Παρακολούθηση εικόνας τηλεόρασης τριών διαστάσεων (3D) χωρίς γυαλιά

Πτυχιακή εργασία

Κολιός Κωνσταντίνος -- ΑΜ: 4195

Υπεύθυνος Καθηγητής: Δρ Κουριδάκης Στυλιανός

Σχολή Εφαρμοσμένων Επιστημών - ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών Τ.Ε.

Πίνακας Περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

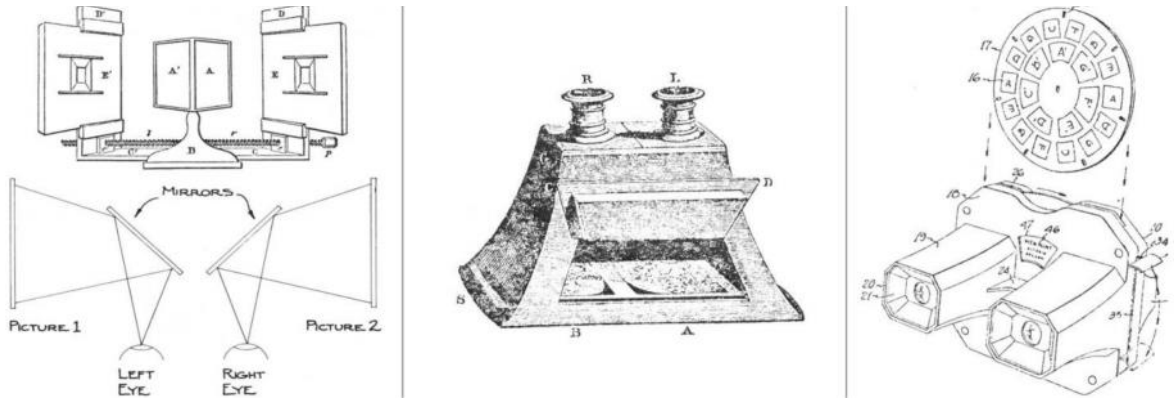
Η επιτυχία των πρόσφατων στερεοσκοπικών 3-D ταινιών όπως το Avatar έχει δημιουργήσει μεγάλη προσοχή για το 3-D στο σπίτι. Σχεδόν σε όλα τα μεγάλα ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης (CE), οι κατασκευαστές έχουν εκδώσει τις 3-D οθόνες τους στην αγορά. Ένα πρόβλημα με αυτές τις λύσεις είναι ότι οι θεατές πρέπει να φορούν γυαλιά. Οι Autostereoscopic οθόνες 3-D χωρίς γυαλιά συνήθως χρησιμοποιούν φακοειδή φακούς ή εμπόδια για να δημιουργήσουν πολλαπλές προβολές. Ωστόσο, αυτές οι οθόνες υποφέρουν από μια σειρά από ζητήματα: ανεστραμμένες όψεις σε προβολή μεταβάσεις κώνου, cross-talk μεταξύ των θέσεων θέασης και την ανάγκη για το περιεχόμενο multi-view. Πιστεύουμε ότι ορισμένα από αυτά τα θέματα μπορούν να μειωθούν με τη χρήση της παρακολούθησης της κόρης του ματιού. Κατά τη διαδικασία της έρευνας που ξεκινήσαμε με μια εκτενή μελέτη της βιβλιογραφίας για τον εντοπισμό του ανθρώπου (πρόσωπο) και τις τεχνικές παρακολούθησης, μας βοήθησε να κατανοήσουμε τα πλεονεκτήματα και τις αδυναμίες των διαφόρων εφαρμογών. Εκτός από τις μελέτες της βιβλιογραφίας, μας βοήθησε η εμπειρία μας με την ποικιλία των ψηφιακών και οπτικών εξαρτημάτων κάτω από διαφορετικές συνθήκες. Ως εκ τούτου, σχεδιάσαμε ένα multi-person IR (υπέρυθρο φως) παρακολούθησης της κόρης του ματιού και το multi-view renderer για την 3-D οθόνη, για να προσαρμόζει την απόδοση της προβολής σε πραγματικό χρόνο ανάλογα με τη θέση του θεατή. Μαζί με την ενσωμάτωση αυτών των δύο εφαρμογών η 3D τηλεόραση προσαρμόζεται με επιτυχία στην προβολή του κέντρου (θέση θεατή στο κέντρο) ανάλογα με τη θέση του θεατή και είναι σε θέση να παρέχει μια ομαλή παρακολούθηση ενώ ο θεατής αλλάζει ενεργά τη θέση του από μια αξιοσημείωτη απόσταση κάτω από τον φωτισμό του περιβάλλοντος. Ωστόσο, ακόμη και αν η παρακολούθηση της κόρης εφαρμόζεται για πολλούς ανθρώπους ταυτόχρονα, λόγω του περιορισμού του χρόνου και την πολυπλοκότητα του προβλήματος σχετικά με το multi-view renderer, οι ενσωματωμένες λειτουργίες του συστήματος είναι μόνο για ένα άτομο. Με τη διερεύνηση της τεχνικής που χρησιμοποιείται η σε βάθος περιγραφή και η απεικόνιση των σχεδιασμένων εφαρμογών, με τα συμπεράσματα που συνάγονται από το υλοποιημένο σύστημα πιστεύουμε ότι η έρευνα αυτή αποτελεί μια ουσιαστική καθοδήγηση και πηγή για περαιτέρω έρευνα στον τομέα της 3D οθόνης και των μεθόδων παρακολούθησης του ανθρώπινου προσώπου.

Abstract

The success of recent 3-D stereoscopic movies such as Avatar has created a lot of attention for 3-D in the home. Almost all major consumer electronics (CE) manufacturers have launched their 3-D stereoscopic displays in the market. A problem with those solutions is that viewers have to wear glasses. Glasses-free autostereoscopic 3-D displays typically use lenticular lenses or barriers to create multiple views. However these displays suffer from a number of issues: inverted views at viewing cone transitions, cross-talk between views, and need for multi-view content. As Philips Electronics research group, we believe that some of these issues can be reduced by using pupil tracking. In the research process, we began with an extensive literature study on people detection and tracking techniques that helped us to understand the benefits and the shortcomings of different applications. Addition to literature studies, we greatly benefited from constant experimentation with prototypes and the hands-on experience with variety of digital and optical components under different conditions. As a result, we designed a multi-person infrared pupil tracker and multi-view renderer for 3D display to adapt the view rendering in real-time according to viewer's position. Together with the integration of these two applications, the integrated 3D TV successfully adapts the center view according to position of the viewer and able to provide a smooth transition while the viewer actively changes her position from a notable distance under ambient illumination. However, even though the pupil tracker is implemented for multiple people, because of the time limitation and the complexity of the problem regarding multi-view renderer, the integrated system functions only for one person. By exploring the employed technique, in-depth description and detailed illustration of designed applications and the conclusions drawn from the implemented system; we believe that this paper forms a substantial guidance and show-how source for further research in the field of 3D display and people tracking methods.

1. Εισαγωγή

Η απεικόνιση της 3D τεχνολογίας και οι 3D οθόνες έχουν υπάρξει γύρω μας για μεγάλο χρονικό διάστημα. Το 1838, ο Άγγλος επιστήμονας και εφευρέτης Sir Charles Wheatstone είχε εξηγήσει την Stereopsis, τη διαδικασία που ευθύνεται για την αντίληψη του βάθους στην οπτική του κόσμου μας με στερεοσκοπικά σχέδια και το σχεδιασμό του πρώτου στερεοσκοπίου. Λίγο μετά, ο David Brewster βελτίωσε την κατασκευή Wheatstone, χρησιμοποιώντας φακούς αντί για καθρέφτες η οποία μπορεί να θεωρηθεί ως ο πρόγονος του View-Master της δημοφιλούς επίδειξης 3D εικόνας Gruber στην δεκαετία του ’70 (βλ. Σχήμα 1) [25] [26] [27].



Σχήμα 1 - Σχεδιασμός Στερεοσκοπίων: Wheatstone, Brewster και Gruber [27] [33]

Με τις πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία είναι πλέον δυνατή η πρόσβαση σε μια ποικιλία περιεχομένων σε 3-D και να τη ζήσετε με πολλούς τρόπους, από τη μεγάλες θεατρικές οθόνες μέχρι και την οθόνη ενός κινητού τηλεφώνου. Το πιο σημαντικό είναι ότι η 3-D τεχνολογία είναι έτοιμη να προχωρήσει στο επόμενο επίπεδο τη ιατρική βιομηχανία στα διαγνωστικά εργαλεία, τεχνικό σχέδιο και σε διάφορους κλάδους επιχειρήσεων, π.χ. ψηφιακό μάρκετινγκ σε δημόσιους χώρους, εικονικής πραγματικότητας μουσεία, εκπαιδευτικούς σκοπούς ακόμα και την αποκατάσταση των ηλικιωμένων [1] . Παρ ’όλα αυτές οι εταιρείες ταινιών είναι ακόμα ο κύριος υποστηρικτής της 3-D τεχνολογίας.

Μαζί με την επιτυχία των στερεοσκοπικών ταινιών όπως το Avatar , Beowulf και πολλές άλλες ταινίες 3-D και κινούμενα σχέδια , στο σπίτι η 3-D τεχνολογία έχει προσελκύσει πολύ ενδιαφέρον. Επίσης, με την τυποποίηση της στερεοσκοπικής 3-D σε Blu-Ray Disc, πολλές ταινίες έχουν κυκλοφορήσει σε 3-D για το σπίτι. Η μετάβαση της 3-D εμπειρίας από τις κινηματογραφικές αίθουσες σε σαλόνια του σπιτιού μας διαμορφώνει και το μέλλον της 3-D οθόνης στα ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης .

Οι οθόνες 3-D μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κύριες κατηγορίες: Στερεοσκοπική και Auto-Στερεοσκοπική. Η Στερεοσκοπική οθόνη δημιουργεί 3-D αντίληψη του βάθους παρουσιάζοντας δύο διαφορετικές εικόνες 2-D ξεχωριστά στο αριστερό και το δεξί μάτι του θεατή που απαιτεί ειδικά γυαλιά με φιλτράρισμα ή με πόλωση των χαρακτηριστικών. Από την άλλη πλευρά , στην Auto-Στερεοσκοπική δεν απαιτούν στους θεατές να φορούν γυαλιά. Οι Auto-Στερεοσκοπικές οθόνες δημιουργούν την 3-D αντίληψη είτε χρησιμοποιώντας ένα φράγμα πλάκας ή φακοειδή φακό. Οι πλάκες αυτές επιτρέπουν στο φως να περάσει μόνο από μια συγκεκριμένη κατεύθυνση, επομένως, κάθε μάτι βλέπει διαφορετικά πίξελς της εικόνας, και οι φακοειδή φακοί διαθλούν το φως με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε το αριστερό μάτι να βλέπει μόνο τα αριστερά πιξελς της εικόνας και το δεξί μάτι τα δεξιά πιξελς της εικόνας. Στο κεφάλαιο 5, οι 3-D οθόνες και η τεχνολογία εξηγείτε με λεπτομέρεια.

Από την πλευρά της αλληλεπίδρασης ανθρώπου-υπολογιστή, η τεχνολογία 3-D προσφέρει ένα πολλά υποσχόμενο μέλλον που φέρνει την καινοτομία στον παραδοσιακό και το σύγχρονο χώρο των εφαρμογών όπου η αλληλεπίδραση ανθρώπου-τεχνολογίας και η εμπειρία του χρήστη είναι απαραίτητη.

1.1 Auto- Στερεοσκοπική Οθόνη : Περιοχές εφαρμογής

Οι δυνατότητες των νέων μορφών αλληλεπίδρασης ανθρώπου-υπολογιστή συνεχώς εξελίσσονται, επιτρέπει στους χρήστες να πλοηγηθούν μέσα από ένα μεγάλο δίκτυο πληροφοριών γρήγορα για να επιτευχθεί μια επιτυχημένη ανταλλαγή των δεδομένων για να επιτύχουν ψηφιακές εργασίες. Ως εναλλακτική λύση στο παραδοσιακό 2D περιβάλλον εργασίας με το ποντίκι και το πληκτρολόγιο, το Heinrich - Hertz - Institute έχει αναπτύξει έναν 3D υπολογιστή (mUltimo3D) που παρέχει μια πολυτροπική αλληλεπίδραση με τη χρήση μιας Auto-Στερεοσκοπικής οθόνης, ανιχνευτές βίντεο για να αντιληφτεί την αλληλεπίδραση του χρήστη με τον υπολογιστή και ανιχνευτές για την αναγνώριση ομιλίας. Το έργο στοχεύει να δημιουργήσει ένα τρισδιάστατο περιβάλλον αλληλεπίδρασης, όπου οι παράγοντες διασύνδεσης παρακολουθούν και ερμηνεύουν τις ενέργειες του χρήστη σε σχέση με το πλαίσιο εργασίας, να συγκεντρώσει στοιχεία από διάφορες αλληλοεπιδράσεις και να οργανώσει το χώρο αλληλεπίδρασης αναλόγως. Χρησιμοποιώντας ένα 3D περιβάλλον εργασίας ο χρήστης μπορεί να τοποθετήσει και να κλιμακώσει όλα τα οπτικά στοιχεία που απαιτούνται για συγκεκριμένες εργασίες. Επιπρόσθετα, το mUltimo3D παίρνει πλεονεκτήματα από την ικανότητα του ανθρώπου να εστιάσει διακριτές αποστάσεις και τα στρώματα βάθους, έτσι η χρήση των επιπρόσθετων διαστάσεων μπορούν να συνδεθούν με διάφορες εργασίες και τα χαρακτηριστικά του υπολογιστή [28] .

Οι Auto-Στερεοσκοπικές οθόνες βελτιώνουν επίσης την ικανότητα των χρηστών να καταλάβουν και να κατανοήσουν τη δομή των πολύπλοκων φυσικών και εικονικών περιβαλλόντων. Για παράδειγμα, οι οθόνες 3D χρησιμοποιούνται σε ιατρικές πρακτικές, όπως χειρουργικές επεμβάσεις που απαιτούν ακρίβεια για την κατανόηση της μορφολογίας της παθολογίας και ανατομίας του ασθενούς. Ένα άλλο όφελος της Auto-Στερεοσκοπικής οθόνης είναι το ευρύ οπτικό πεδίο που επιτρέπει σε πολλούς χρήστες να αντιληφθούν τις στερεοσκοπικές εικόνες, το οποίο γίνεται ιδιαίτερα σημαντικό στα χειρουργικά δωμάτια, όπου ο παρατηρητής δεν είναι περιοριζόμενος σε ένα μόνο σημείο. [29]

Σε ένα παρόμοιο μοντέλο, ο Magalhães et al. επισημαίνει ότι για την ιατρική απεικόνιση, όπως η CR ή η μαγνητική τομογραφία, οι auto-Στερεοσκοπικές οθόνες επιτρέπουν στους γιατρούς να έχουν μια καλύτερη χωρική κατανόηση των ανατομικών δομών και την καλύτερη αντίληψη των ανατομικών δομών, όπως η ανίχνευση των ανευρυσμάτων ή αρτηριακών / φλεβικών προβλημάτων [30] . Οι Jiang και Mojon παρουσίασαν τη δυνατότητα των auto-Στερεοσκοπικών οθονών σε οφθαλμολογικές μελέτες, η οποία ερευνά την οπτική αντίληψη και διαταραχή του ανθρώπου. Στην οφθαλμολογία, οι οφθαλμολογικές εξετάσεις που συνήθως γίνονται με κάρτες ή 2D οθόνες και συχνά απαιτούν λεκτικές ικανότητες των ατόμων που εξετάζονται.

Μία τέτοια Auto-Στερεοσκοπική οθόνη είχε δημιουργηθεί, όπου η οποία μετατρέπει τυχαίες κουκίδες σε φυσικές συνθήκες θέασης με αντικειμενική αξιολόγηση της αναγνώρισης. Στην πειραματική διάταξη, μια Auto-Στερεοσκοπική οθόνη με ένα οπτικό ερέθισμα τοποθετήθηκε μπροστά από το άτομο και ένα υπέρυθρο σύστημα φωτο- οφθαλμογραφία χρησιμοποιήθηκε για να καταγράψει τις κινήσεις του προσώπου. Κατά τη διάρκεια του πειράματος, οι συντεταγμένες του ερεθίσματος αλλάζουν συνεχώς και, στη συνέχεια, οι θέσεις εμφάνισης ερεθίσματος συγκρίνονται με τις καταγραμμένες κινήσεις των ματιών του ατόμου της δοκιμής για να αποδειχτεί αν το άτομο μπορεί να ακολουθήσει τις θέσεις με επιτυχία [31] . Λαμβάνοντας υπόψη αυτά τα σημεία, μπορούμε να φανταστούμε ότι η 3D τεχνολογία σύντομα θα γίνει μέρος της ζωής μας στο εγγύς μέλλον, όχι μόνο για να διασκεδάσει, αλλά και να ενισχύσει τις ικανότητές, να είναι πιο παραγωγική και αποδοτική για το περιβάλλον εργασίας μας και για τη δημιουργία καλύτερων και πιο εναλλακτικών λύσεων στην αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή για τις δύσκολες εργασίες στην καθημερινή μας ζωή .

2. Προσδιορισμός του προβλήματος και Έρευνα

OI Autostereoscopic οθόνες 3-D που δεν απαιτούν γυαλιά χρησιμοποιούν συχνά φακοειδή φακούς ή εμπόδια για να δημιουργήσουν πολλαπλές προβολές. Υπάρχουν όμως και κάποια μειονεκτήματα, όπως ανεστραμμένες όψεις σε μια προβολή μετάβασης κώνου, μειωμένη ανάλυση εικόνας και η ανάγκη για το διπλό περιεχόμενο κάθε προβολής.

Σε μελέτες του, ο Jin et al. αξιολογεί την ποιοτική εμπειρία του χρήστη με autostereoscopic οθόνες και εντοπίζει τυχόν ελλείψεις με την εξέταση ειδικών καθηκόντων των χρηστών και τη σύγκριση των 3D autostereoscopic οθόνων για επίπεδη οθόνη 3D (χωρις stereo). Κατά τη διάρκεια της μελέτης, οι συμμετέχοντες υποβάλλονται σε δύο δοκιμές. Η πρώτη δοκιμή είναι προκαταρκτική η οποία περιλαμβάνει την προβολή στατικών στερεοσκοπικών εικόνων και την εύρεση της καλύτερης γωνίας θέασης της οθόνης και η δεύτερη δοκιμή είναι η εμπειρία με το λογισμικό της στερεοσκοπικής διεπαφής του χρήστη. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των δοκιμών, οι συμμετέχοντες ανέφεραν ότι το stereo 3D δεινέ ισχυρή αίσθηση βάθους και στερεοφωνικό εφέ όπως και ευρύτερο οπτικό πεδίο που αισθάνονταν βυθισμένοι στο χώρο. Ωστόσο το τεστ της καλύτερης γωνίας θέασης έδειξε ότι οι έμπειροι χρήστες είχαν καλύτερα αποτελέσματα στην εύρεση του σημείου από ό, τι οι άπειροι χρήστες όπου δεν ήξεραν πού ήταν το καλύτερο σημείο της οθόνης. Επιπλέον, σε σχόλια των χρηστών σχετικά με το επίπεδο άνεσης της οθόνης, οι συμμετέχοντες ανέφεραν ότι υπέφεραν από την καταπόνηση των ματιών, ζάλη, βλέποντας πολλαπλές κάθετες γραμμές ή διπλές εικόνες [32] .

Με την ένταξη «συστήματος παρακολούθησης ματιών με υπέρυθρων ακτινων» (IRT) σε autostereoscopic οθόνη θα βοηθήσει στη μείωση ορισμένων από αυτών των θεμάτων. Η IRT είναι μια τεχνική για τη μέτρηση της θέσης των ματιών στο χώρο υπό τον φωτισμό των υπερύθρων ακτινών. Χρησιμοποιώντας την IRT, καθίσταται δυνατό να προσαρμόζεται η απόδοση της προβολής ανάλογα με τη θέση του θεατή έτσι ώστε η προβολή να μπορεί να κατευθύνεται προς τα μάτια του χρήστη [3].

Προκειμένου να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, θα πρέπει κατ ’αρχάς να σχεδιάσουν και να αναπτύξουν ένα υπέρυθρο σύστημα εντοπισμού ματιών που να επιτρέπει την ανίχνευση πολλαπλών προσώπων εντός της περιοχής και η απόσταση θέασης που είναι συνήθως τρεις έως τέσσερις φορές του διαγώνιου μήκους της οθόνης. Στο έργο μας, χρησιμοποιήσαμε μια 42 ιντσών autostereoscopic οθόνη ως εκ τούτου η βέλτιστη απόσταση για την παρακολούθηση της κόρης του ματιού κυμάνθηκε από 3 μέχρι 4 μέτρα. Είναι επίσης σημαντικό το γεγονός ότι το σύστημα λειτουργεί γρήγορα και σε πραγματικό χρόνο .

Το δεύτερο στάδιο είναι να βρεθεί μια λύση για την προσαρμογή της προβολής της autostereoscopic οθόνης σε σχέση με τη θέση του χρήστη, χρησιμοποιώντας υπέρυθρη ανίχνευση ματιού. Ένα βασικό σημείο είναι να μην υπάρξει αξιοσημείωτη καθυστέρηση μεταξύ των κινήσεων του χρήστη και της προβολής.

Ο σκοπός της αντιμετώπισης αυτών των θεμάτων και η στόχευση μιας πιθανής λύσης για τις 3D οθόνες χωρίς γυαλιά είναι να βελτιώσει τις δυνατότητες της καλύτερης αλληλεπίδρασης ανθρώπου-υπολογιστή.

3. Μεθοδολογία

Το ερευνητικό έργο αποτελείται από τρία κύρια μέρη: Σχεδιασμός και υλοποίηση IR tracker του χρήστη, εφαρμογή και ενσωμάτωση του συστήματος με τον χρήστη αναλόγως της θέση του θεατή που παρέχεται από την ανίχνευση του χρήστη.

Ξεκινήσαμε το πρώτο μέρος της έρευνάς μας με μια συγκριτική μελέτη της βιβλιογραφίας στην οποία αναλύσαμε τον εντοπισμό των ανθρώπων και τις τεχνικές παρακολούθησης που χρησιμοποιούνται σε καταναλωτικά προϊόντα και ακαδημαϊκά ερευνητικά πεδία. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για την ανίχνευση, π.χ. Η ανίχνευση προσώπου, ανίχνευση άμορφης μάζας, την παρακολούθηση του βλέμματος, και τις προηγούμενες μεθόδους παρακολούθησης χρήστη.

Η ανίχνευση προσώπου ασχολείται με τον εντοπισμό των ανθρώπινων προσώπων ανιχνεύοντας τα χαρακτηριστικά του προσώπου σε δεδομένες εικόνες. Ανίχνευση άμορφη μάζας είναι η ανίχνευση των σημείων ή περιοχής μιας εικόνας ανάλογα με συγκεκριμένα κριτήρια όπως ο εντοπισμός βλέμματος ενδιαφέρεται για το πού τα μάτια αναζητούν και όχι τις θέσεις τους στο χώρο. Στο κεφάλαιο 4.3 εξηγούμε γιατί επιλέγουμε IR παρακολούθησης του χρήστη σε σχέση με άλλες μεθόδους εντοπισμού του ανθρώπου.

Κατά την εφαρμογή του συστήματος, έχουμε ως στόχο να πειραματίσουμε όσο το δυνατόν περισσότερο το σχεδιασμό λειτουργικών πρωτοτύπων υψηλής πιστότητας. Με εκτενές δοκιμασία και εμπειρία, έχουμε την ευκαιρία να παρατηρήσουμε την συμπεριφορά των διαφόρων εξαρτημάτων, όπως τα LED IR, beamsplitters και τις μεθόδους φωτισμού. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται με τις απαιτήσεις του έργου π.χ. εκτέλεση σε πραγματικό χρόνο, υποστηρίζοντας την παρακολούθηση πολλαπλών προσώπων κ.λ.π.

Στο δεύτερο και τρίτο μέρος του έργου, επωφελούμαστε από την πρόσφατη βιβλιογραφία, η οποία είναι ιδιαίτερα επικεντρωμένη στις autostereoscopic οθόνες και τα θέματα τους, όπως cross-talk, χαμηλής ανάλυσης ή μειωμένης φωτεινότητας. Παρ ’όλα αυτά, για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων η πιο άνετη και πρακτική προσέγγιση ήταν να βασίζονται στη δική μας 3D εμπειρία, ειδικά για ορισμένες περιπτώσεις, όπως παρατηρώντας την ύπαρξη αισθητής καθυστέρησης κατά τη διάρκεια λειτουργίας και προβολής, το επίπεδο φωτεινότητας των προβαλλόμενων εικόνων ή cross -talk. Εκτός από αυτά, θα εφαρμοστούν επίσης διαγνωστικές εξετάσεις για κάθε εφαρμογή , οι οποίες μας δίνουν ακριβείς πληροφορίες σχετικά με τις επιδόσεις του συστήματος. Τέλος, τα αποτελέσματα επιτυγχάνονται στην αξιολόγηση και τις συστάσεις τμημάτων της έκθεσης .

4. Ανίχνευση του ματιού με υπέρυθρο Φως

4.1. Μάτι, όραση και αντίληψη του βάθους

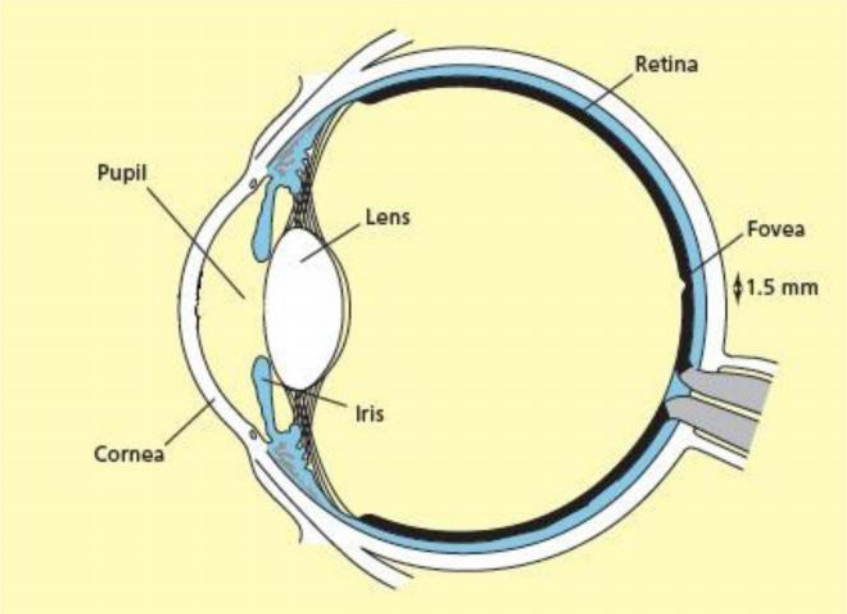
Το μάτι είναι το περιφερειακό όργανο της όρασης που μεταφέρει ερεθίσματα εντος της φυσιολογικής δομής του. Το ανθρώπινο μάτι αποτελείται από πέντε κύριες διαδικασίες που είναι απαραίτητες στη διαδικασία της αίσθησης της όρασης. Το Σχήμα 2 δείχνει τις βασικές δομές του ανθρώπινου ματιού, το οποίο είναι σχεδόν σφαιρικό, η εσωτερική επιφάνεια είναι επενδεδυμένη με φωτοϋποδοχείς από όπου οι ωθήσεις (παλμοί) αποστέλλονται στον εγκέφαλο .

Το εξωτερικό στρώμα του ματιού καλύπτεται από μια διαφανή μεμβράνη που ονομάζεται ο κερατοειδής χιτώνας. Μετά τον κερατοειδή χιτώνα , το εισερχόμενο φως εισέρχεται στην κόρη του ματιού. Η κόρη καλύπτεται από ένα μυϊκό διάφραγμα, την ίριδα . Η λειτουργία της ίριδας είναι να προσαρμόσει το άνοιγμα της κόρης ανάλογα με το επίπεδο του φωτός στο περιβάλλον . Όταν το φως περνά μέσα από το φακό , πλησιάζει στο φύλλο του φωτοϋποδοχέα , ο οποίος είναι γνωστός ως αμφιβληστροειδής.

Ο αμφιβληστροειδής περιέχει φωτοϋποδοχείς που είναι ευαίσθητα στο φως. Αυτό το μέρος σχηματίζει επίσης το πρώτο στάδιο της οπτικής αντίληψης. Το έργο των φωτοϋποδοχέων είναι να μετατρέψει την ενέργεια του φωτός σε ηλεκτρικά ερεθίσματα, προκειμένου να διεγείρει τα οπτικά κέντρα (νεύρα) του εγκεφάλου.

Το μάτι, μας επιτρέπει να αντιλαμβανόμαστε τον κόσμο των αντικειμένων με διαφορετικά μεγέθη, σχήματα και χρώματα. Ωστόσο, προκειμένου να αντιληφθεί το βάθος, η απόσταση της κόρης των ματιών γίνεται ένας σημαντικός παράγοντας. Η απόσταση μεταξύ των δύο οφθαλμών ονομάζεται *inter pupillary distance* (απόσταση μεταξύ της μιας και της άλλης κόρης) (IPD) [5] [6] [4]. Για ενήλικες ανθρώπους, η απόσταση αυτή κυμαίνεται μεταξύ περίπου 50 χιλιοστά έως 70 χιλιοστά. Ως αποτέλεσμα αυτής της απόστασης, κάθε μάτι έχει μια ελαφρώς διαφορετική άποψη από το άλλο.

Η διαφορά των δύο αυτών απόψεων ονομάζεται *Binocular disparity* (διόφθαλμη ανισότητα), η οποία δημιουργεί το βάθος πληροφορίες για τον εγκέφαλο. Η διόφθαλμη ανισότητα συνιστά επίσης τη βάση για την αντίληψη του βάθους και την ιδέα πίσω από την τεχνολογία της 3-D οθόνης. Επί του παρόντος, όλες οι 3-D οθόνες δημιουργούν την ψευδαίσθηση του βάθους, δείχνοντας δύο ελαφρώς διαφορετικές εικόνες σε κάθε μάτι για να συνθέσει την στερεοσκοπική όραση.



Σχήμα 2 - Δομή του οφθαλμού [6]

4.2 Εφαρμογές

Υπάρχει ευρεία ποικιλία των εφαρμογών παρακολούθησης των ματιών, και μπορούν να ταξινομηθούν ως διαγνωστικά και διαδραστικά μέσα. Στο διαγνωστικό ρόλο , ο ανιχνευτής του ματιού παρέχει ποσοτικές ενδείξεις της όψης και διαδικασίες προσοχής του χρήστη, ο ανιχνευτής του ματιού χρησιμεύει ουσιαστικά ως συσκευή εισόδου για την οπτική μεσολάβηση [6] .

Στις περισσότερες περιπτώσεις, διαγνωστικές εφαρμογές καταγράφονται στις οφθαλμικές κινήσεις του χρήστη που χαρτογραφούν το μοτίβο ή τη διαδρομή των κινήσεων οφθαλμού με το σχετικό περιεχόμενο. Η ανάλυση των οπτικών προτύπων σάρωσης, όπου θεωρείται ως διαγνωστική μελέτη, χρησιμοποιείται για την ποσοτικοποίηση των διαταραχών της διάθεσης, μελέτες της αντίληψης, προσοχής και μαθησιακές διαταραχές, την προώθηση της έρευνας και την ασφάλεια, την εκπαίδευση πιλότων, την εργονομία του μάρκετινγκ και της διαφήμισης.

Τα διαδραστικά συστήματα παρακολούθησης των ματιών παίζουν σημαντικό ρόλο στα μέσα ενημέρωσης και τις εφαρμογές ψυχαγωγίας, αλληλεπίδρασης ανθρώπου-μηχανής, εξυπηρετεί και την προσβασιμότητα για άτομα με ειδικές ανάγκες [5] .

Παρά το γεγονός ότι αρκετές εφαρμογές της παρακολούθησης των ματιών που έχουν κάνει μεγάλη επιτυχία όπως μελέτες για την χρηστικότητα των εφαρμογών ή πολλαπλών συστημάτων επικοινωνίας, εξακολουθούν να υπάρχουν ευκαιρίες για πρακτικές που μπορεί να βελτιωθούν με την ανίχνευση των ματιών. Πιστεύουμε επίσης πως αποδεικνύεται μια καλύτερη εμπειρία στο 3D χωρίς γυαλιά και αυτό είναι ένα από αυτά τα προτερήματα.

4.3 Σχετικά έργα για την Παρακολούθηση των ανθρώπων

Προκειμένου να προσδιοριστεί η θέση των χρηστών, υπάρχουν επίσης και άλλες τεχνικές σε σχέση με IR εντοπισμού στη βιβλιογραφία.

Ο Eveland, Socolinsky και Wolff, σύστησαν συστήματα παρακολούθησης με τη χρήση της θερμικής εκπομπής από το ανθρώπινο δέρμα με σκοπό την κατάτμηση και την ανίχνευση προσώπων σε εικόνες IR με μια κάμερα θερμικής IR. Η διαδικασία της τμηματοποίησης και παρακολούθησης βασίζεται στην πιθανότητα και τη σύγκριση των μετρούμενων δεδομένων με τις προ – υπολογιζόμενες πυκνότητες κατάρτισης για το δέρμα, τα ρούχα και το υπόβαθρο για ένα σταθερό πληθυσμό και τις συνθήκες του περιβάλλοντος [7] .

Ο Γιανγκ και Waibel παρουσίασαν ένα μοντέλο για να χαρακτηρίσουν τις διανομές του ανθρώπινου δέρματος στο πρόσωπα, χρησιμοποιώντας ένα σταθμό εργασίας με ένα grabber πλαίσιο και μια φωτογραφική μηχανή Canon VC - CI. Δύο μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτό το σύστημα. Ένα γενικό μοντέλο δέρματος χρωμάτων με βάση την προηγούμενη πληροφορία χρησιμοποιείται στη διαδικασία αναζήτησης, μετά οι κινήσεις χρησιμοποιούνται για να ξεχωρίσουν τα πρόσωπα από το έγχρωμο φόντο με το χρώμα του δέρματος. Μόλις ο ιχνηλάτης εντοπίζει κινούμενα αντικείμενα, διαλέγει το μεγαλύτερο μεταξύ όλων των αντικειμένων. Δεύτερη μέθοδος βασίζεται σε ένα διαδραστικό περιβάλλον, το οποίο βασίζεται στον έλεγχο του χρήστη. Βασικά είναι ένα πρόσωπο που έχει επιλεγεί από το χρήστη και στη συνέχεια εφαρμόζει την ίδια διαδικασία αναζήτησης όπως στην πρώτη μέθοδο [8] .

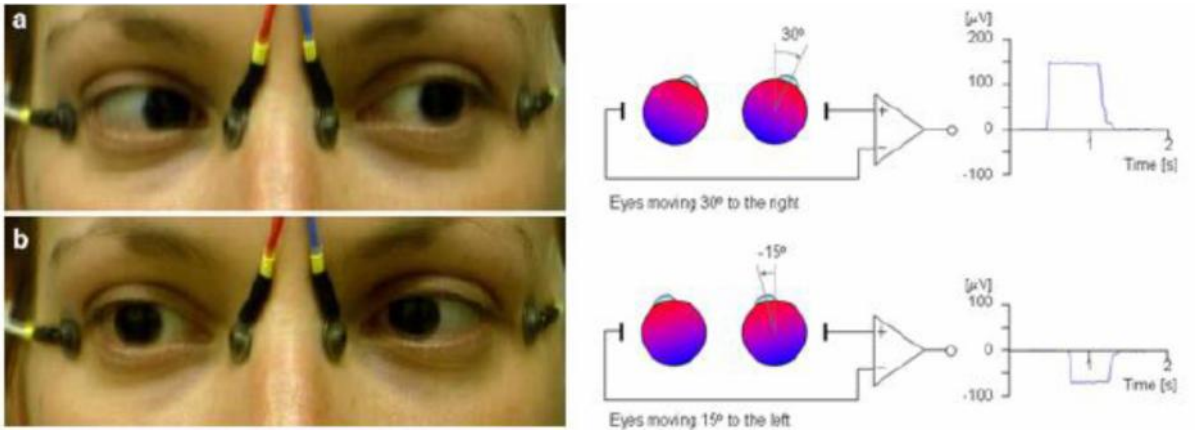
Ο Viola και Jones παρουσίασαν ένα πλαίσιο ανίχνευσης αντικειμένου που μπορεί να επεξεργαστεί εικόνες σε υψηλά ποσοστά ανίχνευσης. Ακόμα κι αν ο αλγόριθμος του Viola - Jones μπορεί να εκπαιδευτεί για διαφορετικά αντικείμενα, θεωρείται ως μία από τις πιο δημοφιλής μέθοδος ανίχνευσης προσώπου. Αυτός ο αλγόριθμος απαιτεί ένα μεγάλο σύνολο αντικειμένων κατάρτισης, που αποτελείται από χιλιάδες εικόνες με οπτικά χαρακτηριστικά του ανθρώπινου προσώπου. Παρά το γεγονός ότι η ανίχνευση είναι εξαιρετικά γρήγορη, η κατάρτιση των μεγάλων και σύνθετων δεδομένων είναι δύσκολη και χρονοβόρα, επίσης δεν είναι εφικτό σε διαφορετικές συνθήκες φωτισμού [10] .

Οι τεχνικές για την παρακολούθηση των ατόμων αποδεικνύονται ακριβείς και σε αξιόπιστες επιδόσεις, όμως υποφέρουν από ένα κοινό θέμα που είναι σημαντικό για την έρευνά μας, να λάβει τις θέσεις του ματιού.

4.4 Τεχνικές ανίχνευσης του ματιού

Σε γενικές γραμμές, υπάρχουν δύο τύποι μεθόδων παρακολούθησης της κίνησης των ματιών , το ένα είναι η μέτρηση του ματιού σε σχέση με το κεφάλι, το άλλο είναι η μέτρηση του προσανατολισμού του οφθαλμού στο χώρο ή το σημείο του βλέμματος [11] . Σε αυτό το κεφάλαιο, θα παρουσιάσουμε εν συντομία και θα εξηγήσουμε διάφορες τεχνικές παρακολούθησης των ματιών και στη συνέχεια θα συζητήσουμε την υπέρυθρη ανίχνευση του ματιού σε ένα ευρύτερο πεδίο. Μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε τις μεθοδολογίες παρακολούθησης των ματιών σε τέσσερις τίτλους: Electro-OculoGraphy (EOG) , πηνίο του σκληρού φακού επαφής / αναζήτησης , Photo/Video-OculoGraphy (POG / VOG) και βίντεο με βάση το συνδυασμό κόρης και της ανάκλασης του κερατοειδούς [5] .

Η EOG έχει εφαρμοστεί εδώ και 40 χρόνια , η οποία βασίζεται στη μέτρηση του ηλεκτρικού δυναμικού των διαφορών του δέρματος από τα ηλεκτρόδια θέσης γύρω από το μάτι . Μια εικόνα από ένα πρόσωπο , που συνδέονται με ηλεκτρόδια EOG και απεικόνιση του σήματος που παράγεται από EOG σε οριζόντιες κινήσεις του ματιού φαίνεται στο Σχήμα 3 . Αυτή η τεχνική μετρά μόνο τις κινήσεις των ματιών σε σχέση με το κεφάλι , όπως επίσης και τις κινήσεις του κεφαλιού [5] .



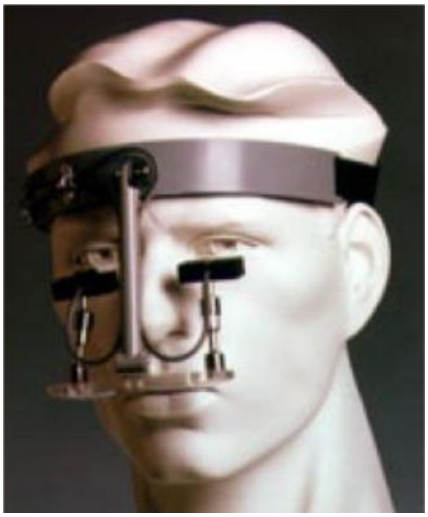
Σχήμα 3 - EOG Μέτρηση κίνησης ματιού και Εικονογράφησης του EOG σήματος [12] [13]

Σχήμα 4 - Η τοποθέτηση του δακτυλίου αναρρόφησης και οι μαγνητικές κορνίζες [5] [14]

Το δακτύλιο αναρρόφησης είναι γνωστό ως μια από τις πιο ακριβείας μέθοδος μέτρησης κίνηση των ματιών. Σε αυτή τη μέθοδο, ο θεατής φοράει ένα φακό επαφής, το οποίο έχει μηχανικό ή οπτικό αντικείμενο αναφοράς τοποθετημένο σε αυτό. Στη συνέχεια το κεφάλι του ατόμου είναι στερεωμένο στο εσωτερικό ενός μαγνητικού πεδίου σε πλαίσιο. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί ένα πηνίο, το οποίο μετράται όταν κινείται μέσω ενός ηλεκτρομαγνητικού πεδίου [5].

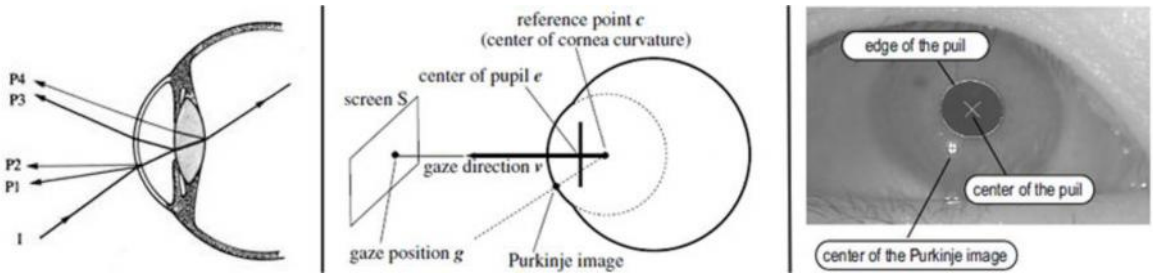
Οι Τεχνικές Φωτογραφίας / Βίντεο οφθαλμογραφίας είναι αποτελεσματικές στη μέτρηση των χαρακτηριστικών των οφθαλμών υπό περιστροφή, όπως τα εμφανή σχήματα της κόρης [5]. Το σχήμα 5 δείχνει μια υπέρυθρη συσκευή ανίχνευσης, το οποίο είναι στερεωμένο στο κεφάλι ενός ατόμου .

Τέλος, το βίντεο σε συνδυασμό, ατόμου / corneal reflection είναι η πιο κατάλληλη και η πιο υποσχόμενη τεχνική μέτρησης των ματιών κίνησης και για τις δύο διαδραστικές και διαγνωστικές εφαρμογές. Η χρήση της αντανάκλασης της κόρης, της αντανάκλασης κερατοειδούς ή συνδυασμό και των δύο παρέχει επαρκείς πληροφορίες για τον εντοπισμό του βλέμματος και την παρακολούθηση του ατόμου. Εκτός από αυτό, η εφαρμογή των μεθόδων της κόρης και του corneal reflection του ατόμου είναι πιο άπλες.



Σχήμα 5 - Υπέρυθρη συσκευή ανίχνευσης με στεφάνη [15]

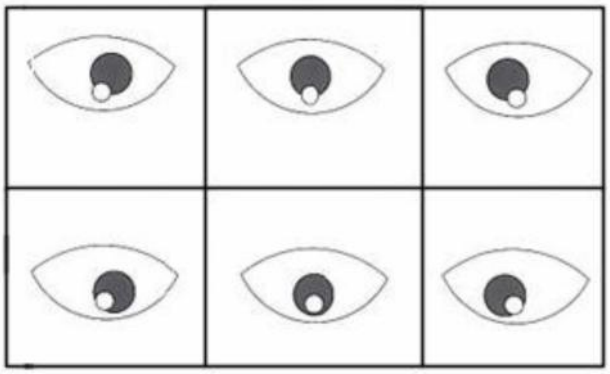
Για να επικεντρωθούμε περισσότερο στην έννοια της παρακολούθησης των ματιών, είναι σημαντικό να ξέρουμε την διαφορά της παρακολούθησης του βλέμματος με τη παρακολούθηση της κόρης σε αυτό το σημείο.



Σχήμα 6 - εικόνες Purkinje και κόρης και του κερατοειδούς [16] [17] [18]

Η αντανάκλαση κερατοειδούς της πηγής του φωτός μετράται σε σχέση με τη θέση του κέντρου της κόρης. Οι αντανακλάσεις του κερατοειδούς είναι γνωστές ως αντανακλάσεις Purkinje . Λόγω της κατασκευής του ματιού, οι τέσσερις Purkinje αντανακλάσεις φαίνονται στο σχήμα 6 – 1^{η} εικόνα . Δύο σημεία αναφοράς στο μάτι πρέπει να ξεχωρίζουν τις κινήσεις των ματιών από τις κινήσεις της κεφαλής. Η διαφορά θέσης μεταξύ του κέντρου της κόρης και του κερατοειδούς γίνεται με καθαρή περιστροφή των ματιών, αλλά παραμένει σχετικά σταθερή με μικρές κινήσεις της κεφαλής (βλέπε σχήμα 6 – 2^{η} εικόνα , 3^{η} εικόνα).

Δεδομένου ότι το υπέρυθρο φως είναι συνήθως τοποθετημένο σε κάποια σταθερή θέση σε σχέση με το μάτι, η εικόνα Purkinje είναι σχετικά σταθερή ενώ το μάτι και η κόρη περιστρέφεται στην τροχιά του (βλέπε σχήμα 7). Μετά την απόκτηση της εικόνας Purkinje (λάμψη) και την αντανάκλαση της κόρης , η σωστή βαθμονόμηση επιτυγχάνεται με γραμμική απεικόνιση μεταξύ της θέσης του βλέμματος παρακολούθησης στην εικόνα της κάμερας του προσώπου με τις συντεταγμένες της συγκεκριμένης θέσης του βλέμματος στην εικόνα βαθμονόμησης στην οθόνη [5] .

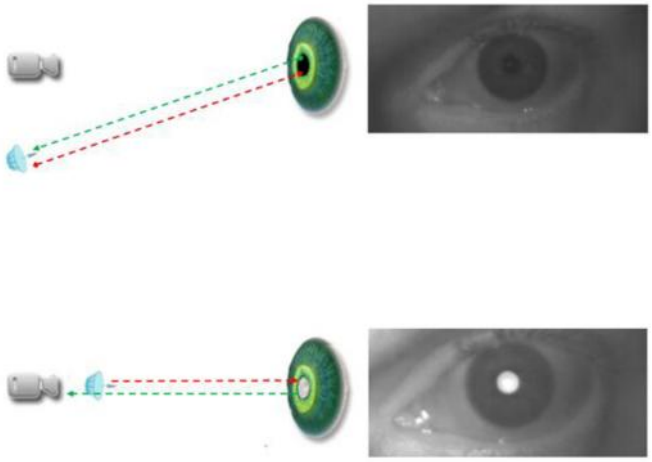


Σχήμα 7 - Σχετικές θέσεις των κορών και της 1^{ης} εικόνας Purkinje [5]

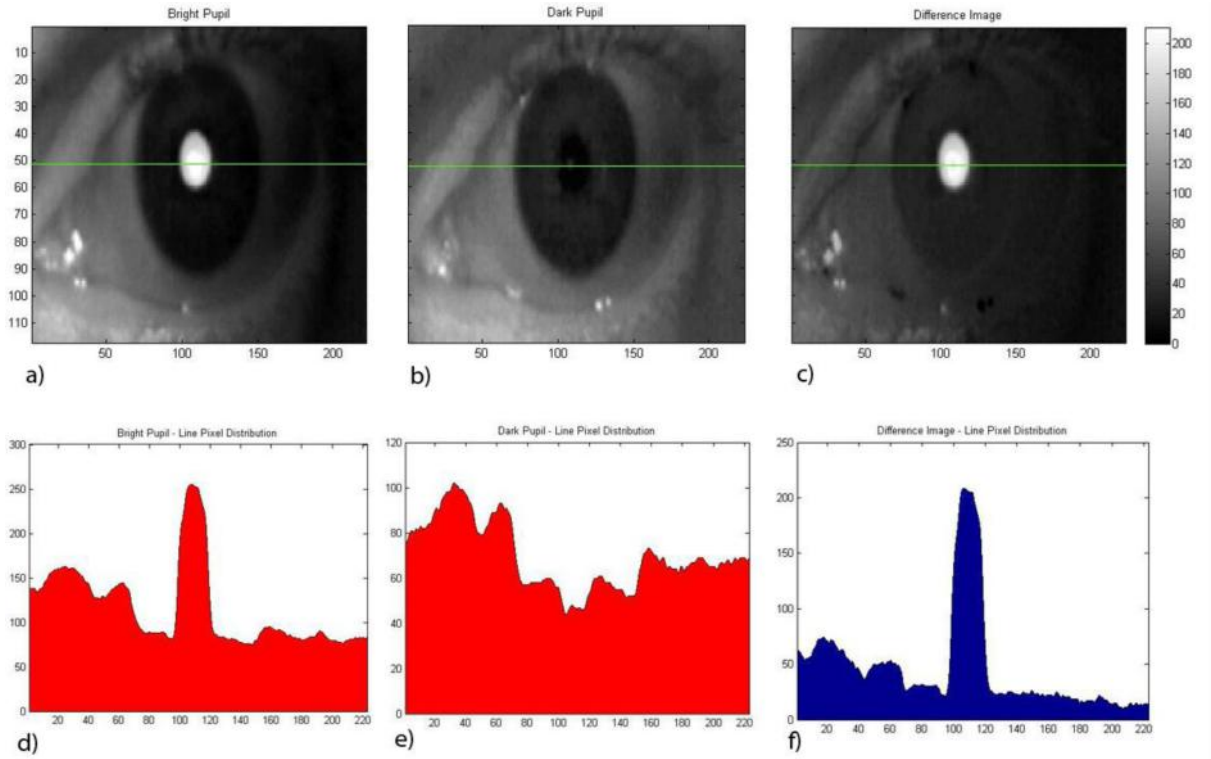
4.5 Εντοπισμός κόρης με τη χρήση ενεργού IR φωτισμού

Στον εντοπισμό της κόρης υπάρχουν διαφορετικοί τρόποι που χρησιμοποιούν οφθαλμική αντανάκλαση του ματιού. Όταν το μάτι φωτίζεται με το φως, το φως ανακλάται πίσω προς την πηγή φωτός. Αυτό το φυσικό φαινόμενο ορίζεται ως «retroreflectivity».

Το Υπέρυθρο φως είναι αόρατο στο ανθρώπινο μάτι, αλλά όχι για ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές, συνεπώς αν μια υπέρυθρη πηγή φωτός τοποθετείται ομοαξονικά με την οπτική διαδρομή μιας ψηφιακής συσκευής απεικόνισης, το ανακλώμενο φως θα δημιουργήσει μια «λαμπερή φωτιζόμενη» κόρη, από την άλλη πλευρά, εάν η υπέρυθρη πηγή φωτός είναι εκτός άξονα απο το οπτικό μονοπάτι, το φως θα πρέπει να αντικατοπτρίζεται μακριά από την κάμερα, δημιουργώντας το φαινόμενο «σκοτεινής κόρης» (βλέπε σχήμα 8).



Σχήμα 8 - Σκοτεινό & φωτεινό αποτέλεσμα της κόρης



Σχήμα 9 - Φωτεινό, σκοτεινό και η Διαφορά Δειγμάτων εικόνας και οι Διανομές των Pixels

Στο έργο μας, σχεδιάζαμε να επωφεληθούμε και από τις δύο μεθόδους, η διαφορά έντασης μεταξύ των φωτεινών και σκοτεινών κόρων του ματιού είναι μέγιστη, η οποία επιτρέπει την ισχυρή και αποτελεσματική παρακολούθηση του ματιού σε περιβάλλον με χαμηλό φως.

Η αφαίρεση των σκοτεινών και φωτεινών εφέ από την κόρη που έχει λάβει στο ίδιο περιβάλλον μειώνει το θόρυβο στο παρασκήνιο, ως εκ τούτου ανεξάρτητα από τις συνθήκες διακρίνονται πιο ακριβές αποτελέσματα.

Στο Σχήμα 9, φαίνεται η κατανομή των pixels (γραμμών) από κάθε επίδραση. Στο Σχήμα 9-β), η υψηλότερη κορυφή παριστά το φωτεινό μαθητή και στο Σχήμα 9-ε) η ελάχιστη τιμή αντιπροσωπεύει τη σκοτεινή κόρη. Από αυτά τα στοιχεία διανομής, τα δύο αποτελέσματα που ξεχωρίζουν από το υπόλοιπο της εικόνας είναι ή τα πιο φωτεινά ή τα πιο σκούρα. Όταν η σκούρα κόρη του οφθαλμού αφαιρείται από την έντονη φωτεινή κόρη, η εικόνα δίνει μεγαλύτερη διαφορά αντίθεσης μεταξύ της κόρης και του φόντου (Σχήμα 9-f), η οποία παρέχει πιο αναγνωρίσιμο χαρακτηριστικό για την επεξεργασία εικόνας.

Η φωτεινή εικόνα της κόρης έχει μεγαλύτερη επίδραση στην διαφορά εικόνας (βλ. Σχήμα 9 -e , 9 -ί) . Ως εκ τούτου, αν μπορούμε να αυξήσουμε την ποιότητα της φωτεινής κόρης θα ήταν λιγότερο περίπλοκο. Μπορούμε να επισημάνουμε ορισμένες συνθήκες που επηρεάζουν τα αποτελέσματα της διαφοράς εικόνας όπως: κατεύθυνση του βλέμματος, περιοχή της κόρης, το ποσό της υπέρυθρης που ακτινοβολείται στο μάτι, την ποιότητα όρασης του ματιού. Μπορούμε να φανταστούμε ότι αν αυξήσουμε την ένταση του υπέρυθρου φωτός, το ανακλώμενο ποσό αυτό θα αυξηθεί αναλογικά.

Επιπλέον , ο Ebisawa και Nguyen [20 , 21] δηλώνουν ότι υπάρχει αναλογική σχέση μεταξύ του μεγέθους της περιοχής της κόρης και της φωτεινότητας της . Επίσης, ο φωτισμός του περιβάλλοντος έχει έμμεση επίδραση στην φωτεινότητα, δεδομένου ότι η περιοχή της κόρης γίνεται όλο και μικρότερη ή μεγαλύτερη σύμφωνα με τη φωτεινότητα του περιβάλλοντος. Για να συνοψίσω: λαμβάνουμε σημαντικά υπόψη τη θέση της εγκατάστασης σε σχέση με την κατεύθυνση του βλέμματος, την δύναμη των υπέρυθρων LED και τον φωτισμό του περιβάλλοντος, προκειμένου να επιτευχθεί η καλύτερη διαφορά εικόνας .

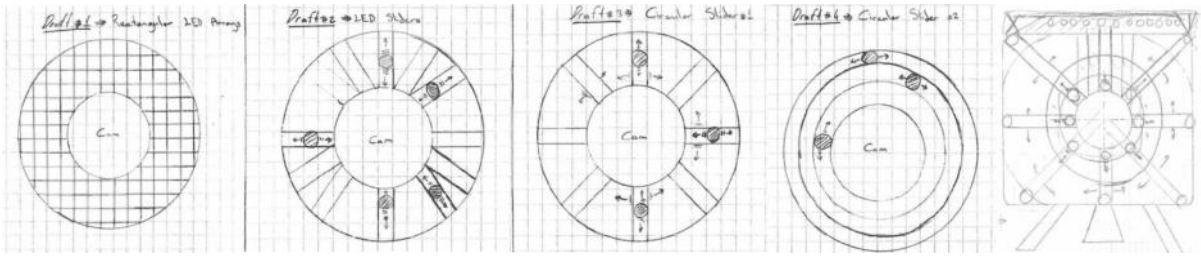
4.6 Εφαρμογή των εξαρτημάτων

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα εξηγήσουμε τη διαδικασία σχεδιασμού της εφαρμογής του υλικού του ανιχνευτή της κόρης που προσαρμόζεται σύμφωνα με το περιβάλλον για την παρακολούθηση της κόρης σε πολλαπλά πρόσωπα και τελικά να οδηγηθούμε σε ένα πλήρη λειτουργικό σύστημα.

Πρώτον, ξεκινήσαμε με μια επισκόπηση των σύγχρονων συστημάτων στην αγορά και τη βιβλιογραφία, η οποία έχει παρόμοιους στόχους όπως την παρακολούθηση του ματιού. Μέσα από την έρευνα έχουμε αναφέρει τα βασικά χαρακτηριστικά τους, όπως: εξ αποστάσεως παρακολούθησης της κόρης, την ελευθερία της κίνησης του κεφαλιού, ισχύς της ακτινοβολίας από τις μονάδες φωτισμού, τεχνικές φωτισμού, παράγοντες του περιβάλλοντος, η συχνότητα πλαισίου των συστημάτων αυτών ώστε να έχουν μια βάση για την οργάνωση του υλικού μας.

4.6.1 Εννοιολογική Σχεδίαση

Πριν από την τελική εφαρμογή τις ανίχνευσης της κόρης με IR (υπέρυθρο φως), πρέπει πρώτα να αναφερθούμε σε μια προκαταρκτική μελέτη της κόρης του ματιού. Στο Σχήμα 10, μπορείτε να παρατηρήσετε ότι τα υπέρυθρα LED εξαπλώνονται στο πίνακα φωτισμού σε ένα σχήμα κύκλου με ρυθμιζόμενο εύρος του φακού. Με αυτό σκοπεύουμε να χωρέσει την κάμερα στο κέντρο του πίνακα επομένως θα είναι σε θέση να καθορίσει την απόσταση των LEDs από το φακό της κάμερας, όπου παρατηρείται το βέλτιστο φωτεινό μέρος της κόρης.

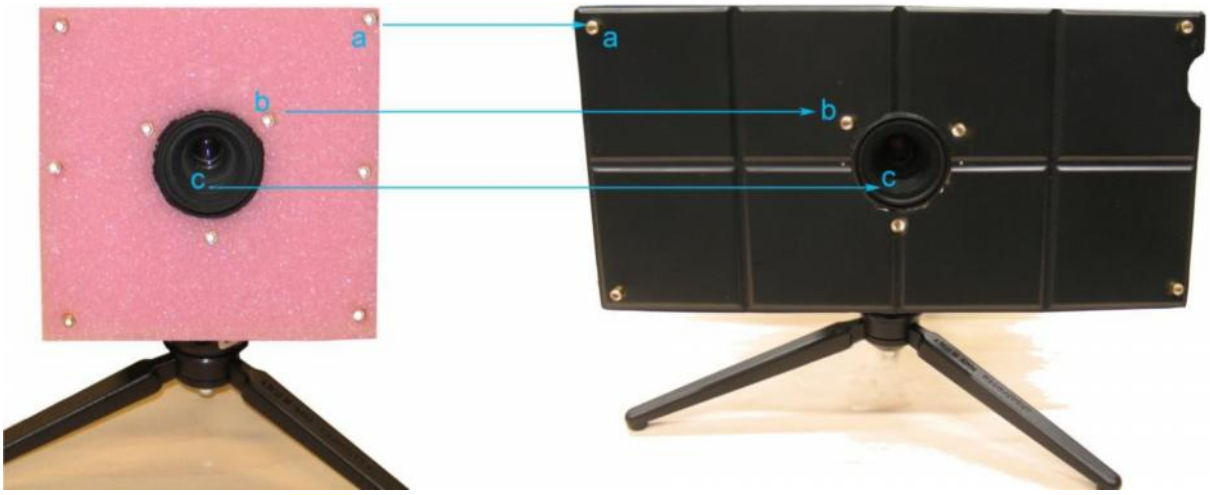


Σχήμα 10 - On & off άξονα φωτισμού - προκαταρκτική μελέτη

Ο λόγος για την απόφασή του σχεδιασμού μας είναι ότι, ένα μεγάλο μέρος των εφαρμογών παρακολούθησης των ματιών βασίζονται στην παραδοσιακή μέθοδο αλλα εκτός άξονα σε υπέρυθρο φωτισμό που μας παρέχεται ένα σημείο αναφοράς για να αρχίσει να προσδιορίσει τα πιθανά πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα ή τις απαραίτητες βελτιώσεις για το προτεινόμενο σύστημα παρακολούθησης των ματιών.

4.6.2 Υψηλής ευκρίνειας Πρωτότυπα

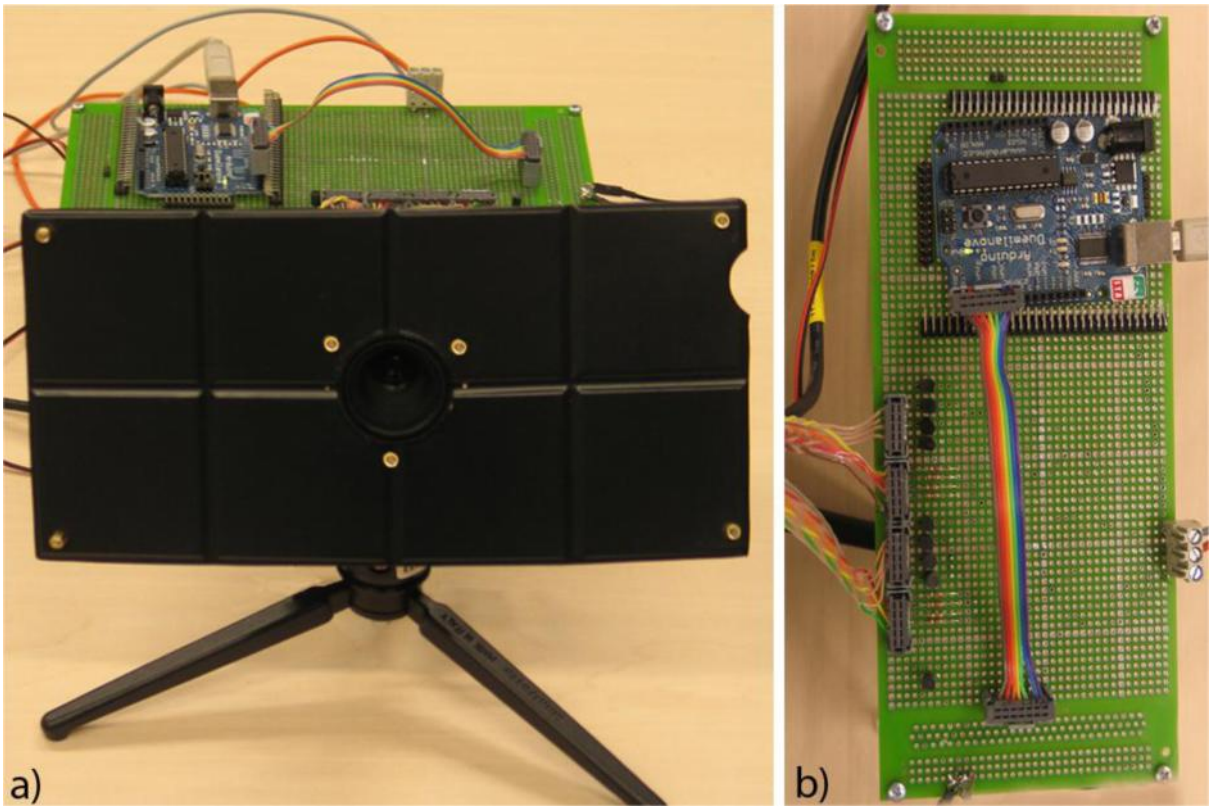
Στην έρευνά μας, χτίσαμε δύο πρωτότυπα τα οποία μας επιτρέπουν να πειραματιστούμε με το on & off του άξονα φωτισμού. Σε αυτά τα πρωτότυπα χρησιμοποιούνται υπέρυθρα LED για το φωτισμό, μια μονόχρωμη κάμερα CMOS για την απεικόνιση και ένα Arduino μικροελεγκτή οδήγησης που ελέγχει τα LED και τη φωτογραφική μηχανή. Στο Σχήμα 11, η ευθυγράμμιση των υπέρυθρων LED στον πίνακα των δύο πρωτοτύπων μας είναι ελαφρώς διαφορετικό το ένα από το άλλο για να δούμε την επίδραση των διαφόρων ρυθμίσεων φωτισμού.



Σχήμα 11 - Παρακολούθηση κόρης - IR Φωτισμός πίνακα α) Off-άξονα φωτισμού β) Ομοαξονικό Φωτισμό γ) φωτογραφικός φακό

Το πρώτο τεστ εμφανίζεται στα αριστερά, το οποίο είναι χτισμένο με ένα παρόμοιο τρόπο με το δεύτερο εκτός από τη χρήση διαφορετικού τύπου LED και την ευθυγράμμιση των LED σε μια μικρότερη επιφάνεια.Στο πρώτο πρωτότυπο χρησιμοποιήσαμε εννέα πανομοιότυπα παραλληλισμένα υπέρυθρα LED (CQY49C-au3) με 930nm μήκος κύματος τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν με 150mA ρεύμα (If).

Έξι από τα LEDs έχουν τοποθετηθεί γύρω από τις ακμές του πάνελ για τον εξωτερικό άξονα φωτισμού (Σχήμα 12-α) και τρία από αυτά γύρω από το φακό της κάμερας για ομοαξονικό φωτισμό (Σχήμα 12-Β). Για την απεικόνιση, χρησιμοποιείται *μEye* αισθητήρας (UI-1220SE-M) 1/3” CMOS με ανάλυση 752x480 pixels (Σχήμα 12-c). Τα χαρακτηριστικά της κάμερας είναι: 87fps σε Freerun, λειτουργία binning, ψηφιακή σκανδάλη για τον έλεγχο του φλας και ρυθμιζόμενες παράμετροι για το χρόνο έκθεσης, frame rate.



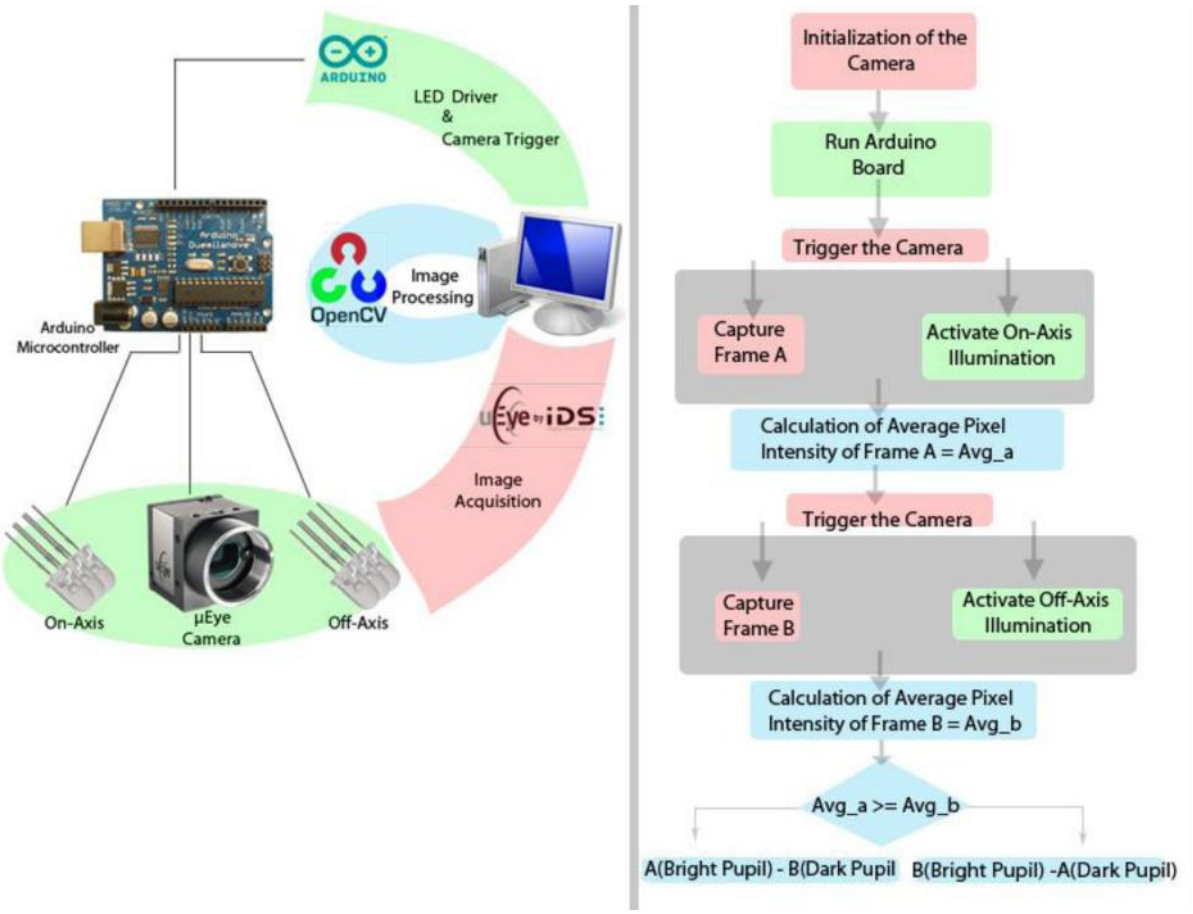
Σχήμα 12 - α) Δεύτερο Πρωτότυπο β) Κύκλωμα

Στα πρώτα βήματα του σχεδίου μας, εστιάσαμε αρχικά για να επιτευχθεί η έξοδος της εικόνας σε πραγματικό χρόνο και στην αφαίρεση του πλαισίου σε ένα μέτριο frame rate. Γι ’αυτό, θα έπρεπε να συλλάβει κάθε διαδοχικό πλαίσιο, το οποίο έχει είτε φωτεινές είτε σκοτεινές κόρες στο περιεχόμενο του και στη συνέχεια με την αφαίρεση θα εφαρμοστεί σε διαδοχικά πλαίσια. Στο τέλος της λειτουργίας η εικόνα θα πρέπει να αποθηκευτεί σε ένα σκληρό δίσκο ή να εμφανίζεται σε ένα ξεχωριστό παράθυρο.

Η σημαντική λειτουργία εδώ είναι να συλλάβει κάθε φαινόμενο της κόρης σε κάθε διαδοχικό πλαίσιο, έτσι ώστε ένα πλαίσιο θα πρέπει να έχει σκούρα κόρη και άλλες θα πρέπει να έχουν λαμπρή κόρη ή το αντίστροφο. Για να γίνει αυτό, έπρεπε να ενεργοποιήσουμε την κάμερα για να συλλάβει κάθε πλαίσιο, ενώ ταυτόχρονα τα υπέρυθρα LED να ανάβουν και σβήνουν. Ως εκ τούτου, έχουμε κατασκευάσει ένα κύκλωμα που καθοδηγεί σε άξονα και εκτός άξονα τα LEDs χωριστά που ενεργοποιούν την κάμερα ταυτόχρονα επικοινωνώντας μέσω του πίνακα Arduino.

Στο Σχήμα 12-α), μπορείτε να δείτε το κύκλωμα που συνδέεται με τον πίνακα υπέρυθρου φωτισμού και το Σχήμα 12-Β) δείχνει το κύκλωμα που ελέγχεται από τον πίνακα Arduino.

Στο πρωτότυπο, χρησιμοποιούνται τρία θεμελιώδη στοιχεία: η κάμερα, πίνακας Arduino και IR LEDs που συνδέονται με το κύκλωμα ενεργοποίησης. Όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 14, μετά την εκκίνηση του συστήματος, ο πινάκας Arduino αρχίζει να ελέγχει τα LED που ενεργοποιούν την κάμερα συγχρονισμένα μέσω του κυκλώματος. Μια ενιαία εικόνα συλλαμβάνεται από κάθε σήμα ενεργοποίησης και αποστέλλονται στην κάμερα, τότε η καταγεγραμμένη εικόνα μεταδίδεται στον υπολογιστή για την επεξεργασία εικόνας.

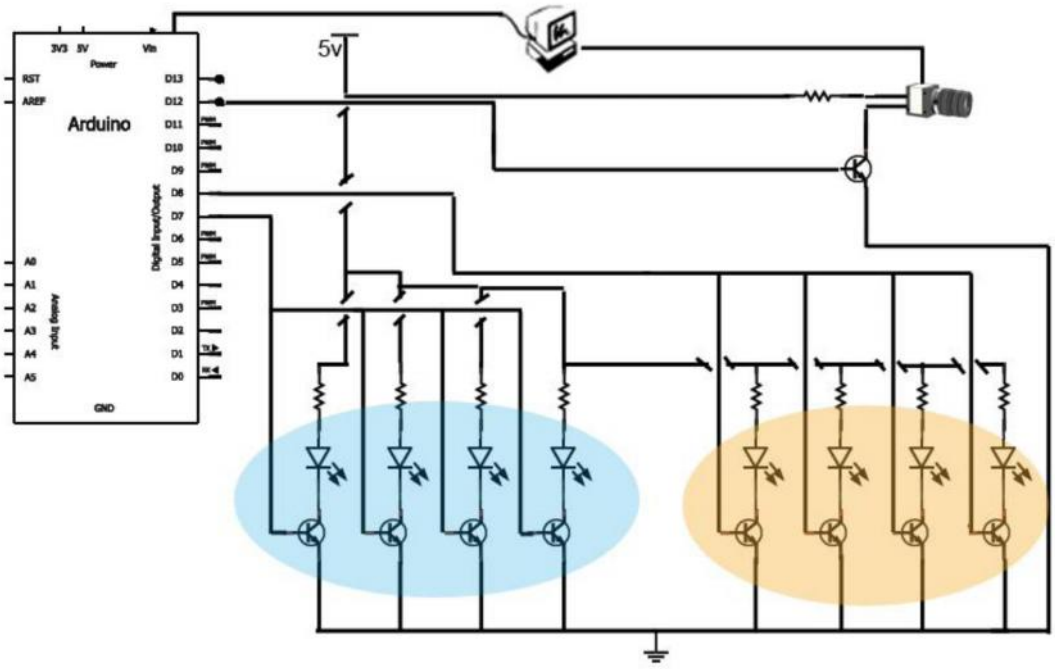


Σχήμα 13 - Επισκόπηση του Συστήματος και η Εφαρμογή του Διαγράμματος Ροής

Για να προγραμματιστούν σε ψηφιακή μορφή I / O pins, ο ρυθμός των LED flash και η συχνότητα της ενεργοποίησης της κάμερας χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή Arduino IDE.Για την επικοινωνία απόκτησης της εικόνας και την επικοινωνία μεταξύ της κάμερας και του υπολογιστή, τροποποιήθηκε το uEye ανοικτού κώδικα, το οποίο παρέχεται με τη φωτογραφική μηχανή. Τέλος, όταν παραλήφτηκαν τα πλαίσια έχουμε εφαρμόσει την αναγκαία επεξεργασία εικόνας για την εξαγωγή της κόρης με τη χρήση του Open CV.

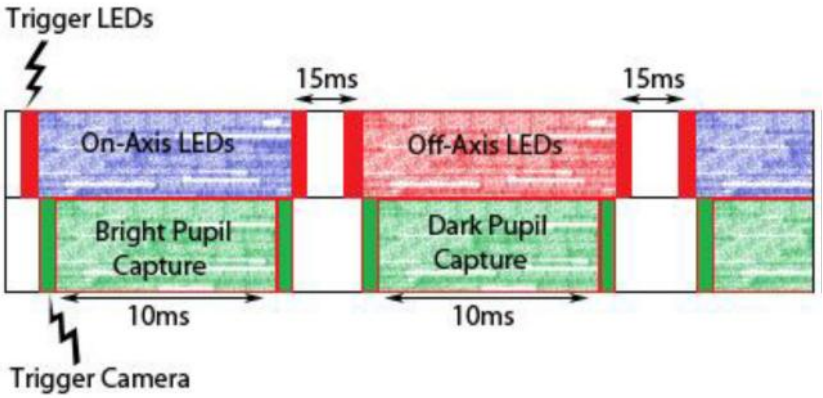
Έχουμε ρυθμίσει την κάμερα από Freerun σε συνεχή λειτουργία. Με τον τρόπο αυτό, έχουμε πει στη κάμερα να περιμένει σε κατάσταση αναμονής μέχρι να υπάρχει σήμα ενεργοποίησης. Μετά την εκκίνηση, μπορούμε να μετατρέψουμε την πλακέτα Arduino, η οποία έχει προγραμματιστεί για την ενεργοποίηση στα συγκεκριμένα I / O pins διαδοχικά σε ορισμένα χρονικά διαστήματα.

Για να ενεργοποιηθεί το αντίστοιχο LED στο μέγιστο ρεύμα και να στείλει το σήμα ενεργοποίησης στην κάμερα έχουμε σχεδιάσει ένα κύκλωμα ελέγχου.



Σχήμα 14 - Κύκλωμα ενεργοποίησης

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 14, κάθε τρανζίστορ μεταγωγής (PH2369) ενεργεί ως πύλη μεταξύ της παροχής ισχύος για κάθε LED. Όταν είναι σε HIGH (1) στέλνεται εντολή από το Arduino στην ακίδα της αντίστοιχης ομάδας των LEDs, τα τρανζίστορ κλείνουν (πλήρης) το κύκλωμα και τροφοδοτούν τα LEDs από την παροχή ρεύματος, ώστε να πετύχουμε το μέγιστο ρεύμα που μπορούν να αντέξουν τα LED. Κάθε LED μπορεί να τραβήξει 150mA, ως εκ τούτου τοποθετείται 33(ohm) αντίσταση μεταξύ της παροχής ισχύος (5v) και των LEDs. Συνδέσαμε επίσης τη σκανδάλη της κάμερας με τον ίδιο τρόπο, έτσι ώστε στο σύνολο χρησιμοποιήσαμε τρία ψηφιακά pins I / O.



Σχήμα 15 - Χρόνος σκανδαλισμού

Όταν ενεργοποιήσουμε την κάμερα, δύο συγχρονισμένα γεγονότα συμβαίνουν, για πρώτη φορά τα on-axis LEDs ενεργοποιούνται, και στη συνέχεια καταγράφεται η εικόνα. Μετά την ανάκτηση της εικόνας υπολογίζεται ο μέσος όρος της έντασης των pixels. Στη συνέχεια, οι ίδιες ενέργειες επαναλαμβάνονται για τον φωτισμό off-axis. Οι μέσες τιμές των εικόνων σε σχέση με το άλλο και η υψηλότερη μέση τιμή καθορίζει την φωτεινή κόρη του ματιού στο πλαίσιο και το άλλο είναι η σκοτεινή κόρη στο πλαίσιο. Μετά την επαλήθευση του κάθε διαδοχικού αποτελέσματος αφαιρούμε το σκούρο πλαίσιο της κόρης από το φωτεινό πλαίσιο, προκειμένου να εξαχθούν οι κόρες.

4.6.3 Αξιολόγηση και Διδάγματα

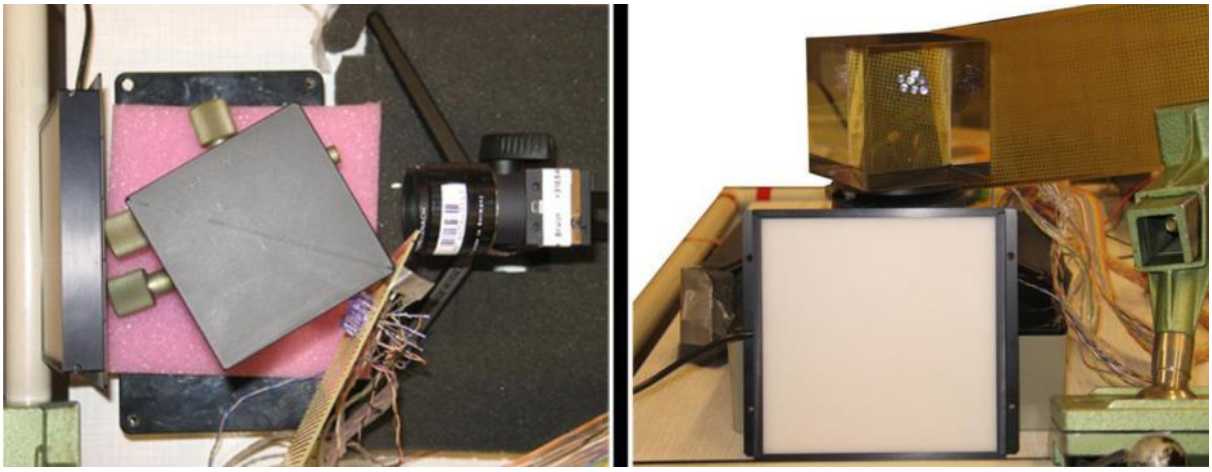
Καθ'όλη την ανάπτυξη του συστήματος παρακολούθησης της κόρης προσπαθήσαμε να ασκήσουμε όλες τις προσεγγίσεις, προκειμένου να πάρουμε τα καλύτερα αποτελέσματα, από αυτές τις προσπάθειες έχουμε αποκτήσει σημαντική επήρεια για το τελικό σχέδιο μας.

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα εξηγήσουμε το σκεπτικό μας για τις αποφάσεις που έχουμε πάρει και τις απαιτούμενες βελτιώσεις για την τελική ρύθμιση.

Στο πρώτο μας πρωτότυπο, χρησιμοποιήσαμε 930nm μήκος κύματος LED για φωτισμό, αλλά η αποτελεσματικότητα των IR ήταν κάτω από τις προσδοκίες μας.

Ο λόγος ήταν ότι πάνω από τα 90nm η ευαισθησία του αισθητήρα της κάμερας πλησιάζει στο χαμηλότερο επίπεδο. Ως εκ τούτου, αλλάξαμε τα LEDs σε μήκος 880nm του κύματος τα οποία είναι μεταξύ του εύρους της ευαισθησίας της κάμερας.

Ένα άλλο ζήτημα που πρέπει να εξεταστεί είναι η ευθυγράμμιση, η ένταση φωτός και την ποσότητα των υπέρυθρων LED. Σε προηγούμενα κεφάλαια, εξηγήσαμε ότι η φωτεινή κόρη είναι δυνατή όταν η πηγή του φωτός είναι σε ομοαξονική θέση με τη συσκευή απεικόνισης, ως εκ τούτου στα πρωτότυπά μας προσπαθήσαμε να έχουμε τον καλύτερο δυνατό φωτισμό βάζοντας τις λυχνίες LED γύρω από το φακό της κάμερας όσο το δυνατόν πλησιέστερα.



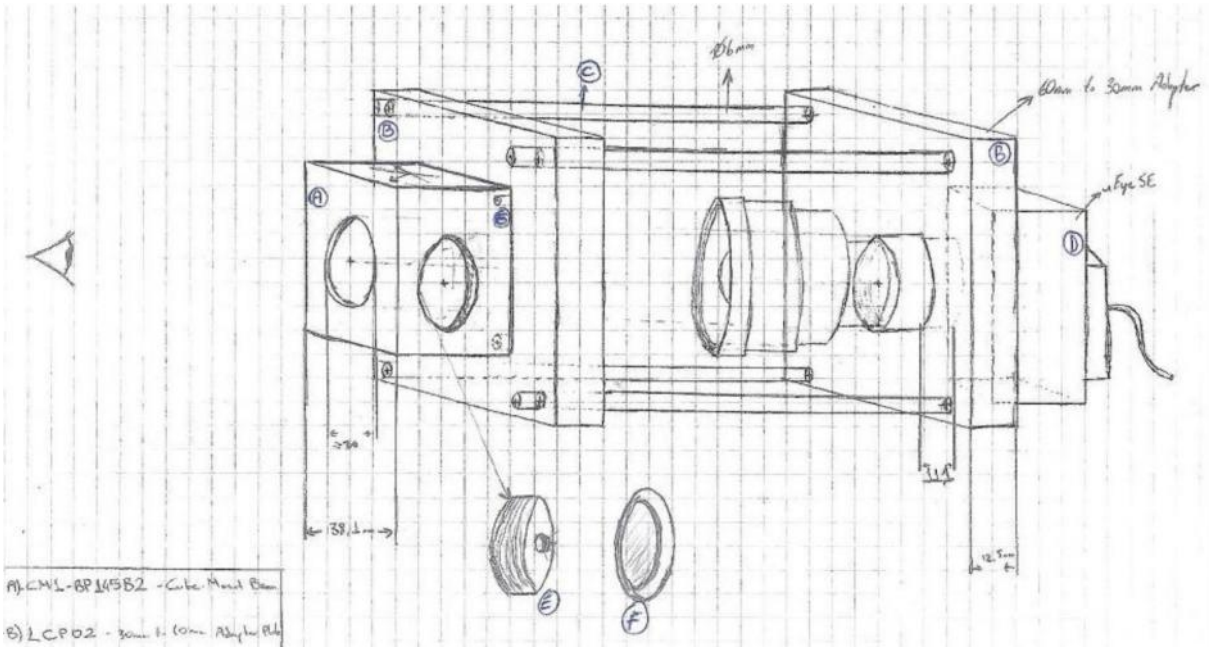
Σχήμα 16 – Ομοαξονικός φωτισμός με Cube beamsplitter

Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός να αφαιρέσουμε ολόκληρα τα ομοαξονικά LEDs και να βάλουμε έναν beamsplitter μπροστά από το φακό και να δημιουργήσει ομοαξονικό φωτισμό από την διάθλαση του φωτός στην οπτική διαδρομή της κάμερας. Με την επιλογή του διαχωριστή δέσμης θεωρήσαμε τρεις τύπους beamsplitters : κύβος , πλάκα υμενίου . Από αυτά τα beamsplitters , μάθαμε ότι ο κύβος και η πλάκα των beamsplitters υμενίου πάσχει από είδωλα και ανεπιθύμητες αντανακλάσεις και δεύτερων, λόγω των δύο δομών των στιβάδων, ως εκ τούτου αποφασίσαμε σχετικά με τη χρήση ενός διαχωριστή δέσμης υμενίου για την τελική εγκατάσταση μας , ο οποίος δεν παράγει ούτε είδωλα ούτε το δεύτερο προβληματισμό μας λόγω της πολλής λεπτής δομή της μεμβράνης . Στο Σχήμα 16 βλέπουμε μια εφαρμογή του κύβου διαχωριστή δέσμης με ομοαξονικά LEDs. Ο αριθμός των LED αυξάνεται επίσης με τον ομοαξονικό φωτισμό.

Τα LEDs θα πρέπει να είναι σε θέση να εκπέμπουν αρκετό φως για τον απαραίτητο φωτισμό , αλλά στην περίπτωσή μας το εκπεμπόμενο φως από ένα ενιαίο LED είναι σε θέση να φωτίσει μέχρι 1 μέτρο, έτσι αυξήσαμε τον αριθμό των LED. Με τον τρόπο αυτό στην πραγματικότητα αυξήσαμε μόνο το ποσό της φωτεινής ακτινοβολίας αλλά όχι το εύρος. Λαμβάνοντας υπόψη αυτούς τους περιορισμούς των υπέρυθρων LED , προτείναμε τη χρήση ενός μόνο υπερύθρου υψηλής ισχύος LED για τόσο εντός όσο και εκτός της φωταγώγησης του άξονα, έτσι μπορούμε να διατηρήσουμε μια μακρά σειρά και ομοιογενή περιοχή φωτισμού.

4.6.4 Τελικός Σχεδιασμός

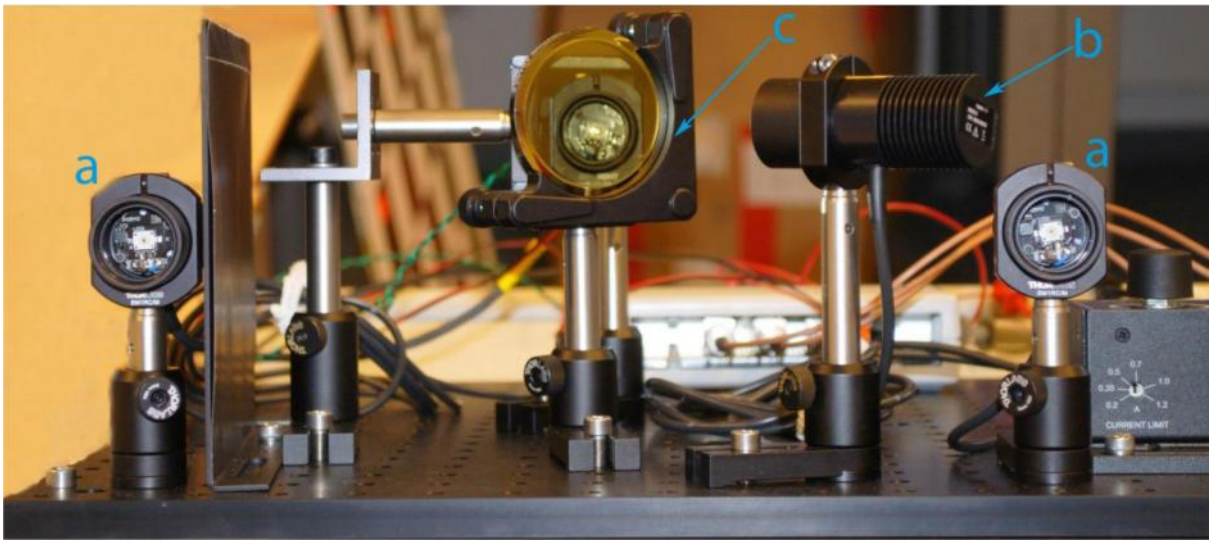
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα από τα πειράματα, αποφασίστηκε να δημιουργηθεί ένα πιο στερεό μοντέλο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 17. Σε περαιτέρω τμήματα του κεφαλαίου αυτού εξαγάγουμε κάποιο μέρος της εγκατάστασης με εικόνες και σχήματα με λεπτομέρεια που έχουν τη βασική λειτουργία του συστήματος.



Σχήμα 17 – Σχεδιασμός

On & Off των IR LEDs

Το αποτέλεσμα των πειραμάτων έδειξε ότι η χρήση πολλαπλών υπέρυθρων πηγών φωτός με χαμηλή ισχύ, δεν είναι αρκετή για να δημιουργήσει λαμπερό αποτέλεσμα στην κόρη για μεγάλες αποστάσεις (3 με 4 μετρά). Επιπλέον, δεδομένου ότι δεν είναι ευθυγραμμισμένες ή παράλληλες ακτίνες, κάθε LED διαμορφώνει το δικό του σχέδιο για την φωτισμένη περιοχή η οποία δημιουργεί μια μη ομοιόμορφη κατανομή της έντασης σε όλο το πρόσωπο του ανθρώπου και της κόρης του ματιού. Σε off-axis φωτισμό προτιμήσαμε τη χρήση δύο υψηλής ισχύος LED υπερύθρων για τον ομοιόμορφο φωτισμό μεγάλης εμβέλειας (βλ. Σχήμα 18).



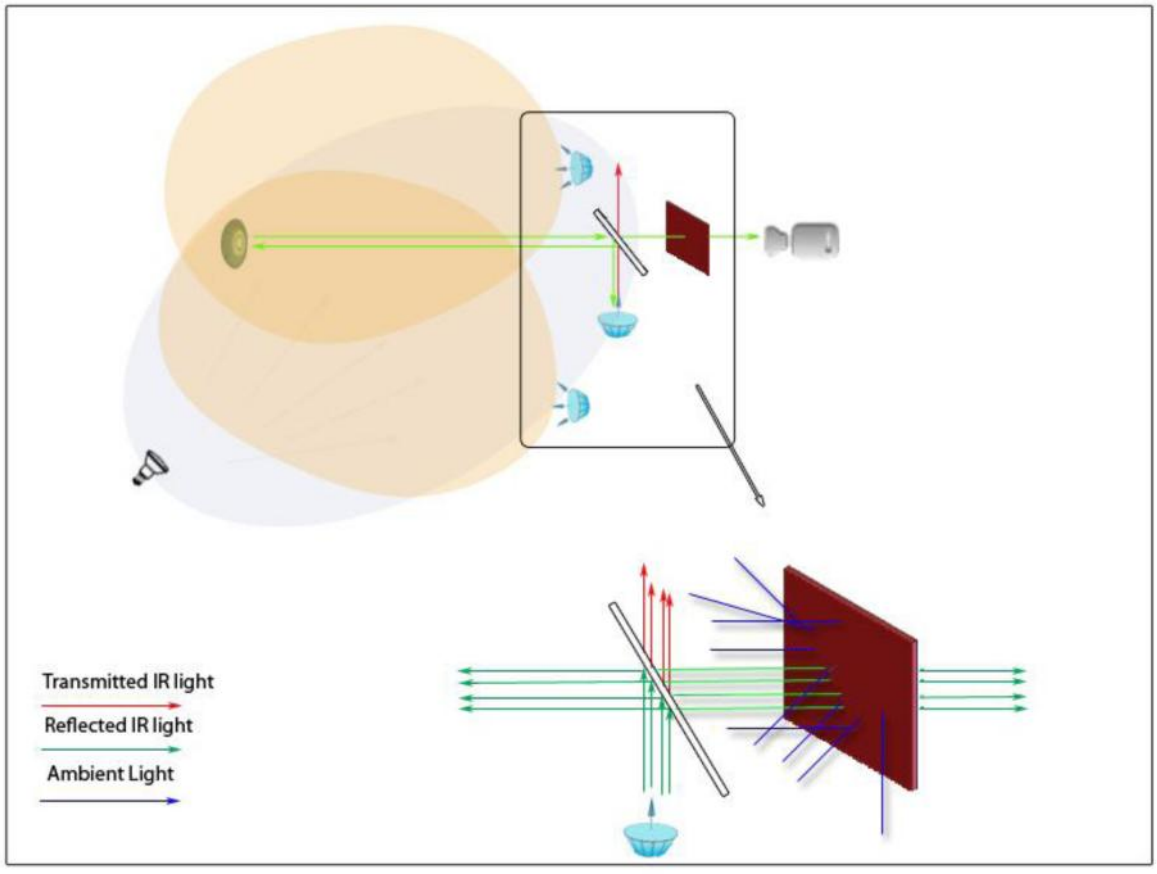
Σχήμα 18 - Μπροστινή όψη του τελικού συστήματος παρακολούθησης της κόρης

Από τα συμπεράσματα αυτά, επιλέξαμε και χρησιμοποιήσαμε μόνο ένα υψηλής ισχύος LED υπερύθρων (SFH 4232) αντί για πολλά χαμηλής ισχύος LED (Σχήμα 18 - α, β) για ομοαξονικό φωτισμό και δύο μη παραλληλισμένα LEDs σε κάθε πλευρά του άξονα. Υψηλής ισχύος LED με 850nm μήκος κύματος που εκπέμπουν έως 320mW ισχύς με 1A ρεύμα. Αυτό δίνει στο ανιχνευτή μας μεγαλύτερη απόδοση σε απόσταση και ευρεία γωνία φωτισμού.

Beamsplitter υμενίου

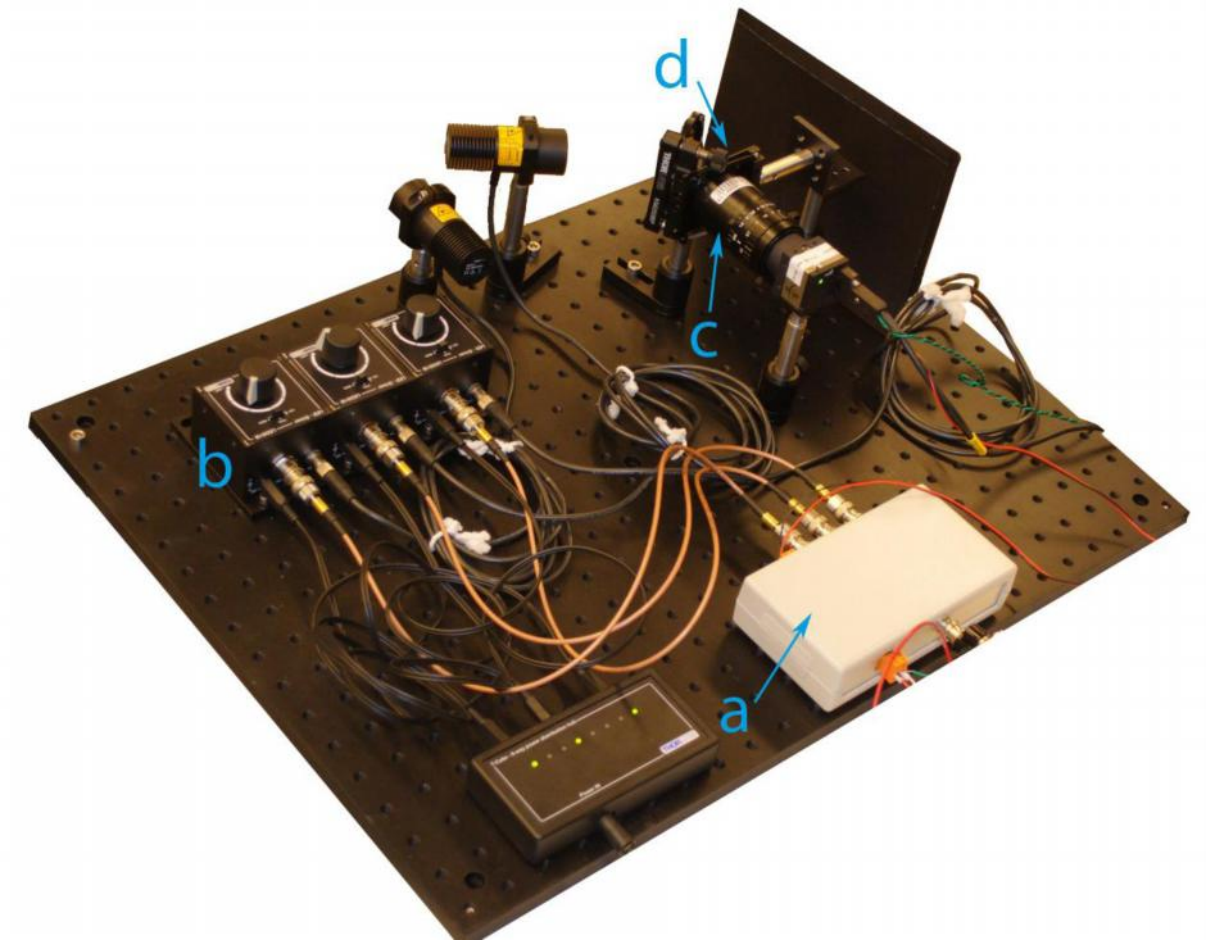
Όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο 4.2.2, η ποιότητα του ομοαξονικού φωτισμού είναι μεγάλης σημασίας για την παρακολούθηση της κόρης. Λαμβάνοντας υπόψη τα μειονεκτήματα του κύβου και των beamsplitters στα πρωτότυπά μας όπως εικόνες φαντάσματα ή αντανακλάσεις στην επιφάνεια της δέσμης του φωτός που διαθλάται, αποφασίσαμε να χρησιμοποιήσουμε έναν άλλο τύπο beamsplitter, το " beamsplitter υμενίου ".

Οι beamsplitters υμενίου φτιάχνονται από εξαιρετικά λεπτή (2μm) μεμβράνη νιτροκυτταρίνης και λόγω της λεπτότητας της, οι εικόνες φάντασμα εξουδετερώνονται και η δεύτερη επιφανειακή ανάκλαση επιθέτει την πρώτη αντανάκλαση της επιφάνειας.



Σχήμα 19 - Απεικόνιση υπέρυθρου φωτισμού

Για το έργο μας, επιλέξαμε beamsplitter με επικάλυψη υμενίου για το εύρος μήκους κύματος 700nm – 900nm με 45:55 αναλογία ανακλαστικότητας και διαπερατότητας. Τοποθετήσαμε τον διαχωριστή δέσμης με έναν τρόπο έτσι ώστε οι υπέρυθρες ακτίνες να διαθλώνται στο επίκεντρο με την οπτική διαδρομή από την κάμερα η οποία εμποδίζει την καταγεγραμμένη εικόνα από το έντονο φως (Σχήμα 20-c). Ένας εύκολος τρόπος για να βρούμε τη σωστή γωνία είναι να είμαστε σε θέση να δούμε το κέντρο της κάμερας και το LED στον ίδιο άξονα, τότε μπορούμε να κάνουμε ρυθμίσεις ακριβείας.



Σχήμα 20 - Κάτοψη του τελικού συστήματος παρακολούθησης της κόρης

Flip / Flop LED Διακόπτης

Στο στάδιο του πρωτοτύπου χρησιμοποιούμε την πλακέτα Arduino ως εξωτερικό μηχανισμό ενός διακόπτη για να ενεργοποιήσουμε τα LED και την κάμερα ταυτόχρονα. Ακόμα κι αν ήταν λειτουργικό και ήταν σε θέση να τρέξει τόσο τη κάμερα και τα LEDς, η χρονική καθυστέρηση μεταξύ των LED και τη σκανδάλη της κάμερας, θα έιχε προκαλέσει σημαντική πτώση στο ρυθμό της κάμερας. Έπρεπε να επιτύχουμε συνεχή απόδοση ρυθμού κάμερας εξακολουθώντας να είναι σε θέση να ενεργοποιήσει τα LEDs ταυτόχρονα .

Ως λύση, περνούμε τη χρήση του φλας της κάμερας αντί για μια εξωτερική σκανδάλη (Σχήμα 20-α) . Με τον τρόπο αυτό , η κάμερα θα βρίσκεται σε συνεχή λειτουργία και θα είναι σε θέση να ενεργοποιήσει τα LEDs σαν ένα φλας φωτογραφικής μηχανής. Έτσι, χρησιμοποιήθηκε ένα κύκλωμα διακόπτη flip / flop για on & off της φωταγώγησης του άξονα η οποία ενεργοποιεί τους οδηγούς των LEDs σε σειρά από κάθε πλαίσιο.

LED Driver

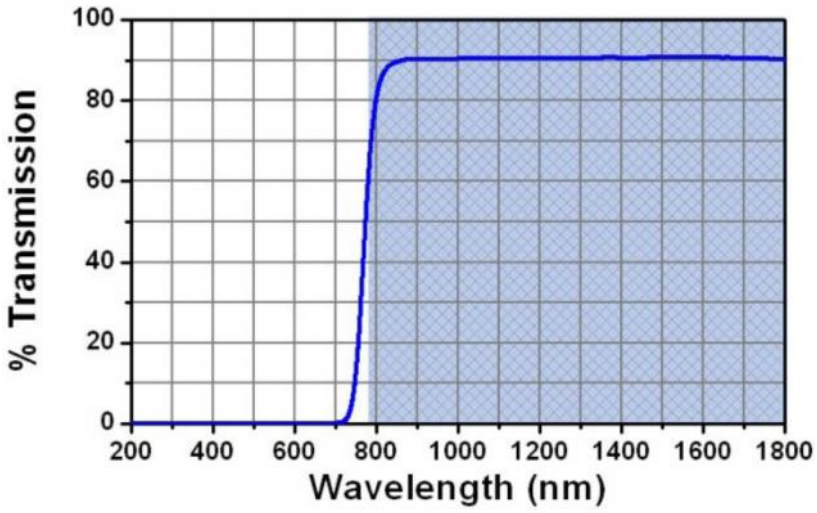
Για να ελέγξουμε την ένταση των LEDs επιλέξαμε έναν ελεγκτή καναλιού για κάθε LED (Σχήμα 20-b). Ο οδηγός LED παρέχει ρεύμα μέχρι t0 1.2A με διαφορετικές επιλογές λειτουργίας, όπως λειτουργία συνεχούς κύματος, λειτουργία ενεργοποίησης και τον τρόπο διαμόρφωσης.

Φωτογραφικός Φακός

Χρησιμοποιήσαμε ένα 17mm εστιακό μήκος του φακού με F0.95 οπή, προκειμένου να επωφεληθούμε από την ευρεία γωνία και να αποκτήσουμε όσο το δυνατόν περισσότερο φως ακόμη και σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού (Σχήμα 20-c).

Υπέρυθρο φίλτρο

Παρατηρήσαμε ότι ο ατμοσφαιρικός φωτισμός του περιβάλλοντος έχει ανεπιθύμητες επιπτώσεις για τις εικόνες που προκύπτουν από τη συγχώνευση με το ανακλώμενο υπέρυθρο φως από κόρη (Σχήμα 19). Για το λόγο αυτό, έχουμε τοποθετήσει ένα φίλτρο διέλευσης 780nm (Σχήμα 20-d) μεταξύ της διαχωριστής δέσμης και το φακό της κάμερας, η οποία αποκλείει τα μικρότερα μήκη κύματος. Η περιοχή cut-off και το ποσοστό μετάδοσης του φίλτρου φαίνεται στο Σχήμα 21. Με τη χρήση τέτοιων φίλτρων, είμαστε σε θέση να παρακολουθήσουμε την κόρη στο φως της ημέρας ή το ατμοσφαιρικό φωτισμό ενός χώρου του σπιτιού μας.



Σχήμα 21- Καμπύλη υπέρυθρης μετάδοσης του φίλτρου [34]

4.7 Εφαρμογή Λογισμικού

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα εξηγήσουμε την εφαρμογή του λογισμικού του συστήματος παρακολούθησης της κόρης σε πολλαπλά πρόσωπα. Το σύστημα παρακολούθησης της κόρης αποτελείται από τρία στάδια : την απόκτηση εικόνας, την εξαγωγή και την παρακολούθηση της κόρης. Το πρώτο τμήμα διερευνά το πώς τα πλαίσια αποκτώνται και ποιοι παράμετροι θέλουν προσοχή ώστε να αποκτήσουν περισσότερη ταχύτητα και ποιότητα. Το δεύτερο τμήμα ασχολείται με την εφαρμογή των αναγκαίων ενεργειών για να εξάγονται τα χαρακτηριστικά των πλαισίων που είναι πολύτιμα για τον εντοπισμό της κόρης. Η τελευταία ενότητα εξηγεί τον αλγόριθμο του σταδίου παρακολούθησης της κόρης για εφαρμογή πολλών πρόσωπων.

4.7.1 Απόκτηση της εικόνας

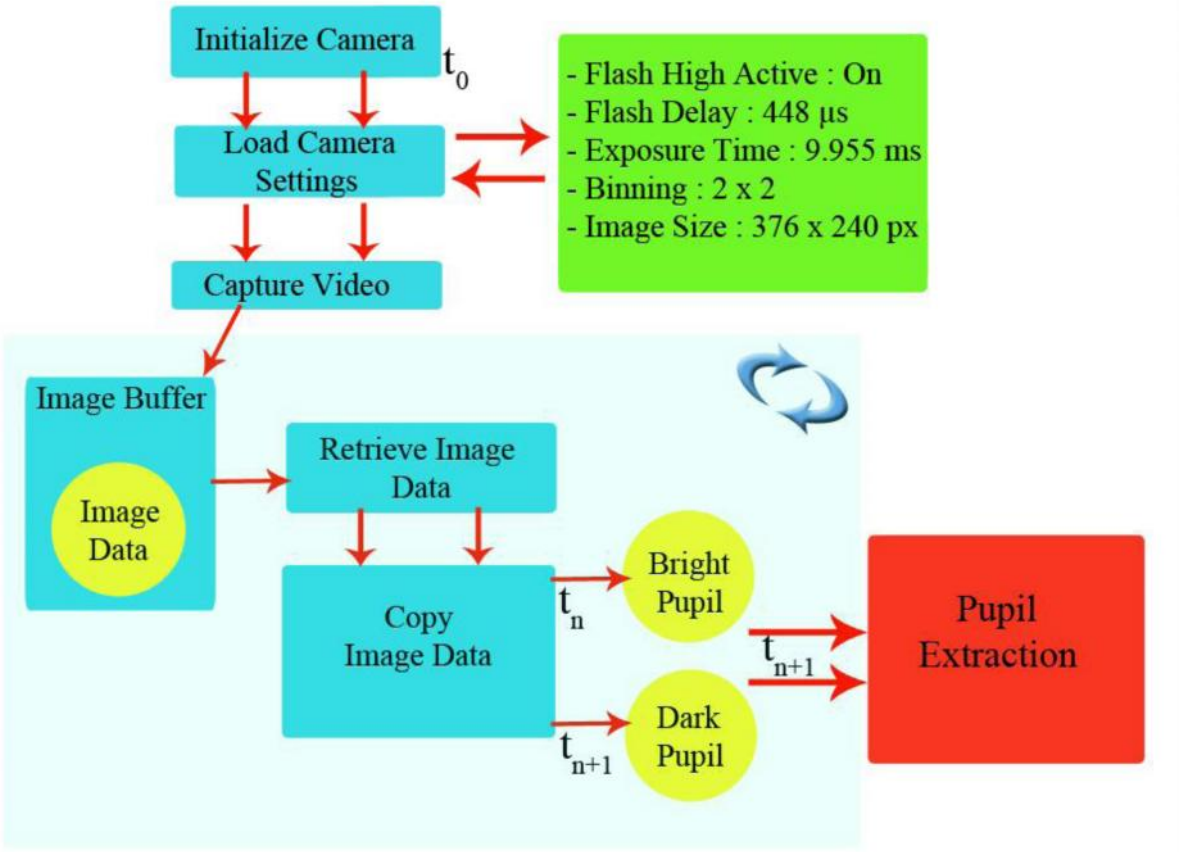
Στο τμήμα του λογισμικού του συστήματός έχουμε ολοκληρωμένες εφαρμογές σε ένα πλαίσιο ανοικτού κώδικα που ονομάζεται uEye1, το οποίο μας έδωσε μια βιβλιοθήκη για τις λειτουργίες και την εύκολη πρόσβαση στην κάμερα με ρύθμιση GUI.

Υπάρχουν δύο βασικά σημεία: η λειτουργία της κάμερας και οι ρυθμίσεις και την ποιότητα και το μέγεθος της εικόνας. Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 4.3.4, σκοπεύουμε να χρησιμοποιήσουμε τα LEDs με έξοδο φλας της κάμερας έτσι ώστε η κάμερα θα ελέγχει τα LEDs και όχι την εξωτερική σκανδάλη. Η διαδοχική εναλλαγή μεταξύ των LEDs θα είναι δυνατή με έναν διακόπτη flip / flop με επαναλαμβανόμενα σήματα φλας. Στην αρχή της προετοιμασίας θέσαμε το φλας σε λειτουργία και ρυθμίσαμε την καθυστέρηση του φλας σε όσο το δυνατόν μικρότερη: στην περίπτωσή μας είναι 488μς και ο χρόνος έκθεσης είναι περίπου 9,55ms. Υπάρχουν αρκετές παράμετροι που μπορούν να επηρεάσουν το ρυθμό της κάμερας σε Freerun και με βάση τα πειράματά μας, περίπου 10ms είναι αρκετά για να συλλάβει τα δεδομένα που απαιτούνται για την επεξεργασία. Αν αυξηθεί ο χρόνος έκθεσης, η ανάγνωση των δεδομένων και τη μεταφορά του χρόνου απλώνεται πάνω από ένα μεγαλύτερο χρονικό διάστημα ως αποτέλεσμα η ταχύτητα της μηχανής να επιβραδύνεται.

Το δεύτερο σημείο είναι να αυξηθεί η ποιότητα της εικόνας διατηρώντας παράλληλα το ρυθμό σε ένα υψηλότερο επίπεδο, γι ’αυτό εφαρμόζεται η λειτουργία binning στις καταγεγραμμένες εικόνες. Κανονικά υπάρχει ένα τυχαίο ποσό του θορύβου που παράγεται κατά την ανάγνωση του τσιπ και τη μεταφορά αυτών αυτών των δεδομένων έτσι ώστε να μπορούμε να πούμε ότι κάθε pixel αποτελείται από κάποιο θόρυβο και το σήμα με αναλόγια signal / √noise. Με την εφαρμογή binning, συνδυάζουμε τα δεδομένα σε γειτονικά pixels, όπου δημιουργείται το superpixel. Κατά συνέπεια, διαβάζουμε τα γειτονικά pixels σαν να είναι ένα και λαμβάνουμε ένα pixel δίχως θόρυβο, έτσι παίρνουμε τη ίδια ποσότητα δεδομένων αλλά λιγότερο θόρυβο.

Για το σύστημα μας επιλέξαμε να εφαρμόσουμε 2x2 binning που οδηγούν σε μείωση στην ανάλυση των εικόνων από 752X480 σε 376X240.

Σκοπός αυτού του μέρους του συστήματος είναι να συλλάβει τις εικόνες και να τις στείλει στο στάδιο της εκχύλισης. Στο Σχήμα 22, η εφαρμογή της απόκτησης εικόνας παριστάνεται σε ένα διάγραμμα ροής. Ως αρχικό σημείο τροποποιήσαμε τη λειτουργία καταγραφής βίντεο η οποία λαμβάνει τα δεδομένα εικόνας από το buffer εικόνας και τους γράφει πίσω σε ένα βίντεο buffer στην απαιτούμενη μορφή. Εμείς τροποποιήσαμε τη λειτουργία, έτσι ώστε κάθε φορά που υπάρχει μια εικόνα δεδομένων στο buffer θα το ανακτήσει και θα περιμένει μέχρι τα επόμενα δεδομένα που στοιβάζονται στον buffer. Με αυτόν τον τρόπο έχουμε καθιερώσει να υπάρχουν δύο συνεχόμενα δεδομένα εικόνας όπου το ένα εχει σκούρο αποτέλεσμα της κόρης και το άλλο έχει λαμπρό (φωτεινό), τότε καλούμε τη λειτουργία εξόρυξης της κόρης προκειμένου να εντοπιστούν τα πλαίσια και να αναζητηθούν τα χαρακτηριστικά των υποψηφίων κόρων των ματιών.

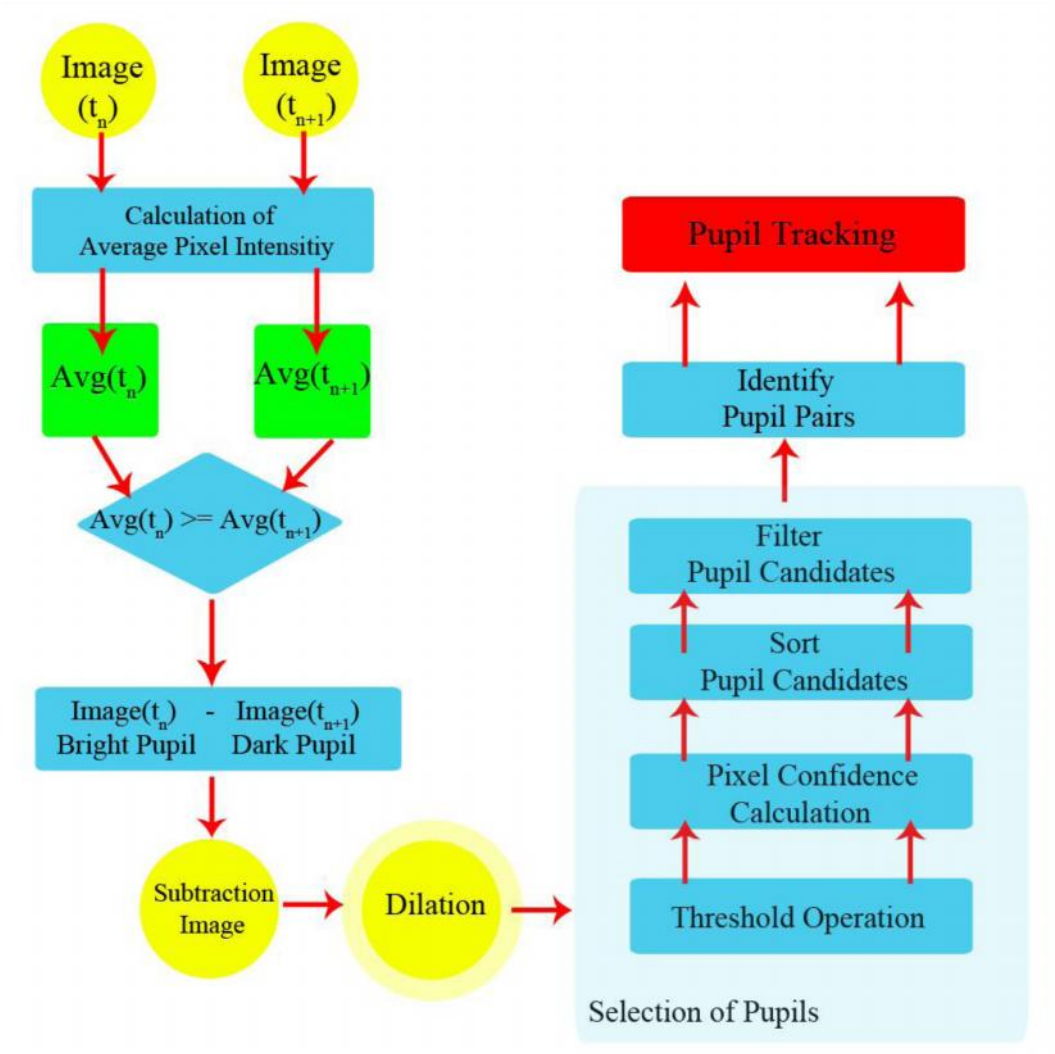


Σχήμα 22 - Διάγραμμα ροής απόκτησης της εικόνας

4.7.2 Εξαγωγή της Κόρης

Όταν τα δύο διαδοχικά πλαίσια αποκτηθούν, περνούν από διάφορες λειτουργίες επεξεργασίας εικόνας για την επιλογή χαρακτηριστικών. Στο Σχήμα 23, η εφαρμογή της εξαγωγής της κόρης αντιπροσωπεύεται σε ένα διάγραμμα ροής. Πρώτον, η μέση τιμή pixel από κάθε πλαίσιο υπολογίζεται προκειμένου να καθοριστεί ποιο πλαίσιο έχει λαμπρή κόρη ή του σκοτεινό αποτελέσματος της κόρης, διότι περιμένουμε να έχουμε μια υψηλότερη μέση τιμή της φωτεινής κόρης για τον λόγο του ότι αντανακλάται υπέρυθρο φως το οποίο αυξάνει την ένταση του λευκού χρώματος από ότι το σκούρο χρώμα. Ύστερα από την ταυτοποίηση για να πάρουμε την διαφορά της εικόνας αφαιρούμε το σκούρο πλαίσιο της κόρης από το φωτεινό.

Σε ορισμένες περιπτώσεις οι αντανακλάσεις που σχηματίζονται μικρότερες από τις αναμενόμενες ή εν μέρει οι ορατές στα πλαίσια εικόνες αφαιρούνται είτε λόγω μεταβλητή ιδιότητας της ανάκλασης του ματιού ή λόγο των συνθηκών φωτισμού των προσώπων του περιβάλλοντος.



Σχήμα 23 - Διάγραμμα απόκτησης της κόρης

Για την περίπτωσή μας εφαρμόσαμε 3x3 ορθογώνιο σχήμα και δομές σε γκρι κλίμακα της εικόνας.

Όταν η εικόνα αφαιρείται έχει επαρκή ποιότητα για την επιλογή των χαρακτηριστικών. Υπολογίζουμε κάθε pixel στην εικόνα για το αν μπορούν να σχηματίσουν ένα πιθανή υποψήφια κόρη ή όχι. Στη διαδικασία αυτή, κατ 'αρχάς ορίζουμε μια δυναμική τιμή σαν όριο η οποία είναι το 70% της μέγιστης τιμής των pixels στην εικόνα προκειμένου να εξαλειφθούν οι ψευδείς ανακλάσεις και να επιταχυνθεί η διαδικασία. Εάν η τιμή του pixel είναι υψηλότερη από το όριο τοτε υπολογίζουμε το συγκεκριμένο pixel σύμφωνα με τα γειτονικά pixels. Με αυτό τον υπολογισμό τα pixels που περιβάλλονται από τις υψηλότερες τιμές εχουν υψηλότερη πιθανότητα να είναι μια υποψήφια κόρη ενός προσώπου.

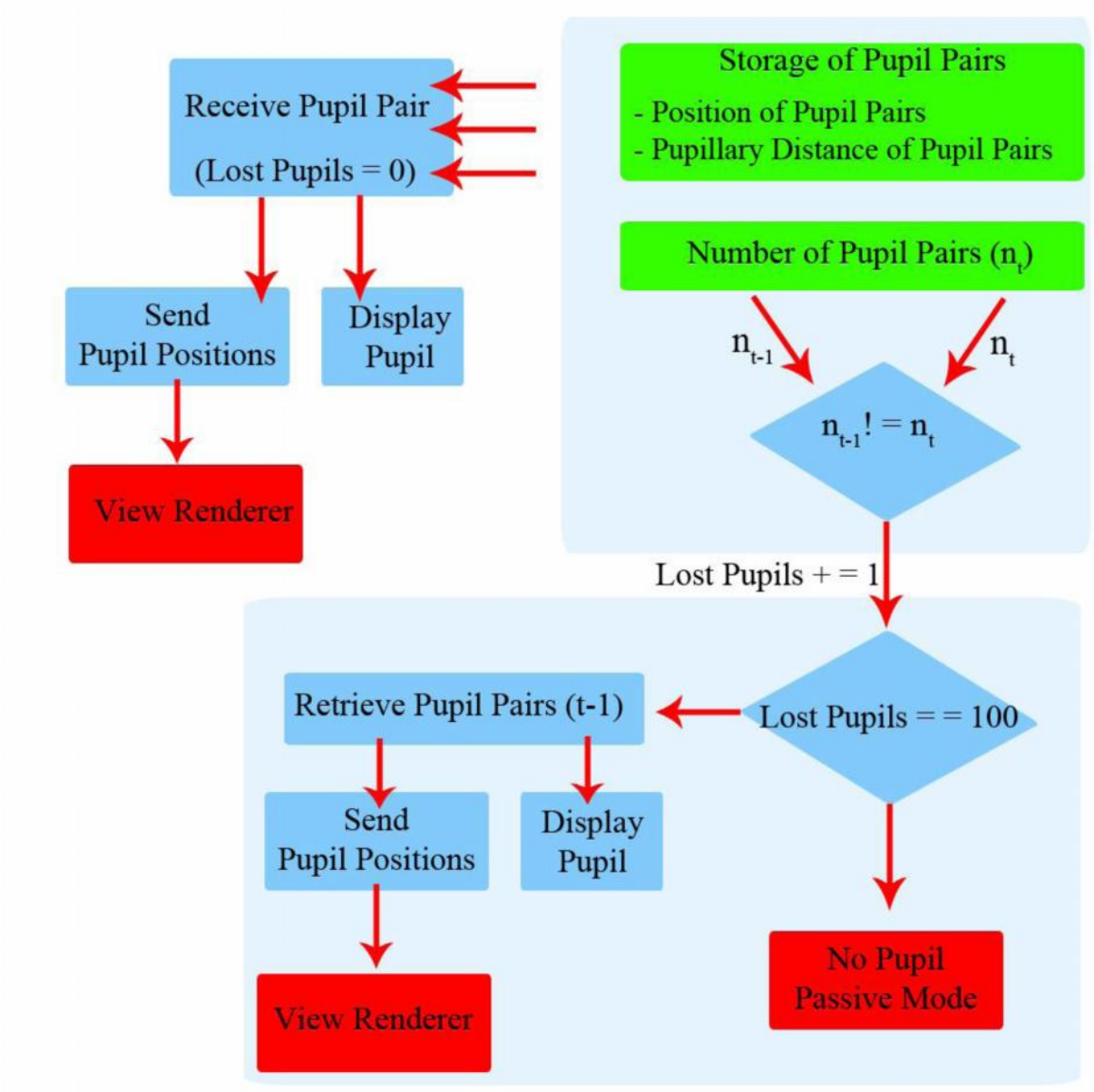
Τα κριτήρια φιλτραρίσματος για την ταυτοποίηση των ζευγών της κόρης βασίζονται κυρίως στις φυσιολογικές λειτουργίες των ζευγών των κόρων. Ως αποτέλεσμα των πειραμάτων μας, αποφασίσαμε να διατηρήσουμε την απόσταση μεταξύ της κόρης των ματιών μεταξύ 20px και 40px το οποίο αντιστοιχεί περίπου σε φυσική απόσταση από κάθε άλλη (50 χιλιοστών - 80 χιλιοστών) και εξετάζουμε το ενδεχόμενο με κεκλιμένη θέση του κεφαλιού κατά τη διάρκεια της ανίχνευσης. Δίνουμε μια ελευθερία της κλίσης που κυμαίνεται περίπου 27 μοίρες η οποία αντιστοιχεί στη διαφορά μεταξύ 10px y – άξονα των δύο κόρων. Σε αυτό το στάδιο της υλοποίησης συγκρίναμε κάθε υποψήφιο pixel σε κάθε άλλο και αυτά που χαρακτηρίζονται ως ζεύγος αποθηκεύονται σε ένα σύνολο των κόρων. Επιπλέον, δεδομένου ότι έχουμε να κάνουμε με πολλά ζευγάρια από pixel που μπορεί να αντιπροσωπεύουν το ίδιο ζευγάρι, ορίσαμε ένα παράθυρο αναζήτησης που ενημερώνεται σύμφωνα με την εμφάνιση μιας νέας κόρης στο πλαίσιο. Το Παράθυρο αναζήτησης ορίζεται έτσι ώστε να περιβάλλει τα ζεύγη μέσα σε ένα ορθογώνιο σχήμα με ένα gab 15 pixels από κάθε πλευρά των ζευγών.
Έτσι αποφεύγουμε την επανεμφάνιση ίδιων ζευγαριών περισσότερο από μία φορά. Καθ ’όλη τη διαδικασία φιλτραρίσματος θα προσδιορίσουμε επίσης τα αριστερά και τα δεξιά μάτια συγκρίνοντας απλώς τη θέση τους και αποθηκεύουμε τις συντεταγμένες της αριστερής κόρης και την απόσταση ανάμεσα στο αριστερό και το δεξί μάτι για τον εντοπισμό τους.

4.7.3 Παρακολούθηση της Κόρης

Στο στάδιο παρακολούθησης πρώτον, παίρνουμε το κάθε ζεύγος που είναι αποθηκευμένο στο προηγούμενο στάδιο και τους προβάλλουμε στο χρήστη. Μπορούμε επίσης τη θέση της κόρης και η απόσταση του κάθε ζεύγους που εμφανίζεται σε μια σειρά, να πάρουμε τη διαδικασία ανάκτησης σε περίπτωση εσφαλμένης εξαγωγή της κόρης (βλ. Σχήμα 24 για το διάγραμμα ροής εκπροσώπηση της κόρης και παρακολούθηση της εφαρμογής).

Το σύστημα παρακολούθησης των κόρων βασίζεται στην ταχύτητα και την ευκινησία της απόκτησης εικόνας και στο στάδιο εκχύλισης της κόρης. Παρ ’όλα αυτά, υπάρχουν δύο περιπτώσεις κατά τις οποίες θα πρέπει να ανακτήσουμε τα προηγούμενα ζεύγη για να διασφαλιστεί η συνέχεια της διαδικασίας της παρακολούθησης.

Η πρώτη περίπτωση είναι η πολύ πιθανή κατάσταση στην οποία ο χρήστης ανοιγοκλείνει τα μάτια του ή περιστρέφει το κεφάλι του σε μια άλλη πλευρά, εκτός από τη ρύθμιση της παρακολούθησης. Δεύτερο, είναι όταν ο χρήστης πηγαίνει πραγματικά έξω από την περιοχή παρακολούθησης. Λαμβάνοντας υπόψη την εικόνα με ρυθμό πρόσληψης 100fps του συστήματος παρακολούθησης όταν υπάρχει απώλεια των κόρων τα αμέσως προηγούμενα επιτυχημένα ζευγάρια ανακτώνται για το συγκεκριμένο πλαίσιο. Υπάρχει ένα χρονικό όριο για την απώλεια των ζευγών στο σύστημά μας, εάν δεν υπάρχει καμία δραστηριότητα περισσότερο από 1 δευτερόλεπτο, το σύστημα υποθέτει ότι δεν υπάρχει κανένας χρήστης στο εύρος εντοπισμού και περνά σε παθητική κατάσταση.



Σχήμα 24 - Διάγραμμα ροής παρακολούθησης της κόρης

5 . Autostereoscopic οθόνες

Στο κεφάλαιο 5, θα επικεντρωθούμε στις autostereoscopic οθόνες και την εφαρμογή του View Renderer . Τα ακόλουθα δύο υπο - κεφάλαια εξηγούν τις autostereoscopic οθόνες και την τεχνολογία τους με μια επισκόπηση των τεχνικών απεικόνισης 3 - D και την εισαγωγή της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται στις autostereoscopic οθόνες. Στο κεφάλαιο 5.3, θα συζητήσουμε για τους περιορισμούς των autostereoscopic οθονών και τα αποτελέσματά τους σχετικά με το 3 - D.

Τέλος, θα εξηγήσουμε το View Renderer που δημιουργεί τις πολλαπλές εμφανίσεις του 3 - D και την εμφάνιση των autostereoscopic οθονών όσον αφορά τις θέσεις της κόρης του θεατή.

.

5.1 Εισαγωγή

Με τα χρόνια, πολλοί επιστήμονες έχουν εργαστεί για να τελειοποιήσουν την τεχνολογία του 3D. Δεδομένου ότι η πρώτη ταινία 3D "Power of Love" παρουσιάστηκε το 1922, η 3D τεχνολογία έχει ταξιδέψει σε μεγάλη απόσταση με την τρέχουσα κατάσταση της [22] .

Υπάρχουν δύο βασικές τεχνικές για τη δημιουργία 3-D αντίληψης σε οθόνες: στερεοσκοπική και autostereoscopic. Μία από τις πρώτες μεθόδους για να εμφανιστεί το περιεχόμενο σε στερεοσκοπική χρησιμοποιεί ανάγλυφες σχημα που αποτελείται από δύο υπερτιθέμενες εικόνες, οι οποίες είναι με διαφορετικό χρώμα. Με τη χρήση ενός γυαλιού συνήθως με κόκκινο (αριστερά) και κυανό (δεξιά) φίλτρο για κάθε μάτι. Τα φιλτραρισμένα χρώματα ακυρώνονται και επιτρέπουν σε κάθε μάτι να βλέπει μια διαφορετική εικόνα.
Μια άλλη μέθοδος είναι που προεξέχουν δύο εικόνες και υπερτίθενται στην ίδια οθόνη με διαφορετικά φίλτρα πόλωσης. Παρόμοια με ανάγλυφα γυαλιά το καθένα πολωτικό φίλτρο μπλοκάρει το διαφορετικό πολωμένο φως συνεπώς κάθε μάτι βλέπει διαφορετικές εικόνες. Σήμερα, η μέθοδος πόλωσης είναι εξαιρετικά δημοφιλής σε οθόνες που δείχνουν ταινίες 3-D. Τέλος, τα γυαλιά κλείστρου χρησιμοποιούν την μέθοδο έκλειψης, η οποία αποτελείται από μια οθόνη συγχρονισμένη με ειδικό γυαλί κλείστρου που ανοίγει και κλείνει τα ¨παραθυρόφυλλα το γυαλιού¨, προς τα αριστερά ή προς τα δεξιά της εικόνας που εμφανίζεται στην οθόνη. Τα γυαλιά Κλείστρου χρησιμοποιούνται περισσότερο σε συστήματα home cinema.

Σχήμα 25 - Γυαλιά για Stereo απεικόνιση α) ανάγλυφο β) RealD πολωμένο γ) Philips 3D διαφράγματος

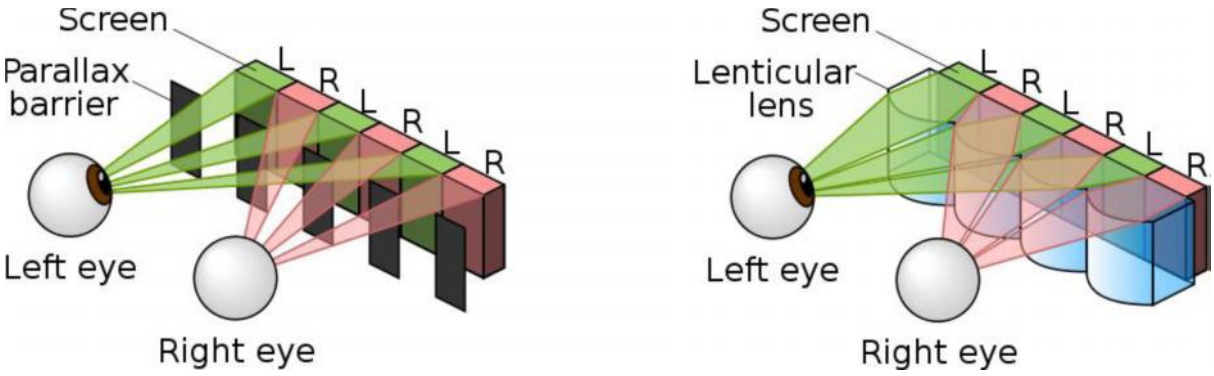
Με αυτές τις μεθόδους τα ανάγλυφα γυαλιά είναι φθηνά, προσιτά και είναι εύκολο να παράγουν περιεχόμενο 3-D, αλλά το μεγαλύτερο μειονέκτημα είναι η έλλειψη της παλέτας των χρωμάτων από το κόκκινο και το μπλε εφόσον ακυρώνονται από τα φίλτρα των γυαλιών ακόμα κι αν η πόλωση τους είναι στη σημερινή τεχνολογία που εφαρμόζεται σε πολλά θέατρα και κινηματογράφους 3-D.

Για την δημιουργία ενός τέτοιου συστήματος στο σπίτι απαιτεί υπερβολικό οικονομικό βάρος και πολλαπλές συσκευές, όπως 3-D προβολέα και οθόνη για τη διατήρηση της πόλωσης του ανακλώμενου φωτός. Για να χρησιμοποιήσουμε τα γυαλιά κλείστρου, ο χρήστης πρέπει να έχει συγκεκριμένη οθόνη 3-D, η οποία είναι επίσης αρκετά ακριβή σε σύγκριση με τα παθητικά γυαλιά 3-D, όπως να είναι τα πολωμένα και τα ανάγλυφα γυαλια.

Πέρα από τα τεχνικά και τα οικονομικά μειονεκτήματα της στερεοσκοπικής οθόνης, ένα προφανές μειονέκτημα έρχεται προς τα εμπρός, είναι η δυσφορία του χρήστη. Σήμερα, όλες οι ταινίες 3-D που φαίνονται στους κινηματογράφους επίσης κυκλοφορούν και σε οπτικούς δίσκους στην αγορά, όπως τα DVD υψηλής ευκρίνειας και Blu-Ray Discs. Επιπλέον μεγάλος αριθμός των διεθνών αθλητικών καναλιών έχουν ξεκινήσει την προβολή 3-D εκπομπών, όπως το Eurosport 3D στο Ηνωμένο Βασίλειο και το ESPN στις Ηνωμένες Πολιτείες. Ο κοινός στόχος αυτών των βελτιώσεων είναι να επιτρέψει στους θεατές να βιώσουν το 3-D στα σαλόνια τους με άνεση. Πιστεύουμε ότι οι autostereoscopic οθόνες ελευθερώνουν τους τηλεθεατές από τα γυαλιά και προσφέρουν άνετη εμπειρία 3-D.

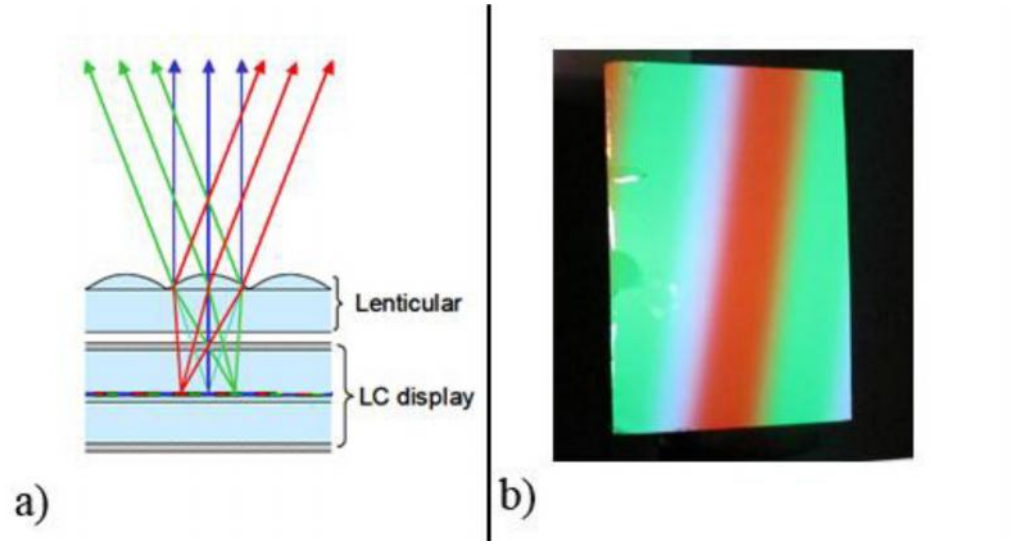
5.2 Τεχνολογία Autostereoscopic Οθονών

Υπάρχουν δύο τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται συνήθως σε autostereoscopic οθόνες που δεν απαιτούν από τους χρήστες να φορούν 3D γυαλιά (Parallax Barrier και Lenticular Φακοί). Στα Parallax Barrier (παραλλαγή φράγματος) ένα στρώμα υλικού με στενές οριζόντιες GABS τοποθετούνται μπροστά από την οθόνη LCD, η οποία εμποδίζει κάποια συγκεκριμένα pixels και επιτρέπει σε κάθε μάτι να βλέπει διαφορετικές απόψεις-εικόνες και δημιουργεί την 3D εμπειρία. Το μειονέκτημα της είναι η κακή φωτεινότητα λόγο του ότι εμποδίζει ένα σημαντικό μέρος του εκπεμπόμενου φωτός (βλέπε σχήμα 26).



Σχήμα 26 - τεχνικές απεικόνισης Autostereoscopic οθονών[35]

Στο έργο μας, χρησιμοποιήσαμε μια οθόνη autostereoscopic με εννέα θέσεις θέασης φτιαγμένη με Lenticular φακοειδή τεχνολογία. Η οθόνη αποτελείται από μια οθόνη LCD, μονάδα οπίσθιου φωτισμού και Lenticular πλάκα φακού. Η Lenticular πλάκα αποτελείται από συστοιχία κυλινδρικών φακών που τοποθετούνται μπροστά από την οθόνη LCD, το οποίο διαθλά τα φώτα που προέρχονται από εναλλακτικές στήλες εικονοστοιχείων προς τον παρατηρητή (Σχήμα 26). Αυτή η φακοειδή πλάκα σταθεροποιείται σε μια οθόνη LCD έτσι ώστε ο κάθε κυλινδρικός φακός να επικαλύπτει 4,5 subpixels που στέλνει το φως σε διαφορετικές κατευθύνσεις και με την επανάληψη των φακών πάνω από την οθόνη επιτυχαίνει πολλαπλές προβολές (βλ. Σχήμα 27).



Σχήμα 27 - α) Σχεδιασμός φακοειδή φακού β) αποτέλεσμα λοξού φακού [23]

Στους Lenticular φακούς, υπάρχει μικρότερη απώλεια της φωτεινότητας σε αντίθεση με την τεχνολογία Parallax Barrier δεδομένου ότι όλο το εισερχόμενο φως είναι αποδεκτό από τους φακούς. Ακόμη, και οι δύο τεχνολογίες έχουν ένα κοινό περιορισμό, ο οποίος είναι η έλλειψη της ευκρίνειας λόγω του τρόπου του ευθυγραμμισμού των φακών κάθετα στην επιφάνεια της οθόνης LCD. Για το λόγο αυτό η οθόνη που χρησιμοποιείται έχει κλίση κάθετης γωνίας 1/6, προκειμένου να διανέμει την απώλεια της ευκρίνειας σε δύο κατευθύνσεις [23] και τη δημιουργία περισσότερης ζωντανής οπτικής εμπειρίας. Στο Σχήμα 27, είναι δυνατό να παρατηρηθεί η επίδραση της κλίσης και η διανομή των διαφορετικών απόψεων πάνω στο οπτικό πεδίο του χρήστη.

5.3 Περιορισμοί της τρέχουσας Autostereoscopic φακοειδής οθόνης

Οι Autostereoscopic οθόνες επιτρέπουν στους τηλεθεατές να παρακολουθούν 3-D χωρίς να φοράνε γυαλιά, ωστόσο εξακολουθούν να υπάρχουν κοινά μειονεκτήματα σε αυτές τις οθόνες 3-D. Σε μια δημοσίευσή του 2010, ο Woods επικεντρώνεται στην στιχομυθία με παρόμοια θέματα απεικόνισης, όπως η αντίθεση, η φωτεινότητα και η αντίληψη του βάθους σε στερεοσκοπικες και autostereoscopic οθόνες.

Η έρευνά του δείχνει ότι η autostereoscopic οθόνη υποφέρει από αυτά τα προβλήματα, οπως επίσης και από την δημιουργία Ghosting ή interchangeably crosstalk, την απώλεια της αντίθεσης, την απώλεια των 3-D αντιλήψεων και η οπτική δυσφορία του θεατή λόγω της σχέσης ανάμεσα στο φυσικό μέγεθος και την ποιότητα των φακών, ο τρόπος που οι φακοί είναι ευθυγραμμισμένοι πάνω από τα sub-pixels και τη θέση του θεατή μπροστά από την οθόνη [2].

Για να έχουμε μια σαφή απόφαση σχετικά με την ποιότητα του 3-D, πρώτα βρήκαμε τη βέλτιστη απόσταση θέασης και τη θέση απ ’όπου ο θεατής μπορεί να δει ένα επαρκές αποτέλεσμα του 3-D χωρίς καμία είδους ενόχληση ή κακή επίδραση.

.

Δεδομένου ότι οι εικόνες μας παρέχονται για μια οθόνη 9 όψεων, το πρώτο πράγμα που παρατηρούμε είναι ότι, όταν ο θεατής μετακινεί το κεφάλι του στην παράλληλη κατεύθυνση της οθόνης, το εφέ 3D αρχίζει να μειώνεται, η σκηνή θόλωνε έως ότου ο θεατής έβλεπε την επόμενη προβολή. Ο λόγος αυτής της επίδρασης είναι το αποτέλεσμα της στιχομυθίας μεταξύ της αριστερής και της δεξιάς εικόνας για την συγκεκριμένη θέση. Το ίδιο αποτέλεσμα παρουσιάζεται επίσης όταν ο θεατής αλλάζει θέση του κεφαλιού του απο κάθετη οριζόντια σε κάθετη. Επειδή οι lenticular φακοί κλίνουν ελαφρώς για να διανείμουν την απώλεια της ευκρινείας ως εκ τούτου η βέλτιστη θέση θέασης αλλάζει πάντα σε σχέση με την κατακόρυφη και την οριζόντια θέση του θεατή.

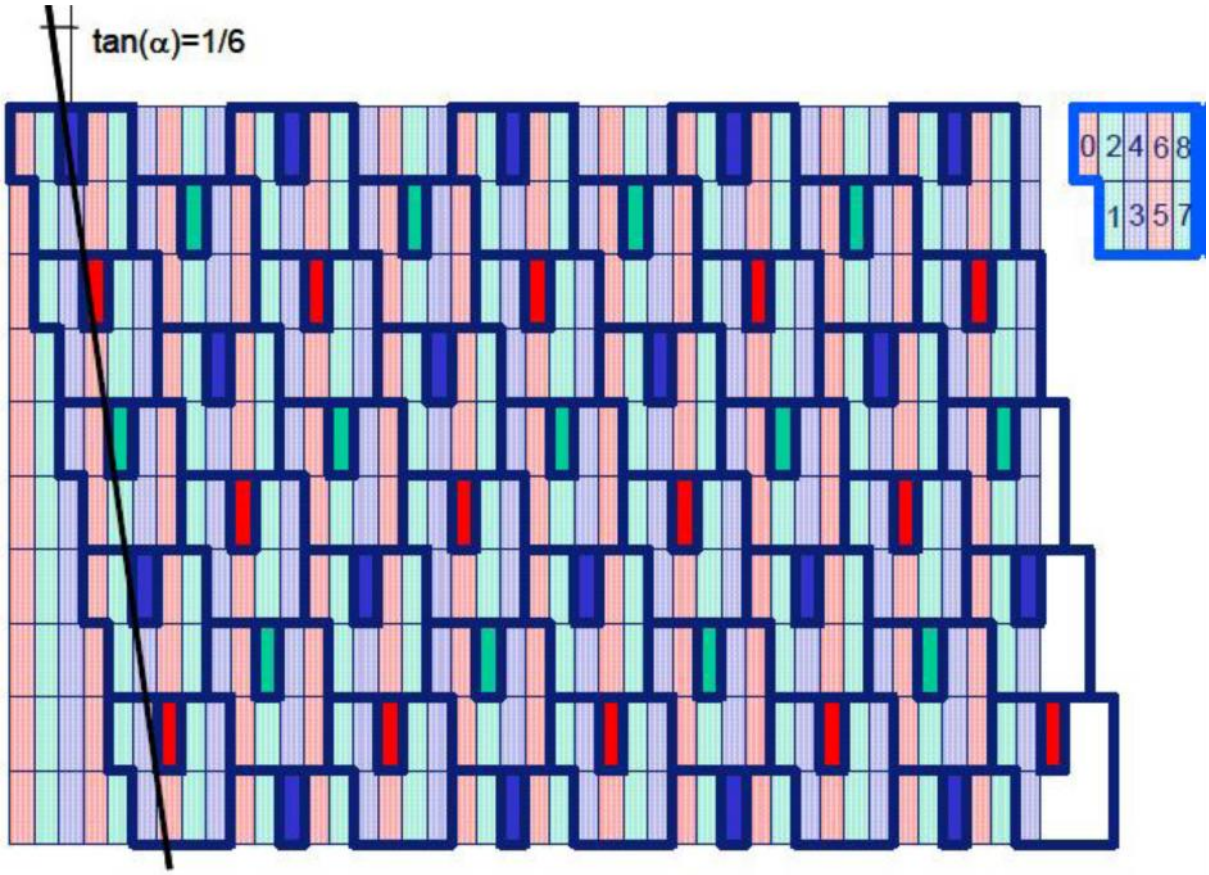
Η ελεύθερη κίνηση αποτελεί μία από τις προτεραιότητες για τις autostereoscopic οθόνες πράγμα που σημαίνει ότι ο θεατής θα πρέπει να είναι σε θέση να μετακινεί το κεφάλι του μέσα σε ένα συγκεκριμένο οπτικό πεδίο ή θα μπορεί να αλλάζει τη θέση του γύρω από την οθόνη και να εξακολουθεί να είναι σε θέση να παρακολουθήσει εικόνα 3D. Στην αρχή του σχεδιασμού, για την μείωση της αντίθεσης των στερεοσκοπικών εικόνων και για να αποτρέψουμε αλληλοπυροβολές μεταξύ των θέσεων θέασης τοποθετήσαμε μια μαύρη εικόνα στο κέντρο για την παροχή ομαλότερης και πιο φυσικής μετάβασης μεταξύ των εικόνων. Ένα μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η χρήση μιας μαύρης εικόνας στην προβολή στο κέντρο θα μειώσει την φωτεινότητα της 3 -D εικόνας και θα προκαλέσει μια πιθανή δυσφορία για τον θεατή.

Οι 3-D autostereoscopic οθόνες έχουν ορισμένους περιορισμούς: την διαφορά μεταξύ των θέσεων θέασης , την εμφάνιση ανεστραμμένης εικόνας κατά τη διάρκεια της μετάβασης προβολής κώνου, την μειωμένη ανάλυση και την μειωμένη φωτεινότητα.

5.4 Εφαρμογή Λογισμικού στον Renderer (καθιστό) Θεατή

Ο σχεδιασμός του lenticular (φακοειδή) φακού μιας autostereoscopic οθόνης επιτρέπει τη δημιουργία πολλαπλών προβολών. Οι φακοί τοποθετούνται κοντά στα pixels έτσι ώστε το φως από τα pixels είναι παραλληλισμένο προς τον χρήστη σε διαφορετικές κατευθύνσεις. Ο αριθμός των προβολών μιας οθόνης είναι ίση με την αναλογία μεταξύ του βήματος του φακού και του βήματος του sub-pixel.

Για παράδειγμα, εάν το βήμα του φακού είναι εννέα φορές ενός βήματος του υπο-pixel, τότε δημιουργούνται εννέα εμφανίσεις. Ένα πρόβλημα ωστόσο, είναι ότι η κατακόρυφη ευθυγράμμιση του lenticular φακού μειώνει την οριζόντια ανάλυση της αρχικής εικόνας σε σχέση του παράγοντα του αριθμού των θέσεων. Προκειμένου να διανέμει την απώλεια της ανάλυσης σε δύο κατευθύνσεις, οι φακοί κυκλώνονται υπό μικρή γωνία στον κάθετο άξονα της οθόνης. Η απώλεια της ανάλυσης είναι η τετραγωνική ρίζα του αριθμού των όψεων. Η δομή των sub-pixels σε μια λοξή στρώση φαίνεται στο Σχήμα 28.



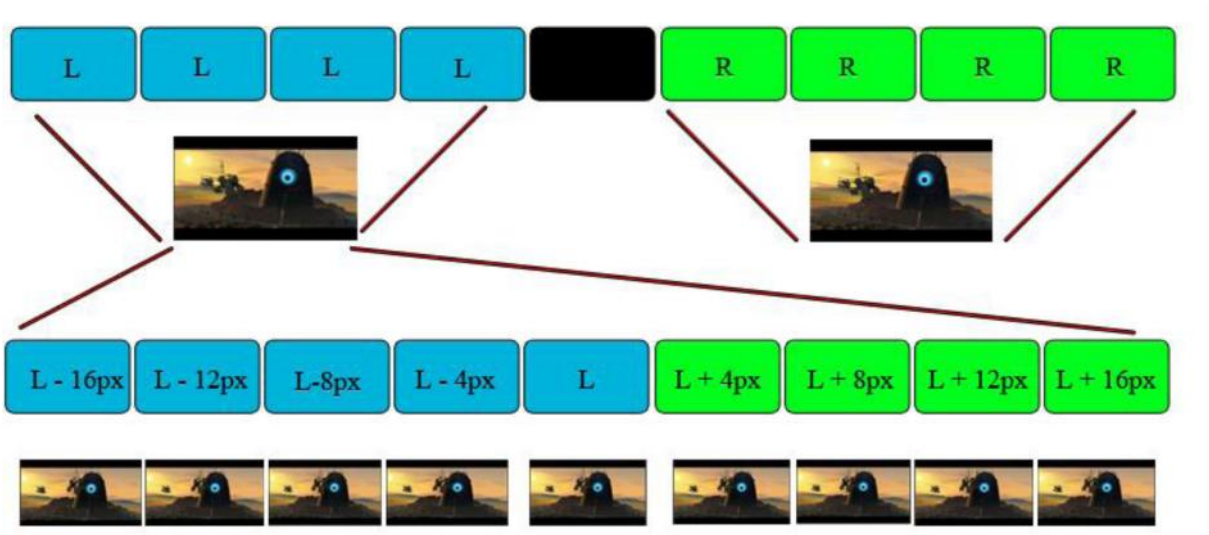
Σχήμα 28 – Δομή των εικονοστοιχείων (pixels) μιας οθόνης εννέα όψεων [24]

Στο έργο μας , χρησιμοποιήσαμε μια autostereoscopic οθόνη με λοξή γωνία (1/6) ,που μας επιτρέπει να προβάλουμε εννέα διαφορετικές όψεις. Ο τρόπος της παροχής των εννέα όψεων ονομάζεται "Variable Baseline Stereo" το οποίο αποτελείται μόνο από αριστερές και δεξιές στερεοσκοπικές εικόνες, την αριστερή και δεξιά θέση θέασης χωρισμένη σε τέσσερις ομάδες σε ομάδες και την μαύρη εικόνα (μάσκα) στην κεντρική θέση, μιμούμενη τα στερεοσκοπικά γυαλιά. Το όφελος από την μαύρη μάσκα στην προβολή στο κέντρο είναι η μειώσει το cross-talk και την διαρροή μεταξύ της αριστερής και της δεξιάς όψης (θέσης).

Στο Κεφάλαιο 5.2, επισημαίνουμε ένα από τα πλεονεκτήματα της χρήσης μιας lenticular οθόνης το οποίο είναι η διατήρηση της φωτεινότητας λόγω του ιδικού σχεδιασμού του φακού. Ωστόσο, η χρήση της μαύρης μάσκας στην προβολή στο κέντρο δημιουργεί μια τεχνητή " εξασθένιση " όταν η επιδιωκόμενη προβολή 3D φαίνεται σημαντικά πιο σκούρα από ότι είναι στην πραγματικότητα.

Επιπλέον, κατά τη διάρκεια της μετάβασης από την θέση στο κέντρο προς τον θεατή οι διακριτές θέσεις-όψεις με τη μαύρη μάσκα δημιουργούν ημιορατό τρεμόπαιγμα που προκαλεί μια δυσάρεστη εμπειρία θέασης.

Για το λόγο αυτό, προτείνουμε μια διαφορετική προσέγγιση-απόδοση παρόμοια με το " Stereo + Motion Parallax ". Αυτή η μέθοδος διανέμει το σύνολο διαφοράς μιας αρχικής στερεοσκοπικής εικόνας σε ενδιάμεσες εικόνες. Για παράδειγμα , αν υπάρχει μια διαφορά 32px ανάμεσα στην αριστερή και την δεξιά εικόνα η διαφορά αυτή κατανέμεται γραμμικά στην υποπροβολή, οι οποία προέρχεται από την αριστερή εικόνα (βλ. Σχήμα 29) .



Σχήμα 29 - Απεικόνιση της διαφοράς μεταξύ της Stereo Μεταβλητής και της Υπο-Προβολής

Η χρήση των sub –view (υπο-προβολών) εξαλείφει την ανάγκη της μαύρης μάσκας στο κέντρο επειδή η διαφορά μεταξύ των όψεων μειώνεται. Οι παρεχόμενες εικόνες θεωρούνται επίσης πιο φωτεινές σε απόδοση από ότι το Variable Stereo Baseline χωρίς τη μαύρη μάσκα. Επιπλέον, η προσέγγιση αυτή είναι πιο βολική για μια προσαρμοστική άποψη απόδοσης με την παρακολούθηση της κόρης, όπως αναφέρεται στο Κεφάλαιο 6 .

Η ένταξη της όψης (θέσης) με την παρακολούθηση της πορείας της κόρης επιτρέπει στους θεατές να δουν 3D από διαφορετικές θέσεις με την προσαρμογή της θέας του κώνου προς τη θέση του θεατή.

Σε αυτή τη λειτουργία κάθε φορά που ο θεατής μεταβάλλει τη θέση του όλες οι εννέα εικόνες επίσης μεταβάλλονται, προκειμένου να εμφανίζει τη σωστή όψη για μια συγκεκριμένη θέση. Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα των fps (frames per second) και τη συμπεριφορά του ολοκληρωμένου συστήματος (βλέπε κεφάλαιο 7), υπήρξε μια αξιοσημείωτη υστέρηση μεταξύ της αλλαγής της θέσης του θεατή και της μετάβασης της θέσης του κώνου. Γι ’αυτό προτείνουμε προ - καθιστώντας όλες τις εικόνες από εννέα διαφορετικές θέσεις θέασης στην εκκίνηση του συστήματος. Έτσι ώστε το σύστημα να μη χρειάζεται να καταστήσει τις εικόνες κάθε φορά όταν μια θέση του θεατή αλλάζει και η απόδοση να επιτυγχάνεται χωρίς αισθητή καθυστέρηση αλλά σε πραγματικό χρόνο.

6 . Ένταξη του IR για την παρακολούθηση της κόρης με View Renderer

6.1 Επικοινωνία του View Renderer και παρακολούθηση της κόρης με IR

Στο αρχικό στάδιο της διαδικασίας ολοκλήρωσης, ο στόχος ήταν να έχουν την εφαρμογή της εν λόγω ολοκλήρωσης μεταξύ των δύο εφαρμογών και να εξακολουθούν να είναι σε θέση να ελέγχουν τις λειτουργίες παρακολούθησης της κόρης μέσω της υποστήριξης GUI με ένα πειραματικό τρόπο.
Το λογισμικό της κάμερας (uEye) έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε όλες οι λειτουργίες να βελτιστοποιούνται, έτσι ώστε η προσάρτηση να αυξάνει άμεσα την εσωτερική πολυπλοκότητα, γεγονός που καθιστά πιο δύσκολο να παρατηρήσει κάποιος την πραγματική συμπεριφορά του εφαρμοζόμενου συστήματος και ακόμη λιγότερο αξιόπιστη για μια προσανατολισμένη μελλοντική ανάπτυξη.

Για την προσαρμογή προβολής κώνου ανάλογα με τη θέση του χρήστη, το view renderer χρίζεται τη θέση των δύο pixels αριστερά και δεξιά του ματιού. Και επειδή η ανίχνευση της κόρης και το view renderer είναι ενσωματωμένο ως ένα ενιαίο

σύστημα, που σημαίνει η έξοδος της κάθε λειτουργίας γίνεται είσοδος για την επόμενη λειτουργία που καλείται να είναι μία από τις κύριες αιτίες καθυστέρησης που θα είναι αισθητή κατά την παρακολούθηση.

Σε μια εφαρμογή σε πραγματικό χρόνο αναμένεται από το ανιχνευτή να στείλει τις θέσεις της κόρης ανεξάρτητα από την απόδοση των εικόνων στην οθόνη και αντίστροφα, η οποία μας επιτρέπει να διαχωρίσουμε πλήρως την παρακολούθηση των ματιών και την απόδοση της προβολής.

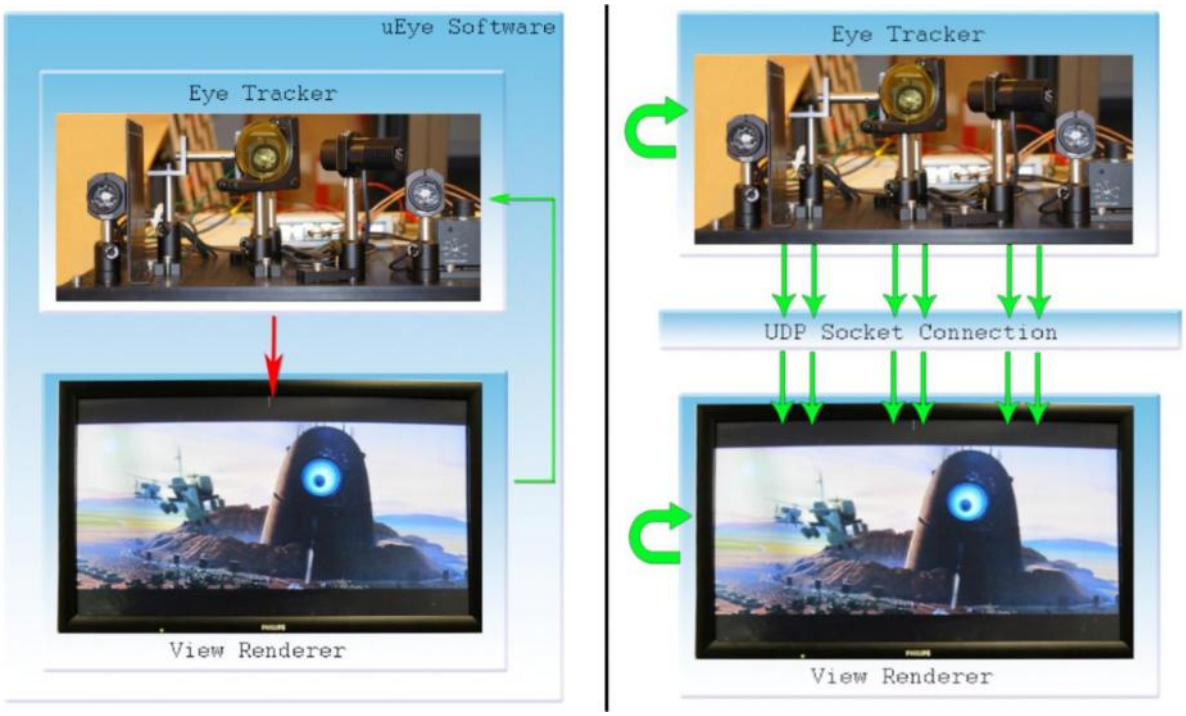
Κατά συνέπεια, υλοποιήσαμε μια εφαρμογή παρακολούθησης των ματιών η οποία χρησιμοποιεί uEye βιβλιοθήκη μόνο για την απόκτηση του πλαισίου και το υπόλοιπο διαχωρίζεται πλήρως από το λογισμικό uEye. Αποφασίσαμε επίσης την εφαρμογή του « πρωτοκόλλου User Datagram « (UDP) και την υποδοχή σύνδεσης μέσω του τοπικού κεντρικού υπολογιστή για τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ του ανιχνευτή ματιών του view renderer, έτσι ώστε και οι δύο εφαρμογές να είναι σε θέση να λειτουργούν ανεξάρτητα, ανεξάρτητος από τις επιδόσεις των άλλων.

Το UDP είναι ένα πρωτόκολλο δικτύου για το Internet, το οποίο χρησιμοποιείται συχνά σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου, όπως ήχου και βίντεο ή online παιχνιδιών που απαιτούν ταχεία μετάδοση δεδομένων. Σε σύγκριση με ένα άλλο δημοφιλές πρωτόκολλο δικτύου " Πρωτόκολλο ελέγχου μετάδοσης " (TCP) ,το UDP είναι ένα πρωτόκολλο χωρίς σύνδεση, το οποίο είναι ταχύτερο στη μετάδοση δεδομένων από το TCP και δεν απαιτεί implicit handshake, αλλά το μειονέκτημα είναι ότι το UDP είναι λιγότερο αξιόπιστο στην ακεραιότητα των δεδομένων. Αν και το UDP δεν παρέχει τις διαδικασίες ασφάλειας και ελέγχου όπως ο έλεγχος πακέτων , την αναμετάδοση της απώλειας των πακέτων ή τον έλεγχο συμφόρησης, είναι ακόμα μια επιλογή για την εφαρμογή σε πραγματικό χρόνο.

Οι λόγοι πίσω από την απόφαση του πρωτοκόλλου UDP είναι οι εξής: Πρώτον, ένα σύστημα σε πραγματικό χρόνο δεν μπορεί να δεχτεί περιττές καθυστερήσεις, όπως ο έλεγχος της ακεραιότητας των δεδομένων ή να περιμένει για ένα χαμένο πακέτο σε μια ροη δεδομένων, εκτός εάν είναι υψηλής σημασίας. Δεύτερον, η επικοινωνία μεταξύ ανιχνευτή ματιών και view renderer είναι πάντα μονόδρομος, πράγμα που σημαίνει ότι τα δεδομένα (θέσεις ματιού στην περίπτωσή μας) αποστέλλονται σε

ορισμένα IP και Port συνεχώς χωρίς να περιμένουν μια απάντηση ή την επιστροφή. Τέλος, η ροη δεδομένων που αποστέλλονται από το ανιχνευτή του ματιού είναι τόσο πυκνή ώστε η απώλεια ή η επανάληψη ενός πακέτου είναι αμελητέα λαμβάνοντας υπόψη την αύξηση της ταχύτητας σε αντάλλαγμα. Επίσης η UDP σύνδεση είναι εγκατεστημένη σε έναν τοπικό κεντρικό υπολογιστή έτσι ώστε τα δεδομένα να μην μεταδίδονται μέσω εξωτερικών routers αλλά στο εσωτερικό, γεγονός που μειώνει την πιθανότητα απώλειας των πακέτων.

Στο Σχήμα 30, μπορείτε να δείτε τη διαφορά μεταξύ του προηγούμενου συστήματος (ενσωματωμένο λογισμικό uEye) και το πρόσφατο σύστημα (με σύνδεση UDP πρωτόκολλο).



Σχήμα 30 - Πριν και μετά την επικοινωνία εικόνας και των εφαρμογών

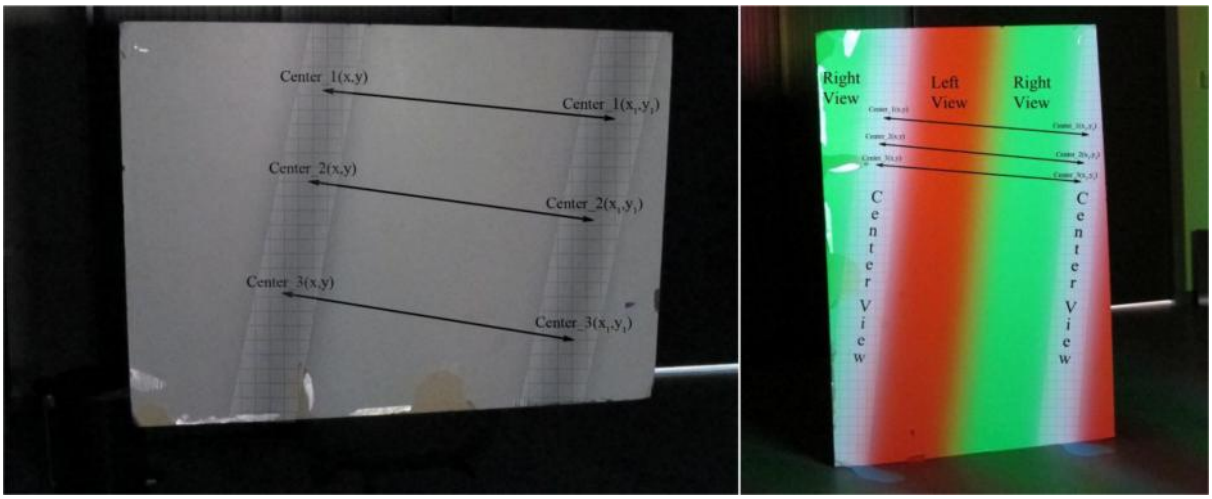
6.2 Βαθμονόμηση Βέλτιστης απόστασης της θέασης

Εκτός από την ύπαρξη «καλών σημείων», οι autostereoscopic οθόνες εμφανίζουν επίσης «κακά σημεία". Αυτά οφείλονται στο γεγονός ότι ένας κώνος πολλαπλών θέσεων επαναλαμβάνεται σε διαφορετικές γωνίες.

Ως αποτέλεσμα αυτής της συμπεριφοράς κατά τη διάρκεια της μετάβασης από το ένα κώνο στον άλλο, ο θεατής βλέπει το 3D με αντίστροφη επίδραση όπου το αριστερό μάτι βλέπει τη δεξιά εικόνα και το δεξί μάτι βλέπει την αριστερή εικόνα. Ωστόσο, οι γωνίες ενός κώνου όπως και η θέση των «κακών» σημείων μπορουν να ελέγχονται κατά τη διάρκεια της παροχής των στερεοσκοπικών εικόνων.

Μία από τις λύσεις για να μειώσουμε την εμφάνιση κακών σημείων και να αποτρέψει τον θεατή από τέτοιο αποτέλεσμα είναι να ρυθμίσουμε τη γωνία της προβολής στο κέντρου σύμφωνα με την κεντρική θέση των ματιών του θεατή, έτσι ο θεατής θα βρίσκεται πάντα εντός του οπτικού κέντρου όπου η αριστερή και δεξιά εικόνα θα εμφανίζονται σωστά στα μάτια του θεατή.

Για να ρυθμίσουμε την προβολή κέντρο θα πρέπει να βρούμε τη σχέση μεταξύ της γωνίας της προβολής του κέντρου και τη θέση των ματιών του θεατή σε μια συγκεκριμένη απόσταση θέασης, έτσι ώστε όταν ο θεατής αλλάζει τη θέση του το view renderer θα είναι σε θέση να μετατοπίσει το θέση στο κέντρο προς τη θέση του θεατή. Η σχέση αυτή δίνει επίσης τη βάσικη εξίσωση για τη διακρίβωση του view renderer σε σχέση με τις θέσεις των κόρων του ματιού.

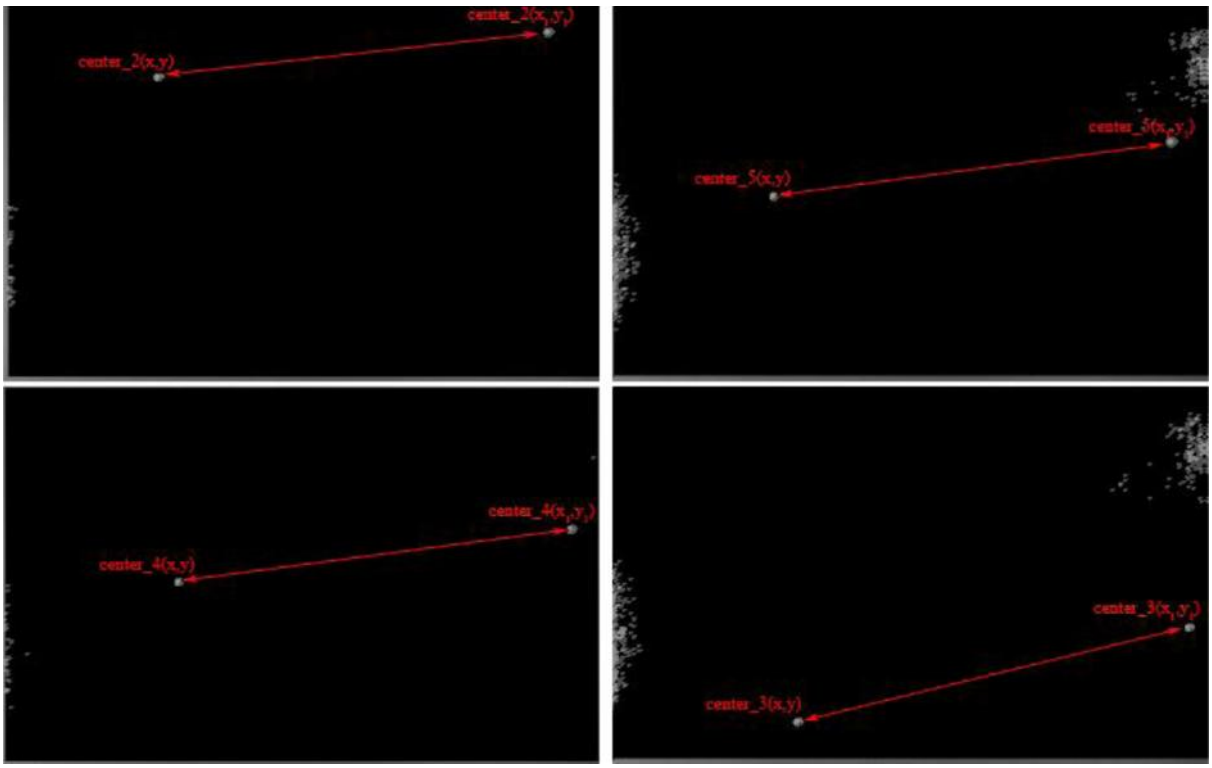


Σχήμα 31 - Μια επίδειξη αριστερά, δεξιά και στο κέντρο οι θέσεις σχετικά με τις εικόνες βαθμονόμησης

Για να δούμε τη μαθηματική αναπαράσταση της σχέσης αυτής πρέπει πρώτα να βρούμε την αναπαράσταση της προβολής του κέντρου ως συνάρτηση των συντεταγμένων των pixels στην παρακολούθηση των εικόνων.
Με αυτόν τον τρόπο, θα είμαστε σε θέση να εκτιμήσουμε τη θέση της προβολής του κέντρου σε σχέση με την κεντρική θέση των κόρων του ματιού.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 31, για να βρούμε το σημείο με τη βέλτιστη απόσταση θέασης το οποίο είναι επίσης στο κέντρο της οθόνης πρέπει πρώτα να επισημάνουμε ένα αυθαίρετο σημείο στην αντίστοιχη θέση στο κέντρο και να επισημάνουμε ένα δεύτερο σημείο για την αμέσως επόμενη προβολή στο κέντρο. Ακόμα κι αν αυτά τα δύο σημεία είναι σε διαφορετικές θέσεις, εξακολουθούν ομως να αντιπροσωπεύουν τον ίδιο αριθμό θέσεων, ως αποτέλεσμα του επαναλαμβανόμενου κώνου. Ως εκ τούτου, τα δύο σημειωμένα σημεία αντιπροσωπεύουν τα σημεία μιας ευθείας γραμμής σε ένα επίπεδο το οποίο μπορεί να περιγραφεί με μια γραμμική εξίσωση ως εξής:

$$a\,(x) + b\,(y) = c \qquad (1)$$



Σχήμα 32-Διακρίβωση εντοπισμού της κόρης και των εικόνων .

Ένα παράδειγμα είναι το σύνολο των εικόνων βαθμονόμησης που φαίνεται στο Σχήμα 32, όπου διάφορα σημεία βαθμονόμησης και σήμανσης αυξάνουν την ακρίβεια εκτίμησης και η άποψη κέντρο δεν αποτελείται μόνο απτό ένα μόνο σημείο αλλά καλύπτει επίσης ένα συγκεκριμένο οπτικό πεδίο.
Μετά τη συλλογή ενός αριθμού σημείων βαθμονόμησης οι συντεταγμένες των pixels (x, y) του κάθε σημείου σε μια γραμμή λαμβάνονται από το πρόγραμμα εντοπισμού της κόρης.

Δεδομένου ότι οι συντεταγμένες (x, y) και οι αριθμοί θέασης (U) είναι γνωστές, τότε οι συντελεστές της εξίσωσης μπορούν να βρεθούν ως εξής:

$$A\mathbf{x} = \mathbf{b}$$

$$A = \begin{bmatrix} \boxed{x} & \boxed{y} & \boxed{1} \\ x1 & y1 & 1 \\ x2 & y2 & 1 \\ x3 & y3 & 1 \\ x1_1 & y1_1 & 1 \\ x2_1 & y2_1 & 1 \\ x3_1 & y3_1 & 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x} = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}, \quad \mathbf{b} = \begin{bmatrix} \boxed{u} \\ 4 \\ 4 \\ 4 \\ 13 \\ 13 \\ 13 \end{bmatrix} \qquad (2)$$

όπου το A είναι ***m x n*** με δύο μεταβλητές ***χ,y,*** και ***1 x n*** με συντελεστές ***a,b*** και το ***c,b*** είναι ***m x 1*** με σταθερές τιμές θέασης κέντρο (U) 4 και 13. Ο αντίστοιχος αριθμός θέσης στο κέντρο είναι μια οθόνη 9 θεατών, άρα έχουμε:

$$u \; mod \; (9) = 4 \qquad (3)$$

Ως εκ τούτου, η γενική εξίσωση για την προσαρμογή προβολής κώνου μπορεί να εκφραστεί ως:

$$\text{View Number of Center View (u\_new)} = [\, 0.5 + a\,(x) + b\,(y) + c\,] \bmod (9) \qquad (4)$$

Οι λαμβανόμενες τιμές συντελεστών (a,b,c,) στην Εξίσωση 2, μπορούν να τοποθετηθούν στην γενική εξίσωση 3. Η προσαρμοσμένη προβολή στο κέντρο σε σχέση με τις θέσεις της κόρης προκύπτει ως:

$$u\_new = [\ 0.5 + [\ (\ (left\_eye\_x + right\_eye\_x) / 2\ ) * (\ -\ 0.0359\ )\ ] + [\ (\ (left\_eye\_y + right\_eye\_y) / 2\ ) * (\ 0.0072\ )\ ] + (16.0545)\ ]\ \mathrm{mod}\ (9) \quad (5)$$

όπου ο συντελεστής ***a*** είναι (- 0.0359), ***b*** είναι (0,0072), ***c*** είναι (16.0545) και η προσθήκη του (0.5) είναι για την στρογγυλοποίηση της τιμής που προκύπτει στον πλησιέστερο ακέραιο.

Με τη χρήση των υπολογισμών στην Εξίσωση 3, το πρόγραμμα του rendering είναι σε θέση να ρυθμίσει την προβολή του κώνου προς τη θέση του θεατή όταν το 3D είναι στην κατάλληλη θέση (ποιοτικά) από τις διαφορετικές θέσεις για την βέλτιστη απόσταση.

7. Αποτελέσματα

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της παρακολούθησης των υπέρυθρων IR του ματιού και οι προσαρμόσιμες εφαρμογές με την απόδοση της προβολής που αντιμετωπίζουν προβλήματα και περιορισμούς του συνολικού συστήματος με την υποστήριξη των δεδομένων εξόδου.

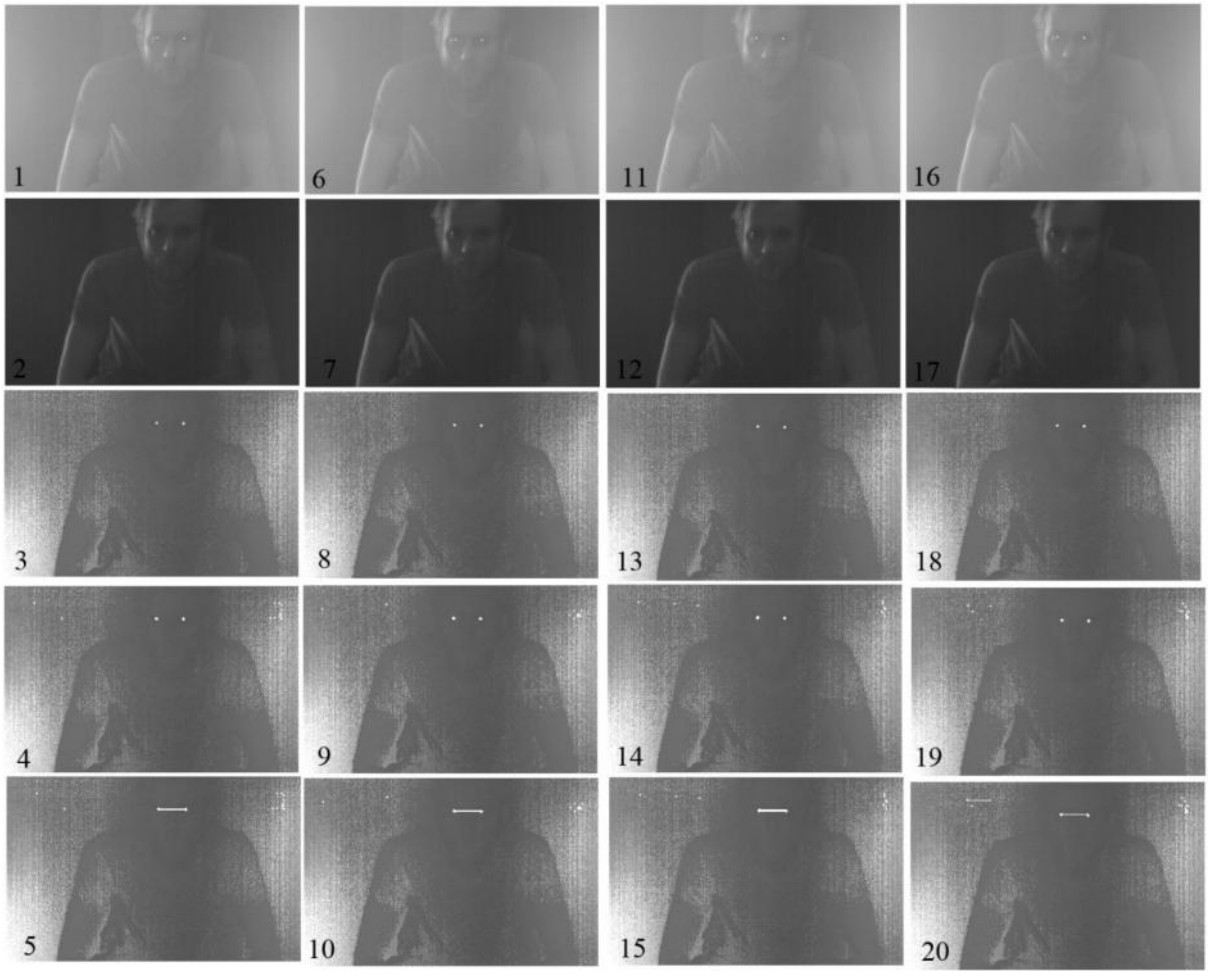
Στο κεφάλαιο 4.7 έχουμε εξηγήσει την υλοποίηση του λογισμικού για τον εντοπισμό πολλαπλών κόρων με υπέρυθρο φως IR. Η παρακολούθηση της κόρης αποτελείται από τρία στάδια: την απόκτηση της εικόνας, την εξαγωγή και την παρακολούθηση της κόρης. Ακόμα κι αν το κάθε στάδιο διαχωρίζει βασικά του καθήκοντα πιστεύουμε ότι η εξαγωγή της κόρης είναι το πιο σημαντικό στο σύστημα μας. Ο λόγος είναι ότι η διαφοροποίηση των φωτεινών και σκοτεινών σημείων μετά την επεξεργασία των εικόνων όπως και η εξαγωγή των χαρακτηριστικών υποψήφιων κόρων για την ταυτοποίηση των ζευγών των κόρων εκτελούνται στο στάδιο εξαγωγής των κόρων.

Κατά τη διάρκεια της εφαρμογής λαμβάνονται επίσης υπόψη διάφορες απαιτήσεις όπως η υποστήριξη εντοπισμού πολλών προσώπων, η σταθερή απόδοση σε πραγματικό χρόνο και η κατάλληλη θέση να εργαστούν σε συνθήκες με φωτισμό περιβάλλοντος.

Ένα σύνολο του δείγματος εντοπισμού των κόρων φαίνεται στο Σχήμα 33. Κάθε ακολουθία εικόνας αποτελείται από πέντε βασικές λειτουργίες που εφαρμόζονται κατά την παρακολούθηση των κόρων. Η πρώτη σειρά αντιπροσωπεύει το φωτεινό αποτέλεσμα της κόρης στο οποίο οι κόρες του θεατή είναι σαφώς φωτεινές. Ωστόσο υπάρχει ένα ορισμένο ποσοστό αντανάκλασης στην εικόνα. Αυτό το ανεπιθύμητο έντονο φως μπορεί να οφείλεται σε δύο αιτίες, είτε στο υπέρυθρο φως που ανακλάται από τις επιφάνειες γύρω από το σύστημα εντοπισμού ή το υπέρυθρο φως διασπάτε απευθείας προς στο υπέρυθρο φίλτρο κατά τη διάρκεια του ομοαξονικού φωτισμού. Η δεύτερη σειρά του συνόλου του δείγματος είναι το σκοτεινό αποτέλεσμα της κόρης όπου οι κόρες έχουν ελαφρώς χαμηλότερες τιμές pixel σε σχέση με το φόντο. Η τρίτη σειρά δείχνει την αφαίρεση από τα φωτεινά και τα σκοτεινά σημεία της κόρης.

Στο κεφάλαιο 4.5, ο ενεργός υπέρυθρος φωτισμός, η κατανομή των φωτεινών και σκοτεινών pixels όπως και η αφαίρεση των εικόνων εξηγούνται λεπτομερώς. Οι υποψήφιες κόρες που αποκτήθηκαν από την αφαιρούμενη εικόνα εμφανίζεται στην τέταρτη σειρά. Σε αυτές τις εικόνες ορισμένα εικονοστοιχεία (pixels) σημειώνονται ρητώς φωτεινότερα από τα υπόλοιπα συμπεριλαμβανομένων των κόρων και μερικών εικονοστοιχείων (pixels) στο παρασκήνιο. Μετά την απόκτηση των υποψηφίων προσώπων η κάθε κόρη του ίδιου ζεύγους συνδέεται με μια ευθεία γραμμή ή ένα τετράγωνο ανάλογα με τη γωνία μεταξύ των κόρων.

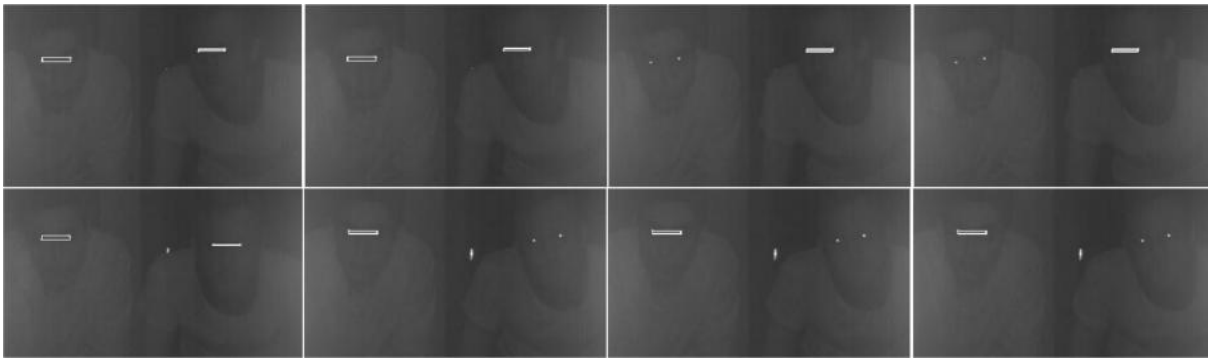
Όπως φαίνεται στην πέμπτη σειρά, σε ορισμένες περιπτώσεις του εντοπισμού της κόρης προσδιορίζει και ψευδείς κόρες, όπως το ψεύτικο ζευγάρι κόρης στο τελευταίο καρέ. Αυτές οι ψευδείς κόρες εμφανίζονται κυρίως ως αποτέλεσμα των μεμονωμένων αντανακλάσεων αριστερά από την αφαιρούμενη εικόνα της αντανάκλασης των άλλων αντικειμένων στο περιβάλλον παρακάμπτοντας τα κριτήρια φιλτραρίσματος και παρουσιάζοντας συμπεριφορά κατάλληλης κόρης.



Σχήμα 33 - Δείγμα συνόλου της παρακολούθησης κόρης και δεδομένων εξόδου

Ως μέρος των απαιτήσεων του έργου μας είναι η εφαρμογή παρακολούθησης της κόρης η οποία πρέπει επίσης να είναι σε θέση να υποστηρίξει την παρακολούθηση πολλών προσώπων. Στο Σχήμα 34, βλέπουμε ένα πλαίσιο από την επίδειξη δύο εντοπισμένων προσώπων. Σε αυτό το παράδειγμα το κάθε άτομο προσδιορίζεται από τον εντοπισμό της κόρης και χαρακτηρίζεται από ένα τετράγωνο, το μέγεθος του τετραγώνου καθορίζεται από την απόσταση και τη γωνία μεταξύ του κάθε ζεύγους των κορών. Στην ενότητα 4.7.2, το IPD ορίζεται μεταξύ 20px και 40px και η αντίστοιχη γωνία μεταξύ των κορών θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από περίπου 27 μοίρες, η οποία είναι σχεδόν 10px διαφορά μεταξύ των κάθετων αξόνων της κόρης. Για παράδειγμα, οι δύο τελευταίες εικόνες των δύο σειρών στο Σχήμα 34, ο κάθε θεατής έχει κλίση του κεφαλιού του πάνω από τα όρια της βολικής θέση 3D προβολής, ως εκ τούτου αγνοούνται από την παρακολούθηση της πορείας της κόρης.

Επιπλέον, ένα φωτεινό ανακλαστικό αντικείμενο (πόμολο της πόρτας ή μια αλυσίδα - κλειδί) εμφανίζεται μεταξύ των θεατών, το οποίο επίσης αφαιρείται στο στάδιο φιλτραρίσματος.



Σχήμα 34 - Δείγμα εξόδου δύο προσώπων παρακολούθησης την κόρης

Στην εφαρμογή παρακολούθησης το μέγεθος του συνόλου του δείγματος για τις υποψήφιες κόρες ορίζονται έως 80 κόρες και το ήμισυ των υποψηφίων αυτών έχουν επιλεγεί για το τελικό φιλτράρισμα και την ταυτοποίηση των ζευγών. Ακόμα κι αν άλλες επιλεγμένες υποψήφιες κόρες φαίνονται για ζευγάρια. Στον φυσικό χώρο υπάρχει ένα ορισμένο ποσοστό ανθρώπων οι οποίοι μπορούν να χωρέσουν πραγματικά στο πεδίο της κάμερας (FOV).

Σχήμα 35 - Έξοδος δείγματος των τριών προσώπων εντοπισμού της κόρης

Στο έργο μας η οριζόντια FOV είναι περίπου 120 εκατοστά, όταν το σημείο εστίασης είναι σχετικά κοντά με τη βέλτιστη απόσταση θέασης. Για το λόγο αυτό θα ήμασταν σε θέση να ακολουθήσουμε ανώτατο όριο τρία άτομα που φαίνεται στο Σχήμα 35. Ωστόσο, εάν το FOV είναι αρκετά μεγάλο η παρακολούθηση της κόρης είναι σε θέση να χειριστεί περισσότερα από τρία άτομα.

Πιστεύουμε ότι είναι ένας φυσικός περιορισμός ν παρά ένα ζήτημα λογισμικού. Στο Σχήμα 35, οι τρεις τηλεθεατές τοποθετούνται οριζόντια κατά μήκος για τη βέλτιστη απόσταση θέασης με περίπου 20 εκατοστά κάθετα μακριά από το άλλο, στο οποίο οι κόρες σημειώνονται όπως στα προηγούμενα παραδείγματα.

Πρέπει να αναφέρουμε ότι αυτές οι εικόνες που έχουν ληφθεί είναι να απεικονίζουν τα δεδομένα εξόδου στους θεατές και την οπτική παρατήρηση της συμπεριφοράς του συστήματος όπου στην πραγματικότητα τα πολλά πρόσωπα που παρακολουθούνται δεν εμφανίζονται σαν οπτικά δεδομένα αλλά μεταφέρονται σε συντεταγμένες για την απόδοση της προβολής.

Στο κεφάλαιο 5.3, συζητήσαμε τα όρια των autostereoscopic φακοειδών οθονών όπως το cross-talk, την απώλεια της αντίθεσης, η απώλεια των 3-D αντιλήψεων και τη δυσφορία του θεατή. Προκειμένου να μειωθούν αυτές οι συνέπειες επανάληψης εισαγάγαμε μια λύση η οποία είναι ένας συνδυασμός της υπο-προβολής και της προσαρμοσμένης προβολής κώνου.

Η μεταβλητή της αρχικής στερεοσκοπικής απόδοσης σε autostereoscopic οθόνη είναι να τροφοδοτεί αριστερά και δεξιά τις εικόνες ως διακριτές θέσεις, ως εκ τούτου ο θεατής βιώνει περισσότερο βάθος 3-D, ωστόσο αντιμετωπίζει πιο πολύ cross-talk και λιγότερη φωτεινότητα. Η τελευταία λύση είναι να καταστήσει στερεοσκοπικές εικόνες ως υπο-προβολές αντί τις διακριτές θέσεις πράγμα που σημαίνει ότι το view renderer διανέμει το συνολικό ύψος σε κάθε προβολή σε μικρά κομμάτια το οποίο μειώνει την ποσότητα του cross-talk και εξακολουθεί να διατηρεί τη φωτεινότητα των αρχικών εικόνων.

Στο κεφάλαιο 6.2, έχουμε εξηγήσει την προσαρμογή της προβολή του κώνου στο κέντρο ανάλογα με τη θέση του θεατή και τη βαθμονόμηση του συστήματος. Με τη χρήση της παρακολούθησης κόρης, το view renderer λαμβάνει τις συντεταγμένες της κόρης του θεατή και στη συνέχεια η θέση στο κέντρο ρυθμίζεται από τον θεατή, ωστε η ενόχληση που προκαλείται από τις ανεστραμμένες εικόνες εξαλείφεται και έτσι επιτυγχάνεται η ελευθερία κινήσεων του θεατή.

Η εφαρμογή της προσαρμοσμένης θέσης του κώνου θα πρέπει να είναι σε θέση να πληροί δύο βασικές προϋποθέσεις. Ένα είναι, η προσαρμογή θέσης του κώνου πρέπει να είναι ακριβείς και το δεύτερο θα πρέπει το ολοκληρωμένο σύστημα να λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο. Η ακρίβεια της μετάβασης προβολής του κώνου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την βαθμονόμηση των θέσεων στο κέντρο σε σχέση με το κέντρο της θέσης κόρης, αλλιώς οι θεατές βιώνουν είτε έντονο τρεμόπαιγμα λόγω των διακριτών rendering ή μια ασταθή μεταβάση της προβολής κώνου των επιμέρους θεσεων. Για την επίτευξη των επιδόσεων σε πραγματικό χρόνο, τη βελτιστοποίηση της παρακολούθησης των κόρων και την απόδοση της προβολής γίνεται κρίσιμη. Ένας από τους πιο απλούς τρόπους για να αυξήσουμε την απόδοση είναι να απαλλαγούμε από περιττές ενέργειες, όπως η συχνή πρόσβαση στο αρχείο, όπως τη φόρτωση ή τη λήψη εικόνων, περιττή χρήση του χώρου μνήμης ή τις ενέργειες προβολής από ανατροφοδότηση.

Όπως αναφέραμε η απόδοση του ολοκληρωμένου συστήματος έχει σημαντική επίδραση στην ποιότητα της εμπειρίας 3D. Η τρέχουσες autostereoscopic οθόνες έχουν 60Hz ρυθμό ανανέωσης πράγμα που σημαίνει ότι προκειμένου να εξασφαλιστεί η ίδια ποιότητα χωρίς αισθητή υστέρηση το σύστημά μας θα πρέπει επίσης να είναι σε θέση να τρέξει τουλάχιστον 60 Hz ή 60 fps τις επιδόσεις σε πραγματικό χρόνο.

Redundant Functions	ON	ON	ON	ON	ON	ON	**ON**	OFF
Display Window	ON	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
File Access	ON	ON	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
Save Images	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
View Renderer	ON	**OFF**	**OFF**	**OFF**	ON	**OFF**	ON	**ON**
Pupil Tracker	ON	ON	ON	ON	ON	ON	**OFF**	ON
Pupil Tracker (fps)	29.7982	30.3495	32.0006	32.0086	43.7917	45.8377	N/A	~75
View Renderer (fps)	21.1015	N/A	N/A	N/A	21.0963	N/A	22.0892	~166

Πίνακας 1 - τα ποσοστά απόδοσης του συνολικού συστήματος για διαφορετικές περιπτώσεις

Στον Πίνακα-1, εξετάζονται διάφορες προϋποθέσεις εφαρμογής προκειμένου να εντοπιστούν οι περιττές ενέργειες οι οποίες επηρεάζουν την απόδοση του συστήματος.

Η τελευταία στήλη του πίνακα δείχνει τα τελικά αποτελέσματα των επιδόσεων της τρέχουσας εφαρμογής. Οι προηγούμενες στήλες δείχνουν την απόδοση του view rendering με διακριτές θέσεις και την ογκώδη έκδοση της παρακολούθησης της κόρης χωρίς την UDP σύνδεση.

Σύμφωνα με τις δοκιμές το frame rate, έχει αποδειχθεί ότι πολλές πράξεις όπως η πρόσβαση στο αρχείο λαμβάνοντας τις εικόνες, οι απεικόνιση των δεδομένων εξόδου ή η εφαρμογή των περιττών λειτουργιών προκαλεί πτώση για το frame rate της εφαρμογής παρακολούθησης της κόρης. Ωστόσο, πέρα από αυτές τις περιττές ενέργειες η σημαντική αύξηση του frame rate επιτυγχάνεται μετά από την εφαρμογή μιας ακόμα ανίχνευσης της κόρης. Από την άλλη πλευρά, το view renderer αποδεικνύει σχεδόν μια σταθερή απόδοση ανεξάρτητα από τις βελτιώσεις τις παρακολουθήσεις της κόρης μέχρι να διαχωριστεί η παρακολούθηση κόρης από το view renderer και τις επιμέρους θέσεις του pre-rendered.
Δεδομένου ότι κάθε η εφαρμογή τρέχει ξεχωριστά η συνολική απόδοση του συστήματος μπορεί επίσης να παραχθεί με την επεξεργασία παρακολούθηση της κόρης και την προβολή αυτή ξεχωριστά στην οποία η εφαρμογή εντοπισμού της κόρης τρέχει περίπου με 75 fps και το view renderer τρέχει σχεδόν με 166 fps.

Αυτές οι δύο εφαρμογές ενσωματώνονται με μια autostereoscopic οθόνη προκειμένου να επιλυθούν οι περιορισμοί από τις οθόνες και να ενισχύσουν την 3D εμπειρία χωρίς γυαλιά.

8. Συζήτηση και Προτάσεις

Σε αυτή την ενότητα θα συζητηθούν τα αποτελέσματα της υλοποίησης του συστήματος. Επιπλέον, θα υποβάλουμε συστάσεις για την περαιτέρω ανάπτυξη των εργασιών τονίζοντας τα βασικά σημεία του συστήματος που πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή. Επίσης να αναφέρουμε τα πρόσφατα προβλήματα υγείας που προκαλείται στους θεατές από τις 3D οθόνες.

Στο έργο μας σχεδιάσαμε την πρώτη ενεργή εγκατάσταση υπέρθυρου IR φωτισμού που υλοποιείται με λογισμικό για πολλά άτομα παρακολούθησης της κόρης. Δεύτερον, ένα προσαρμόσιμο multi-view σε στερεοσκοπική εικόνα τέθηκε σε εφαρμογή για τη δημιουργία μιας εικόνας εξόδου κατάλληλη για την autostereoscopic οθόνη. Τέλος έχουν ενσωματωθεί δύο εφαρμογές με τη autostereoscopic οθόνη η οποία είναι σε θέση να προσαρμόζει τον προβολή κώνου ανάλογα με τη θέση του θεατή.

Λόγω του γεγονότος ότι η autostereoscopic οθόνη είναι κυρίως για θεατές home cinema, απαιτείται το σύστημα να λειτουργεί σωστά υπό τον φωτισμό του περιβάλλοντος όπως και σε συνθήκες φωτισμού από ένα καθιστικό σπιτιού. Για το λόγο αυτό έχουμε δώσει ιδιαίτερη προσοχή και στον IR φωτισμό παρακολούθησης της κόρης να εργάζεται και στον ατμοσφαιρικό φωτισμό. Όπως εξηγείται στο κεφάλαιο 4.5, η εφαρμογή εντοπισμού της κόρη εξαρτάται ουσιαστικά από την ποσότητα του φωτός IR που αντανακλάται από τις κόρες του θεατή. Είναι δυνατόν να ξεπεραστεί αυτό το ζήτημα είτε αυξάνοντας την ένταση του φωτός IR ή τη ρύθμιση των παραμέτρων των εργασιών στο στάδιο της επιλογής κόρης η οποία φαίνεται στο Σχήμα 24. Στο σύστημά μας ορίσαμε μια δυναμική αλλά και απλό κατώτατο όριο για την προσαρμογή των κριτηρίων επιλογής της κόρης και μπορεί να βελτιωθεί με ένα πρόσθετο αισθητήρα που μετρά την ποσότητα του φωτός στο περιβάλλον. Αν και η μέθοδος αυτη μπορεί να είναι χρήσιμη θα πρέπει επίσης να έχουμε κατά νου ότι το μέγεθος της κόρης είναι μόνο ένας από τους παράγοντες που επηρεάζουν άμεσα τα υπόλοιπα όπως: το χρώμα της ίριδας, η θέση της κεφαλιού, το φυσιολογικό μέγεθος των ματιών, την ένταση του φωτός IR κ.λπ..

Ένα άλλο θέμα που σχετίζεται με την εφαρμογή της υπέρυθρης παρακολούθησης της κόρης είναι το οπτικό πεδίο (FOV) της κάμερας, όσον αφορά τον αριθμό των ανθρώπων που το σύστημα μπορεί να ακολουθήσει. Στο Κεφάλαιο 7 δηλώσαμε ότι ο αριθμός των ανθρώπων που μπορούν να χωρέσουν στο FOV τρεις. Πιστεύουμε ότι είναι άμεσα συνδεδεμένη με το φακό της κάμερας, δεδομένου ότι η εστιακή απόσταση ενός φακού είναι αντιστρόφως ανάλογη με το FOV έτσι ώστε το μακρύτερο εστιακό μήκος να είναι μεγαλύτερο απο το FOV για τους ανθρώπους. Χρησιμοποιήσαμε 16 μμ εστιακό μήκος του φακού σε απόσταση 3 μέτρων το οποίο καλύπτει 120 εκατοστά της περιοχής.

Ως εκ τούτου, μπορούμε να καλύπτουμε μια ευρύτερη περιοχή με την αλλαγή του φακού, κατά συνέπεια το σύστημα μπορεί να παρακολουθεί περισσότερα από τρία άτομα.

Ο σχεδιασμός του εντοπισμού της παρακολούθησης κόρης ο οποίος φαίνεται στο Σχήμα 21, είναι κατασκευασμένος κατά τέτοιο τρόπο ώστε να δίνει την ευελιξία να πειραματιστούμε με διαφορετικές μεθόδους φωτισμού και καθιστά ευκολότερο να αλλάξουμε τα εξαρτήματα όταν χρειάζεται. Ένα από τα θέματα της ρύθμισης είναι να είναι ευάλωτη στις εξωτερικές συνθήκες, όπως το φωτισμό του περιβάλλοντος, το άμεσο ηλιακό φως, το φως του IR που εκπέμπουν άλλα αντικείμενα, π.χ. τηλεχειριστήριο, σχηματισμός σκόνης στο φακό ή ανακλώμενο υπέρυθρο φως από την εγκατάσταση. Ακόμα κι αν η τρέχουσα παρακολούθηση της κόρης καλύπτει ένα μεγάλο χώρο μπορούμε να υποθέσουμε ότι η εγκατάσταση μπορεί να σχεδιαστεί πιο συμπαγές έτσι ώστε να μπορεί να είναι ενσωματωμένη στην οθόνη 3-D. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατόν να αποφευχθεί η κάμερα να εκπέμπει IR φως και οι ανεπιθύμητες ανακλάσεις που επηρεάζουν την κάμερα να εξαλειφτούν.

Υπό ορισμένες συνθήκες ο εντοπισμός της κόρης εντοπίζει ορισμένα αντικείμενα όπως ψευδείς κόρες, όπως στο παράδειγμα στην Εικόνα 34. Πιθανές αιτίες αυτής της συμπεριφοράς είναι είτε η αφαίρεση της εικόνας του διάχυτου υπέρυθρου φωτός ή η εμφάνιση ενός αντικειμένου οπισθοανάκλασης στο χώρο. Στο έργο μας, παρόλο που δεν χρησιμοποιήσαμε οποιονδήποτε αλγόριθμο ανίχνευσης προσώπου, η εφαρμογή αυτή θα είναι ένα εργαλείο υποβοήθησης για να μειώσει το ποσό των false positives επαληθεύοντας αν τα εντοπιζόμενα ζεύγη κόρης ανήκουν σε άτομα ή στα άλλα αντικείμενα, ορίζοντας ένα πεδίο της περιοχής γύρω από το πρόσωπο και κάνοντας μια σύγκριση αν οι συντεταγμένες της κόρης βρίσκονται εντός αυτών των συνόρων.

Στο κεφάλαιο 5.3 και αργότερα στο Κεφάλαιο 7, εξηγήσαμε τη λύση για τη μείωση των cross-talk σε autostereoscopic οθόνη και παρουσιάσαμε τα αποτελέσματα της εν λόγω εφαρμογής.

Προκειμένου να μειωθεί η επίδραση του cross-talk στο μέγεθος της βασικής μεταβλητής θα πρέπει να τοποθετήσουμε μια μαύρη μάσκα στο κέντρο της θέσης μεταξύ του αριστερού και του δεξιού όψεως, έτσι ώστε η μάσκα να συμπίπτει με τη διαρροή από την εικόνα, με αυτόν τον τρόπο το αποτέλεσμα του cross-talk θα μειωθεί.
Η εφαρμογή της εν λόγω μεθόδου μειώνει την φωτεινότητα της στερεοσκοπικής εικόνας διατηρώντας το βάθος της αντιληπτής του 3D. Η λύση μας είναι να διανέμει το συνολικό ύψος σε κάθε προβολή σε μικρά κομμάτια, επομένως το ποσό των cross-talk θα μειωθεί χωρίς να χάσει την φωτεινότητα.
Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο μαύρης μάσκας προκαλείται ένα αξιοσημείωτο και άβολο τρεμόπαιγμα όταν ο τηλεθεατής αλλάζει θέση. Ωστόσο, με την προτεινόμενη μέθοδο η επίδραση στο τρεμόπαιγμα αποφεύγεται ουσιαστικά και η μετάβαση των θέσεων γίνεται πιο ομαλή. Επιπλέον, ο Γουντς προτείνει μια άμεση προσέγγιση για να ακυρωθεί το cross-talk το οποίο θα μπορούσε να εφαρμοστεί ως μελλοντικό έργο. Η λύση για το cross-talk είναι να υπολογιστεί το ποσό της διαρροής (ακούσια στρέβλωση) μεταξύ των εικόνων όταν εμφανίζονται και στη συνέχεια να αφαιρει την προβλεπόμενη παραμόρφωση από τις εικόνες έτσι ώστε την επόμενη φορά όταν έχουν τροποποιηθεί οι εικόνες η ακούσια στρέβλωση θα εμφανιστεί στην πραγματικότητα την αρχικής εικόνας χωρίς cross-talk [2].

Η προσαρμογή των θέσεων σχετικά με τις θέσεις των κόρων και το επίπεδο άνεσης της οθόνης σχετίζονται με την ακρίβεια της βαθμονόμησης μεταξύ του IR παρακολούθησης της κόρης και του view renderer.

Στο έργο μας, επωφελούμαστε από ορισμένα σημεία βαθμονόμησης, ωστόσο είναι δυνατόν να αυξηθεί το μέγεθος του σημείου βαθμονόμησης του συνόλου και επίσης και η ακρίβεια της προσαρμογής των απόψεων. Επιπλέον, η βαθμονόμηση εκτελείται από την βέλτιστη απόσταση θέασης, εάν η απόσταση μεταξύ του θεατή και της οθόνης αλλάξει η υπολογιζόμενη μετάβαση θέσης θα είναι λανθασμένη. Μια άλλη πρόταση θα ήταν να ρυθμίσουμε την οθόνη με μια απομακρυσμένη συσκευή που θα σηματοδοτεί το κέντρο σε δύο διαφορετικές θέσεις και θα εφαρμόζει τους αντίστοιχους υπολογισμούς (στο κεφάλαιο 6.2 για την συγκεκριμένη απόσταση). Για παράδειγμα σε ένα σαλόνι, η απόσταση μεταξύ ενός καναπέ και την οθόνη μπορεί να βαθμονομηθεί με τέτοια συσκευή.

Να πούμε την αλήθεια, η 3D τηλεθέαση μπορεί να μην είναι για όλους. Υπάρχουν θέματα σύγκλισης με οποιαδήποτε 3D τεχνολογία - τεχνολογία παθητικής πόλωσης, γυαλιά ενεργού κλείστρου που διαδοχικά ανοίγουν και να κλείνουν το δεξί και το αριστερό μάτι, ακόμη και οι πιο προηγμένες νέες τεχνολογίες 3D. Έχουν αναφερθεί περιπτώσεις με πονοκέφαλους και ζαλάδες παρακολουθώντας 3D ταινίες.

Τι προκαλεί την πίεση ή την κόπωση των ματιών; Η Επεξεργασία σήματος από το μυαλό μας. Τα μάτια μας προσπαθώντας να πείσουν το μυαλό σας ότι βλέπουν 3D εικόνες ενώ στην πραγματικότητα δεν είναι. Η τεχνική εξήγηση για αυτό είναι ότι τα μάτια μας αναγκάζονται να δουν μια σειρά ταινιών μέσα από τους φακούς που αναβοσβήνουν σε 60 φορές ανά δευτερόλεπτο η στη περίπτωση χωρίς 3D γυαλιά την επεξεργασία 2 εικόνων ταυτόχρονος .

Πρόσφατα, μια μελέτη που δημοσιεύθηκε από το UC Berkeley (που χρηματοδοτείται εν μέρει από τη Samsung). Η μελέτη αρχικά δημιουργήθηκε για να μάθουμε ποια είναι η επίδραση εξ αποστάσεως όταν βλέπουμε 3D. Η μελέτη κατέληξε στο συμπέρασμα ότι με την ακατάλληλη σύγκλιση η κούραση και η καταπόνηση των ματιών εμφανίστηκε πιο σοβαρά.

Πιο συγκεκριμένα, η μελέτη διαπίστωσε ότι όταν ο θεατής ήταν πολύ μακριά από την 3D τηλεόραση ή πολύ κοντά στην τηλεόραση νιώθει περισσότερη κόπωση των ματιών. Το κύριο σημείο είναι ότι ο εγκέφαλος έχει να επεξεργαστεί τόσο την επεξεργασία σήματος του 3D αλλά και να προσαρμοστεί στην απόσταση του περιεχομένου. Ως εκ τούτου, η προβολή 3D από τη σωστή απόσταση είναι ένας από τους τρόπους για να μειώσουμε τη καταπόνηση των ματιών μας για να αποφύγουμε αυτές τις κεφαλαλγίες. Παρακάτω βλέπουμε έναν πινάκα με τις προτεινόμενες αποστάσεις θέασης ανάλογα με το μέγεθος της οθόνης.

TV SIZE (IN DIAGONAL INCHES)	RECOMMENDED 3D TV PROGRAMMING VIEWING DISTANCE
42"	7 feet
46"	8 feet
50"	9 feet
52"	9 to 10 feet
55"	10 to 11 feet
60"	12 to 13 feet
63"	13 to 14 feet

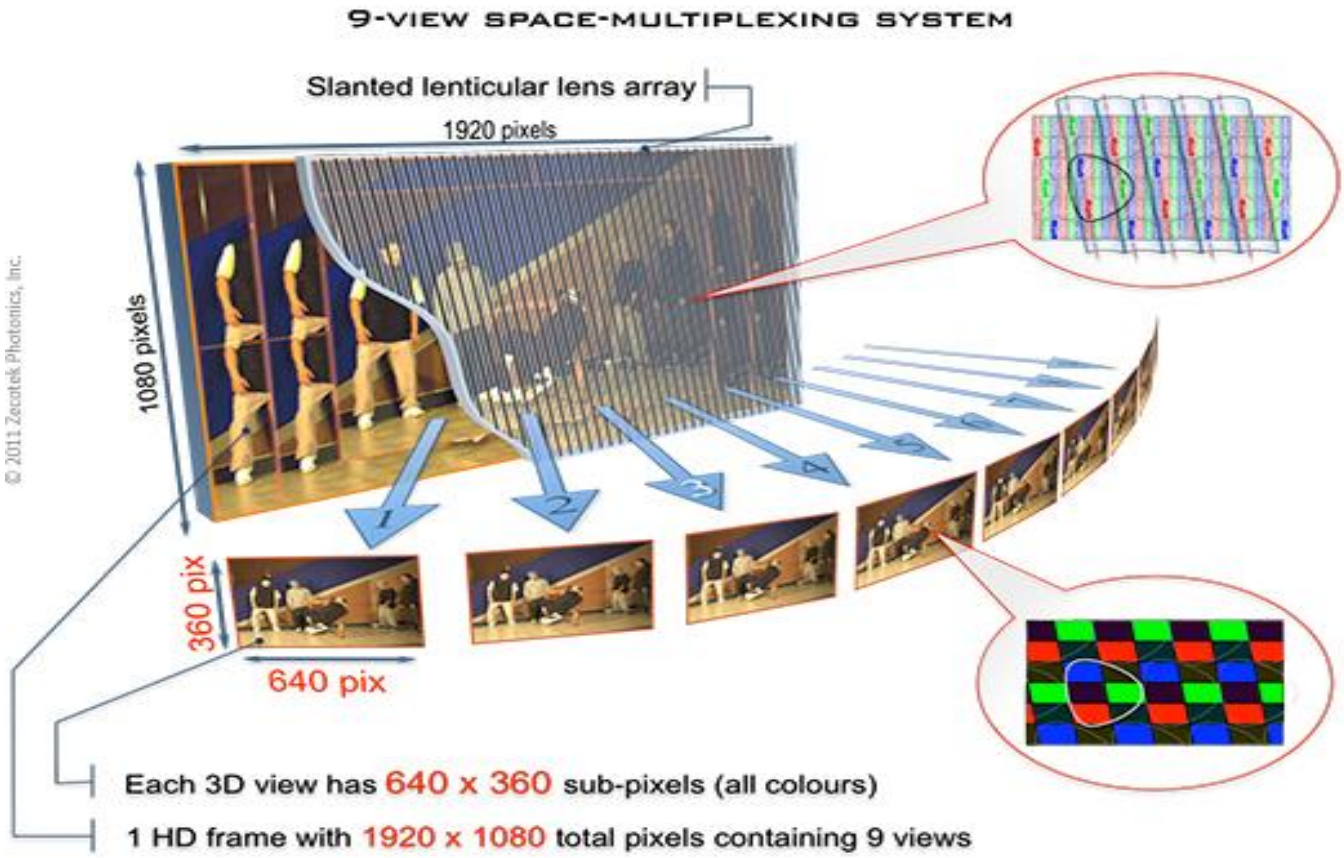
Πίνακας 2. Προτεινομένη απόσταση θεατή ανάλογα με το μέγεθος της οθόνης

(Παραπομπή στην σελ. 70 –Πίνακας 4 σε μέτρα και εκατοστά)

Διευκρίνιση

Στο έργο μας αυτό η τεχνολογία που χρησιμοποιήθηκε ήταν του έτους 2011 που σημαίνει ότι στην τεχνολογία αυτή μπορούν να παρακολουθούν 3D τηλεόραση χωρίς γυαλιά έως και 9 άτομα ταυτόχρονα.

Στην σημερινή τεχνολογία του έτους 2014 οι 3D τηλεοράσεις χωρίς γυαλιά εξελίχτηκαν, έτσι ώστε να μπορούν να παρακολουθούν ακόμα περισσότερα άτομα (Σχήμα 36. 9 άτομα ταυτόχρονα).



Σχήμα 36. Ταυτόχρονη παρακολούθηση 3D τηλεόρασης 9 ατόμων χωρίς γυαλιά

Παραπομπές

Μέγεθος τηλεόρασης σε εκατοστά (ίντσες-cm)	Προτεινόμενη απόσταση παρακολούθησης 3D τηλεόρασης σε μέτρα (m)
42'' - (106.68 cm)	2.13 m
46'' - (116,84 cm)	2,43 m
50'' - (127 cm)	2,74 m
52'' - (132.08 cm)	2,74 – 3 m
55'' - (139,7 cm)	3 – 3,35 m
60'' - (152,4 cm)	3,65 – 3,96 m
63'' - (160,02 cm)	3,96 – 4,26 m

Πίνακας 3. Προτεινομένη απόσταση θεατή ανάλογα με το μέγεθος της οθόνης

9. Αναφορές

http://voices.yahoo.com/3d-tvs-could-harmful-children-teens-7905040.html?cat=25

http://www.heraldsun.com.au/entertainment/d-tvs-harmful-effects-on-children/story-e6frf96f-1225858524591?nk=6722ce1a3bab18190a6e98210868c74a

Videos: https://www.behance.net/gallery/3955533/Multi-Person-IR-Pupil-Tracking-for-3DTV-without-Glasses

[1] Kawai, T. (2002). 3D Displays and Applications. Displays, Elsevier

[2] Woods, A. (2010). Understanding Crosstalk in Stereoscopic Displays. (Keynote Presentation) at 3DSA (Three Dimensional Systems and Applications) Conference.

[3] Becker, M. E. (2008). Viewing Angels: a not so rare species. LCD TV Association, LCD TV Matters, Vol.1, Issue 4

[4] Ware, C. (2005). Information Visualization: Perception for Design. Elsevier

[5] Duchowski, A. (2007). Eye Tracking Methodology: Theory and Practice. Springer

[6] Mather G. (2009). Foundations of Sensation and Perception. Psychology Press

[7] Eveland, K., Socolinsky, D. & Wolff, L. (2003). Tracking Human Faces in Infrared Video. Image and Vision Computing Vol.21, Issue 7.

[8] Yang, J. & Waibel, A. (1996). A Real-Time Face Tracker. Workshop on Applied Computer Vision
[9] Birchfield, S. (1997). An Elliptical Head Tracker. 31st Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers
[10] Viola, P. & Jones, M. (2001). Robust Real Time Object Detection. IEEE ICCV Workshop Statistical and Computational Theories of Vision
[11] Young, L.R., & Sheena, D. (1975). Survey of Eye Movement Recording Methods. Behavior Research Methods & Instrumentation, 7(5), 397-439.
[12] Brown, M. et al. (2006). ISCEV Standard for Clinical Electro-oculography. Springer Science & Business Media B.V
[13] Malmivuo, J. & Plonsey, R. (1995). Bioelectromagnetism: Principles and Applications of Bioelectric and Biomagnetic Fields. Oxford University Press
[14] Imai, T. et al. (2005). Comparing the Accuracy of Video-Oculography and the Scleral Search Coil System in Human Eye Movement Analysis, Auris Nasus Larynx, 3-9.
[15] Duchowski, A. (2000). Eye-based interaction in graphical systems: Theory& Practice. ACM
[16] Laboratory of Experimental Psychology. http://www.kuleuven.be>. Katholieke Universiteit Leuven
[17] Ohno, T., Mukawa, N. & Yoshikawa, A. (2002). Freegaze: A Gaze Tracking System for Everyday Gaze Interaction. NTT Communication Science Laboratories, NTT Corporation 51
[18] Ohno, T. & Mukawa, N. (2004). A Free-Head, Simple Calibration, Gaze Tracking System that Enables Gaze-Based Interaction. ETRA 2004, Eye Tracking Research & Applications Symposium, pp.115-122
[19] Agustin, J., Villanueva, A. & Cabeza, R. (2006). Pupil Brightness Variations as a Function of Gaze Direction. ACM
[20] Nguyen, K., Wagner, C., Koons, D. & Flickner, M. (2002). Differences in the Infrared Bright Pupil Response of Human Eyes. ETRA 2002
[21] Ebisawa, Y. (1995). Unconstrained pupil detection technique using two light sources and the image difference method. Shizuoka University
[22] Ray, Z. (2007). *Stereoscopic Cinema & the Origins of 3-D Film.* University Press of Kentucky
[23] D. K. G. de Boer et al. (2007). Switchable Lenticular Based 2D/3D Displays. Proc. SPIE 6490, 64900R

[24] Brouwer, E.J.A. (2004). Frequency Analysis on a 3D Display. Philips Research Eindhoven
[25] Wheatstone, C. (1838). Contributions to the Physiology of Vision - Part the first. On some Remarkable, and Hitherto Unobserved, Phenomena of Binocular Vision. The Royal Society
[26] Poggio, G. & Poggio, T. (1984). The Analysis of Stereopsis. Annual Review of Neuroscience
[27] Sir Brewster, D. et al. (1856). The Stereoscope: Its History, Theory and Construction with Its Application to the Fine and Useful Arts and to Education. Publication of John Murray, London
[28] Liu, J., Pastoor, S., Seifert, K., Hurtienne, J. (2000). Three dimensional PC toward novel forms of human-computer interaction. Three-Dimensional Video and Display Devices and Systems SPIE CR76, Boston, MA USA.
[29] Zinger, S., Ruijters, D., Luat Do, de With, P.H.N. (2012). View Interpolation for Medical Images on Autostereoscopic Displays. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology Vol. 22, Issue 1, pp. 128-137.
[30] Magalhães, D.S.F., Serra, R.L., Vannucci, A.L., Moreno, A.B., Li, L.M. (2011). Glasses- free 3D viewing systems for medical imaging. Optics and Laser Technology
[31] Jiang, X., Mojon, D. (2006). Applications of autostereoscopic displays in Ophthalmologic studies. 2006 IEEE International Conference on Multimedia and Expo, pp. 1993-1996.
[32] Jin, X.H, Zhang, Y.J, Wang, X., Plocher, T. (2007). Evaluating the usability of an auto-stereoscopic display. Human-Computer Interaction, Part II, HCII 2007, pp.605-614.
[33] Gruber, W.B. (Issued June 13, 1950). Stereoscopic Viewer. U.S. Patent 2,511,334. 52

[34] ThorLabs IR Filter Catalog – FGL 780 www.thorlabs.de/catalogpages/V21/819.PDF (Accessed: 12.04.2012)
[35] Wikimedia Commons File: “Comparison of parallax-barrier and lenticular autostereoscopic displays”,http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Parallax_barrier_vs_lenticular_screen.svg (Accessed:12.04.2012).