd(currdt);

```



```

%fakelos atomou (kai mati)
fnm=[nm,allc(ii)];
cd(nm);

cstr=[fnm,datbmp];
restr=[fnm,regab];
imstr=[fnm,imgab];

%fortwsh unfolded gia pattern kai real kai imag pinakes
img=imread(cstr,'bmp');
redat=imread(restr,'bmp');
imdat=imread(imstr,'bmp');

%dhmiourgia pattern
patdat=(img==0);

cd ..
cd ..
cd ..

function [pscr,psci]=hamdist(aare,aaim,bbre,bbim,pata,patb)

%euresh apostashs haming gia 4 pinakes (2 real kai 2 im ana 2)
[nr,ns]=size(aare);

ca=1;
cb=1;

for i=1:nr
    for j=1:ns

%real:metatroph pinaka se dianusma
        linare(ca,1)=aare(i,j);
        linaim(ca,1)=aaim(i,j);
        ca=ca+1;

%imag:metatroph pinaka se dianusma
        linbre(cb,1)=bbre(i,j);
        linbim(cb,1)=bbim(i,j);
        cb=cb+1;

    end
end

sc=0;
sci=0;

%ypologismos apostashs hamming
for ii=1:size(linare,1)

    if linare(ii,1)~=linbre(ii,1)

        sc=sc+1;
    end
end

```

```

        if linaim(ii,1)~=linbim(ii,1)
            sci=sci+1;
        end
    end

    %ypologismos posostou
    pscr=scr/size(linare,1);
    psci=sci/size(linaim,1);

function fscore=rand_comp(rand_img,ch,ch2)

% fscore=rand_comp(rand_img,ch,ch2)
% eisodos tuxaias eikonas gia elegxo me th bash dedomenwn
% ch2=4 gia man_data
% epistrefei fscore(33,1)
% ch=1 : Hough
% ch=2 : Region_grow
% ch=3 : Poi_cal
% ch=4 : manual

%paths gia codes kai data
%Hough && Hough data
htcd='HTC';

% Rgrow && Rgrow data
rgcd='rgrow';

% PoiCal && Poical data
pccd='poical';

% Man && Man data
mncd='mandata';

% Folder code unf-gab-comp
ugccd='unf-gab-comp';

% current code paths and data
% ektelei tous kwdikes kai epistrefei ta dedomena
if ch==1

    cd(htcd);

    [cpi,cdata]=HTC(rand_img);
else if ch==2

    cd(rgcd);

    [cpi,cdata]=rg(rand_img);

else if ch==3

    cd(pccd);

    [cpi,cdata]=m2(rand_img);

```

```

else if ch==4

    cd(mncd);

    [cpi,cdata]=datacount(img);

        end
    end
end
end

%efarmogh skiashs blefarwn
newimg=rand_img;

for icoun=1:size(rand_img,1)
    for jcoun=1:size(rand_img,2)
        if (cdata(1,jcoun)>icoun)

            newimg(icoun+5,jcoun)=0;
            newimg(icoun,jcoun)=0;

        end

        if (cdata(2,jcoun)<icoun)

            newimg(icoun-5,jcoun)=0;
            newimg(icoun,jcoun)=0;

        end

    end

end

cd ..
cd(ugccd);

%elegxos oriwn eikonas
cen=0;

if (cpi(2,2)+cpi(2,3)>size(newimg,1)) || (cpi(2,1)+cpi(2,3)>size(newimg,2))

    cen=50;
    newimg=incbounds(newimg,cen);

end

%ksediplwma
datimg=uint8(unfold(newimg,cpi(1,2)+cen,cpi(1,1)+cen,cpi(1,3),cpi(2,2)+cen,
cpi(2,1)+cen,cpi(2,3),0));

%dhmiourgia pattern
patdat=(datimg==0);

%epistrefei real kai imag gia gabor
[fstredat,fstimdat]=create_gabor_img(datimg);

nr=16;
nsector=64;

```

```

jjcoun=1;

    for j=1:11
        for jj=1:3

%epistروفh real kai imag apo th bash dedomenwn
            [sndredat,sndimdat,patidat]=sub_comp(ch2,j,jj);
            cd unf-gab-comp

%% elegxos metaksu 2 eikonwn(a.k.a. (re & im) = 4 eikones)

%apostash hamming metaksu twv 2 pinakwn
[pscr,psci]=hamdist(fstredat,fstimdat,sndredat,sndimdat,patdat,patidat);

%sunupologismos score
            score=(pscr+psci)/2;

            %dhmiourgia telikou pinaka
            fscore(jjcoun,1)=score;

            jjcoun=jjcoun+1;

        end
    end
    cd ..

```

Κώδικας συγκριτικών αποτελεσμάτων (εικόνες και πίνακες)

```

function auto_plots

cd all_data

%strings gia perihghsh
js='_1_';
bmp='.bmp';
pi_s='pi.txt';
data_s='data.txt';
strpup='pup';
strblup='blup';
strbldown='bldown';
str1='hough-man';
str2='rg-man';
str3='poical-man';

allc=['1','2','3','4','5','6','7','8','9','0'];

%telikoi pinakes
sc_pup=zeros(3,30);
sc_blup=zeros(3,30);
sc_bldown=zeros(3,30);
sc_hg=zeros(3,30);
sc_rg=zeros(3,30);
sc_pc=zeros(3,30);

cc=1;

```

```

for i=1:10
    for j=1:3

        if i<10
            cstr=[allc(10),allc(10),allc(i),js,allc(j),bmp];
            nm=[allc(10),allc(i),allc(j)];
        else

            if i==10

                l=i;
            else
                l=i-10;
            end

            cstr=[allc(10),allc(1),allc(1),js,allc(j),bmp];
            nm=[allc(1),allc(1),allc(j)];
        end

        cd man_data

        %fortwsh geo apo manual
        fnm=[nm(1),nm(2)];
        cd(fnm);

        img=imread(cstr,'bmp');

        cst=[nm,pi_s];
        cpil=load(cst);

        cst=[nm,data_s];
        cdata1=load(cst);

        cd ..
        cd ..

        cd hough_data
        cd(fnm);

        %fortwsh geo apo hough
        cst=[nm,pi_s];
        cpi2=load(cst);
        cst=[nm,data_s];
        cdata2=load(cst);

        cd ..
        cd ..
        cd regrow_data
        cd(fnm);

        %fortwsh geo apo regrow
        cst=[nm,pi_s];
        cpi3=load(cst);

        cd ..
        cd ..
        cd poical_data
        cd(fnm);

        %fortwsh geo apo poical
        cst=[nm,pi_s];

```

```

cpi4=load(cst);

%% blefara

figure;imshow(img);
hold on
plot(cdata1(1,:), 'b');
plot(cdata2(1,:), 'y');
plot(cdata1(2,:), 'b');
plot(cdata2(2,:), 'y');

%save se fakelo
FG=getframe(gcf);

cd ..
cd ..
cd ..
cd plots
cd blefssss

imwrite(FG.cdata,nm, 'bmp');
close

cd ..

%% korh

figure;imshow(img);
hold on

for theta=0:1/180:2*pi
    %manual
    p_coll=cpi1(1,2)+cpi1(1,3)*cos(theta);
    p_lin1=cpi1(1,1)+cpi1(1,3)*sin(theta);
    plot(p_coll,p_lin1, 'b');
    %hough(auto)
    p_col2=cpi2(1,2)+cpi2(1,3)*cos(theta);
    p_lin2=cpi2(1,1)+cpi2(1,3)*sin(theta);
    plot(p_col2,p_lin2, 'y');

end

FG=getframe(gcf);

cd pupils

imwrite(FG.cdata,nm, 'bmp');
close

cd ..

%% irida

figure;imshow(img);
hold on

for theta=0:1/180:2*pi

    %manual
    p_coll=cpi1(2,2)+cpi1(2,3)*cos(theta);

```

```

    p_lin1=cpi1(2,1)+cpi1(2,3)*sin(theta);
    plot(p_col1,p_lin1,'b');
    % hough
    p_col2=cpi2(2,2)+cpi2(2,3)*cos(theta);
    p_lin2=cpi2(2,1)+cpi2(2,3)*sin(theta);
    plot(p_col2,p_lin2,'y');
    %regrow
    p_col3=cpi3(2,2)+cpi3(2,3)*cos(theta);
    p_lin3=cpi3(2,1)+cpi3(2,3)*sin(theta);
    plot(p_col3,p_lin3,'r');
    %poical
    p_col4=cpi4(2,2)+cpi4(2,3)*cos(theta);
    p_lin4=cpi4(2,1)+cpi4(2,3)*sin(theta);
    plot(p_col4,p_lin4,'k');

end

FG=getframe(gcf);

cd iriss

imwrite(FG.cdata,nm,'bmp');
close

cd ..

%diffs pupil

a=pi*(cpi1(1,3)^2);
b=pi*(cpi2(1,3)^2);
c=abs(a-b)/a;
sc_pup(1,cc)=a;
sc_pup(2,cc)=b;
sc_pup(3,cc)=c;

%diffs blufup

a=sum(cdata1(1,90:250));
b=sum(cdata2(1,90:250));
c=abs(a-b)/(250-90);
sc_blup(1,cc)=a;
sc_blup(2,cc)=b;
sc_blup(3,cc)=c;

%diffs blefdown

a=sum(cdata1(2,90:250));
b=sum(cdata2(2,90:250));
c=abs(a-b)/(250-90);
sc_bldown(1,cc)=a;
sc_bldown(2,cc)=b;
sc_bldown(3,cc)=c;

%diffs iris hg

a=pi*(cpi1(2,3)^2);
b=pi*(cpi2(2,3)^2);
c=abs(a-b)/a;
sc_hg(1,cc)=a;
sc_hg(2,cc)=b;

```

```

        sc_hg(3,cc)=c;

        %diffs iris rg

        a=pi*(cpi1(2,3)^2);
        b=pi*(cpi3(2,3)^2);
        c=abs(a-b)/a;
        sc_rg(1,cc)=a;
        sc_rg(2,cc)=b;
        sc_rg(3,cc)=c;

        %diffs iris pc

        a=pi*(cpi1(2,3)^2);
        b=pi*(cpi4(2,3)^2);
        c=abs(a-b)/a;
        sc_pc(1,cc)=a;
        sc_pc(2,cc)=b;
        sc_pc(3,cc)=c;

        cd ..
        cd all_data

        cc=cc+1;

    end
end

%eggraph apotelesmatwn
cd ..
cd plots/xlsss
fstr=[strpup];
xlswrite(fstr,sc_pup(:, :));

fstr=[strblup];
xlswrite(fstr,sc_blup);

fstr=[strbldown];
xlswrite(fstr,sc_bldown);

fstr=[str1];
xlswrite(fstr,sc_hg);

fstr=[str2];
xlswrite(fstr,sc_rg);

fstr=[str3];
xlswrite(fstr,sc_pc);
cd ..
cd ..

```


Αναφορές

- [1] Delac, K., Grgic, M. (2004). A Survey of Biometric Recognition Methods, 46th International Symposium Electronics in Marine, ELMAR-2004, 16-18 June 2004, Zadar, Croatia
- [2] J. Daugman, How Iris Recognition Works, *IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS FOR VIDEO TECHNOLOGY*, Vol. 14, No. 1, pp. 21–30, 2004.
- [3] Mafee, Mahmood F., Anatomy and Pathology of the Eye: Role of MR Imaging and CT, *Radiologic Clinics of North America*, Vol. 44, No. 1, pp. 135–157, 2006.
- [4] Ieee-xplore, available from <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/guesthome.jsp>
- [5] CASIA iris image database, Available from: <http://www.cbsr.ia.ac.cn/Databases.htm>.
- [6] Matlab, Available from <http://www.mathworks.com/>
- [7] Tremeau, Alain, A region growing and merging algorithm to color segmentation, *Pattern Recognition*, Vol. 30, No. 7, pp. 1191-1203, 1997
- [8] Mark S. Nixon Alberto S. Aguado, *Feature Extraction and Image Processing*, Newnes 2002, ISBN 0 7506 5078 8.
- [9] Richard P. Wildes, Iris recognition: An emerging biometric technology, *Proc. IEEE*, vol. 85, No 9, 1348–1363, 1997.
- [10] Näsänen, Risto, Effect of image contrast and sharpness on visual search for computer icons, *Displays*, vol. 24, No 3, 137–144, 2003.
- [11] Canny, J., A Computational Approach To Edge Detection, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 8:679–714, 1986.
- [12] Xinying Rena, Zhiyong Pengb, Qingning Zengb, Chaonan Pengc, Jianhua Zhangd, ShuicaiWua, Yanjun Zeng, “An improved method for Daugman’s iris localization algorithm” *Computers in Biology and Medicine*, vol. 38, pp. 111 – 115, 2008.
- [13] LiYua, David Zhangb, KuanquanWang, The relative distance of key point based iris recognition, *Pattern Recognition*, vol. 40, pp. 423 – 430, 2007.
- [14] Makram Nabti, Ahmed Bouridane, “An effective and fast iris recognition system based on a combined multiscale feature extraction technique”, *Pattern Recognition*, vol. 41, pp. 868 – 879, 2008.
- [15] G.A. Basit, M.Y. Javed, “Localization of iris in gray scale images using intensity gradient”, *Optics and Lasers in Engineering*, vol. 45, pp. 1107–1114, 2007.

- [16] K.W. Bowyer, K. Hollingsworth, P.J. Flynn, Image understanding for iris biometrics: A survey, *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 110, 281–307, 2008.
- [17] J. Wolberg, *Data Analysis Using the Method of Least Squares: Extracting the Most Information from Experiments*, Springer, 2005.
- [18] Field, Dan, Algorithms for drawing anti-aliased circles and ellipses, *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, vol. 33, 1–15, 1986.