

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΗΣ & ΧΩΡΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

**ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ
ΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΕΣΩ
ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ
ΟΠΤΙΚΗΣ ΕΣΤΙΑΣΗΣ
ΣΕ ΑΝΘΡΩΠΟΥΣ ΜΕ
ΚΙΝΗΤΙΚΕΣ ΔΥΣΚΟΛΙΕΣ**



ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΚΑΝΑΚΗΣ

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ: ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

**ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΠΑΡΤΣΙΝΕΒΕΛΟΣ
ΑΝ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αν. Καθηγητή κ. Παναγιώτη Παρτσινέβελο που με δέχτηκε στη ζεστή ατμόσφαιρα του Εργαστηρίου του, το SenseLab. Ακόμη, θέλω να ευχαριστήσω τα μέλη της ερευνητικής ομάδας του SenseLab τον Άγγελο Αντωνόπουλο, τον Ζήση Χαροκόπο και τον Τζανή Φωτάκη που με εξοικείωσαν στα απαραίτητα λογισμικά και τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό που χρειάστηκα για τη διπλωματική μου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Αριστομένη Αντωνιάδη που με ως επιβλέπων και υποστήριξε την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Έπειτα, θέλω να ευχαριστήσω τον Θεοφιλέστατο Επίσκοπο Ευμενείας και Ηγούμενο της Ιεράς και Πατριαρχικής Μονής 'Κυρία των Αγγέλων - Γουβερνέτο' τον γέροντα Ειρηναίο που με την ευλογία του και την άδεια του εισήλθαμε και προσφέραμε στην Μονή αυτή την ελάχιστη εργασία. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον πατέρα Σιλουανό έναν εύστροφο και τεχνοφιλή Ηλεκτρονικό Μηχανικό απόφοιτο του Μεσογειακού Πανεπιστημίου Κρήτης που είδε την αγαθή μας προαίρεση και μας πρότεινε πιθανά θέματα για την διπλωματική, βάση των αναγκών που υπήρχαν στον τρόπο ζωής του πατρός Σωφρονίου.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω με όλη μου την καρδιά τον πατέρα Σωφρόνιο τον πιο χαρούμενο άνθρωπο που γνώρισα. Είναι ζυμωμένος από την ζωή και αλλοιωμένος από την αγάπη του Θεού την οποία εκπέμπει συνεχώς, υπομένοντας με καρτερία την ασθένεια του. Ο πατήρ Σωφρόνιος είναι η αφορμή αυτής της διπλωματικής και μας δέχτηκε με πολύ αγάπη και πολλές ευχές στο κελί του.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω λίγους και καλούς ανθρώπους που δεν θέλουν να τους αναφέρω, οι οποίοι με ενίσχυσαν ψυχολογικά και πνευματικά στην πορεία των σπουδών μου και στη διαβίωση μου στα Χανιά.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, είναι περιττό να αναφέρω τί θυσιάζει και τί νιώθει ένας γονιός, ωστόσο ακόμα ηχεί στα αυτιά μου από το πρώτο έτος η μαντινάδα που μου έκαναν δώρο από ένα κατάστημα στο λιμάνι των Χανίων :

*“ Όσο ψηλά και αν πετάξεις την ζωή σου,
μην ξεχνάς πως τα φτερά, στα 'δωσαν οι γονείς σου.”*

Περιεχόμενα

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
1.1	Δήλωση προβλήματος	3
1.2	Κίνητρο.....	3
1.3	Στόχος.....	3
1.4	Ερευνητική Προσέγγιση.....	4
1.5	Εφαρμογή	4
1.6	Οργάνωση Κεφαλαίων.....	4
2.	ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΜΑΤΙΩΝ (EYE TRACKING).....	5
2.1	Ιστορία του Εντοπισμού Ματιών.....	5
2.2	Ιστορία Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας.....	7
2.3	Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας (Image Processing).....	9
2.3.1	Ψηφιακή Εικόνα	9
2.3.2	Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας	10
2.3.3	Εφαρμογές Συσταδοποίησης Γνωρισμάτων με Επεξεργασία Μεσαίου Επιπέδου....	12
2.4	Συνήθειες Μετρήσεις στον Εντοπισμό Ματιών	13
2.4.1	Σημεία εστίασης και διορθώσεις (Gaze points and Fixations).....	13
2.4.2	Περιοχές ενδιαφέροντος (Areas of Interest).....	14
2.4.3	Χρόνος πρώτης διόρθωσης (Time to First Fixation)	15
2.4.4	Χρόνος πρώτης σταθεροποίησης (Time to First Stabilization).....	15
2.4.5	Μέση διάρκεια σταθεροποίησης (Average Stabilization Duration).....	15
2.4.6	Αναλογία (Ratio)	15
2.4.7	Αλληλουχίες διορθώσεων (Fixation sequences)	15
2.5	Πρώτα Συστήματα Επικοινωνίας για Ασθενείς με ALS.....	16
2.6	Σύγχρονα Συστήματα Εντοπισμού Ματιών για Ασθενείς με ALS.....	18
3.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	19
3.1	Περιορισμοί - Παραδοχές.....	19
3.2	Επιλογή Λογισμικού & Γλώσσας Προγραμματισμού	19
3.3	Επιλογή Εξοπλισμού	19
3.3.1	Απαραίτητος εξοπλισμός.....	19
3.3.2	Αρχιτεκτονική Συστήματος	20
3.3.3	Raspberry Pi 4	20
3.3.4	Cameras	21
3.3.5	Ηχεία.....	21

3.3.6	RGB Leds & Breadboard.....	21
3.4	Συναρτήσεις Αλγορίθμου	22
3.4.1	Συνάρτηση Ιδανικής Θέσεως της Κόρης (ideal).....	22
3.4.2	Συνάρτηση Εστίασης βλέμματος στην Ιδανική Θέση (gaze)	23
3.4.3	Συνάρτηση Αναγνώριση Ανοιγοκλεισίμου Βλεφάρων (blink).....	23
3.4.4	Συνάρτηση Λαμπτήρων Led (led)	24
3.4.5	Συνάρτηση Ηχητικών Μηνυμάτων (sound).....	24
3.5	Δομή Αλγορίθμου	25
3.5.1	Διάγραμμα Ροής (Flowchart).....	25
3.5.2	Ερμηνεία Διαγράμματος Ροής.....	26
4.	ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ	27
4.1	Περιγραφή Πειραμάτων	27
4.1.1	Εισαγωγή δεδομένων	27
4.1.2	Εξαγωγή Αποτελεσμάτων & Κριτήρια Σύγκρισης.....	29
4.2	Καθήμενη Θέση	31
4.2.1	Περιγραφή	31
4.2.2	Συλλογή αποτελεσμάτων με γωνία κλίσης 45°	31
4.2.3	Συλλογή αποτελεσμάτων με γωνία κλίσης 60°	33
4.2.4	Συλλογή αποτελεσμάτων με γωνία κλίσης 75°	35
4.3	Ύπτια Θέση.....	36
4.3.1	Περιγραφή	36
4.3.2	Συλλογή αποτελεσμάτων με γωνία κλίσης 45°	36
4.3.3	Συλλογή αποτελεσμάτων με γωνία κλίσης 60°	38
4.3.4	Συλλογή αποτελεσμάτων με γωνία κλίσης 75°	39
4.4	Πλάγια Θέση	40
4.4.1	Περιγραφή	40
4.4.2	Συλλογή αποτελεσμάτων με γωνία κλίσης 45°	41
4.4.3	Συλλογή αποτελεσμάτων με γωνία κλίσης 60°	42
4.4.4	Συλλογή αποτελεσμάτων με γωνία κλίσης 75°	44
4.5	Συμπέρασμα Αποτελεσμάτων	45
4.6	Μελλοντική Δουλειά.....	47
5.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	50

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Δήλωση προβλήματος

Μία από τις παθήσεις του ανθρώπινου οργανισμού είναι η Πλάγια Μυατροφική Σκλήρυνση (ALS), η οποία αποτελεί και την πιο επώδυνη νόσο του κινητικού νευρώνα. Άνθρωποι που προσβάλλονται από αυτή την ασθένεια χάνουν μόνιμα την κινητικότητα των μυών τους και ως εκ τούτου αντιμετωπίζουν καθημερινά πολλά προβλήματα διαβίωσης. Για τον λόγο αυτό προκύπτει η ανάγκη εικοσιτετράωρης παρουσίας φροντιστή δίπλα στους ασθενείς για την κάλυψη της θεραπείας, της διατροφής και της προσωπικής υγιεινής τους.

Η συχνότερη αιτία θανάτου αυτών των ανθρώπων είναι η δυσφαγία. Δυσφαγία είναι ο πνιγμός από σίελο, λόγω ατροφίας του φαρυγγικού σφικτήρα. Ο φαρυγγικός σφικτήρας είναι υπεύθυνος για την κατάληξη του σιέλου στο στομάχι. Λόγω των συνθηκών της νόσου ο σίελος καταλήγει στους πνεύμονες, επιφέροντας ασφυξία στον ασθενή. Για να υπογραμμιστεί ο κίνδυνος, αρκεί να σημειωθεί ότι ο μέσος άνθρωπος παράγει κατά μέσο όρο 1,5 λίτρα σιέλου ημερησίως, το οποίο ασυνείδητα καταπίνει και καταλήγει στο στομάχι. Η κατάποση του σιέλου γίνεται ακόμα και την ώρα που κοιμάται ο άνθρωπος, για αυτόν τον λόγο οι ασθενείς ξυπνούν πολλές φορές το βράδυ, λόγω πνιγμού.

Όλα τα παραπάνω έχουν οδηγήσει στην υλοποίηση ψηφιακών συστημάτων για την υποβοήθηση των ασθενών τόσο στις βιολογικές τους ανάγκες, όσο και στην επικοινωνία τους με τους άλλους ανθρώπους. Η παρούσα διπλωματική αποτελεί μία προσπάθεια ανάπτυξης ενός συστήματος υποβοήθησης ασθενών, κατά την επικοινωνία με τους φροντιστές τους.

1.2 Κίνητρο

Μία αναπόφευκτη συνέπεια της νόσου ALS είναι η ατροφία των φωνητικών χορδών. Αυτή η κατάσταση φέρνει ως αποτέλεσμα την αδυναμία του ασθενούς να ειδοποιήσει τον φροντιστή του για επείγουσα ανάγκη. Κατά τη διάρκεια της νύχτας ο κίνδυνος αυξάνεται, διότι σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού ο φροντιστής αδυνατεί να παρατηρήσει αν ο ασθενής τον έχει ανάγκη. Έτσι προκύπτει ότι η μία εξαιρετικά σημαντική ανάγκη του ασθενούς είναι να εκφράσει μία «κραυγή βοήθειας».

1.3 Στόχος

Ο στόχος αυτής της διπλωματικής είναι να δημιουργηθεί αυτή η «κραυγή βοήθειας» μέσω κατάλληλης ανάγνωσης της κίνησης των ματιών του ασθενούς. Το τελικό προϊόν της παρούσας διπλωματικής θα μπορεί να λειτουργεί σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού με κατάλληλους οπτικούς αισθητήρες καθώς και να προσαρμόζεται στις αρχιτεκτονικές ιδιαιτερότητες του κάθε χώρου.

1.4 Ερευνητική Προσέγγιση

Η υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας βασίζεται στην τεχνολογία εντοπισμού ματιών (Eye Tracking) και στην τεχνολογία των ενσωματωμένων συστημάτων (Embedded Systems). Πιο συγκεκριμένα στην τεχνολογία εντοπισμού ματιών συμπεριλαμβάνονται η ψηφιακή επεξεργασία εικόνας (Image Processing), η αναγνώριση προσώπου (Face Recognition) και η υπολογιστική όραση σε πραγματικό χρόνο (real-time Computer Vision). Τέλος, στα ενσωματωμένα συστήματα συμπεριλαμβάνονται ο χειρισμός περιφερειακών εισόδου και εξόδου (General Purpose Input/Output - GPIO) και ο αντικειμενοστραφής προγραμματισμός (Object-Oriented Programming).

1.5 Εφαρμογή

Το τελικό προϊόν θα μπορεί να βοηθήσει πολλές ομάδες ανθρώπων με κινητικά προβλήματα αν και η παρούσα διπλωματική προορίζεται πιο στοχευμένα για ασθενείς με ALS. Ωστόσο, μπορεί να προσαρμοστεί σε ασθενείς που ξύπνησαν από κόμμα και διανύουν την περίοδο ανάρρωσης για την επαναλειτουργία των μυών. Όπως επίσης μπορεί να προσαρμοστεί σε υπερήλικες ασθενείς που πλησιάζουν το πέρας της ζωής τους. Τέλος, οι επιστήμονες που είναι εξειδικευμένοι στο κλάδο υγείας θα μπορούν να συμπεριλάβουν κι άλλες περιπτώσεις ανθρώπων που έχουν αντίστοιχες ανάγκες.

Η κύρια συσκευή είναι σε μέγεθος ενός συμβατικού smartphone, και περιέχει έναν μικροεπεξεργαστή Raspberry Pi, ηχεία, λαμπτήρες LED και δύο κάμερες υπολογιστή (webcams) και θα μπορεί να εγκατασταθεί σε Ιδρύματα Φροντίδας των ασθενών με ALS, σε Νοσοκομεία, σε γηροκομία και σε σπίτια.

1.6 Οργάνωση Κεφαλαίων

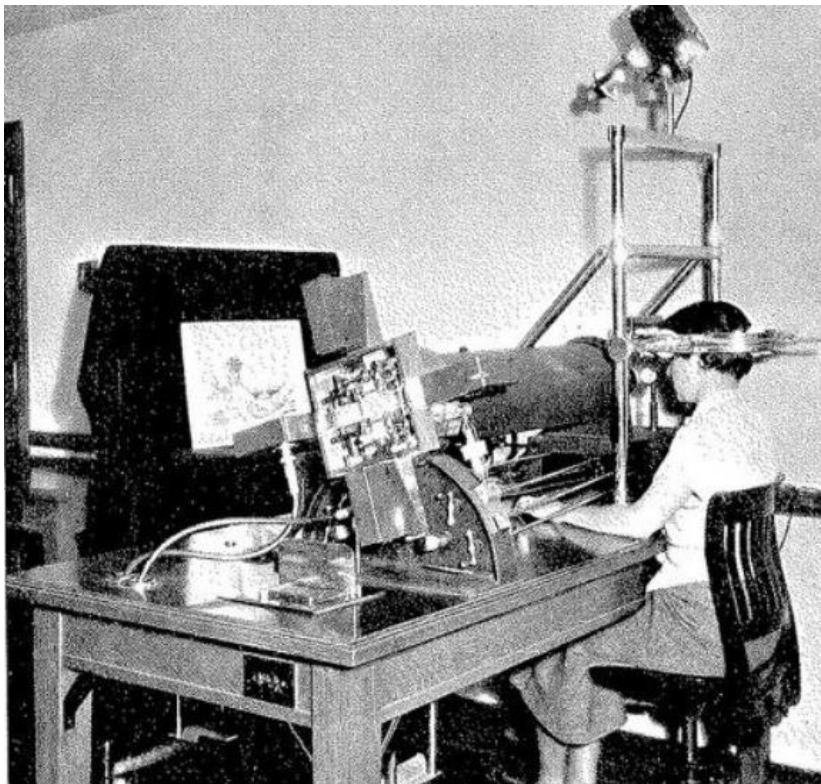
Στο δεύτερο κεφάλαιο θα αναφερθεί η εξέλιξη του εντοπισμού των ματιών από την περίοδο που ανακαλύφθηκε μέχρι σήμερα. Επίσης, θα περιγραφεί η μετάβαση του εντοπισμού ματιών από εργαλείο προσδιορισμού ψυχολογικού προφίλ, σε εργαλείο ζωτικής σημασίας για τους ασθενείς με κινητικές δυσκολίες. Τέλος, θα αναλυθούν συχνές μετρήσεις που βοηθούν στην εξαγωγή συμπερασμάτων. Στο τρίτο κεφάλαιο θα εξηγηθούν ο τρόπος σκέψης και οι αλγόριθμοι που αναπτύχθηκαν για την παρούσα διπλωματική, καθώς και ο συγχρονισμός όλων των επιμέρους κομματιών. Στο τέταρτο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν η υλοποίηση του συστήματος, τα αποτελέσματα των πειραμάτων που έγιναν σε πραγματικές συνθήκες καθώς και τα σφάλματα που παρουσιάστηκαν στην πορεία των πειραμάτων.

2. ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΜΑΤΙΩΝ (EYE TRACKING)

2.1 Ιστορία του Εντοπισμού Ματιών

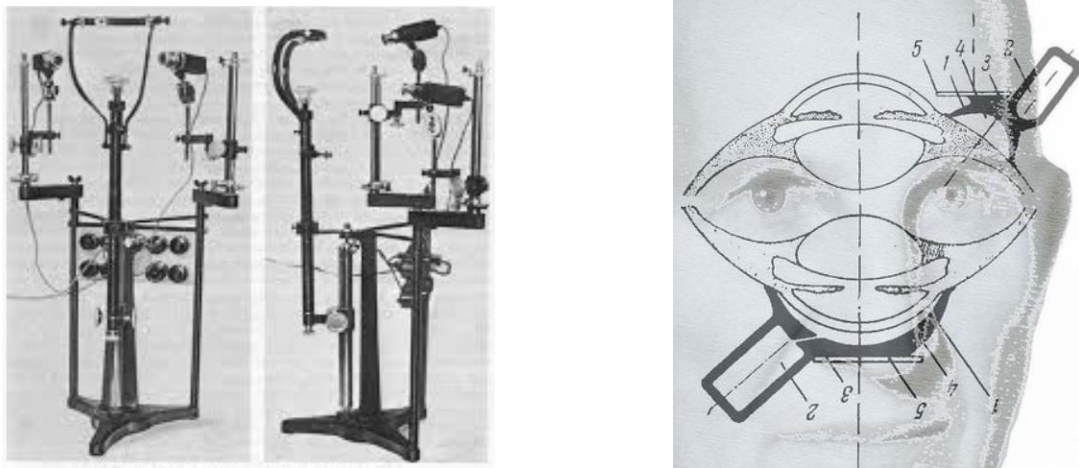
Το 1908, ο Edmund Huey κατασκεύασε τον πρώτο ιχνηλάτη ματιών (eye tracker) για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης κατά την ανάγνωση. Αυτή η συσκευή μετρούσε το πλήθος των φορών που ο συμμετέχων απομάκρυνε το βλέμμα του από το κείμενο που διάβαζε. Η τοποθέτηση της συσκευής ήταν πολύ δύσκολη, καθώς οι αναγνώστες έπρεπε να φορούν έναν τύπο φακού επαφής από γυαλί που είχε περιορισμένο εύρος κίνησης των ματιών. (Leggett, 2010)

Το 1937, ο Αμερικανών ψυχολόγος Guy Thomas Buswell, έφτιαξε μία συσκευή (Σχήμα 2.1) η οποία εξέπεμπε ακτίνες φωτός που ανακλούνταν στα μάτια των αναγνώστων και προσέπιπταν σε φιλμ που κατέγραφε την πορεία εστίασης του βλέμματος. Η έρευνα του Buswell έδειξε ότι υπάρχει σημαντική διαφορά στην κινητικότητα των ματιών μεταξύ της φωνητικής και της σιωπηλής ανάγνωσης κειμένου. (Leggett, 2010)



Σχήμα 2.1 : Συσκευή Guy Thomas Buswell

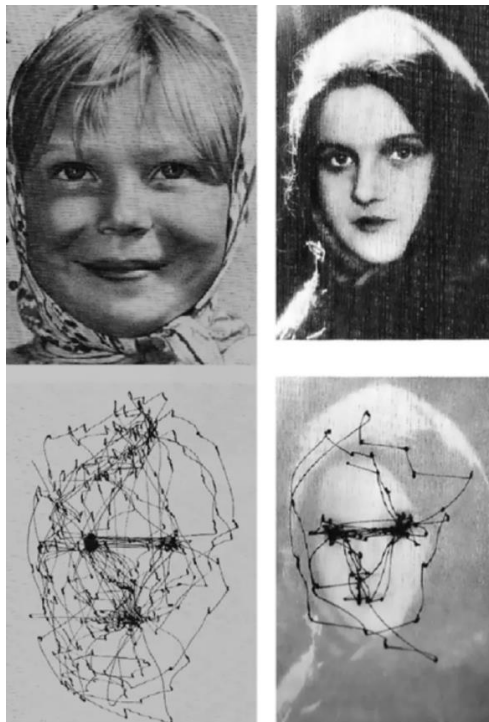
Ο Ρώσος ψυχολόγος Alfred Lukyanovich Yarbus, δημιούργησε μία συσκευή εντοπισμού των ματιών και διεξήγαγε αρκετές μελέτες στις δεκαετίες του '50 και του '60 (EyeSee, 2014). Το 1967, δημιούργησε την συσκευή Yarbus και από τα αποτελέσματα που εξήγαγε δημοσίευσε ένα βιβλίο που είχε μεγάλη επιρροή στην έρευνα της κίνησης των ματιών. Παρακάτω φαίνεται η συσκευή Yarbus καθώς και ο τρόπος προσαρμογής στο πρόσωπο (Σχήμα 2.2). (i-PERCEPTION, 2010)



Σχήμα 2.2 : Συσκευή Yarbus

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η κίνηση των ματιών και η σταθεροποίηση του βλέμματος σε μία συγκεκριμένη περιοχή, εξαρτώνται από το ενδιαφέρον που δείχνουν οι συμμετέχοντες στα εκάστοτε σημεία της εικόνας.

Επί παραδείγματι, στο Σχήμα 2.3 (i-PERCEPTION, 2010) φαίνεται ότι ο συμμετέχων εστίαζε περισσότερο το βλέμμα του στα μάτια και τα χείλη των δύο εικονιζόμενων προσώπων, ως εκ τούτου προκύπτει το συμπέρασμα ότι ο συμμετέχων έδειξε περισσότερο ενδιαφέρον σε αυτές τις περιοχές. Παρατηρείται επίσης ότι εστίαζε σε περισσότερα σημεία στην αριστερή εικόνα, άρα του φάνηκε πιο ενδιαφέρον το πρόσωπο της αριστερής εικόνας.



Σχήμα 2.3 : Παράδειγμα καταγραφής κίνησης των ματιών

Στη δεκαετία του 1970, οι συσκευές εντοπισμού ματιών έγιναν πιο προσιτές στην εφαρμογή τους, παρείχαν μεγαλύτερη ακρίβεια και ήταν σε θέση να διαχωρίσουν τις κινήσεις των ματιών από τις κινήσεις του κεφαλιού. Ταυτόχρονα, οι ψυχολογικές θεωρίες άρχισαν να εξετάζουν την εστίαση των ματιών ως πηγή στοιχείων για τη χαρτογράφηση του ψυχολογικού προφίλ κάθε ανθρώπου. (EyeSee, 2014)

Στη δεκαετία του 1980, με την έναρξη της ψηφιακής επανάστασης οι υπολογιστές έγιναν αρκετά ισχυροί και είχαν πλέον τη δυνατότητα να παρακολουθούν τις κινήσεις των ματιών σε πραγματικό χρόνο. Η χρήση φωτεινών ακτίνων δεν ήταν πλέον απαραίτητη, αλλά η αναγνώριση του ματιού πραγματοποιούνταν μέσω ψηφιακής επεξεργασίας της εικόνας. (EyeSee, 2014)

Το 1990, το σύστημα εντοπισμού ματιών της Gallup Applied Science χρησιμοποιήθηκε σε οπαδούς κατά τη διάρκεια της προβολής ποδοσφαιρικών παιχνιδιών για να καθορίσει ποια μέρη του παιχνιδιού κέντρισαν το ενδιαφέρον των παρατηρητών. Αυτές οι συσκευές βιντεοσκοπούσαν το βλέμμα τους και ένας υπολογιστής κατέγραφε την πορεία του ματιού στην οθόνη. (Leggett, 2010)

Στα τέλη της δεκαετίας του 1990, οργανισμοί συμπεριλαμβανομένου ενός από τα μεγαλύτερα δίκτυα πρακτορείων διαφήμισης και μάρκετινγκ στον κόσμο το EURO RSCG, άρχισαν να χρησιμοποιούν τεχνολογία εντοπισμού των ματιών για τη μελέτη αντιδράσεων σε πληροφορίες σχετικά με τον Παγκόσμιο Ιστό. Για μεγάλο αριθμό σχεδιαστών ιστοτόπων θεωρείται ότι οι ιστότοποι πρέπει να σχεδιάζονται βάση των δεδομένων που συλλέξανε οι συσκευές εντοπισμού ματιών. (Leggett, 2010)

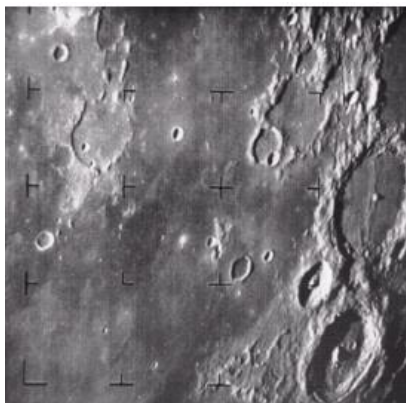
2.2 Ιστορία Ψηφιακής Επεξεργασίας Εικόνας

Το 1920, ο Harry G. Bartholomew και ο Maynard D. McFarlane έκαναν την πρώτη ψηφιοποίηση εικόνας (Σχήμα 2.4), δημιουργώντας το καλώδιο Bartlane, με το οποίο μπορούσαν να στέλνουν ψηφιοποιημένες εικόνες από τη Νέα Υόρκη στο Λονδίνο. Η σύνδεση των δύο πόλεων έγινε με υποβρύχιες καλωδιώσεις. Στην αρχή όρισαν πέντε αποχρώσεις στην κλίμακα του γκρι, ενώ το 1929 όρισαν επιπλέον δέκα. Αυτή η τεχνολογία είχε εφαρμογή στην βιομηχανία του τύπου. (McFarlane, 1984)



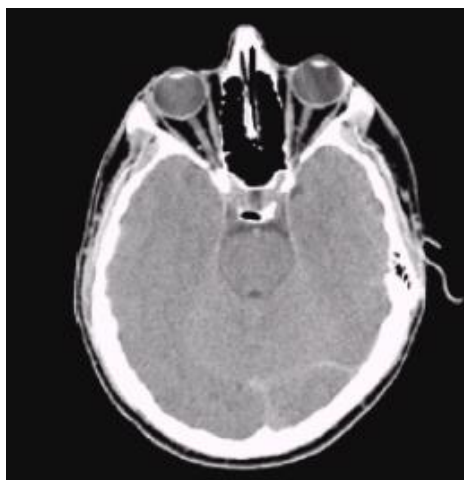
Σχήμα 2.4 : Πρώτη ψηφιοποιημένη εικόνα

Το 1960, βελτιώσεις στην πληροφορική καθώς και η έναρξη των διαστημικών αποστολών οδήγησε σε μία επανάσταση στην επεξεργασία ψηφιακής εικόνας. Οι υπολογιστές του διαστημικού σκάφους Ranger 7 που δημιουργήθηκαν το 1964 στα εργαστήρια της Εθνικής Υπηρεσίας Αεροναυτικής και Διαστήματος των ΗΠΑ (NASA), κατάφεραν την επεξεργασία χαμηλού επιπέδου (αναλύεται παρακάτω) των μη ευκρινών εικόνων καθώς και της αποστολής των εικόνων στη Γη. (Σχήμα 2.5) (Shindell, 2018)



Σχήμα 2.5 : Σελήνη από Ranger 7

Το 1970, η ψηφιακή επεξεργασία εικόνας αρχίζει να χρησιμοποιείται στην επιστήμη της ιατρικής διάγνωσης. Οι Καθηγητές Godfrey N. Hounsfield και Allan M. Cormack βραβεύτηκαν με το Νόμπελ Ιατρικής για την εφεύρεση της υπολογιστικής αξονικής τομογραφίας (Computerized Axial Tomography - CAT) (The Nobel Prize in Physiology or Medicine 1979, 1979). Με αυτή την τεχνολογία οι ιατροί εκπέμπουν, μέσω πομπού, ακτίνες X μικρής συχνότητας στην ασθενούσα περιοχή του σώματος και ύστερα ένας δέκτης στέλνει τα δεδομένα σε υπολογιστή ο οποίος 'τα ψηφιοποιεί και εκτυπώνει μία απεικόνιση (X-ray) του εσωτερικού του ασθενούς. (Σχήμα 2.6)

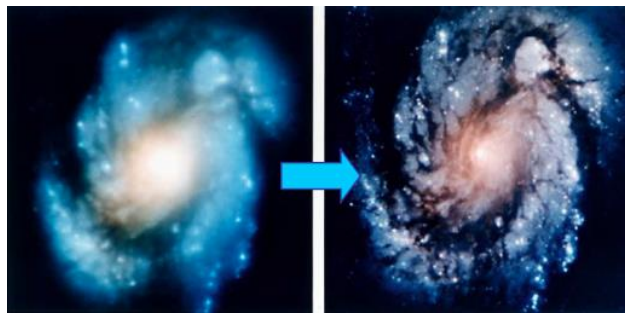


Σχήμα 2.6 : Τομή εγκεφάλου από Αξονικό Τομογράφο

Το 1980, διευρύνθηκε το φάσμα εφαρμογών στις τεχνικές ψηφιακής επεξεργασίας της εικόνας περιλαμβάνοντας τις παρακάτω:

- Βελτίωση/αποκατάσταση εικόνας (Image enhancement/restoration)
- Ιατρική απεικόνιση (Medical visualisation)
- Βιομηχανικός έλεγχος (Industrial inspection)
- Επιβολή του νόμου (Law enforcement)

Το 1990, δημιουργήθηκε το τηλεσκόπιο Hubble, το οποίο φέρει το όνομα του Αμερικανού αστρονόμου Edwin P. Hubble προς τιμήν του έργου του. Το τηλεσκόπιο Hubble μπορούσε να απεικονίσει τον Γαλαξία και να τις επεξεργαστεί τις απεικονίσεις για την ευκρινέστερη απεικόνιση του Γαλαξία (Σχήμα 2.7). (New Mexico Museum of SPACE HISTORY, 2008)

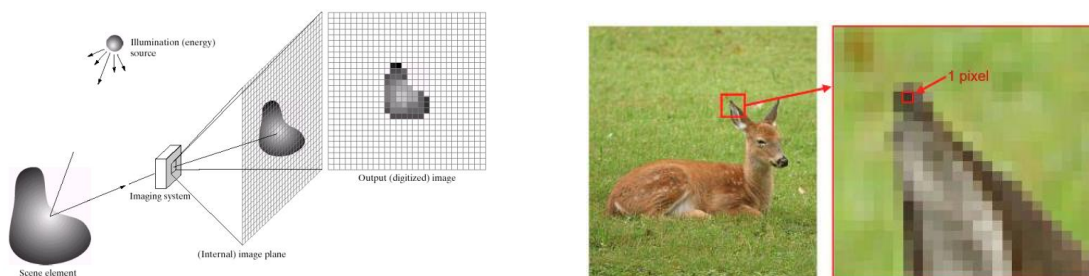


Σχήμα 2.7 : Απεικόνιση του Γαλαξία από το τηλεσκόπιο Hubble

2.3 Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας (Image Processing)

2.3.1 Ψηφιακή Εικόνα

Ψηφιακή εικόνα είναι η αναπαράσταση μιας δισδιάστατης εικόνας ως ένα πεπερασμένο σύνολο ψηφιακών τιμών, που ονομάζονται εικονοστοιχεία (pixels). (Σχήμα 2.8) Οι τιμές των εικονοστοιχείων αντιπροσωπεύουν συνήθως χρώματα και ένταση χρωμάτων. (Vernon, 1991)



Σχήμα 2.8 : Ορισμός εικονοστοιχείου

Τα εικονοστοιχεία μπορούν να εκπροσωπούνται από περισσότερα από ένα κανάλια με πιο συχνές τις περιπτώσεις:

- 1 κανάλι ανά εικονοστοιχείο, όπου απευθύνεται σε ασπρόμαυρες εικόνες (Gray pixel) (Σχήμα 2.9.α) (Vernon, 1991)
- 3 κανάλια ανά εικονοστοιχείο, τα κανάλια αναφέρονται στην ένταση των χρωμάτων κόκκινο, πράσινο και μπλε (Red Green Blue - RGB pixel). (Σχήμα 2.9.β) (Vernon, 1991)



Σχήμα 2.9.α : Ασπρόμαυρη εικόνα

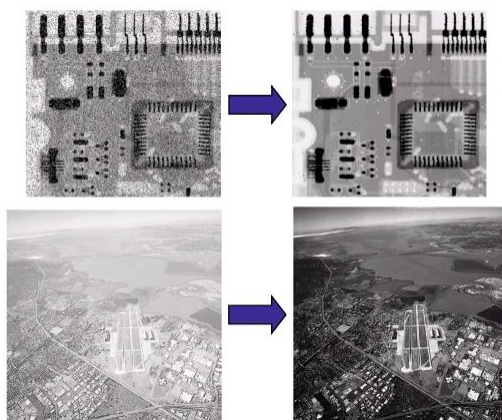


Σχήμα 2.9.β : Έγχρωμη εικόνα

2.3.2 Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας

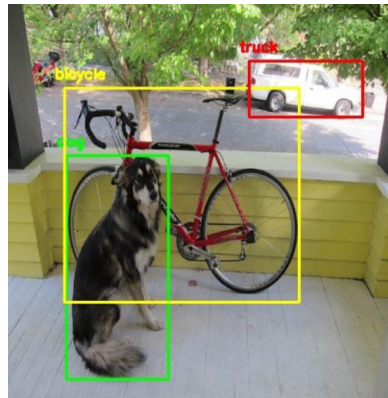
Η ψηφιακή επεξεργασία εικόνας εστιάζει στην ανάλυση και επεξεργασία εικονογραφικών δεδομένων με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων. Ο βαθμός επεξεργασίας χωρίζεται σε τρία επίπεδα, χαμηλού, μεσαίου και υψηλού επιπέδου. Η επιλογή του εκάστοτε επιπέδου γίνεται αναλόγως με τις ανάγκες του χρήστη.

Στα τέλη της δεκαετίας του 1970, αναπτύχθηκε η επεξεργασία χαμηλού επιπέδου. Έχει σκοπό να αυξήσει την ευκρίνεια της εικόνας ή αλλιώς να απομακρύνει τον θόρυβο (Σχήμα 2.10), λόγω κάποιου σφάλματος π.χ. χαμηλή ανάλυση κάμερας, μη ιδανικός φωτισμός, ασταθής λήψη εικόνας κ.λπ. (Woods, 2018). Για αυτόν το λόγο έχει ως στοιχείο εισόδου μια εικόνα χαμηλής ευκρίνειας και ως στοιχείο εξόδου την ίδια εικόνα βελτιστοποιημένη σε θέμα ποιότητας.



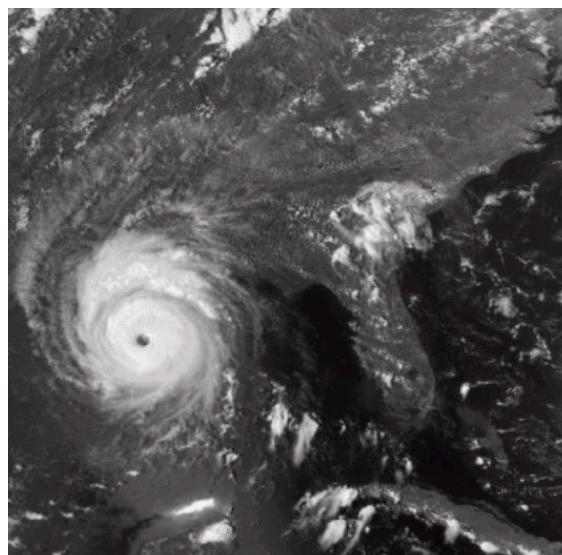
Σχήμα 2.10 : Παράδειγμα απομάκρυνσης θορύβου

Το 1980, δημιουργήθηκε η επεξεργασία μεσαίου επιπέδου. Αναγνωρίζει και απομονώνει χρήσιμα στοιχεία σε μία εικόνα όπως αναγνώριση ματιών σε ένα πρόσωπο, και ως εκ τούτου έχει ως στοιχείο εισόδου μια εικόνα και ως στοιχείο εξόδου έχει την ίδια εικόνα με σημειωμένα τα γνωρίσματα της. Συχνή είναι η εφαρμογή της στην αναγνώριση ανθρώπων, ζώων και αντικειμένων σε ένα περιβάλλον. (Σχήμα 2.11) (Vernon, 1991). Αυτή η μέθοδος μελετάται στη παρούσα διπλωματική εργασία.



Σχήμα 2.11 : Παράδειγμα ορισμού γνωρισμάτων

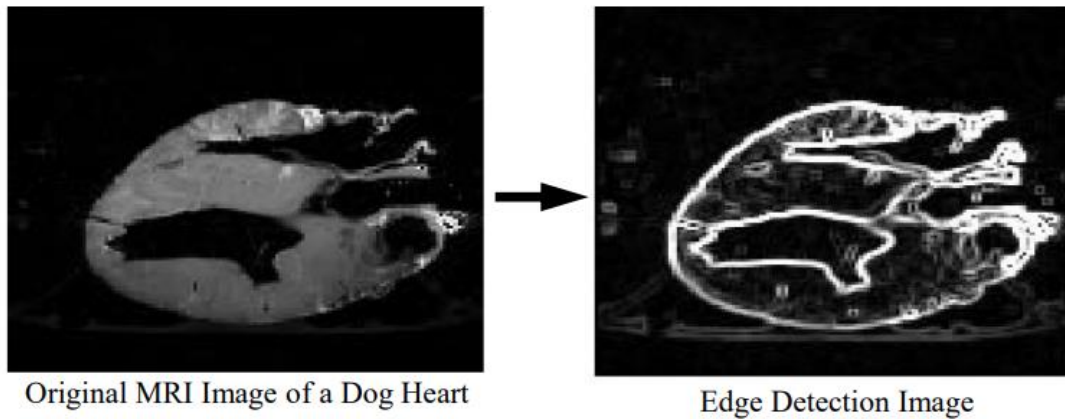
Στα τέλη του 1990, εφευρέθηκε η επεξεργασία υψηλού επιπέδου. Ασχολείται με την εξαγωγή λογικών και μη-προφανών συμπερασμάτων σύμφωνα με τα γνωρίσματα μίας εικόνας. Επί παραδείγματι, η επεξεργασία υψηλού επιπέδου χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της κίνησης των ανεμοστροβίλων με δεδομένο μία αλληλουχία εικόνων από δορυφόρους. (Σχήμα 2.12) (Woods, 2018)



Σχήμα 2.12 : Παράδειγμα εικόνων από δορυφόρους

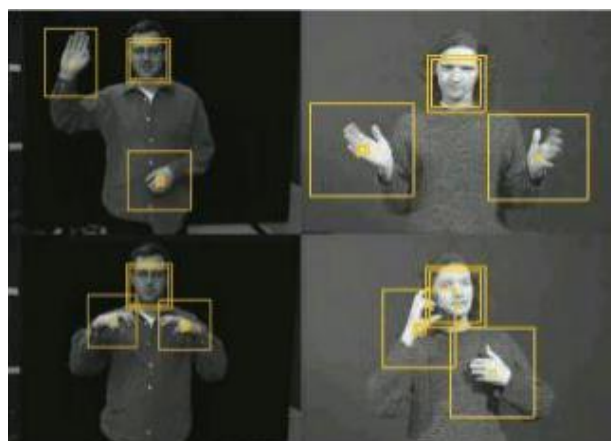
2.3.3 Εφαρμογές Συσταδοποίησης Γνωρισμάτων με Επεξεργασία Μεσαίου Επιπέδου

Στην επιστήμη της ιατρικής διάγνωσης είναι απαραίτητη η υποβοήθηση εξειδικευμένων συστημάτων. Στο Σχήμα 2.13 αρχικά φαίνεται η μαγνητική τομογραφία μίας καρδιάς σκύλου. Οι γκριζες περιοχές αντιπροσωπεύουν το πάχος του ιστού της καρδιάς. Ενώ στην δεύτερη εικόνα ο υπολογιστής με μεσαίου επιπέδου επεξεργασία, ομαδοποίησε σε μία συστάδα την περιοχή του ιστού της καρδιάς. (Woods, 2018)

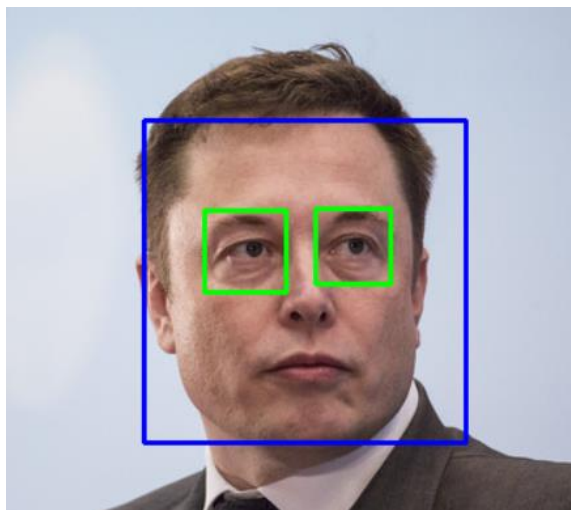


Σχήμα 2.13 : Μαγνητική τομογραφία σε καρδιά σκύλου

Μία ακόμη εφαρμογή συσταδοποίησης γνωρισμάτων η οποία σχετίζεται με την παρούσα διπλωματική εργασία είναι η ομαδοποίηση μελών του ανθρώπου σε συστάδες όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.14 (Vernon, 1991) και Σχήμα 2.15 (smahesh29, 2019). Αυτή η εφαρμογή χρησιμοποιείται κυρίως σε ταυτοποίηση δακτυλικών αποτυπωμάτων και προσώπου, αναγνώριση κίνησης του ανθρώπου στο χώρο σε συστήματα ασφαλείας και στον χειρισμό συσκευών από ασθενείς με κινητικά προβλήματα.



Σχήμα 2.14 : Συσταδοποίηση μελών του ανθρώπου



Σχήμα 2.15 : Συσταδοποίηση μελών του προσώπου

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα, η τεχνολογία εντοπισμού των ματιών βασιζόταν στην ανάκλαση εκπεμπόμενων φωτεινών ακτινών σε κάποιον δέκτη, και την καταγραφή της πορείας του βλέμματος σε φιλμ. Σήμερα έχει καταργηθεί αυτή η μέθοδος, λόγω των παρενεργειών που παρουσιάζονταν στα μάτια των συμμετεχόντων και λόγω χαμηλής ακρίβειας των αποτελεσμάτων. Πλέον χρησιμοποιείται αποκλειστικά η ψηφιακή επεξεργασία εικόνας για τον εντοπισμό των ματιών.

2.4 Συνήθεις Μετρήσεις στον Εντοπισμό Ματιών

Παρακάτω περιγράφονται οι επτά μετρήσεις που χρησιμοποιούνται στον εντοπισμό ματιών για την εξαγωγή συμπερασμάτων από τη δεκαετία του 1950 έως σήμερα. Τα μεγέθη αυτά αναφέρονται στο χώρο και στον χρόνο εστίασης του βλέμματος σε κάποιο οπτικό πεδίο τα οποία πλέον αποτελούν στοιχεία επεξεργασίας υψηλού επιπέδου. (Farnsworth, 2020)

2.4.1 Σημεία εστίασης και διορθώσεις (Gaze points and Fixations)

Στον εντοπισμό ματιών υπάρχουν δύο βασικές μεταβλητές εισόδου τα σημεία εστίασης και οι διορθώσεις. Σημείο εστίασης είναι ένα σημείο στο οπτικό πεδίο του συμμετέχοντος, στο οποίο είναι συγκεντρωμένο το βλέμμα του για μία μικρή χρονική στιγμή. Εάν ο οπτικός αισθητήρας είναι ρυθμισμένος σε συχνότητα 60 Hz, τότε θα έχουμε 60 σημεία εστίασης το δευτερόλεπτο. Εάν αυτή η σειρά των 60 διαδοχικών σημείων έχουν μικρές αποκλίσεις στον χώρο, τότε ορίζουν μία διόρθωση. Οι διορθώσεις είναι μονάδα μέτρησης οπτικής προσοχής. Οι αποκλίσεις των σημείων εστίασης μεταξύ των διορθώσεων ορίζονται ως συστάδες (clusters) (Σχήμα 2.16 πορτοκαλί περιοχές).

Έχει παρατηρηθεί ότι όσο μεγαλύτερο είναι το πλήθος των σημείων εστίασης και των διορθώσεων σε μία περιοχή της εικόνας, τόσο μεγαλύτερο ενδιαφέρον έχει αυτή η περιοχή για τον συμμετέχοντα και σχεδιάζεται με μεγαλύτερες συστάδες. (Σχήμα 2.16 πορτοκαλί περιοχές). Αυτά τα μεγέθη βοηθάνε ιδιαίτερα στην βελτίωση και αξιολόγηση πολλών επαγγελματιών π.χ. κατά τη διάρκεια εκπαίδευσης ενός πιλότου σε προσομοίωση

οι εκπαιδευτές αλλάζουν τις συνθήκες σε ανύποπτο χρόνο ώστε να τον δυσκολέψουν. Παρατηρείται ότι οι αρχάριοι πιλότοι εστιάζουν στο κουμπί κινδύνου, ενώ οι πιο έμπειροι εστιάζουν στα μετρητικά ρολόγια και προσαρμόζουν την κλίση του αεροπλάνου.



Σχήμα 2.16 : Παράδειγμα μεθόδου Σημείων εστίασης και Διορθώσεων

2.4.2 Περιοχές ενδιαφέροντος (Areas of Interest)

Μια περιοχή ενδιαφέροντος είναι μία αλληλουχία κοντινών σημείων τα οποία εστίασε ο συμμετέχων σε μικρό χρονικό διάστημα. Δεν είναι αυστηρά μια μέτρηση από μόνη της, αλλά καθορίζει την περιοχή βάσει της οποίας μπορούμε να μελετήσουμε άλλα φαινόμενα. Στη συνέχεια, εμφανίζονται οι εξής μετρήσεις για κάθε περιοχή ενδιαφέροντος:

- i) Χρόνος πρώτης διόρθωσης
- ii) Χρόνος παραμονής
- iii) Αλληλουχίες διορθώσεων

Στο παράδειγμα ενός ιστοτόπου με προϊόντα προσωπικής υγιεινής (Σχήμα 2.17) φαίνεται ότι υπάρχουν τρεις ενδιαφέρουσες περιοχές. Το προς πώληση προϊόν (μωβ περιοχή) , η τιμή του προϊόντος (πράσινη περιοχή) και η περιγραφή του προϊόντος (κίτρινη περιοχή).



Σχήμα 2.17 : Παράδειγμα μεθόδου Περιοχών ενδιαφέροντος

2.4.3 Χρόνος πρώτης διόρθωσης (Time to First Fixation)

Ο χρόνος πρώτης διόρθωσης είναι το χρονικό διάστημα που χρειάζεται ένας συμμετέχων από τη στιγμή που εμφανίζεται μία εικόνα (π.χ. άνοιγμα τηλεόρασης) μέχρι να εστιάσει σε μία συγκεκριμένη περιοχή ενδιαφέροντος. Αυτή η μέτρηση είναι βασική στον εντοπισμό των ματιών, καθώς μπορεί να παρέχει πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο προτεραιότητας ορισμένων πτυχών μιας εικόνας.

2.4.4 Χρόνος πρώτης σταθεροποίησης (Time to First Stabilization)

Ο χρόνος πρώτης σταθεροποίησης είναι το χρονικό διάστημα από την πρώτη διόρθωση σημείων έως τη σταθεροποίηση του βλέμματος σε μία περιοχή ενδιαφέροντος. Αυτή η μέτρηση χρησιμοποιείται συνδυαστικά με το χρόνο πρώτης διόρθωσης, ως μέτρο ενδιαφέροντος σε μία περιοχή. Εάν ένας συμμετέχων έχει μικρό χρόνο πρώτης διόρθωσης, δηλαδή απέσπασε γρήγορα το βλέμμα του από μία περιοχή για να επικεντρωθεί σε μία καινούρια, και μεγάλη διάρκεια πρώτης σταθεροποίησης, δηλαδή εστίασε το βλέμμα του για αρκετή ώρα στην καινούρια περιοχή ενδιαφέροντος, τότε η καινούρια περιοχή είναι μεγάλου ενδιαφέροντος.

2.4.5 Μέση διάρκεια σταθεροποίησης (Average Stabilization Duration)

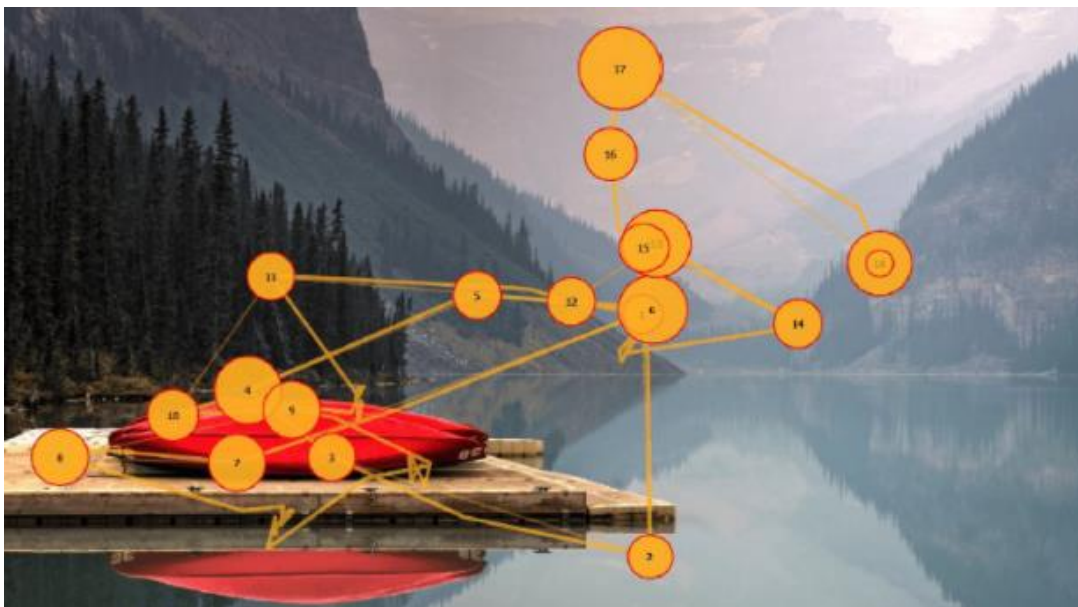
Η μέση διάρκεια σταθεροποίησης είναι ο μέσος όρος του χρόνου πρώτης σταθεροποίησης από πολλούς συμμετέχοντες στην εκάστοτε περιοχή ενδιαφέροντος. Αυτή η μέτρηση είναι χρήσιμη για ομαδοποίηση των εικόνων ανάλογα του ενδιαφέροντος ως «πολύ ενδιαφέρουσα», «μέτρια» ή «αδιάφορη».

2.4.6 Αναλογία (Ratio)

Αναλογία μίας περιοχής ενδιαφέροντος είναι το ποσοστό των συμμετεχόντων που έδειξαν περισσότερο ενδιαφέρον στην εκάστοτε περιοχή. Ο κάθε σχεδιαστής ιστοσελίδων τοποθετεί τη διαφήμιση στην περιοχή ενδιαφέροντος με τη μεγαλύτερη αναλογία, έτσι ώστε οι περισσότεροι χρήστες να βλέπουν τη διαφήμιση.

2.4.7 Αλληλουχίες διορθώσεων (Fixation sequences)

Οι αλληλουχίες διορθώσεων βασίζονται τόσο σε χωρικές όσο και σε χρονικές πληροφορίες, δηλαδή πότε και πού κοίταξε ένας συμμετέχων. Όσες περισσότερες διορθώσεις γίνονται σε μία περιοχή του οπτικού πεδίου, τόσο πιο ενδιαφέρουσα είναι αυτή η περιοχή (Σχήμα 2.18). Παρατηρείται ότι οι πρώτες διορθώσεις γίνονται σε περιοχές κοντά στο κέντρο της εικόνας, λόγω ότι ενστικτωδώς τείνει ο άνθρωπος να εστιάσει στο κέντρο του οπτικού του πεδίου. Για αυτό δεν δεχόμαστε τις πρώτες διορθώσεις ως ενδιαφέρουσες περιοχές, αντί αυτού τα υπόλοιπα στοιχεία που θα προβληθούν θα είναι τα ενδιαφέροντα σημεία, διότι ο συμμετέχων θα λειτουργεί συνειδητά.

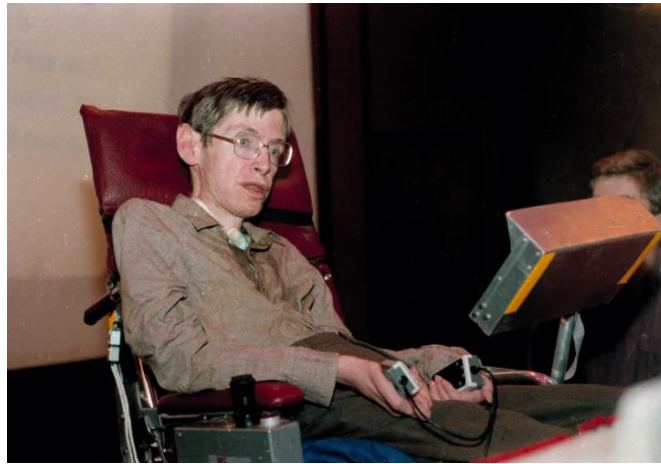


Σχήμα 2.18 : Παράδειγμα μεθόδου Περιοχών ενδιαφέροντος

2.5 Πρώτα Συστήματα Επικοινωνίας για Ασθενείς με ALS

Στην δεκαετία του 80' οι ιατροί άρχισαν να βρίσκουν μεθόδους στην αντιμετώπιση των επιμέρους συμπτωμάτων της ασθένειας ALS με κατάλληλη φαρμακευτική αγωγή, φυσικοθεραπεία, εργοθεραπεία, διατροφική υποστήριξη (συσκευές αναρρόφησης, σωλήνων σίτισης) και αναπνευστική υποστήριξη (μάσκες οξυγόνου, αναπνευστήρες, συσκευές υποβοήθησης βήχα). (Σωματείο Φροντίδας Ατόμων με Νευρομυϊκές Παθήσεις, 2019) Μία ανάγκη που δύσκολα μπορούσε να καλυφθεί ήταν η επικοινωνία. Αναπτύχθηκαν διάφορες μέθοδοι στον χώρο της λογοθεραπείας με ομαδοποιήσεις των γραμμάτων του αλφαβήτου, όμως αυτό βοηθούσε μόνο σε μονολεκτικές απαντήσεις π.χ. "μαξιλάρι", "σάλια", "ζέστη" κ.λπ. (FOX, 20)

Μία από τις πρώτες συσκευές επικοινωνίας των ασθενών με ALS, με σύνταξη προτάσεων, δημιουργήθηκε για τον γνωστό αστροφυσικό Stephen Hawking από μηχανικούς της Intel. Ο Stephen Hawking στην ζωή του είχε δύο συσκευές επικοινωνίας η κάθε μία ήταν βασισμένη στις μυϊκές ικανότητες που είχε τη εκάστοτε χρονική περίοδο. (Medeiros, 2015) Στα πρώτα χρόνια ο Stephen Hawking είχε τη δυνατότητα να σφίξει τα χέρια του σε σχήμα γροθιάς. Έτσι η Intel έφτιαξε ένα σύστημα με δύο χειριστήρια που το κάθε ένα αποτελούταν από ένα μεγάλο κουμπί. (Σχήμα 2.19). Στο κάτω μέρος της οθόνη του συστήματος υπήρχε ένα ψηφιακό πληκτρολόγιο, όπως στα smartphones, και στο πάνω μέρος της οθόνης φαινόταν το κείμενο που πληκτρολογούσε. Με το ένα χειριστήριο επέλεγε τη γραμμή και με το άλλο τη στήλη που βρισκόταν κάθε γράμμα.



Σχήμα 2.19 : Stephen Hawking 1986

Μετά από χρόνια ατροφία όλων των μυών του, εκτός από τον δεξιό ζυγωματικό μυ. Οπότε, η Intel δημιούργησε τη δεύτερη συσκευή η οποία προσαρμόζε έναν αισθητήρα κίνησης του μυ, στα γυαλιά του Stephen Hawking (Σχήμα 2.20). Έτσι με τη σύσπαση του μυ μπορούσε να επιλέξει το εκάστοτε γράμμα. Ο τρόπος λειτουργίας ήταν απλός. Το κάθε γράμμα εμφανιζόταν για λίγα δευτερόλεπτα στην οθόνη, αν συσπούσε τον μυ το γράμμα επιλεγόταν, διαφορετικά εμφανιζόταν το επόμενο γράμμα της αλφαβήτου. (Walker, 2021)

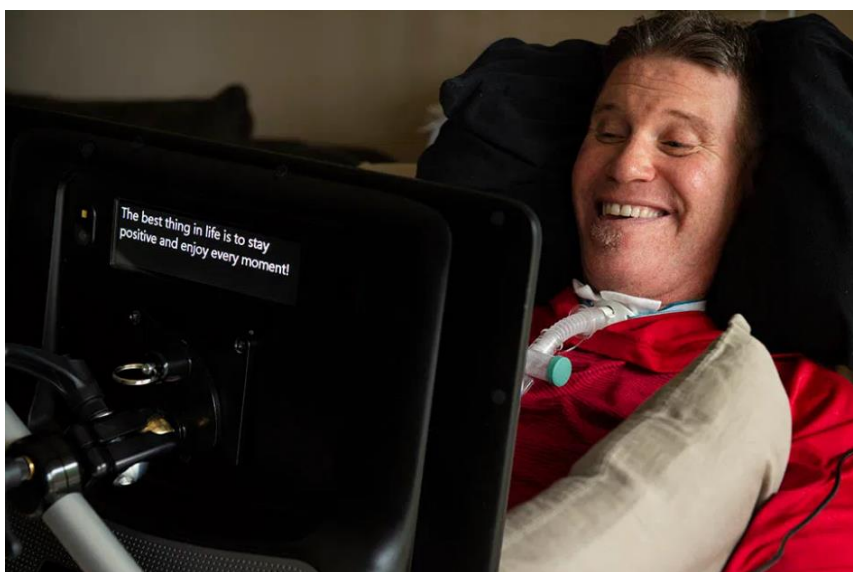


Σχήμα 2.20 : Εφαρμογή του αισθητήρα στον ζυγωματικό μυ

Παρατηρήθηκε ότι με την πορεία της ασθένειας τους, γίνεται όλο και πιο δύσκολο να βρεθούν τρόποι χειρισμού συσκευών επικοινωνίας με σύσπαση των εναπομεινάντων μυών τους. Όμως οι μόνοι μύες που δεν ατροφούν ποτέ είναι οι οφθαλμικοί, που είναι υπεύθυνοι για την κίνηση των ματιών. Αυτό ήταν το έναυσμα να αναπτυχθεί η τεχνολογία εντοπισμού ματιών για την επικοινωνία των ασθενών με ALS. Έως σήμερα η εταιρία Tobii έχει κάνει τη μεγαλύτερη πρόοδο, όπως φαίνεται στην επόμενη υποενότητα.

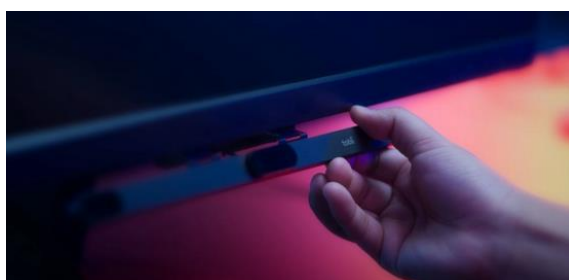
2.6 Σύγχρονα Συστήματα Εντοπισμού Ματιών για Ασθενείς με ALS

Από το 2001 μέχρι σήμερα, η εταιρία Tobii εξελίσσει την τεχνολογία εντοπισμού ματιών επιτρέποντας στους χρήστες με ειδικές ανάγκες να ελέγχουν συσκευές χρησιμοποιώντας μόνο τα μάτια τους (Leggett, 2010). Στο σύστημα του Σχήματος 2.21 (Tobii AB, 2019) ο ασθενής χειρίζεται το ποντίκι του υπολογιστή, έχοντας ως επιλογή-click την παρατεταμένη εστίαση σε ένα σημείο για δύο δευτερόλεπτα. Το πληκτρολόγιο εμφανίζεται στο κάτω μέρος της οθόνης και η επιλογή των γραμμάτων γίνεται με την παρατεταμένη εστίαση του βλέμματος σε κάθε γράμμα για δύο δευτερόλεπτα, ενώ παράλληλα εμφανίζονται προτεινόμενες λέξεις για τη συντόμευση της διαδικασίας. (Conrad, 2017)



Σχήμα 2.21 : Τρόπος λειτουργίας του σταθερού Eye Tracker Tobii

Παρακάτω παρουσιάζεται το τελευταίο προϊόν της Tobii, το Tobii Eye Tracker 5 καθώς και η εύκολη εγκατάστασή του στην οθόνη του υπολογιστή (Σχήμα 2.22) (Tobii, n.d.). Η Tobii υπόσχεται ότι με το παρόν προϊόν, πλέον οι ασθενείς με ALS θα μπορούν να παίζουν παιχνίδια στον υπολογιστή που απαιτούν γρήγορα αντανακλαστικά κάνοντας τη ζωή τους πιο ευχάριστη και δίνοντας τους τη δυνατότητα να κοινωνικοποιηθούν με άλλους χρήστες.



Σχήμα 2.22 : Tobii Eye Tracker 5

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Περιορισμοί - Παραδοχές

Στην παρούσα εργασία ο εξοπλισμός που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί είναι ανεξάντλητος, καθώς υπάρχουν πάρα πολλοί συνδυασμοί λειτουργικών και υλικών μονάδων που θα μπορούσαν να συνδυαστούν. Είναι σημαντικό σε αυτό το σημείο να τονιστεί ότι αναλόγως του εξοπλισμού που επιλέγεται, αλλάζει ο τρόπος σκέψης, οι αλγόριθμοι και η μεθοδολογία προγραμματισμού.

Επιλέχθηκε η φθηνότερη λύση που θα μπορούσε να λειτουργήσει το σύστημα αξιοπρεπώς σε πραγματικές συνθήκες. Αυτή η επιλογή κάνει την εργασία πιο ενδιαφέρουσα, καθώς ο στόχος είναι η δημιουργία ενός συστήματος από το μηδέν, δίχως εξειδικευμένο εξοπλισμό για εντοπισμό ματιών και λογισμικά. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκαν υλικά που είναι ευρέως διαθέσιμα καθώς και βιβλιοθήκες και λογισμικά ανοικτού κώδικα.

3.2 Επιλογή Λογισμικού & Γλώσσας Προγραμματισμού

Η επιλογή του λειτουργικού συστήματος Ubuntu Linux βασίστηκε στην ταχύτητα και ευελιξία του σε μεγάλο πλήθος εφαρμογών των ενσωματωμένων συστημάτων. Ο κώδικας υλοποιήθηκε στο προγραμματιστικό περιβάλλον Visual Studio σε γλώσσα προγραμματισμού Python, λόγω της συχνής της εφαρμογής σε ενσωματωμένα συστήματα. Για την αναγνώριση προσώπου χρειάστηκε το ευρέως διαδεδομένο νευρωνικό δίκτυο: shape_predictor_81_face_landmarks.dat (codeniko, 2019)

Στην υλοποίηση του κώδικα κύριο ρόλο έχουν οι εξής βιβλιοθήκες:

1. cv2, υπεύθυνη για την ψηφιακή επεξεργασία εικόνας (image processing)
2. dlib, υπεύθυνη για την προσαρμογή του νευρωνικού δικτύου με τον κώδικα
3. math, υπεύθυνη για το μαθηματικό μέρος του κώδικα
4. wiringpi, υπεύθυνη για τη σύνδεση των περιφερειακών εξαρτημάτων
5. simpleaudio, υπεύθυνη για την αναπαραγωγή ήχου

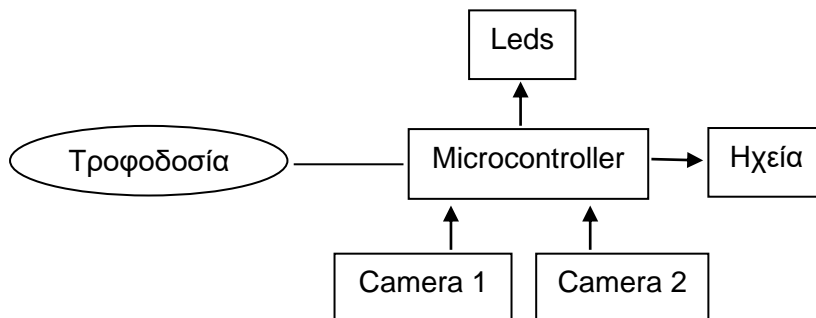
3.3 Επιλογή Εξοπλισμού

3.3.1 Απαραίτητος εξοπλισμός

Το τελικό προϊόν της παρούσας διπλωματικής αποτελείται από έναν υπολογιστή ενσωματωμένου συστήματος (Microcontroller), δύο κάμερες, έξι RGB leds, ηχεία και τα απαραίτητα καλώδια τροφοδοσίας. Για τον προγραμματισμό του συστήματος χρειάστηκαν συμβατικά περιφερειακά υπολογιστή, όπως ένα ποντίκι, ένα πληκτρολόγιο και μία οθόνη. Παρακάτω αναφέρεται μόνο ο εξοπλισμός του τελικού προϊόντος.

3.3.2 Αρχιτεκτονική Συστήματος

Στο Σχήμα 3.1 παρουσιάζεται η συνδεσμολογία του συστήματος. Τα βέλη των καμερών που έχουν φορά προς τον υπολογιστή ενσωματωμένου συστήματος δηλώνουν ότι οι κάμερες είναι συσκευές εισόδου πληροφορίας. Αντίστοιχα η φορά των βελών των λαμπτήρων led και των ηχείων δηλώνουν ότι είναι συσκευές εξόδου. Τέλος, φαίνεται η σύνδεση της τροφοδοσίας.

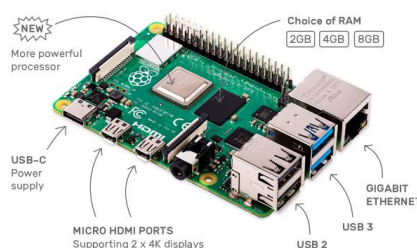


Σχήμα 3.1 : Συνδεσμολογία συστήματος

3.3.3 Raspberry Pi 4

Το Raspberry Pi 4 Model B (Σχήμα 3.2) είναι το τελευταίο προϊόν της δημοφιλούς σειράς υπολογιστών Raspberry Pi. Με τα εξής χαρακτηριστικά:

Επεξεργαστής	Broadcom BCM2711, quad-core Cortex-A72 64-bit SoC @ 1.5GHz
Μνήμη	8GB
Συνδεσιμότητα	BLE Gigabit Ethernet 2 × USB 3.0 ports 2 × USB 2.0 ports
GPIO	Standard 40-pin GPIO header
Video & Sound	2 × micro HDMI ports (up to 4Kp60) 2-lane MIPI DSI display port 2-lane MIPI CSI stereo audio
Multimedia	H.265 (4Kp60 decode); H.264 (1080p60 decode, 1080p30 encode); OpenGL ES
SD Card	Micro SD card slot for loading operating system and data storage
Input Power	5V DC via USB-C connector 5V DC via GPIO Power



Σχήμα 3.2 : Raspberry Pi 4 Model B

3.3.4 Cameras

Χρησιμοποιήθηκαν δύο κάμερες Turbo-X W21 τις οποίες με κατάλληλες τροποποιήσεις μπορούν να λειτουργούν και ως κάμερες νυκτός με τα εξής χαρακτηριστικά:

Ανάλυση Φωτογραφίας	2.0 megapixels
Ανάλυση Video	1920 x 1080 pixels



Σχήμα 3.3 : Camera Turbo-X W21

3.3.5 Ηχεία

Χρησιμοποιήθηκαν τα ηχεία 2.0 Turbo-X M 200.

Συνολική ισχύς	6 Watt
Απόκριση	100 Hz - 20 kHz



Σχήμα 3.4 : Ηχεία 2.0 Turbo-X M 200

3.3.6 RGB Leds & Breadboard

Χρησιμοποιούνται RGB Leds των 5 Volt (Σχήμα 3.5) , δηλαδή led που έχουν τα εξής χρώματα: κόκκινο, πράσινο και μπλε. Για να συνδεθούν τα led με τον υπολογιστή Raspberry χρειάστηκε μία ειδική πλακέτα (Σχήμα 3.5) που θα είναι ο μεσάζοντας των leds με τα pins του υπολογιστή Raspberry.

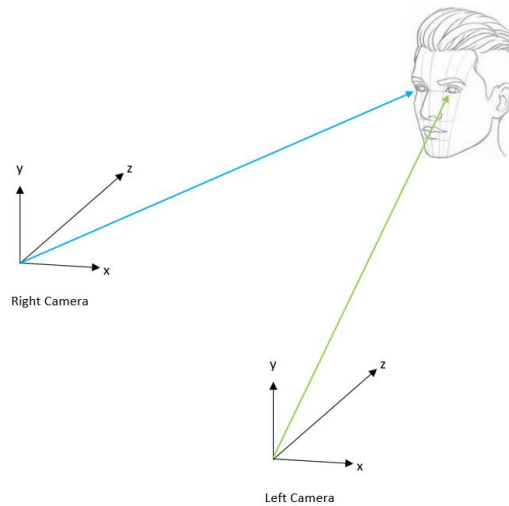


Σχήμα 3.5 : RGB Leds και πλακέτα Raspberry

3.4 Συναρτήσεις Αλγορίθμου

3.4.1 Συνάρτηση Ιδανικής Θέσεως της Κόρης (ideal)

Όπως παρουσιάστηκε στο Σχήμα 3.1 η συσκευή αποτελείται από δύο οπτικούς αισθητήρες, όπου ο καθένας εστιάζει στο αντίστοιχο μάτι. (Σχήμα 3.6)



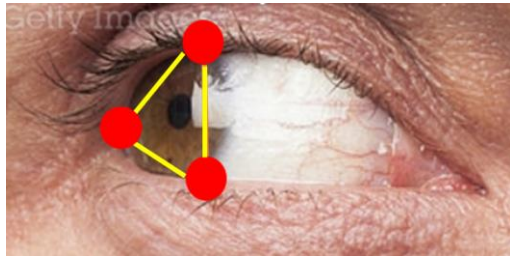
Σχήμα 3.6 : Θέσεις οπτικών αισθητήρων ως προς το πρόσωπο

Με τη χρήση του νευρωνικού δικτύου γίνεται ο ορισμός του προσώπου σε ογδόντα ένα σημεία (face landmarks) (Σχήμα 3.6). Από αυτά τα σημεία διαχωρίζονται τα σημεία του δεξιού ματιού [37, 38, 39, 40, 41, 42] και του αριστερού ματιού [43, 44, 45, 46, 47, 48]. Το κάθε σημείο ορίζεται στον χώρο με καρτεσιανές συντεταγμένες πχ (39.x , 39.y)

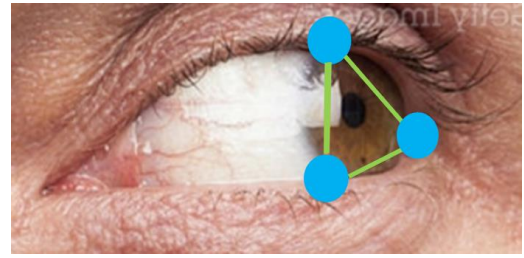


Σχήμα 3.7 : Σημεία προσώπου

Για το δεξί μάτι έχει οριστεί ως ιδανική θέση, η περιοχή ενδιαφέροντος που εστιάζει το βλέμμα στον δεξιό οπτικό αισθητήρα. Στον κώδικα η ιδανική θέση του δεξιού ματιού ορίζεται ως η μη ύπαρξη του λευκού χρώματος στην περιοχή που προκύπτει από την ένωση των σημείων [37, 38, 42] (Σχήμα 3.8.α) . Αντίστοιχα η ιδανική θέση του αριστερού ματιού ορίζεται η περιοχή από την ένωση των σημείων [45, 46, 47] (Σχήμα 3.8.β) .



Σχήμα 3.8.α : Ιδανική θέση δεξιού ματιού



Σχήμα 3.8.β : Ιδανική θέση αριστερού ματιού

Ως εκ τούτου ορίστηκε ο δείκτης λεύκανσης, δηλαδή το ποσοστό λευκού χρώματος στην περιοχή που ορίστηκε για το εκάστοτε μάτι. Όσο πλησιάζει το μάτι την ιδανική θέση τόσο ο δείκτης λεύκανσης τείνει στο μηδέν.

$$\text{Δείκτης Λεύκανσης} < \text{ανώφλι} \rightarrow \text{Ιδανική Θέση}$$

3.4.2 Συνάρτηση Εστίασης βλέμματος στην Ιδανική Θέση (gaze)

Είναι η συνέχεια της συνάρτησης ideal. Η διαφορά είναι στον δείκτη υπολογισμού πλήθους τον καρέ τη στιγμή που το εκάστοτε μάτι εστιάζει στην ιδανική θέση. Οι κάμερες λαμβάνουν βίντεο με 30 frames/sec, άρα τα 5 δευτερόλεπτα μεταφράζονται σε 150 καρέ.

3.4.3 Συνάρτηση Αναγνώριση Ανοιγοκλεισίμου Βλεφάρων (blink)

Η συνάρτηση υπολογίζει το πλήθος των φορών που ανοιγοκλείνει ο ασθενής τα μάτια του. Η κύρια λειτουργία της παρούσας συνάρτησης είναι να αντιλαμβάνεται αν το μάτι είναι ανοιχτό ή κλειστό. Αρχικά, ορίστηκαν οριακές τιμές για τα μήκη των άνω με των κάτω σφιγκτήρων μυών των βλεφάρων, όμως αυτός ο τρόπος είναι λειτουργικός μόνο για μοναδική απόσταση των ματιών από τους οπτικούς αισθητήρες.

Η παρούσα συσκευή καλείται να είναι προσαρμόσιμη σε ένα εύρος αποστάσεων των ματιών από τους οπτικούς αισθητήρες. Για αυτόν τον λόγο ο προσδιορισμός του ανοιχτού με του κλειστού ματιού θα προκύπτει από τις αναλογίες του ματιού. Έτσι δημιουργήθηκε ο δείκτης ανοιγοκλεισίματος που ορίζεται ως ο λόγος του ευκλείδειου μήκους σφιγκτήρων μυών των βλεφάρων προς το ευκλείδειο μήκος του οριζόντιου μήκους του ματιού, καθώς το μήκος της οριζόντιας ευθείας μένει σταθερό, ενώ το μήκος της κάθετης ευθείας μεταβάλλεται.

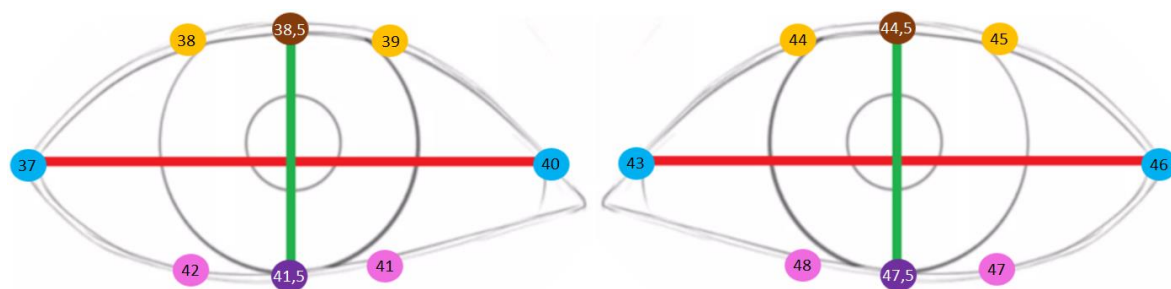
$$\text{Ευκλείδειο Μήκος} = \sqrt{(A.x - B.x)^2 + (A.y - B.y)^2} \quad A, B: \text{σημεία ματιού}$$

$$\text{Δείκτης Ανοιγοκλεισίματος} = \frac{\text{Μήκος Οριζόντιας Ευθείας}}{\text{Μήκος Κάθετης Ευθείας}} > \text{κατώφλι} \rightarrow \text{κλειστό μάτι}$$



Σχήμα 3.9 : Διαφορές Ανοιχτού με Κλειστού ματιού

Για το δεξί μάτι το μήκος της οριζόντιας ευθείας (Σχήμα 3.10 κόκκινη ευθεία) ορίζεται από τα σημεία [37, 40]. Ενώ για την κάθετη απόσταση χρειάστηκε να οριστούν δύο νέα σημεία, το 38.5 και το 41.5. Το πρώτο νέο σημείο είναι το 38.5, προκύπτει από τον μέσο όρο των καρτεσιανών συντεταγμένων των σημείων 38 και 39, αντίστοιχα ορίζεται το νέο σημείο 41.5 από τα σημεία 41 και 42. Αντίστοιχα στο αριστερό μάτι το οριζόντιο μήκος προκύπτει από την ένωση των σημείων [43, 46] και για την κάθετη ευθεία τα νέα σημεία είναι 44.5 και 47.5.



Σχήμα 3.10 : Περιγραφή Ανοιγοκλεισίματος Ματιού

3.4.4 Συνάρτηση Λαμπτήρων Led (led)

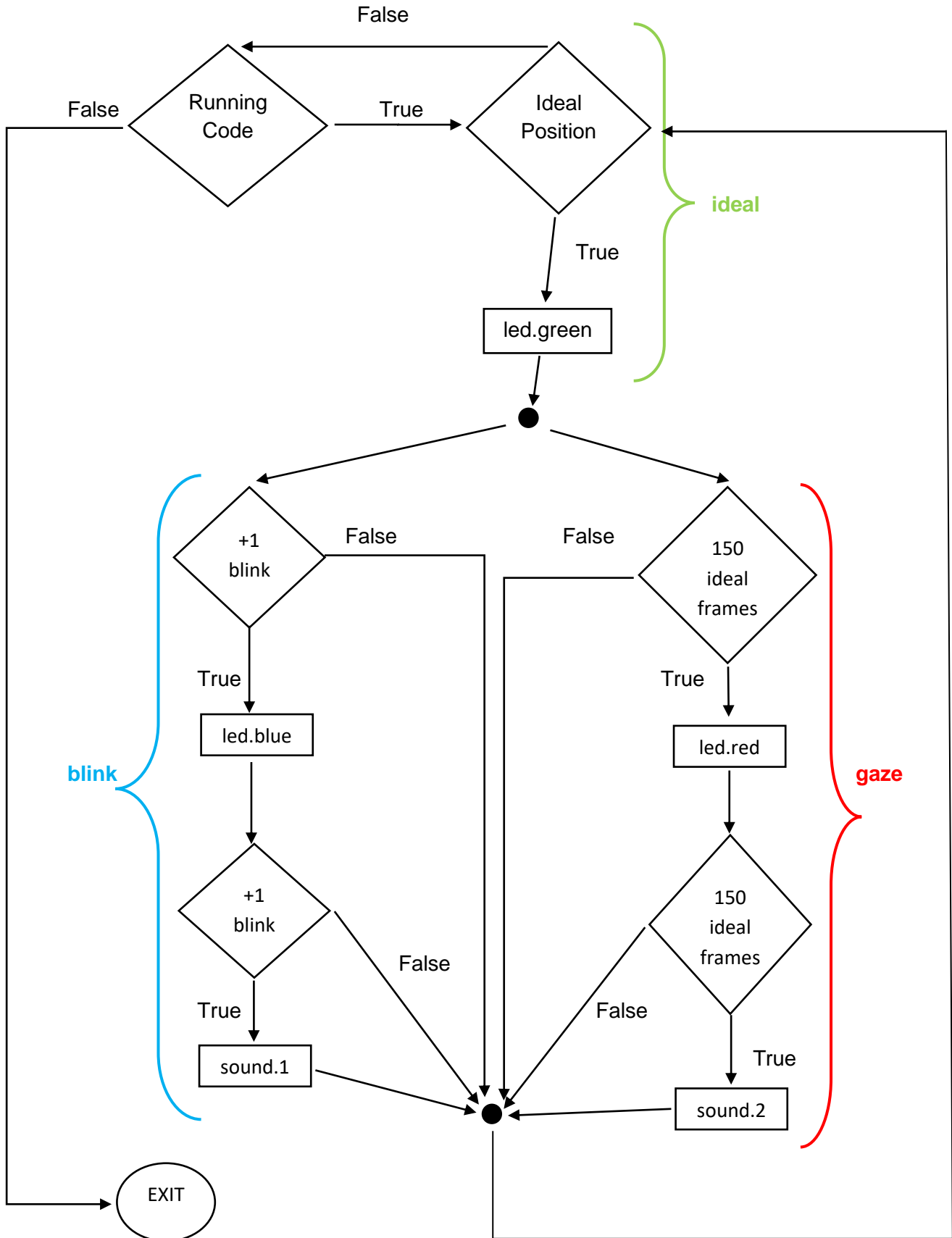
Είναι υπεύθυνη για την ενεργοποίηση των προειδοποιητικών led για το εκάστοτε επερχόμενο ηχητικό μήνυμα, με τις εξής δύο λειτουργίες. Με την πρώτη παραμένει ανοιχτό το πράσινο led όσο ισχύει η συνθήκη της ιδανικής θέσης, ενώ με τη δεύτερη αναβοσβήσει το εκάστοτε προειδοποιητικό led (μπλε ή κόκκινο).

3.4.5 Συνάρτηση Ηχητικών Μηνυμάτων (sound)

Είναι υπεύθυνη για την αναπαραγωγή των δύο ηχητικών μηνυμάτων με τη χρήση των ηχείων, ανάλογα τον τρόπο ειδοποίησης που επιθυμεί ο ασθενής.

3.5 Δομή Αλγορίθμου

3.5.1 Διάγραμμα Ροής (Flowchart)



3.5.2 Ερμηνεία Διαγράμματος Ροής

Αφού αρχίσει να λειτουργεί το πρόγραμμα, ο αλγόριθμος εξετάζει αν τα μάτια του ασθενούς κοιτούν μία από τις δύο κάμερες (συνάρτηση ideal). Όσο ο ασθενής κοιτάει μία από τις δύο κάμερες τόσο μένει αναμμένο το πράσινο led που βρίσκεται δίπλα στον φακό της κάμερας, ώστε να ξέρει ο ασθενής ότι βρίσκεται στην ιδανική θέση.

Ανάλογα την ανάγκη του ασθενούς υπάρχουν οι δύο τρόποι ειδοποίησης για όσο βρίσκεται στην ιδανική θέση. Πρώτος τρόπος είναι με τη συνάρτηση blink, αν ανοιγοκλείσει ο ασθενής μία φορά τα μάτια του, τότε ανάβει για μισό δευτερόλεπτο το μπλε led, ώστε να προειδοποιηθεί ο ασθενής για την επερχόμενη ειδοποίηση είτε να ανοιγοκλείσει για δεύτερη φορά τα μάτια του και να ακουστεί το πρώτο ηχητικό μήνυμα, ή για να πάρει το βλέμμα του και να αποφευχθεί κάποιο σφάλμα. Τέλος, ο αλγόριθμος επιστρέφει στην συνάρτηση ideal για την εύρεση της ιδανικής θέσης και επαναλαμβάνεται ο βρόγχος, όσο είναι αναμμένη η συσκευή.

Δεύτερος τρόπος ειδοποίησης γίνεται με τη συνάρτηση gaze, αν ο ασθενής βρίσκεται στην ιδανική θέση για πέντε δευτερόλεπτα, τότε ανάβει το προειδοποιητικό κόκκινο led, ώστε να προειδοποιηθεί ο ασθενής για την επερχόμενη ειδοποίηση είτε να συνεχίσει να κοιτάει για επιπλέον πέντε δευτερόλεπτα για να ακουστεί το δεύτερο ηχητικό μήνυμα, ή για να πάρει το βλέμμα του και να αποφευχθεί κάποιο σφάλμα. Τέλος, ο αλγόριθμος επιστρέφει στην συνάρτηση ideal για την εύρεση της ιδανικής θέσης και επαναλαμβάνεται ο βρόγχος, όσο είναι αναμμένη η συσκευή.

Έχουν οριστεί δύο ηχητικά μηνύματα, ώστε ο ασθενής να επιλέξει τρόπο ειδοποίησης ανάλογα την ανάγκη του. Στη παρούσα περίπτωση κρίθηκε ιδανικό το πρώτο ηχητικό μήνυμα να είναι μία τεχνητή φωνή (Stefanos Microsoft) που αναφωνεί "βοήθεια παρακαλώ" και το δεύτερο μήνυμα να είναι συναγερμός μεγάλης έντασης.

4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ

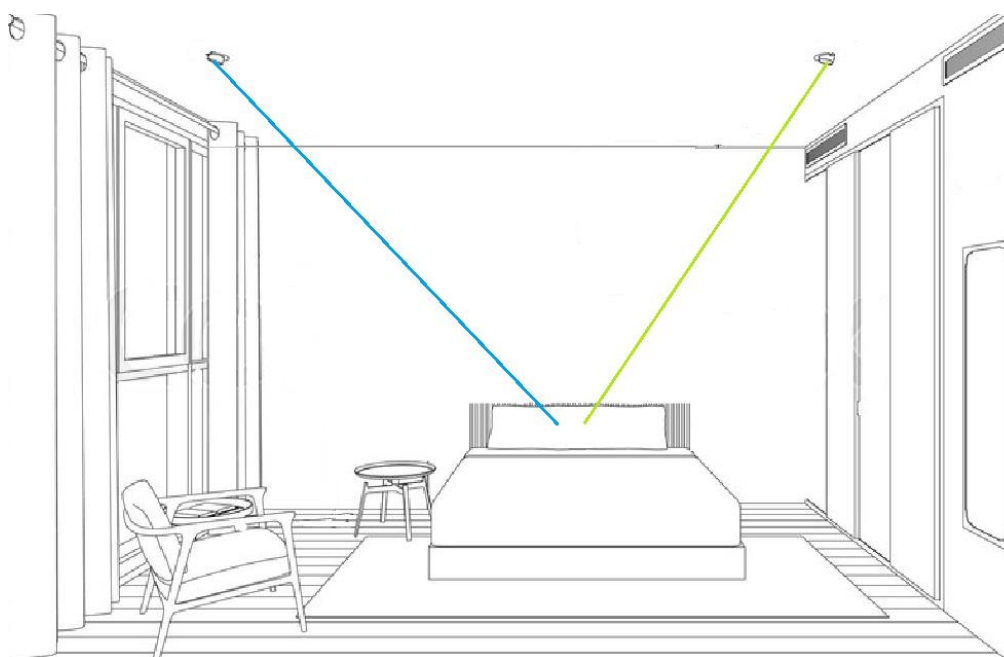
4.1 Περιγραφή Πειραμάτων

4.1.1 Εισαγωγή δεδομένων

Η επίτευξη των πειραμάτων έγινε στον χώρο του εργαστηρίου. Ορίστηκαν οι εξής τρεις βασικές θέσεις του ασθενούς:

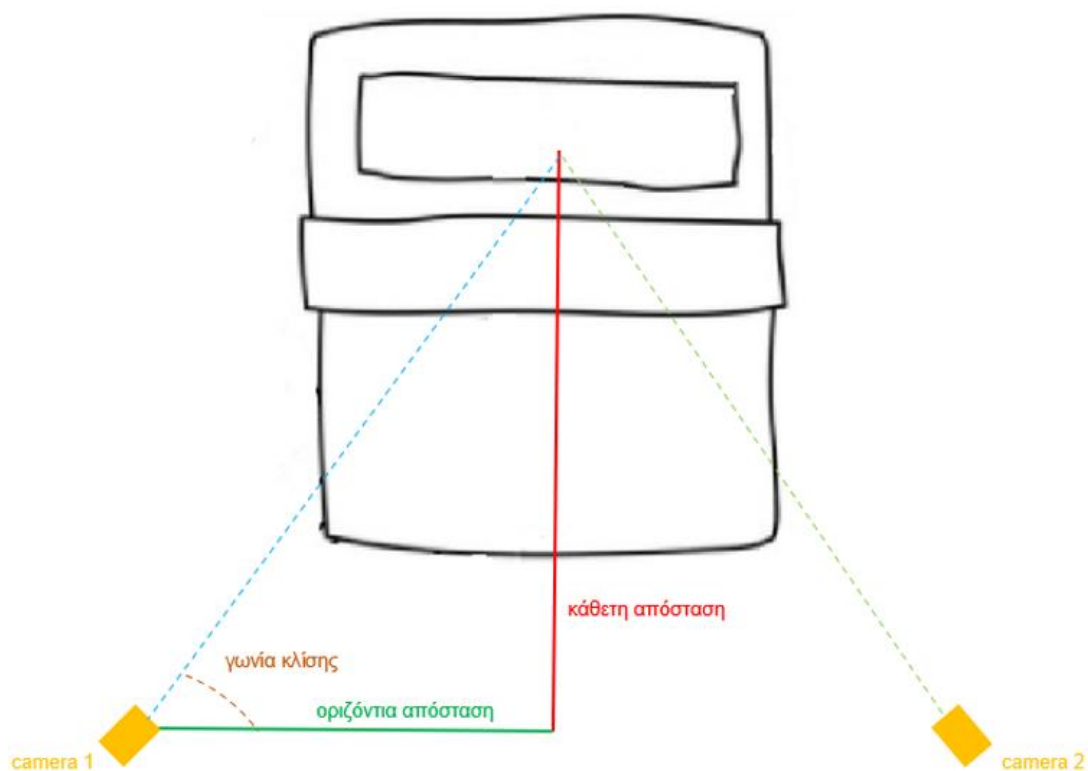
1. Καθήμενη
2. Ύπτια
3. Πλάγια

Στην φροντίδα των ασθενών με ALS αποφεύγεται η επικλινής θέση, διότι επιβαρύνει τον κόκκυγα, για αυτόν τον λόγο δεν συμπεριλήφθηκε. Στην πρόσοψη του δωματίου (Σχήμα 4.1) φαίνεται η τοποθέτηση των δύο οπτικών αισθητήρων στο ταβάνι καθώς και ο προσανατολισμός των οπτικών αισθητήρων (Σχήμα 4.1 χρωματιστές ευθείες) στο πεδίο του ασθενούς για κάθε θέση σώματος.



Σχήμα 4.1 : Πρόσοψη δωματίου με τοποθετημένους τους δύο οπτικούς αισθητήρες

Λόγω των δυνατοτήτων εστίασης των οπτικών αισθητήρων ορίστηκαν πέντε τιμές για την κάθετη απόσταση 1m, 1.5m, 2m, 2.5m και 3m (Σχήμα 4.2 κόκκινη ευθεία) και τρεις τιμές για τη γωνία κλίσης του κάθε οπτικού αισθητήρα ως προς το πρόσωπο του ασθενούς 45°, 60° και 75° (Σχήμα 4.2 καφέ γωνία).



Σχήμα 4.2 : Κάτοψη δωματίου με τοποθετημένους τους δύο οπτικούς αισθητήρες

Με τη χρήση του ορισμού της εφαπτομένης υπολογίστηκαν οι οριζόντιες αποστάσεις (Σχήμα 4.2 πράσινη ευθεία) για κάθε συνδυασμό κάθετης απόστασης με την αντίστοιχη γωνία κλίσης στον Πίνακα 1.

α\α	45°	60°	75°
1 m	1	0.58	0.27
1.5 m	1.5	0.87	0.40
2 m	2	1.15	0.54
2.5 m	2.5	1.44	0.67
3 m	3	1.73	0.80

Πίνακας 1 : Οριζόντιες αποστάσεις

4.1.2 Εξαγωγή Αποτελεσμάτων & Κριτήρια Σύγκρισης

Σε κάθε πείραμα εξάγεται μία τιμή για τον δείκτη λεύκανσης και μία τιμή για τον δείκτη ανοιγοκλείματος, οι οποίες προέκυψαν από τον μέσο όρο δέκα δοκιμών, πέντε δοκιμές για τη δεξιά κάμερα και πέντε για την αριστερή. Η βέλτιστη επιλογή θα έχει ως χαρακτηριστικό να αναγνωρίζει πότε ο ασθενής κοιτάει κάποιον οπτικό αισθητήρα και πότε έχει ανοιχτό ή κλειστό το μάτι.

Παρακάτω δημιουργήθηκαν πίνακες όπου ο καθένας έχει έξι στήλες. Οι πρώτες δύο στήλες αναφέρονται στις αποστάσεις τοποθέτησης του ασθενούς. Η τρίτη στήλη αναφέρεται σε δοκιμές έχοντας το βλέμμα εστιασμένο στη εκάστοτε κάμερα. Η τέταρτη στήλη αναφέρεται σε δοκιμές με το βλέμμα να εστιάζει εκτός της ιδανικής θέσης, ανάλογα τη θέση το βλέμμα θα εστιάζει είτε ευθεία στον τοίχο ή στο ταβάνι ανάλογα τη θέση του ασθενούς. Η πέμπτη και η έκτη στήλη αναφέρονται σε δοκιμές με το βλέμμα να εστιάζει στην εκάστοτε κάμερα έχοντας το μάτι κλειστό και ανοιχτό αντίστοιχα.

Οι διαστάσεις του ματιού του συμμετέχοντος έχει οριζόντιο μήκος 4 cm. Όταν είναι ανοιχτό το μάτι έχει κάθετο μήκος 2.5 cm, άρα έχει δείκτη ανοιγοκλείματος 1.6, ενώ όταν είναι κλειστό το μάτι έχει κάθετο μήκος 1.3 cm, άρα έχει δείκτη ανοιγοκλείματος 3.08 .

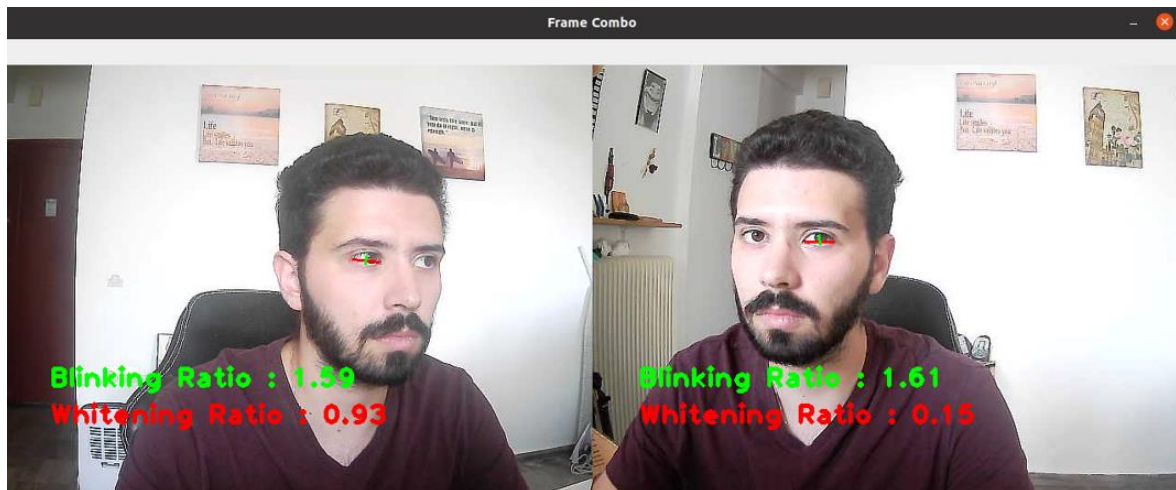
Παρακάτω φαίνονται πέντε παραδείγματα συλλογής δεδομένων σε μη ορισμένη θέση. Σε κάθε δοκιμή φαίνεται μία τιμή του δείκτη ανοιγοκλείματος (Blinking Ratio) και μία τιμή του δείκτη λεύκανσης (Whitening Ratio). Το οπτικό πεδίο της αριστερής κάμερας απεικονίζεται στην αριστερή εικόνα του εκάστοτε σχήματος, αντίστοιχα το οπτικό πεδίο της δεξιάς κάμερας απεικονίζεται στην δεξιά εικόνα του αντίστοιχου σχήματος.

Στο πρώτο παράδειγμα το βλέμμα δεν εστιάζει σε καμία κάμερα. (Σχήμα 4.3)



Σχήμα 4.3 : 1^ο Παράδειγμα δοκιμής

Στο δεύτερο παράδειγμα το βλέμμα εστιάζει στην αριστερή κάμερα. (Σχήμα 4.4)



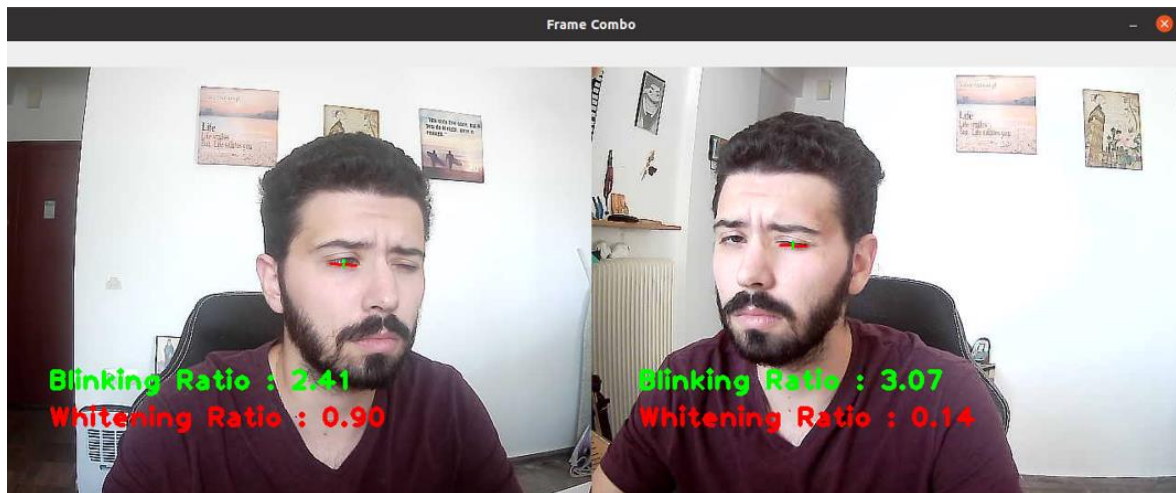
Σχήμα 4.4 : 2^ο Παράδειγμα δοκιμής

Στο τρίτο παράδειγμα το βλέμμα εστιάζει στην δεξιά κάμερα. (Σχήμα 4.5)



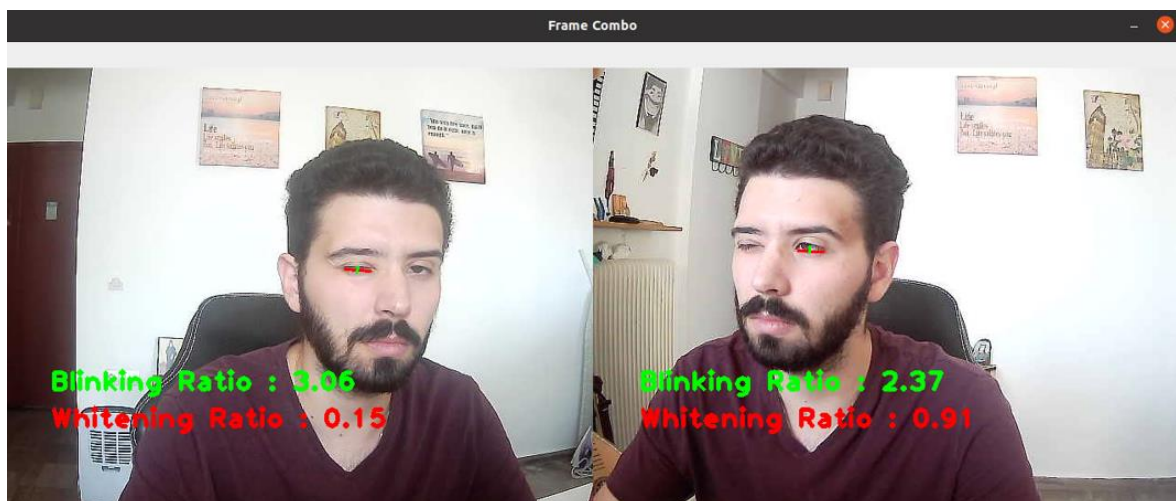
Σχήμα 4.5 : 3^ο Παράδειγμα δοκιμής

Στο τέταρτο παράδειγμα το βλέμμα εστιάζει στην αριστερή κάμερα και στιγμιαία ο συμμετέχων ανοιγοκλείνει το αριστερό του μάτι. (Σχήμα 4.6)



Σχήμα 4.6 : 4^ο Παράδειγμα δοκιμής

Στο πέμπτο παράδειγμα το βλέμμα εστιάζει στην δεξιά κάμερα και στιγμιαία ο συμμετέχων ανοιγοκλείνει το δεξί του μάτι. (Σχήμα 4.7)



Σχήμα 4.7 : 5^ο Παράδειγμα δοκιμής

4.2 Καθήμενη Θέση

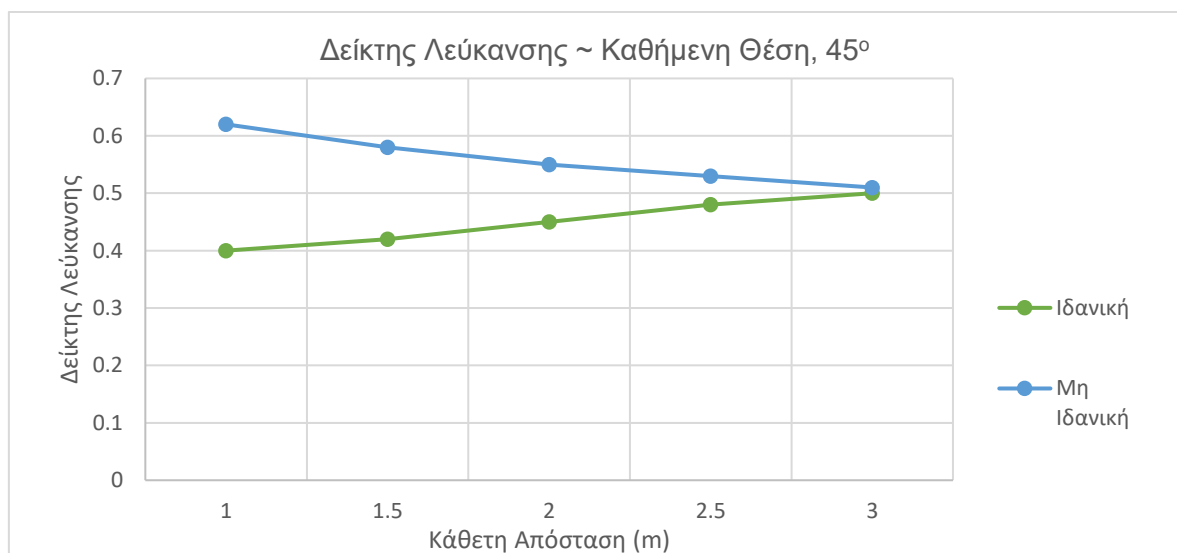
4.2.1 Περιγραφή

Σε αυτή τη θέση ο ασθενής βρίσκεται για τη μεγαλύτερη διάρκεια της ημέρας. Η σπονδυλική στήλη του ασθενούς βρίσκεται κάθετα στο κρεβάτι και το βλέμμα του είναι παράλληλο με το κρεβάτι, κοιτάζοντας ευθεία.

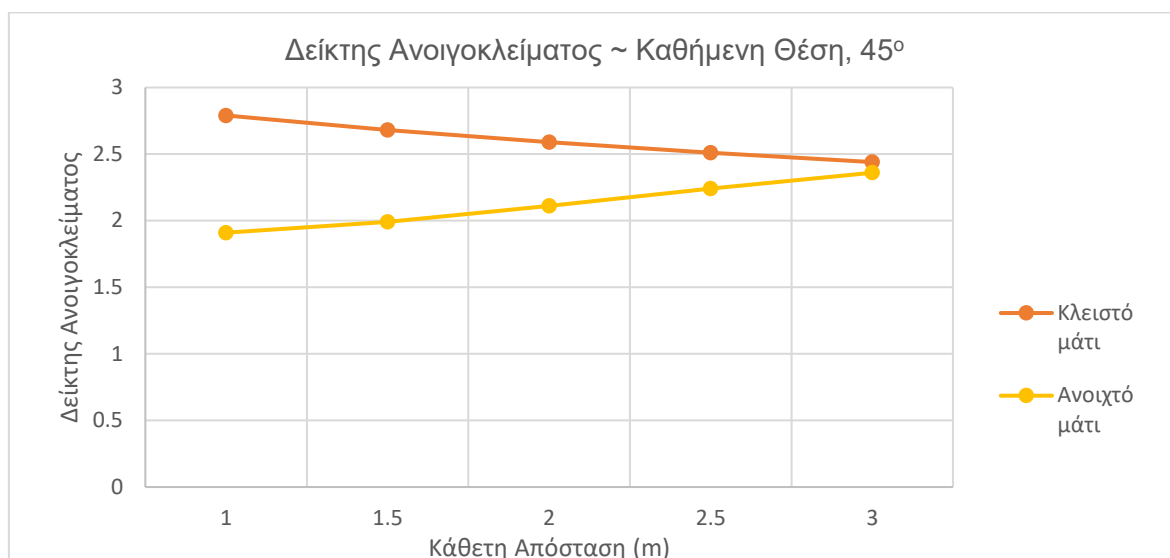
4.2.2 Συλλογή αποτελεσμάτων με γωνία κλίσης 45°

Κάθετη Απόσταση (m)	Οριζόντια Απόσταση (m)	Δείκτης Λεύκανσης – Ιδανική	Δείκτης Λεύκανσης – Μη Ιδανική	Δείκτης Ανοιγοκλείματος – Κλειστό	Δείκτης Ανοιγοκλείματος – Ανοιχτό
1	1	0.4	0.62	2.79	1.91
1.5	1.5	0.42	0.58	2.68	1.99
2	2	0.45	0.55	2.59	2.11
2.5	2.5	0.48	0.53	2.51	2.24
3	3	0.5	0.51	2.44	2.36

Πίνακας 2 : Καθήμενη θέση με γωνία κλίσης 45°



Σχήμα 4.8 : Γράφημα Δείκτης Λεύκανσης, 45°, Καθήμενη Θέση



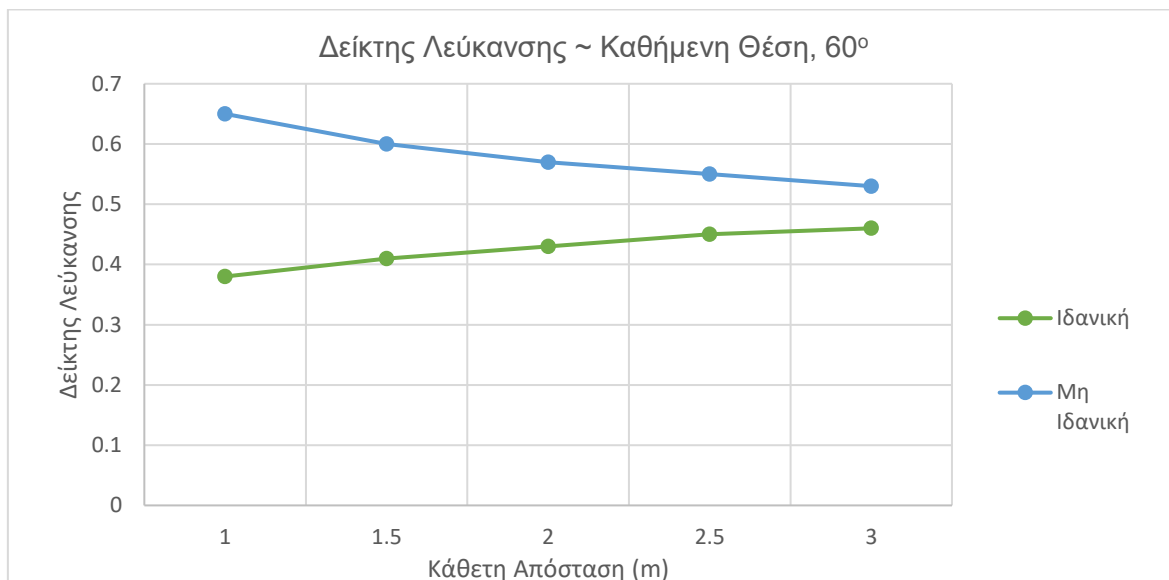
Σχήμα 4.9 : Γράφημα Δείκτης Ανοιγοκλείματος, 45°, Καθήμενη Θέση

Η παρούσα δοκιμή δεν είναι αποδεκτή, διότι όπως φαίνεται στο [Σχήμα 4.8](#) και στο [Σχήμα 4.9](#), η κάθετη απόσταση όταν γίνεται μεγαλύτερη των 2 μέτρων, οι τιμές των δεικτών συγχέονται. Ως φυσικό νόημα αυτής της παρατήρησης ορίζεται ότι το σύστημα δεν μπορεί να ξεχωρίσει αν το βλέμμα εστιάζει στην ιδανική θέση ή όχι καθώς και δεν μπορεί να αναγνωρίσει αν το μάτι είναι κλειστό ή ανοιχτό.

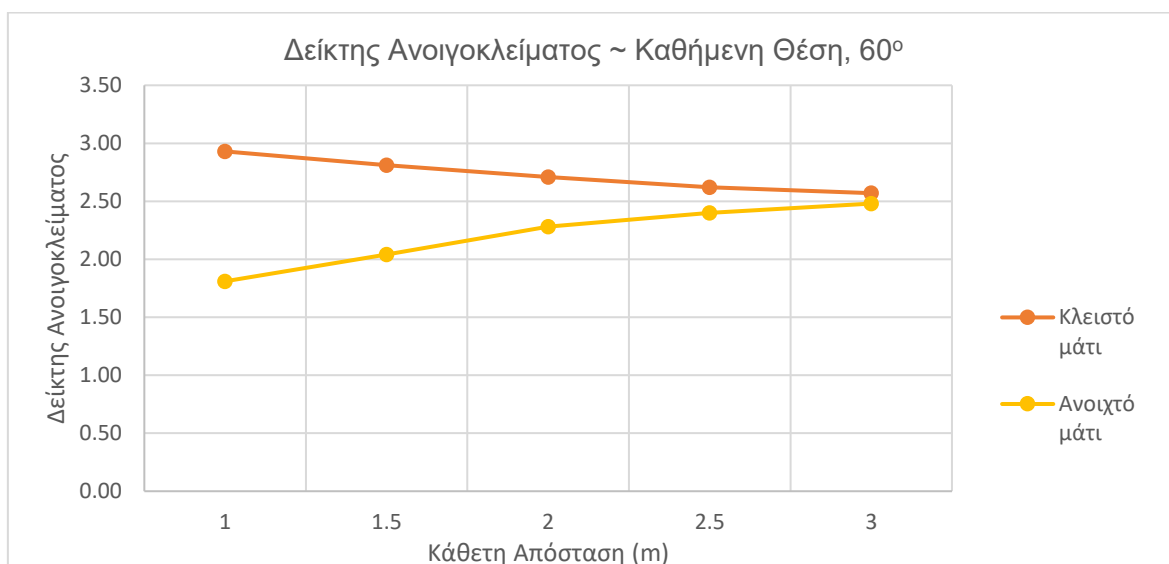
4.2.3 Συλλογή αποτελεσμάτων με γωνία κλίσης 60°

Κάθετη Απόσταση (m)	Οριζόντια Απόσταση (m)	Δείκτης Λεύκανσης – Ιδανική	Δείκτης Λεύκανσης – Μη Ιδανική	Δείκτης Ανοιγοκλείματος – Κλειστό	Δείκτης Ανοιγοκλείματος – Ανοιχτό
1	0.58	0.38	0.65	2.93	1.81
1.5	0.87	0.41	0.6	2.81	2.04
2	1.15	0.43	0.57	2.71	2.28
2.5	1.44	0.45	0.55	2.62	2.4
3	1.73	0.46	0.53	2.57	2.48

Πίνακας 3 : Καθήμενη θέση με γωνία κλίσης 60°



Σχήμα 4.10 : Γράφημα Δείκτης Λεύκανσης, 60°, Καθήμενη Θέση



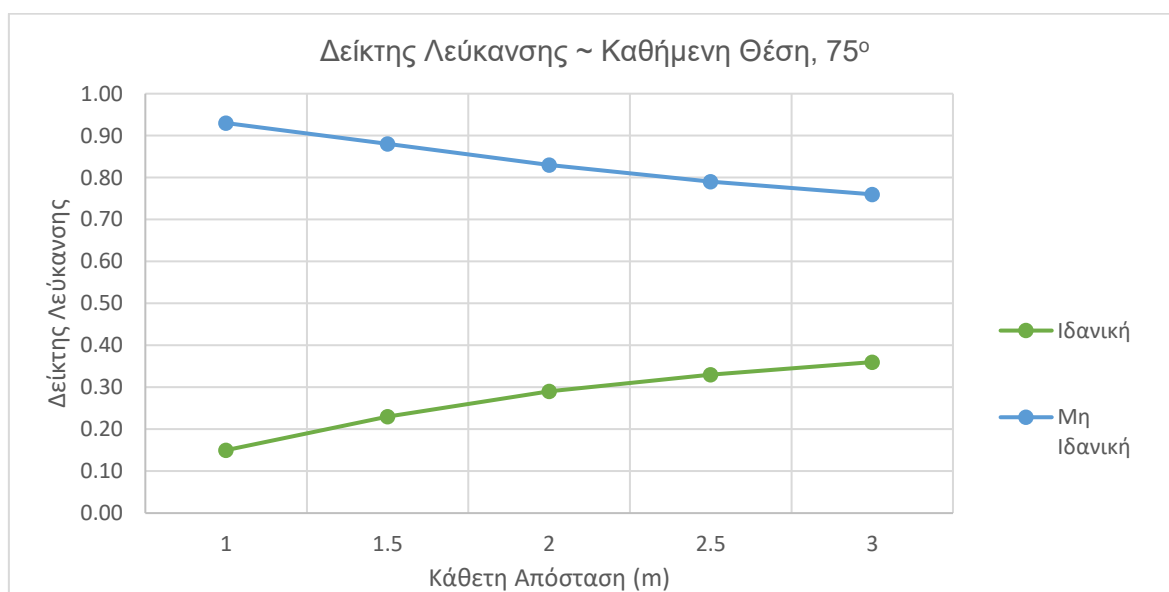
Σχήμα 4.11 : Γράφημα Δείκτης Ανοιγοκλείματος, 60°, Καθήμενη Θέση

Σε αυτή τη δοκιμή φαίνεται η βελτίωση στα γραφήματα (Σχήμα 4.5 και 4.6) ωστόσο και αυτή είναι μη αποδεκτή, διότι οι δύο γραφικές παραστάσεις έχουν πολύ κοντινές τιμές και εφάπτονται μετά τα 2.5 μέτρα.

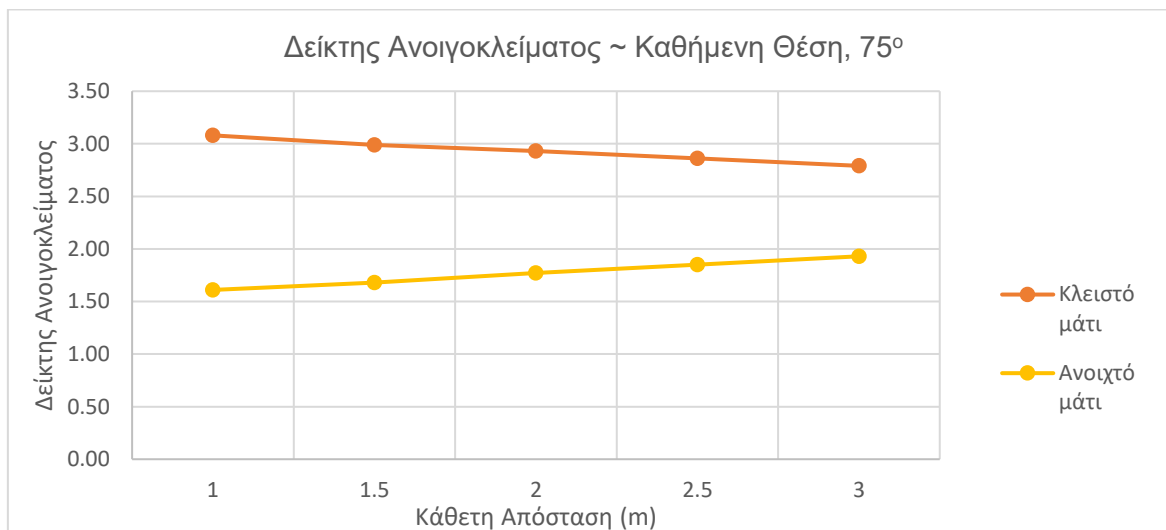
4.2.4 Συλλογή αποτελεσμάτων με γωνία κλίσης 75°

Κάθετη Απόσταση (m)	Οριζόντια Απόσταση (m)	Δείκτης Λεύκανσης – Ιδανική	Δείκτης Λεύκανσης – Μη Ιδανική	Δείκτης Ανοιγοκλείματος – Κλειστό	Δείκτης Ανοιγοκλείματος – Ανοιχτό
1	0.27	0.15	0.93	3.08	1.61
1.5	0.40	0.23	0.88	2.99	1.68
2	0.54	0.29	0.83	2.93	1.77
2.5	0.67	0.33	0.79	2.86	1.85
3	0.80	0.36	0.76	2.79	1.93

Πίνακας 4 : Καθήμενη θέση με γωνία κλίσης 75°



Σχήμα 4.12 : Γράφημα Δείκτης Λεύκανσης, 75°, Καθήμενη Θέση



Σχήμα 4.13: Γράφημα Δείκτης Ανοιγοκλείματος, 75°, Καθήμενη Θέση

Για την καθήμενη θέση είναι η μοναδική αποδεκτή δοκιμή, καθώς δεν εφάπτονται σε κανένα σημείο οι δύο γραφικές παραστάσεις (Σχήμα 4.12 και 4.13) παρά τη μεγάλη κάθετη απόσταση των ματιών από τους οπτικούς αισθητήρες. Σε κάθε γράφημα οι αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις έχουν μεγάλη απόσταση μεταξύ τους, ως αποτέλεσμα είναι εφικτό να οριστεί ένα κατώφλι για τον δείκτη ανοιγοκλείματος μεταξύ των τιμών [2 , 2.7] και ένα ανώφλι μεταξύ των τιμών [0.4 , 0.7] για τον δείκτη λεύκανσης.

4.3 Ύπτια Θέση

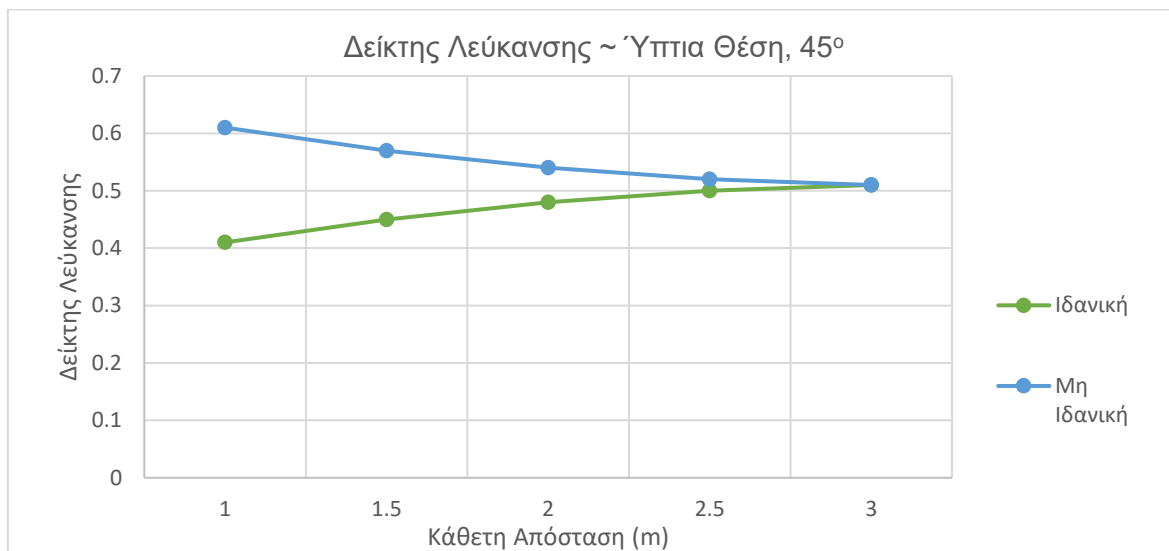
4.3.1 Περιγραφή

Στην ύπτια θέση το βλέμμα είναι στραμμένο προς το ταβάνι. Ο ασθενής βρίσκεται σε ύπτια θέση αρκετές φορές την ημέρα κυρίως την ώρα των θεραπειών και του ύπνου.

4.3.2 Συλλογή αποτελεσμάτων με γωνία κλίσης 45°

Κάθετη Απόσταση (m)	Οριζόντια Απόσταση (m)	Δείκτης Λεύκανσης – Ιδανική	Δείκτης Λεύκανσης – Μη Ιδανική	Δείκτης Ανοιγοκλείματος – Κλειστό	Δείκτης Ανοιγοκλείματος – Ανοιχτό
1	1	0.41	0.61	2.67	1.92
1.5	1.5	0.45	0.57	2.54	2.09
2	2	0.48	0.54	2.42	2.26
2.5	2.5	0.5	0.52	2.38	2.31
3	3	0.51	0.51	2.35	2.33

Πίνακας 5 : Ύπτια θέση με γωνία κλίσης 45°



Σχήμα 4.14 : Γράφημα Δείκτης Λεύκανσης, 45°, Ύψια Θέση



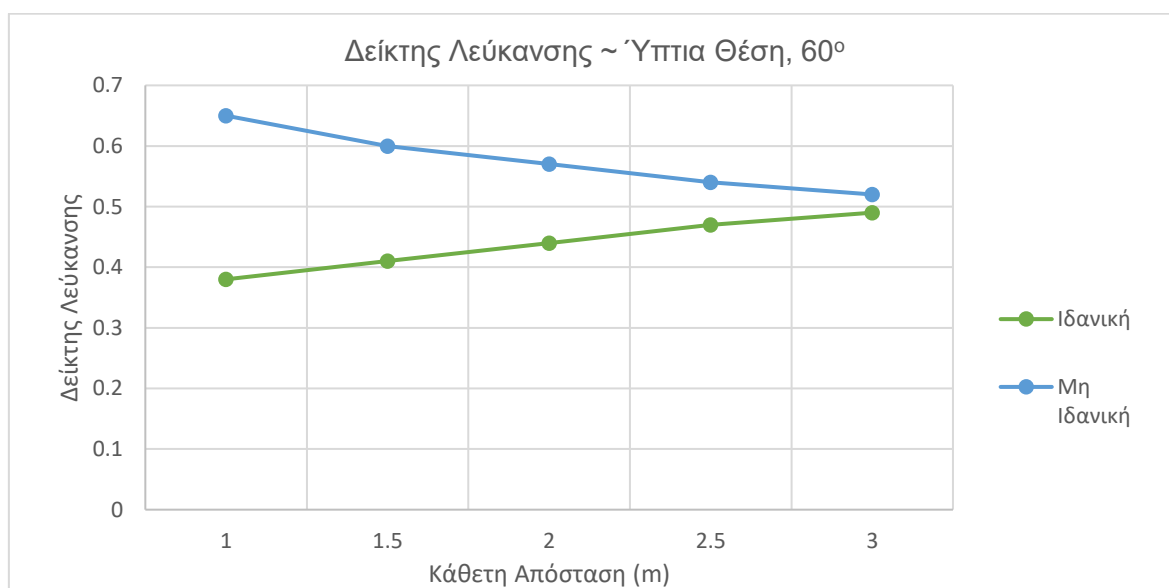
Σχήμα 4.15 : Γράφημα Δείκτης Ανοιγοκλείματος, 45°, Ύψια Θέση

Στην παρούσα δοκιμή δεν είναι αποδεκτή, διότι όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.14 και στο Σχήμα 4.15, όταν η κάθετη απόσταση γίνεται μεγαλύτερη των 1.5 μέτρων, οι τιμές των δεικτών συγχέονται. Σε σύγκριση με την καθήμενη θέση τα παρόντα αποτελέσματα είναι χειρότερα, λόγω απόστασης των γραφικών παραστάσεων.

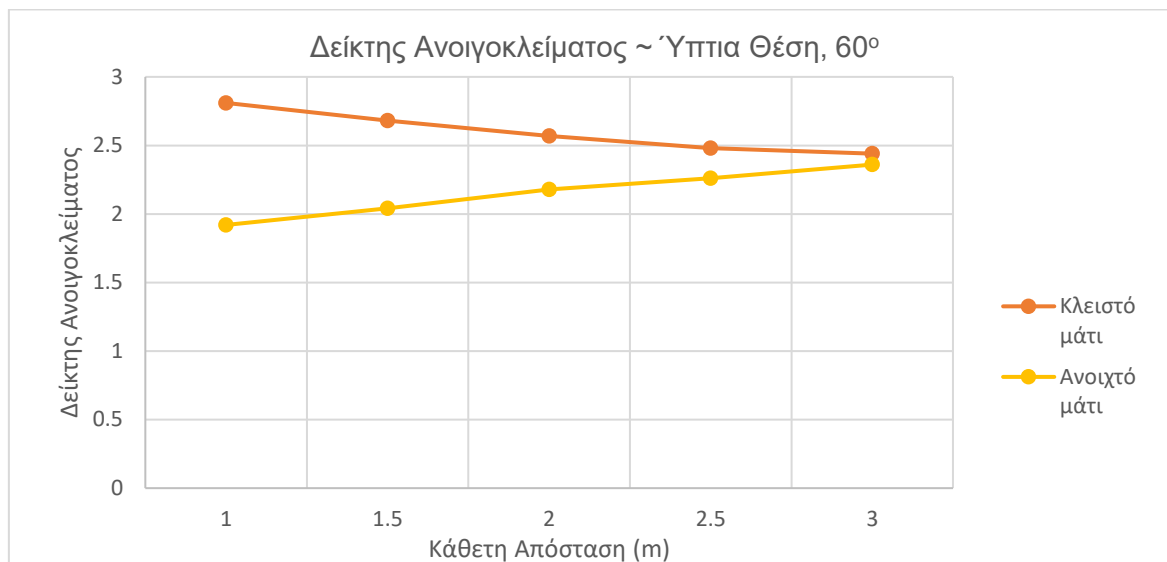
4.3.3 Συλλογή αποτελεσμάτων με γωνία κλίσης 60°

Κάθετη Απόσταση (m)	Οριζόντια Απόσταση (m)	Δείκτης Λεύκανσης – Ιδανική	Δείκτης Λεύκανσης – Μη Ιδανική	Δείκτης Ανοιγοκλείματος – Κλειστό	Δείκτης Ανοιγοκλείματος – Ανοιχτό
1	0.58	0.38	0.65	2.81	1.92
1.5	0.87	0.41	0.6	2.68	2.04
2	1.15	0.44	0.57	2.57	2.18
2.5	1.44	0.47	0.54	2.48	2.26
3	1.73	0.49	0.52	2.44	2.36

Πίνακας 6 : Ύψια θέση με γωνία κλίσης 60°



Σχήμα 4.16 : Γράφημα Δείκτης Λεύκανσης, 60°, Ύψια Θέση



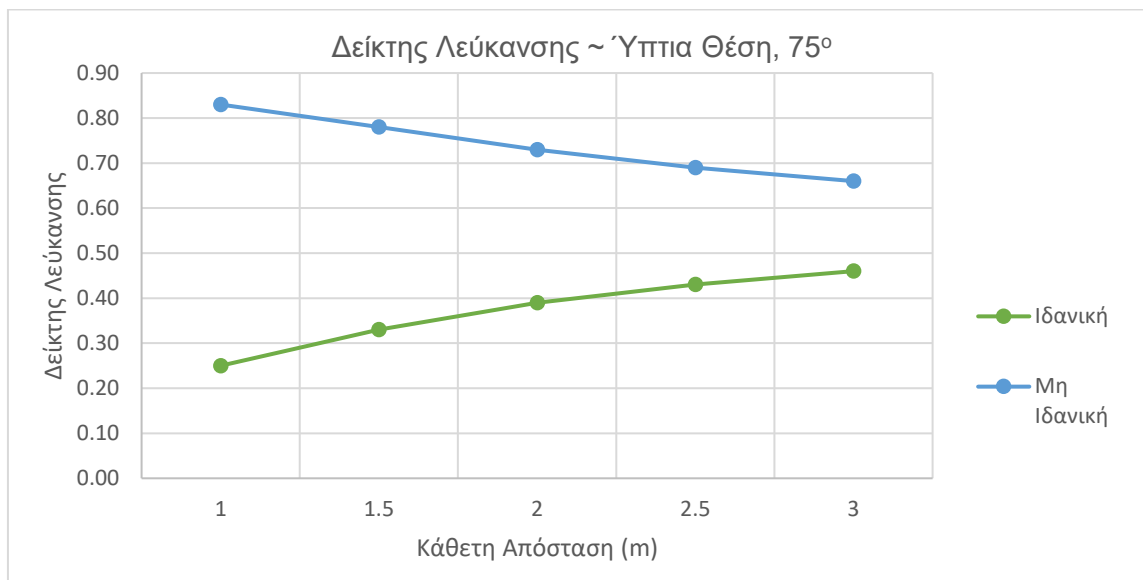
Σχήμα 4.17: Γράφημα Δείκτης Ανοιγοκλείματος, 60°, Ύψια Θέση

Σε αυτή τη δοκιμή είναι προφανής η βελτίωση στα γραφήματα (Σχήμα 4.16 και 4.17) από τη δοκιμή με τις 45°, ωστόσο και αυτή είναι μη αποδεκτή, διότι οι δύο γραφικές παραστάσεις σε κάθε γράφημα εφάπτονται μετά τα 2 μέτρα.

4.3.4 Συλλογή αποτελεσμάτων με γωνία κλίσης 75°

Κάθετη Απόσταση (m)	Οριζόντια Απόσταση (m)	Δείκτης Λεύκανσης – Ιδανική	Δείκτης Λεύκανσης – Μη Ιδανική	Δείκτης Ανοιγοκλείματος – Κλειστό	Δείκτης Ανοιγοκλείματος – Ανοιχτό
1	0.27	0.25	0.83	2.93	1.75
1.5	0.40	0.33	0.78	2.87	1.89
2	0.54	0.39	0.73	2.79	2.01
2.5	0.67	0.43	0.69	2.72	2.08
3	0.80	0.46	0.66	2.68	2.14

Πίνακας 7: Ύψια θέση με γωνία κλίσης 75°



Σχήμα 4.18 : Γράφημα Δείκτης Λεύκανσης, 75°, Ύπτια Θέση



Σχήμα 4.19 : Γράφημα Δείκτης Ανοιγοκλείματος, 75°, Ύπτια Θέση

Αυτή η δοκιμή είναι αποδεκτή, καθώς δεν εφάπτονται σε κανένα σημείο οι δύο γραφικές παραστάσεις (Σχήμα 4.18 και 4.19). Όπως και στην πλάγια θέση για τις 75°, είναι εφικτό να οριστεί ένα κατώφλι για τον δείκτη ανοιγοκλείματος μεταξύ των τιμών [2.2 , 2.7] και ένα ανώφλι μεταξύ των τιμών [0.5 , 0.6] για τον δείκτη λεύκανσης.

4.4 Πλάγια Θέση

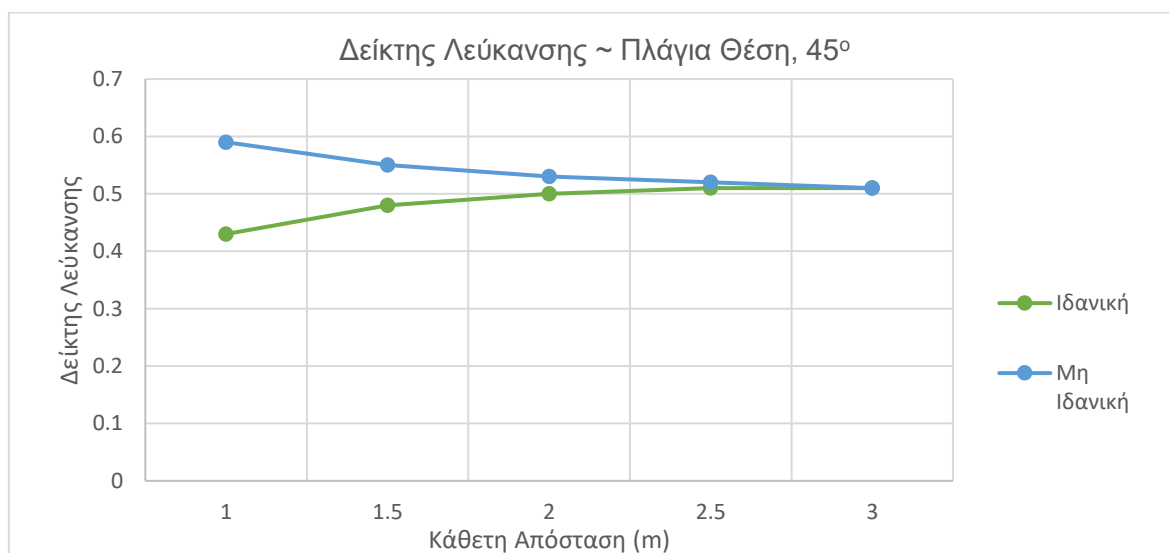
4.4.1 Περιγραφή

Στην πλάγια θέση το βλέμμα είναι στραμμένο αναλόγως προς τον αριστερό ή δεξιό τοίχο. Ο ασθενής βρίσκεται σε πλάγια θέση στην ώρα της καθαριότητας και του ύπνου.

4.4.2 Συλλογή αποτελεσμάτων με γωνία κλίσης 45°

Κάθετη Απόσταση (m)	Οριζόντια Απόσταση (m)	Δείκτης Λεύκανσης – Ιδανική	Δείκτης Λεύκανσης – Μη Ιδανική	Δείκτης Ανοιγοκλείματος – Κλειστό	Δείκτης Ανοιγοκλείματος – Ανοιχτό
1	1	0.43	0.59	2.56	2.13
1.5	1.5	0.48	0.55	2.46	2.24
2	2	0.5	0.53	2.39	2.3
2.5	2.5	0.51	0.52	2.37	2.33
3	3	0.51	0.51	2.35	2.34

Πίνακας 8 : Πλάγια θέση με γωνία κλίσης 45°



Σχήμα 4.20 : Γράφημα Δείκτης Λεύκανσης, 45°, Πλάγια Θέση



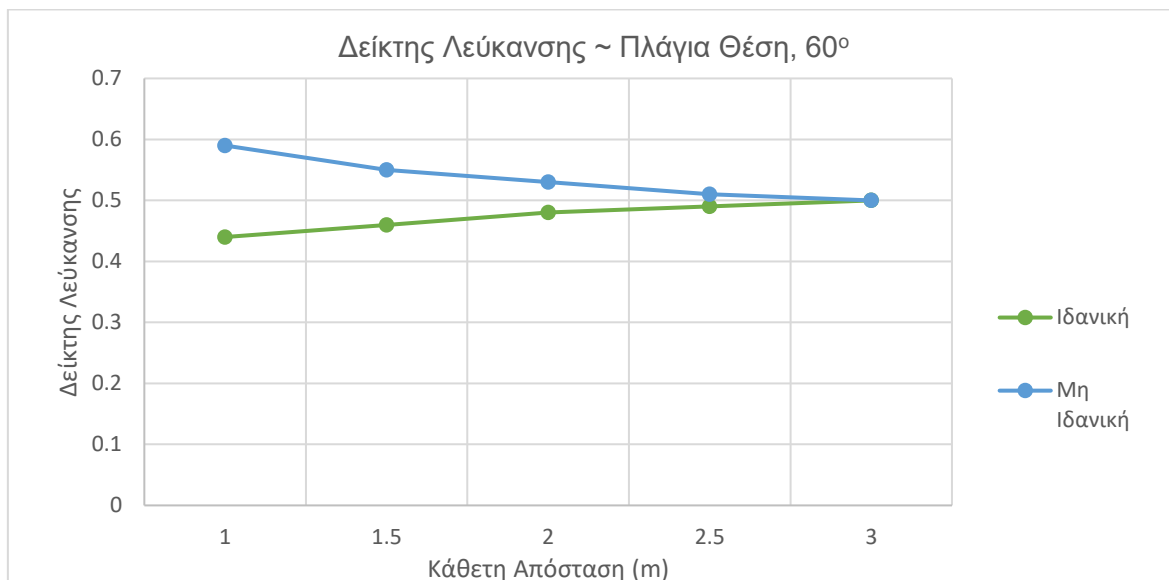
Σχήμα 4.21 : Γράφημα Δείκτης Ανοιγοκλείματος, 45°, Πλάγια Θέση

Η παρούσα δοκιμή είναι δεν είναι αποδεκτή, διότι όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.20 και στο Σχήμα 4.21, παρουσιάζεται το ίδιο φαινόμενο με τις προηγούμενες θέσεις για τις 45°, με τη διαφορά ότι συγκλίνουν οι τιμές από τα 1.5 μέτρα.

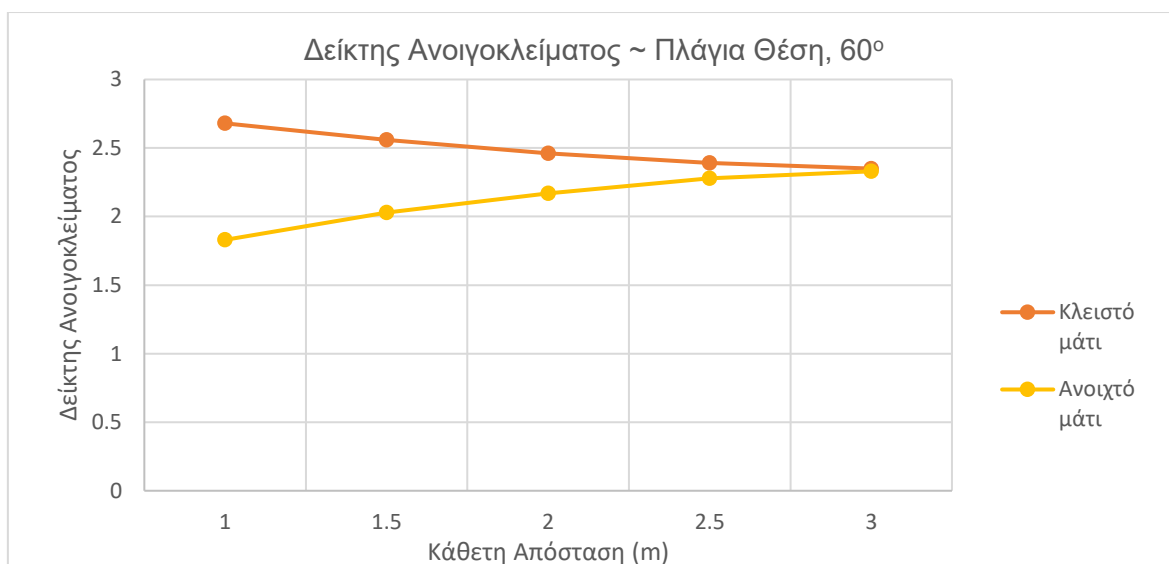
4.4.3 Συλλογή αποτελεσμάτων με γωνία κλίσης 60°

Κάθετη Απόσταση (m)	Οριζόντια Απόσταση (m)	Δείκτης Λεύκανσης – Ιδανική	Δείκτης Λεύκανσης – Μη Ιδανική	Δείκτης Ανοιγοκλείματος – Κλειστό	Δείκτης Ανοιγοκλείματος – Ανοιχτό
1	0.58	0.44	0.59	2.68	1.83
1.5	0.87	0.46	0.55	2.56	2.03
2	1.15	0.48	0.53	2.46	2.17
2.5	1.44	0.49	0.51	2.39	2.28
3	1.73	0.5	0.5	2.35	2.33

Πίνακας 9 : Πλάγια θέση με γωνία κλίσης 60°



Σχήμα 4.22 : Γράφημα Δείκτης Λεύκανσης, 60°, Πλάγια Θέση



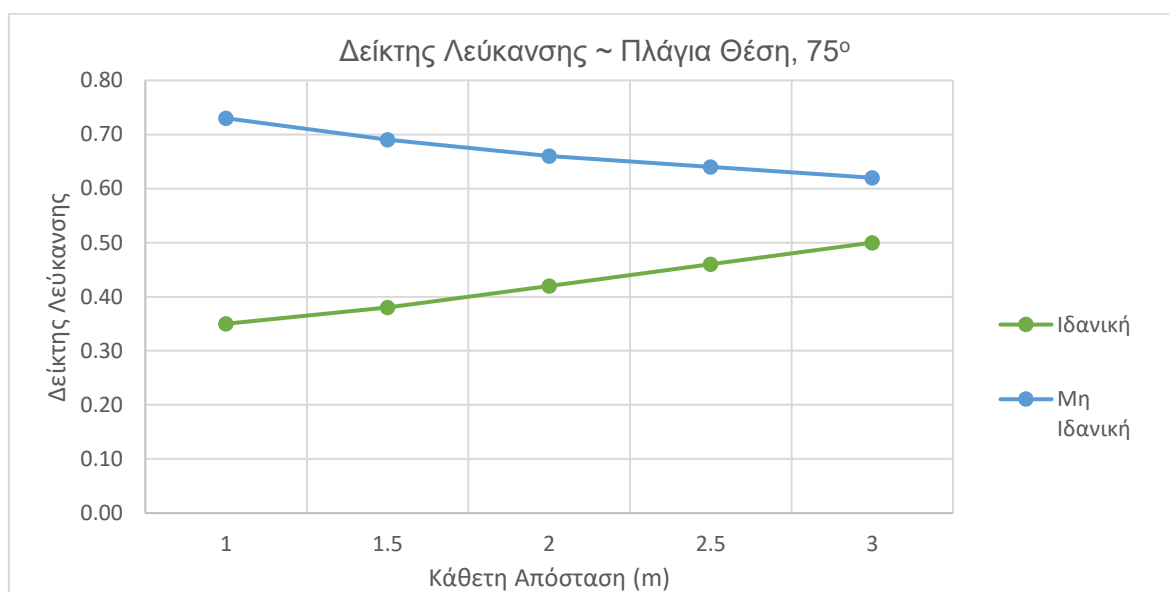
Σχήμα 4.23 : Γράφημα Δείκτης Ανοιγοκλείματος, 60°, Πλάγια Θέση

Σε αυτή τη δοκιμή είναι προφανής η βελτίωση στα γραφήματα (Σχήμα 4.22 και 4.23) ωστόσο και αυτή είναι μη αποδεκτή, διότι οι δύο γραμμές ανά γράφημα εφάπτονται μετά τα 2 μέτρα.

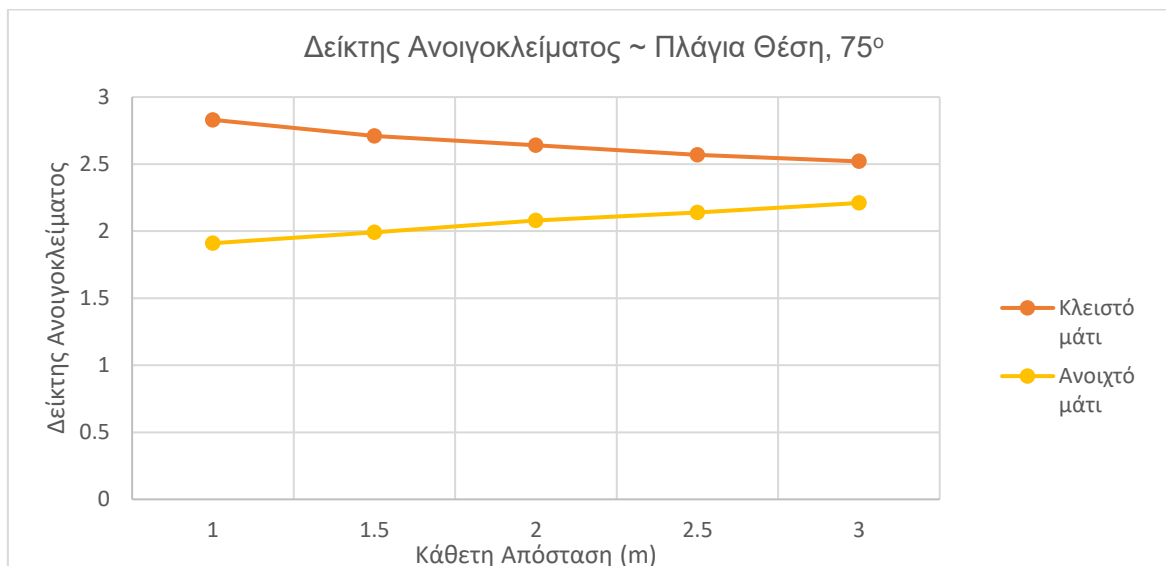
4.4.4 Συλλογή αποτελεσμάτων με γωνία κλίσης 75°

Κάθετη Απόσταση (m)	Οριζόντια Απόσταση (m)	Δείκτης Λεύκανσης – Ιδανική	Δείκτης Λεύκανσης – Μη Ιδανική	Δείκτης Ανοιγοκλείματος – Κλειστό	Δείκτης Ανοιγοκλείματος – Ανοιχτό
1	0.27	0.35	0.73	2.83	1.91
1.5	0.40	0.38	0.69	2.71	1.99
2	0.54	0.42	0.66	2.64	2.08
2.5	0.67	0.46	0.64	2.57	2.14
3	0.80	0.5	0.62	2.52	2.21

Πίνακας 10 : Πλάγια θέση με γωνία κλίσης 75°



Σχήμα 4.24 : Γράφημα Δείκτης Λεύκανσης, 75°, Πλάγια Θέση



Σχήμα 4.25 : Γράφημα Δείκτης Ανοιγοκλείματος, 75°, Πλάγια Θέση

Αυτή η δοκιμή είναι αποδεκτή όπως και στις προηγούμενες θέσεις (Σχήμα 4.24 και 4.25). Όπως και στην πλάγια και στην ύπτια θέση για τις 75°, είναι εφικτό να οριστεί ένα κατώφλι για τον δείκτη ανοιγοκλείματος μεταξύ των τιμών [2.3 , 2.5] και ένα ανώφλι μεταξύ των τιμών [0.55 , 0.6] για τον δείκτη λεύκανσης.

4.5 Συμπέρασμα Αποτελεσμάτων

Από τα παραπάνω πειράματα προκύπτει ως μοναδική λύση για τη γωνία κλίσης ανά θέση είναι οι 75°. Ως εκ τούτου, εκτιμήθηκαν τα επιτρεπτά εύρη τιμών των κατωφλίων του δείκτη ανοιγοκλείματος και των ανωφλίων του δείκτη λεύκανσης για κάθε θέση. (Πίνακας 11)

α/α	Δείκτης Λεύκανσης	Δείκτης Ανοιγοκλείματος
Καθήμενη Θέση	[0.4 , 0.7]	[2 , 2.7]
Ύπτια Θέση	[0.5 , 0.6]	[2.2 , 2.7]
Πλάγια Θέση	[0.55 , 0.6]	[2.3 , 2.5]

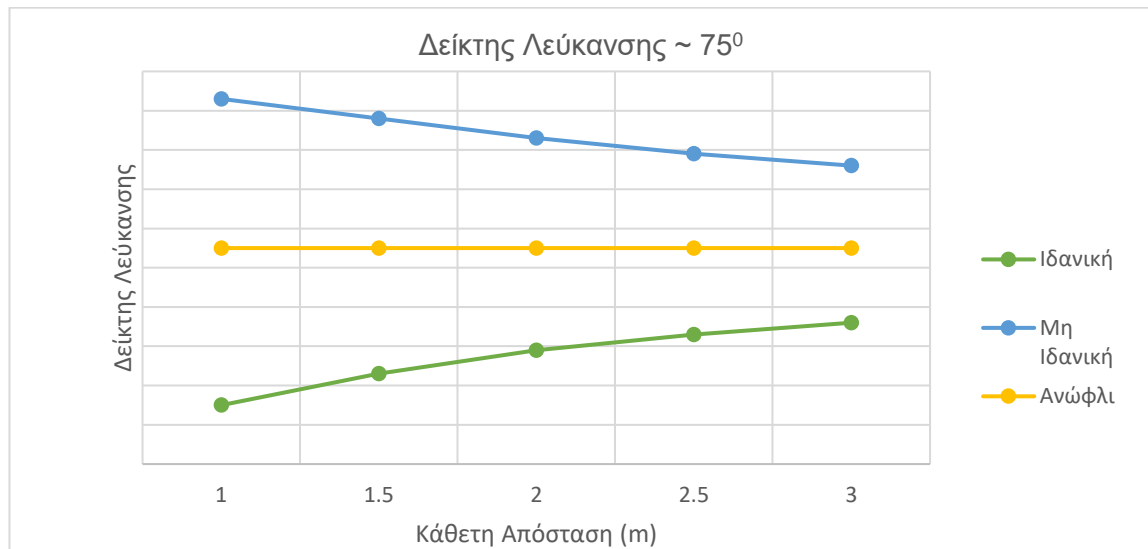
Πίνακας 11 : Εύρη τιμών δεικτών Λεύκανσης και Ανοιγοκλείματος

Τα ιδανικά εύρη τιμών του τελικού ανωφλίου και του τελικού κατωφλίου για όλες τις τιμές της κάθετης απόστασης και για όλες τις θέσεις, εκτιμάται από την ένωση των ευρών τιμών για κάθε θέση.

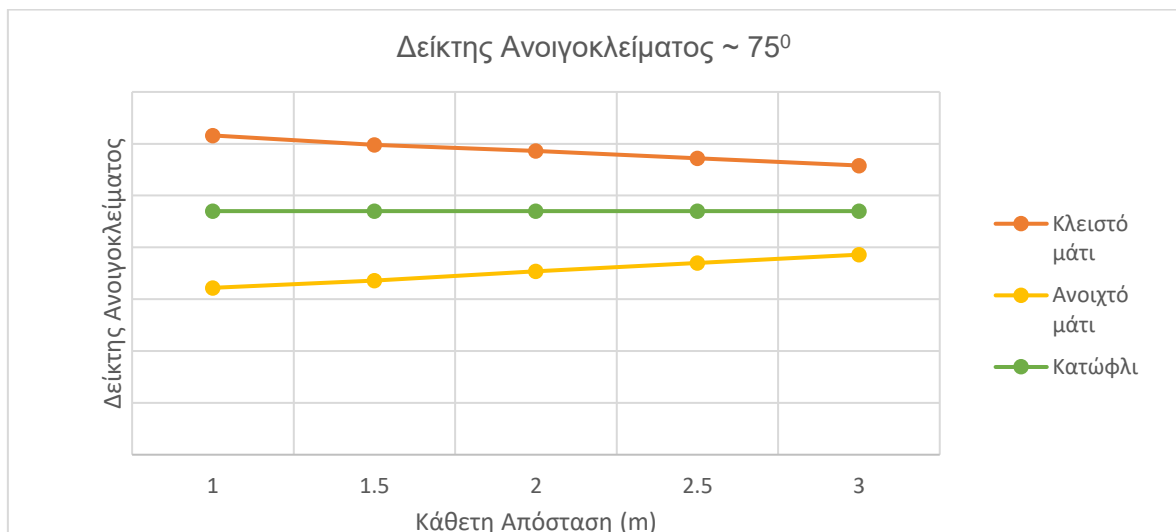
Βέλτιστο Εύρος Τιμών Δείκτη Λεύκανσης = $[0.4, 0.7] \cup [0.5, 0.6] \cup [0.55, 0.6] = [0.55, 0.6]$

Βέλτιστο Εύρος Τιμών Δείκτη Ανοιγοκλείματος = $[2, 2.7] \cup [2.2, 2.7] \cup [2.3, 2.5] = [2.3, 2.5]$

Προκύπτει από τα παραπάνω ότι το ανώφλι του δείκτη λεύκανσης (Σχήμα 4.26) ορίζεται ανάμεσα στις τιμές 0.55 και 0.6 ενώ το κατώφλι του δείκτη ανοιγοκλείματος (Σχήμα 4.27) ορίζεται ανάμεσα στις τιμές 2.3 και 2.5. Σε πραγματικές συνθήκες μπορεί να εφαρμοστεί το παρόν σύστημα, παρά των μικρών ευρών τιμών για τις τιμές του ανωφλίου του δείκτη λεύκανσης και του κατωφλίου του δείκτη ανοιγοκλείματος. Ωστόσο υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης επιλέγοντας ακριβότερο εξοπλισμό και εξειδικευμένα προγράμματα.



Σχήμα 4.26 : Ορισμός ανωφλίου

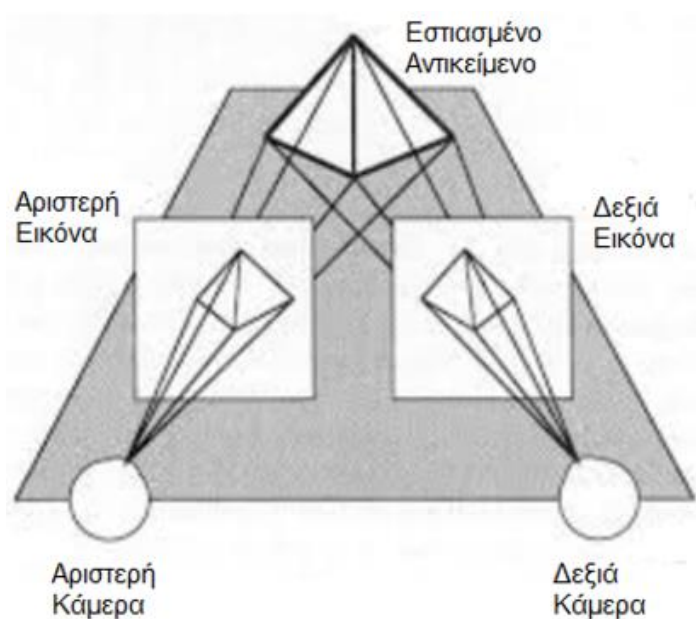


Σχήμα 4.27 : Ορισμός κατωφλίου

4.6 Μελλοντική Δουλειά

Η συνέχεια της παρούσας εργασίας θα μπορούσε να περιλαμβάνει αρχικά τον ενδελεχή πειραματισμό και υλοποίηση του συστήματος σε ασθενής με κινητικά προβλήματα, ώστε να αποτιμηθεί ή λειτουργικότητά της σε πραγματικές συνθήκες και να βελτιστοποιηθεί σε επίπεδο αισθητήρων, λογισμικού αλλά και τοποθέτησης.

Στο επίπεδο των αισθητήρων, προβλέπεται μία καλύτερη αναγνώριση των οφθαλμών μέσω χρήσης στερεοσκοπικών αισθητήρων. Η ψηφιακή στερεοσκοπική όραση μιμείται την φυσική όραση των ματιών. Ο κάθε οπτικός αισθητήρας αντιλαμβάνεται μία δισδιάστατη εικόνα, όπου το σύστημα επεξεργασίας συνθέτει τις δύο εικόνες και παράγει ένα τρισδιάστατο μοντέλο. (Σχήμα 4.28) (encrypted-tbn0.gstatic, 2015)



Σχήμα 4.28 : Στερεοσκοπική όραση

Υπάρχουν οι στερεοσκοπικές κάμερες οι οποίες έχουν δύο φακούς σε σχετική απόσταση με την απόσταση των ματιών του ανθρώπου. (Σχήμα 4.29) (ZED, 2017)



Σχήμα 4.29 : Στερεοσκοπική κάμερα

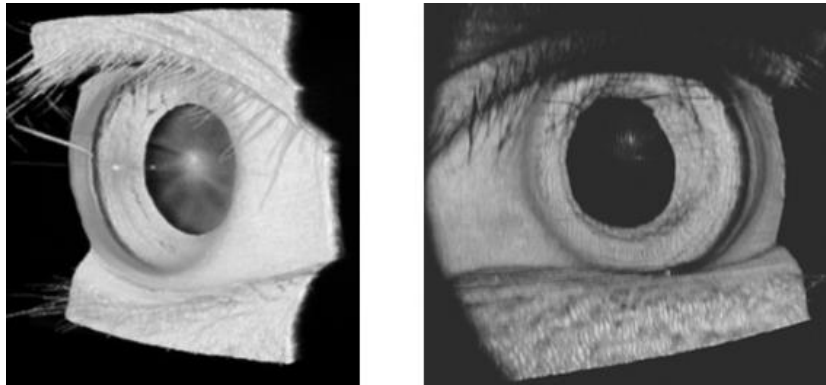
Η στερεοσκοπική κάμερα αντιλαμβάνεται μία εικόνα βάθους (Σχήμα 4.30) (Ding, 2015) όπου με κατάλληλους αλγορίθμους προσομοιάζει ένα τρισδιάστατο μοντέλο της εικόνας βάθους σε πραγματικό χρόνο. (Σχήμα 4.31) (Ding, 2015). Στο Σχήμα 4.32 (Duker, 2017) φαίνονται δύο παραδείγματα εικόνων βάθους ματιών.



Σχήμα 4.30 : Εικόνα βάθους

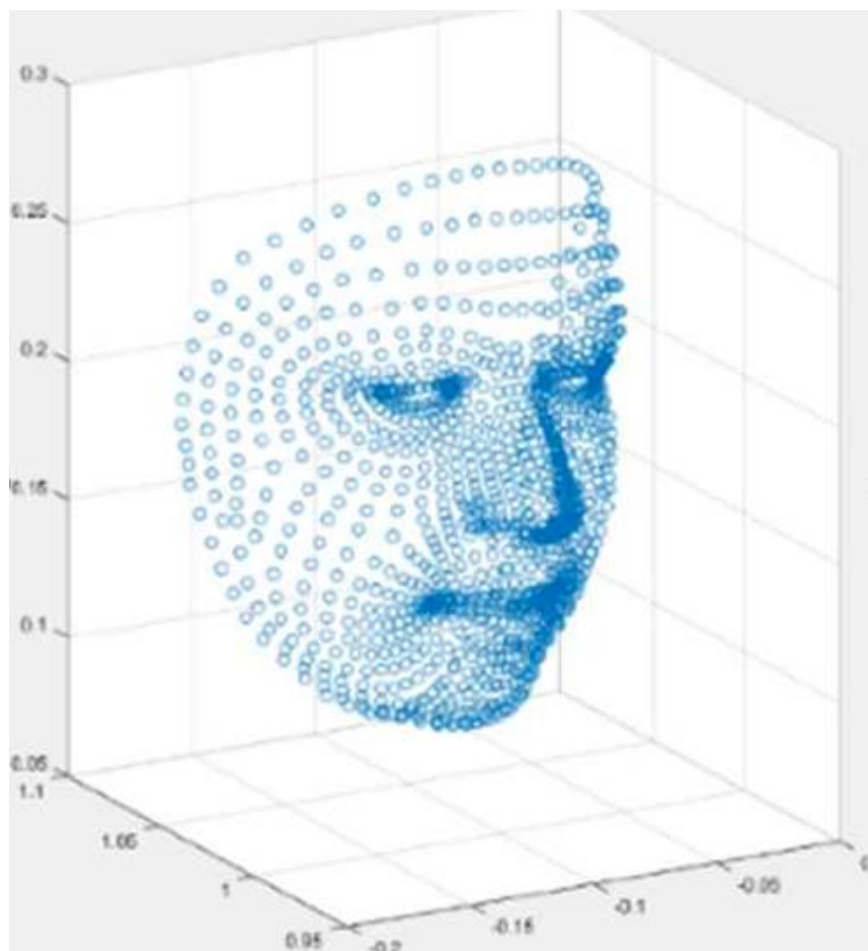


Σχήμα 4.31 : Προσομοίωση εικόνας βάθους



Σχήμα 4.32 : Εικόνες βάθους ματιών

Σε επίπεδο λογισμικού με χρήση απλής κάμερας (μη στερεοσκοπικής), πρόσφατα έχουν αναπτυχθεί διάφορα εργαλεία αναγνώρισης, βασισμένα στη μηχανική μάθηση. Για παράδειγμα, με τη χρήση της βιβλιοθήκης Mediapipe γίνεται αναγνώριση 468 σημείων του προσώπου σε τρισδιάστατο σύστημα συντεταγμένων. (Σχήμα 4.33) (Han, 2021)



Σχήμα 4.33 : Παράδειγμα εφαρμογής Mediapipe

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- codeniko. (2019, 4 19). *GitHub*. Ανάκτηση από github.com:
https://github.com/codeniko/shape_predictor_81_face_landmarks
- Conrad, B. (2017, 8 1). *THE BLOG TOBII*. Ανάκτηση από blog.tobii.com:
<https://blog.tobii.com/how-to-get-started-with-eye-control-on-windows>
- Ding, M. (2015, 7 -). *ResearchGate*. Ανάκτηση από www.researchgate.net:
https://www.researchgate.net/figure/a-Kinect-sensors-8-9-b-The-25D-depth-map-captured-by-Kinect-V2-c-The_fig1_315778902
- Duker, J. (2017). *ResearchGate*. Ανάκτηση από www.researchgate.net:
https://www.researchgate.net/figure/Full-eye-imaging-with-ultralong-depth-range-OCT-a-3D-rendering-of-volumetric-data_fig11_233539901
- encrypted-tbn0.gstatic. (2015). *encrypted-tbn0.gstatic.com*. Ανάκτηση από encrypted-tbn0.gstatic.com: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQf6TbZnptanwOtJKZM1Ik7uLHktP7QaVX64g&usqp=CAU>
- EyeSee. (2014, 5 20). *medium*. Ανάκτηση από medium.com: <https://medium.com/@eyesee/eye-tracking-through-history-b2e5c7029443>
- Farnsworth, B. (2020, 5 12). *IMOTIONS*. Ανάκτηση από imotions.com:
<https://imotions.com/blog/10-terms-metrics-eye-tracking/>
- FOX. (20, 4 22). *FOX*. Ανάκτηση από www.foxrehab.org: <https://www.foxrehab.org/utilizing-als-speech-therapy-to-help-patients-communicate/>
- Han, D. (2021). *ResearchGate*. Ανάκτηση από www.researchgate.net:
https://www.researchgate.net/figure/a-a-Face-Mesh-of-1347-points-b-Depth-Frames-for-Different-Expressions_fig1_302470794
- <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQf6TbZnptanwOtJKZM1Ik7uLHktP7QaVX64g&usqp=CAU>. (χ.χ.). Ανάκτηση από encrypted-tbn0.gstatic.com.
- i-PERCEPTION. (2010, 7 12). *NCBI*. Ανάκτηση από www.ncbi.nlm.nih.gov:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3563050/>
- Leggett, D. (2010, 1 19). *uxBOOTH*. Ανάκτηση από www.uxbooth.com:
<https://www.uxbooth.com/articles/a-brief-history-of-eye-tracking/>
- McFarlane, M. D. (1984). *Maynard D. McFarlane Collection 1921-1940*. University of Arizona: Center for Creative Photography.
- Medeiros, J. (2015, 1 13). *WIRED*. Ανάκτηση από www.wired.com:
<https://www.wired.com/2015/01/intel-gave-stephen-hawking-voice/>

- New Mexico Museum of SPACE HISTORY. (2008). *New Mexico Museum of SPACE HISTORY*.
Ανάκτηση από www.nmspacemuseum.org:
<https://www.nmspacemuseum.org/inductee/edwin-p-hubble/>
- Shindell, M. (2018, 7 31). *Smithsonian National Air and Space Museum*. Ανάκτηση από
airandspace.si.edu: <https://airandspace.si.edu/stories/editorial/uncovering-secrets-ranger-7>
- smahesh29. (2019, 7 29). *GitHub*. Ανάκτηση από github.com:
<https://github.com/smahesh29/OpenCV-Face-and-Eye-Detection/blob/master/README.md>
- The Nobel Prize in Physiology or Medicine 1979. (1979, 10 11). *The Nobel Prize*. Ανάκτηση από
www.nobelprize.org: <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1979/press-release/>
- Tobii AB. (2019, 10 21). *Cision*. Ανάκτηση από news.cision.com: <https://news.cision.com/tobii-ab/i/jeff-20fogel,c2701933>
- Tobii. (χ.χ.). *Tobii*. Ανάκτηση από gaming.tobii.com: <https://gaming.tobii.com/product/eye-tracker-5/>
- Vernon, D. (1991). *Machine Vision*. Wood Lane (UK): Prentice Hall International (UK).
- Walker, J. (2021, 5 26). *sky news*. Ανάκτηση από news.sky.com:
<https://news.sky.com/story/stephen-hawkings-glasses-and-wheelchair-among-items-to-be-displayed-at-londons-science-museum-12317866>
- Wikipedia. (2012, 10). *Wikipedia*. Ανάκτηση από en.wikipedia.org:
https://en.wikipedia.org/wiki/RGBA_color_model
- Woods, R. G. (2018). *Digital Image Processing*. Pearson Education International.
- ZED. (2017). *STEREOLABS*. Ανάκτηση από <https://www.stereolabs.com/>:
<https://www.stereolabs.com/>
- Σωματείο Φροντίδας Ατόμων με Νευρομυϊκές Παθήσεις. (2019). *MDA ΕΛΛΑΣ*. Ανάκτηση από
mdahellas.gr: <https://mdahellas.gr/plagia-myatrofiki-sklirynsi-als/>