ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ: ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ & ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΑΝΘΡΩΠΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ

Διπλωματική Εργασία

της φοιτήτριας του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Πατρών

Στυλιανής Πετεινάρα του Ιωάννη

Αριθμός Μητρώου: 6352

Θέμα

Σχεδίαση και ανάπτυξη εργαλείου εξόρυξης γνώσης για το γνωσιακό φορτίο χρηστών από δεδομένα eye tracking συσκευής.

Επιβλέπων

Νικόλαος Αβούρης

Αριθμός Διπλωματικής Εργασίας:

Πάτρα, Νοέμβριος 2011

ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

Πιστοποιείται ότι η Διπλωματική Εργασία με θέμα

«Σχεδίαση και ανάπτυξη εργαλείου εξόρυξης γνώσης για την συναισθηματική κατάσταση χρηστών από δεδομένα eye tracking συσκευής.»

Της φοιτήτριας του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών

Στυλιανής Πετεινάρα του Ιωάννη

Αριθμός Μητρώου: 6352

Παρουσιάστηκε δημόσια και εξετάστηκε στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών στις

……../……../…….

Ο Επιβλέπων	Ο Διευθυντής του Τομέα
Νικόλαος Αβούρης	Ευθύμιος Χούσος
Καθηγητής	Καθηγητής

Αριθμός Διπλωματικής Εργασίας:

Θέμα: «Σχεδίαση και ανάπτυξη εργαλείου εξόρυξης γνώσης για την συναισθηματική κατάσταση χρηστών από δεδομένα eye tracking συσκευής.»

Φοιτήτρια: Στυλιανή Πετεινάρα

Επιβλέπων: Νικόλαος Αβούρης

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής εργασίας είναι η σχεδίαση και ανάπτυξη εργαλείου εξόρυξης γνώσης για τη συναισθηματική κατάσταση χρηστών από δεδομένα συσκευής Eye tracking, όπως επίσης και η μελέτη της μεταβολής γνωσιακού φορτίου χρηστών με τη βοήθεια πειραματικής διαδικασίας.

Στη Διπλωματική αυτή εργασία σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε μια εφαρμογή που εκτελεί την παραπάνω λειτουργία, και διεξήχθη ένα πείραμα με σκοπό να συσχετιστούν συγκεκριμένες μετρικές Eye tracking με τη συναισθηματική κατάσταση και το γνωσιακό φορτίο χρηστών.

Ευχαριστήρια

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Αλληλεπίδρασης Ανθρώπου-Υπολογιστή του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πατρών. Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους αυτούς που συνέβαλλαν στην ολοκλήρωση της εργασίας αυτής. Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Νικόλαο Αβούρη για την εμπιστοσύνη και την στήριξη καθ' όλη τη διάρκεια ανάπτυξης της διπλωματικής εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Ελευθέριο Παπαχρήστο για την καθοδήγηση και πολύπλευρη βοήθεια καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας. Ακόμα, την υποψήφια διδάκτορα κ. Ειρήνη- Αγγελική Χούντα για τις συμβουλές της και την καθοδήγηση σε αρκετά σημεία της διπλωματικής εργασίας, όπως επίσης, τον κ. Άλκη Κοροβέση για τη συνεργασία στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, και φυσικά όλους τους συμμετέχοντες στο πείραμα που διεξήγαμε. Ιδιαίτερες ευχαριστίες στους γονείς μου για την πολύπλευρη στήριξη που μου προσέφεραν, και στους φίλους μου για την ηθική τους υποστήριξη.

Πίνακας περιεχομένων

ΕΙΣΑΓΩΓΗ. 11
1)Στόχος της Διπλωματικής εργασίας 11
2)Δομή της διπλωματικής 12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Eye tracking-Εισαγωγή 13
1.1: Εισαγωγή 13
1.2: Βασικά θεωρητικά στοιχεία. 14
1.3: Μετρικές Eye tracker. 18
1.4: Πειράματα με χρήση του Eyetracking. 27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Εξοπλισμός. 38
2.1:Δυνατότητες λογισμικού για το σχεδιασμό του πειράματος. 38
2.2: Δυνατότητες λογισμικού για τις προεπιλογές του πειράματος. 39
2.3: Δυνατότητες λογισμικού για τη διεξαγωγή του πειράματος. 41
2.4: Δυνατότητες λογισμικού για την ανάλυση του πειράματος (replay). 44
2.5: Δυνατότητες οπτικοποίησης. 46
2.6: Μετρικές που εξάγει το λογισμικό. 49
2.7: Μειονέκτημα λογισμικού. 50
2.8: Μετρικές που πρέπει να υπολογίσουμε. 51
2.9: Συμπεράσματα. 54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Σχεδιασμός του εργαλείου. 55
3.1: Ορισμός του προβλήματος. 55
3.2: Προδιαγραφές του εργαλείου. 57
3.3:Δομή του εργαλείου. 59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Ανάπτυξη του εργαλείου. 61
4.1: Γλώσσα ανάπτυξης εργαλείου 61
4.2:Αρχιτεκτονική του εργαλείου 62
4.3:Διεπιφάνειες εργαλείου 62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Αξιολόγηση του εργαλείου. 81
5.1: Αξιολόγηση Νο1. 81
5.2: Αξιολόγηση Νο2. 84
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Πείραμα 87
6.1: Σχεδιασμός πειράματος. 87
6.2: Εξοπλισμός. 87
6.3: Χρήστες και καθήκοντα. 87

6.4: Διαδικασία..... 93
6.5: Μετρήσεις. 94
6.6: Αποτελέσματα-Συμπεράσματα. 94
Συμπεράσματα-Μελλοντικές Προεκτάσεις..... 106
Συμπεράσματα 106
Μελλοντικές προεκτάσεις..... 106
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 107

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.

1)Στόχος της Διπλωματικής εργασίας

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής εργασίας είναι η σχεδίαση και ανάπτυξη εργαλείου εξόρυξης γνώσης για τη συναισθηματική κατάσταση χρηστών από δεδομένα συσκευής Eye tracking, όπως επίσης και η μελέτη της μεταβολής γνωσιακού φορτίου χρηστών με τη βοήθεια πειραματικής διαδικασίας.

Η αναγνώριση συναισθημάτων κατά την χρήση υπολογιστικών συστημάτων αποτελεί σημαντικό τομέα έρευνας τα τελευταία χρόνια στον τομέα της επικοινωνίας ανθρώπου υπολογιστή. Συναισθήματα όπως απόγνωση, απέχθεια ή ικανοποίηση διαμορφώνουν θετικές ή αρνητικές εμπειρίες χρήστη οι οποίες μπορεί να είναι καθοριστικές για την συνολική επιτυχία μιας εφαρμογής ή ιστοσελίδας. Για την βαθύτερη κατανόηση του ρόλου των συναισθημάτων στην τελική εμπειρία χρήστη χρειάζονται κατάλληλες τεχνικές και εργαλεία που θα μας βοηθούν να αναγνωρίζουμε μεταβολές στην συναισθηματική κατάστασης των χρηστών την ώρα που χρησιμοποιούν υπολογιστικά συστήματα. Δεδομένα από συσκευές Eye tracking που καταγράφουν την κίνησης του ματιού πάνω σε μια διεπιφάνεια χρήσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αυτών τον σκοπό. Έρευνες έχουν δείξει πως η διαστολή τις κόρης του ματιού μπορεί να είναι ένδειξη θετικών συναισθημάτων. Η αύξηση του ρυθμού που ανοιγοκλείνουν τα μάτια οι χρήστες μπορεί να είναι ένδειξη δυσκολίας να κατανοήσουν την διεπιφάνεια το οποίο οδηγεί σε απόγνωση. Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας αυτής σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε μια εφαρμογή που θα δέχεται ως είσοδο δεδομένα από πειράματα που έχουν γίνει με συσκευή Eye tracking και θα αναγνωρίζει χρονικές στιγμές στις οποίες συνέβησαν συναισθηματικές μεταβολές με βάση μια σειρά από μετρικές.

2)Δομή της διπλωματικής

Η δομή της παρούσης διπλωματικής εργασίας παρουσιάζεται παρακάτω.

Στο Κεφάλαιο 1 παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο που πρέπει να έχει ο αναγνώστης γενικά για το eye tracking. Δίνονται αρχικά βασικά θεωρητικά στοιχεία για το eye tracking, έπειτα μια εκτενής αναφορά των μετρικών που χρησιμοποιούνται στην έρευνα eye tracking, και τέλος μια ιστορική ανασκόπηση της έρευνας eye tracking σε ότι αφορά τα πειράματα από τα τέλη του 19^{ου} αιώνα μέχρι τις μέρες μας.

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται εκτενώς ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής, και όσον αφορά το Hardware, αλλά και όσον αφορά το Software. Εκτενής περιγραφή έχει γίνει για το λογισμικό που μας παρέχεται από τον Eye tracker, για τις δυνατότητές του, αλλά και τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει.

Στο Κεφάλαιο 3 αρχικά εξηγείται η ανάγκη σχεδιασμού εφαρμογής, για να καλυφθούν τα κενά στην ανάλυση που παρουσιάζει το λογισμικό που μας παρέχεται από τον Eye tracker. Ορίζεται το πρόβλημα που καλείται λοιπόν να λύσει η εφαρμογή, στη συνέχεια παρουσιάζονται οι προδιαγραφές που θα πρέπει να πληροί, και τέλος δείχνεται σχηματικά η δομή του σε σχέση με τον Eye tracker και την πειραματική διαδικασία.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται η ανάπτυξη της εφαρμογής. Αρχικά εξηγούνται οι λόγοι επιλογής της συγκεκριμένης γλώσσας προγραμματισμού. Στη συνέχεια, δείχνεται η αρχιτεκτονική της εφαρμογής σχηματικά, και φυσικά δείχνονται οι διεπιφάνειες της εφαρμογής και επεξηγείται η λειτουργία του διεξοδικά.

Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται η αξιολόγηση της εφαρμογής.

Στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται η πειραματική διαδικασία η οποία σχεδιάστηκε με σκοπό να μελετήσουμε τη μεταβολή του γνωσιακού φορτίου σε χρήστες. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του πειράματος αυτού και τα συμπεράσματα στα οποία καταλήξαμε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Eye tracking-Εισαγωγή

1.1: Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει η θεωρητική εισαγωγή για την έρευνα Eye tracking καθώς και η θεωρητική θεμελίωση της χρήσης του Eye tracker. Κατόπιν αυτών, θα μελετήσουμε τις μετρικές που χρησιμοποιούνται από τους ερευνητές του Eye tracking και το λόγο που αυτές είναι τόσο σημαντικές στην έρευνα, στοιχεία απαραίτητα για να κατανοήσει ο αναγνώστης τις επιλογές και τις παραδοχές που έχουν γίνει στα επόμενα κεφάλαια.

Αρχικά, θα γίνει προσπάθεια να απαντηθούν τα εξής ερωτήματα: «Τι είναι η έρευνα Eye tracking;», «Τι είναι ο Eye tracker;», «Πού χρησιμοποιείται ο Eye tracker;», «Γιατί να χρησιμοποιήσουμε τον Eye tracker;», «Γιατί μελετάμε κινήσεις του ματιού στην έρευνα Επικοινωνίας Ανθρώπου-Υπολογιστή;», «Ποιες είναι οι μετρικές που χρησιμοποιούνται στο Eye tracking, και γιατί μας απασχολούν τόσο πολύ;», «Πώς ακριβώς συνδέονται αυτές οι μετρικές με τις πειραματικές διαδικασίες;».



Tobii Eye Tracker 1

1.2: Βασικά θεωρητικά στοιχεία.

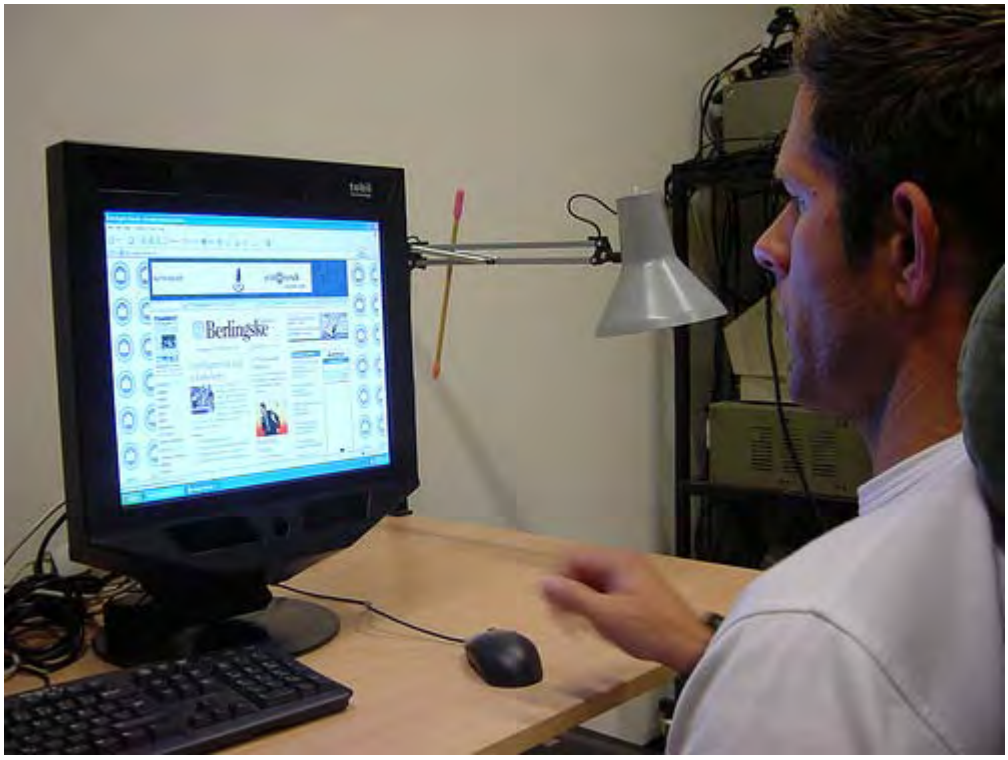
Ξεκινάμε λοιπόν να απαντήσουμε στα ερωτήματα που τέθηκαν στην προηγούμενη ενότητα: [1]

Τι είναι η επιστήμη του Eye tracking;

Στην έρευνα Eye tracking, οι κινήσεις του ματιού ενός ατόμου μετριούνται έτσι ώστε ο ερευνητής να γνωρίζει ανά πάσα στιγμή πού κοιτάζει το άτομο αυτό καθώς και την πορεία στην οποία μετακινεί τα μάτια του από μία περιοχή σε μία άλλη.

Τι είναι ο Eye tracker;

Ο Eye tracker είναι μία συσκευή με την οποία, πολύ απλοϊκά, κάνουμε Eye tracking, είναι δηλαδή μία συσκευή που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του σημείου προσοχής του ατόμου και για τη μέτρηση των κινήσεων των ματιών του. Λειτουργεί παρακολουθώντας τη θέση διαφόρων διακριτών χαρακτηριστικών του ματιού όπως αντανακλάσεις υπέρυθρου φωτός στον κερατοειδή, ή του σχήματος της κόρης του ματιού. Συνεπώς, είναι μια συσκευή καταγραφής των κινήσεων του ματιού πραγματικού χρόνου.



Eyetracker 1

Πού χρησιμοποιείται ο Eye tracker;

Τα τελευταία χρόνια, ο Eye tracker και κατ' επέκταση η έρευνα Eye tracking, βρίσκει εφαρμογή σε όλο και περισσότερους επιστημονικούς τομείς, γεγονός που καταδεικνύει τη σημαντικότητα που έχει η περαιτέρω ανάπτυξη και εξέλιξή του.

Μερικά από τα πεδία έρευνας που χρησιμοποιείται ο Eye tracker είναι:

- Πειράματα για την πολεμική αεροπορία (USA) [2]
- Προσομοίωση οδήγησης
- Marketing
- Ιατρική έρευνα
- Πειράματα σχετικά με ανάγνωση/αναζήτηση
- Ανάπτυξη εφαρμογών για άτομα με ειδικές ανάγκες
- Πειράματα στο web
- Πειράματα για αξιολόγηση ευχρηστίας

Και φυσικά δεν είναι τα μόνα επιστημονικά πεδία που ο Eye tracker έχει βρει εφαρμογή.

Γιατί να χρησιμοποιήσουμε τον Eye tracker;

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ο Eye tracker είναι μία συσκευή καταγραφής των κινήσεων του ματιού πραγματικού χρόνου. Ο Eye tracker είναι δηλαδή μια βολική, μεγάλου εύρους πηγή πληροφορίας από το χρήστη. Αυτό εκ πρώτης όψεως μπορεί να φαίνεται πως δεν έχει κάποια ιδιαίτερη σημασία, όμως αν το σκεφτούμε καλύτερα, θα καταλάβουμε τη σπουδαιότητα του να μπορούμε ανά πάσα στιγμή να γνωρίζουμε με ακρίβεια τη συμπεριφορά του χρήστη, ειδικά από τη στιγμή που τα τελευταία χρόνια ο σχεδιασμός των συστημάτων που αλληλεπιδρούν με τον χρήστη δεν λάμβαναν υπ' όψιν κάποια ανάδραση από τον τελευταίο. Με ασφάλεια μπορούμε να συνδέσουμε τις κινήσεις του ματιού με τη συμπεριφορά του χρήστη, λαμβάνοντας υπ' όψιν την υπόθεση «ματιού - μυαλού» ("Eye-mind" hypothesis [3]), σύμφωνα με την οποία: «Το τι κοιτάζει ένα άτομο θεωρείται ένδειξη της σκέψης "στην κορυφή της στοίβας" (on top of the stack) των γνωσιακών διαδικασιών».

Γιατί μελετάμε κινήσεις του ματιού στην έρευνα Επικοινωνίας Ανθρώπου-Υπολογιστή;

Οι καταγραφές των κινήσεων του ματιού παρέχουν ένα δυναμικό ίχνος για την κατεύθυνση της προσοχής του ατόμου και σε συνδυασμό με άλλες μετρικές που θα αναφερθούν στη συνέχεια, μπορούν να δείξουν το ποσό της επεξεργασίας που ασκείται σε αντικείμενα που βρίσκονται στο κέντρο της προσοχής του ατόμου.

Η παρακολούθηση της κίνησης των ματιών του ατόμου βοηθά τους ερευνητές της Επικοινωνίας Ανθρώπου- Υπολογιστή (χάριν συντομίας θα αναφέρεται πλέον HCI, δηλαδή Human-Computer Interaction), να κατανοήσουν την οπτική επεξεργασία πληροφορίας και τους παράγοντες που έχουν αντίκτυπο στην ευχρηστία των διεπιφανειών συστημάτων. Οι περισσότερες σύγχρονες διεπιφάνειες χρήστη παρέχουν πολύ περισσότερες πληροφορίες από τον υπολογιστή προς τον χρήστη, παρά αντίστροφα- γραφικά, animations, ήχοι και άλλα πολυμέσα μπορούν να δώσουν σαν έξοδο μεγάλα ποσά πληροφορίας γρήγορα- αλλά δεν υπάρχουν μέσα εισόδου από το χρήστη ώστε να δώσει συγκριτικά τόσο μεγάλα ποσά πληροφορίας από το χρήστη(Το πρόβλημα της ανάδρασης από τον χρήστη που αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο).

Ποιες είναι οι μετρικές που χρησιμοποιούνται στο Eye tracking, και γιατί μας απασχολούν τόσο πολύ;

Οι βασικές κατηγορίες μετρικών που χρησιμοποιούνται στο Eye tracking είναι οι εξής:

- Fixations
- Saccades
- Scanpaths
- Blinks
- Pupilometry

Οι όροι αυτοί σημαίνουν:

Fixations: εστιάσεις του ματιού σε μία περιοχή.

Saccades: γρήγορες μετακινήσεις του ματιού από μία περιοχή σε μία άλλη (μπορεί να αναφερθούν και ως σακκαδικές κινήσεις αργότερα).

Scanpaths: “μονοπάτια” που ακολουθεί το μάτι για να “καταγράψει” τις πληροφορίες σε αυτό που βλέπει .

Blinks: ανοιγόκλειμα του ματιού.

Pupilometry: μετρικές που προκύπτουν από την διαστολή της κόρης του ματιού.

Όπως προαναφέρθηκε, ο Eye tracker χρησιμοποιείται σε πολλές διαφορετικές ερευνητικές περιοχές.

Με τις μετρικές που αναφέρθηκαν και θα αναλυθούν παρακάτω, μπορούν οι ερευνητές να καταλήξουν σε διάφορα συμπεράσματα σχετικά με την επιστήμη τους και τις περιοχές που τους ενδιαφέρουν. Κάποιες από τις μετρικές χρησιμοποιούνται συχνά, κάποιες άλλες όχι και τόσο. Κάποιες είναι ξεκάθαρο να διαχωριστούν ενώ κάποιες άλλες όχι και τόσο. Σε επόμενη ενότητα με παραδείγματα θα γίνει πιο κατανοητή η σημασία των μετρικών για την ερευνητική διαδικασία.

Πώς ακριβώς συνδέονται αυτές οι μετρικές με τις πειραματικές διαδικασίες;

Με βάση τις έρευνες που έχουν γίνει στα διάφορα επιστημονικά πεδία τα τελευταία χρόνια, οι ερευνητές έχουν καταφέρει να σχετίσουν τις μετρικές που λαμβάνονται από τον Eye tracker με συγκεκριμένες συμπεριφορές του χρήστη ή καταστάσεις στις οποίες μπορεί να βρεθεί ο τελευταίος[4],[5]. Βέβαια, κάποιες μετρικές μπορεί να σχετίζονται με τις καταστάσεις του χρήστη πολύ πιο άμεσα από κάποιες άλλες, και ειδικά σε συγκεκριμένες κατηγορίες πειραμάτων. Για να γίνει πιο σαφής η πρόταση αυτή, στις επόμενες ενότητες θα αναφερθούν οι περισσότερες από τις μετρικές που έχουν χρησιμοποιηθεί τα τελευταία χρόνια σε πειράματα διεθνούς βιβλιογραφίας (οι οποίες μετρικές ανήκουν στις μεγάλες κατηγορίες που αναφέρθηκαν πιο πάνω), η σύνδεσή τους με κάποια από τα πειράματα στα οποία χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και συμπεράσματα που προέκυψαν από αυτά.

1.3: Μετρικές Eye tracker.

Fixations

i) Ορισμός.

Όπως προαναφέρθηκε, ο όρος fixation σημαίνει εστίαση. Εστίαση στην επιστήμη του Eye tracker σημαίνει η παραμονή του ματιού του χρήστη σε μία συγκεκριμένη μικρή περιοχή για ένα διάστημα μεγαλύτερο ενός συγκεκριμένου χρονικού κατωφλίου το οποίο ορίζεται βάσει συγκεκριμένων καθολικών παραδοχών.

Μία από τις παραδοχές αυτές είναι το μέγεθος της συγκεκριμένης περιοχής. Η κίνηση του ματιού του ανθρώπου γίνεται συνεχώς, αν λάβουμε υπ' όψιν και τις αναγκαστικές μικροκινήσεις της τάξης των λίγων μικρομέτρων. Συνεπώς, όταν μιλάμε για εστίαση σε ένα συγκεκριμένο σημείο, εννοούμε ουσιαστικά εστίαση σε μία μικρή περιοχή, όπου γίνονται και μικροκινήσεις τέτοιου τύπου.

Μία άλλη παραδοχή είναι ο τύπος του αντικειμένου που κοιτάζει ο χρήστης. Για παράδειγμα, το χρονικό κατώφλι που πρέπει να ξεπεραστεί για να θεωρηθεί ότι υπάρχει fixation όταν ο χρήστης κοιτάζει μια εικόνα είναι διαφορετικό από το χρονικό κατώφλι αντίστοιχα του να κοιτάζει απλό κείμενο, και διαφορετικό από το χρονικό κατώφλι του συνδυασμού των. Χαρακτηριστικά, αναφέρουμε και τους χρόνους των παραπάνω κατωφλίων: Για τις εικόνες, είναι 200ms, για το κείμενο 40ms, ενώ για τον συνδυασμό τους, 100ms.

ii)Μετρικές που προκύπτουν από τα fixations. [6],[7]

- Συνολικός αριθμός fixations (Number of fixations overall).
- Διάρκεια fixation (Fixation duration).
- Αριθμός fixations σε μία περιοχή ενδιαφέροντος (fixations per AOI)*
- Χωρική πυκνότητα fixations (Fixation spatial density). Έχει νόημα κυρίως σε περιοχές ενδιαφέροντος.
- Επαναλαμβανόμενα fixations που έχουν γίνει μετά την εύρεση στόχου (Repeat fixations-post target fixations). Έχει νόημα κυρίως σε πείραμα αναζήτησης που πρέπει να βρεθεί ένας συγκεκριμένος στόχος από τον χρήστη.
- Χρόνος για να γίνει το πρώτο fixation (time to first fixation). Έχει νόημα κυρίως για περιοχές ενδιαφέροντος (Areas of Interest-AOIs), ή σε πείραμα αναζήτησης που πρέπει να βρεθεί συγκεκριμένος στόχος από τον χρήστη.
- Ποσοστό συμμετεχόντων που εστιάζουν σε μία περιοχή ενδιαφέροντος (Percentage of participants fixating an AOI).
- Αριθμός fixations σε μία περιοχή ενδιαφέροντος και προσαρμοσμένος για συγκεκριμένο μέγεθος κειμένου (fixations per AOI and adjusted

for text length). Είναι μια εξειδικευμένη μετρική για AOIs που περιλαμβάνουν μόνο κείμενα.

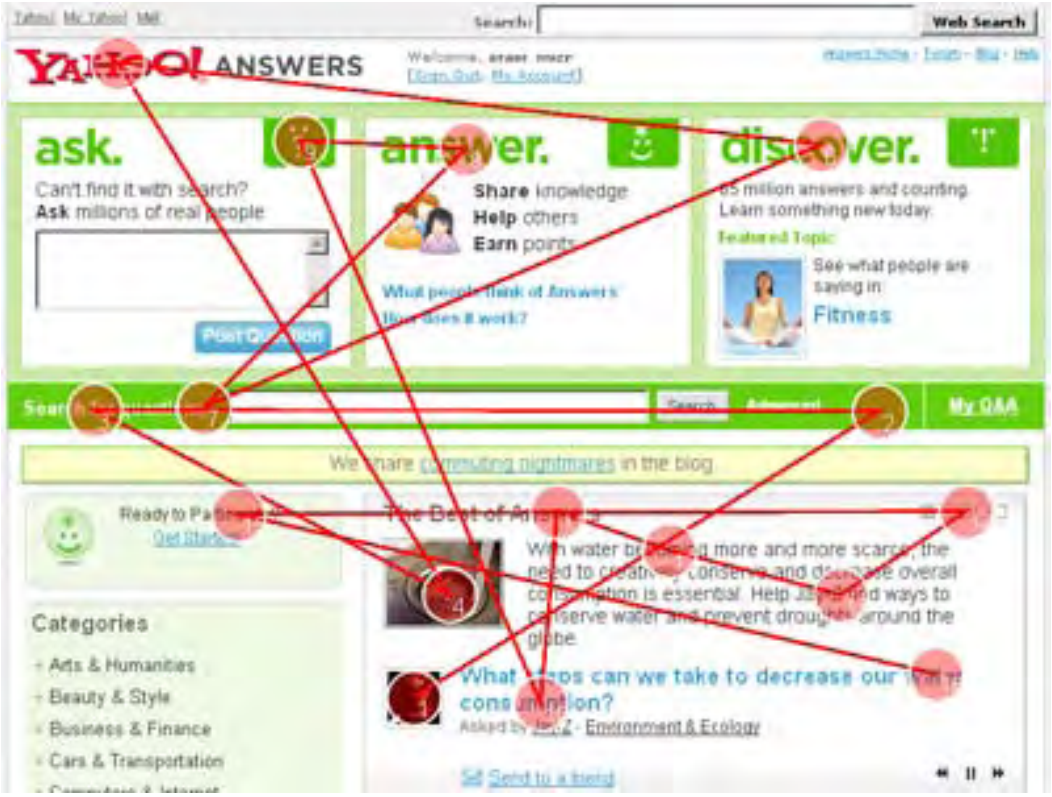
- Gaze (ή αλλιώς: dwell, fixation cluster, fixation cycle). Είναι το άθροισμα όλων των fixation duration μέσα σε μια επιβεβλημένη περιοχή. Δεν υπάρχει αντίστοιχος όρος στα ελληνικά. Έχει νόημα κυρίως σε πειράματα που χρησιμοποιούνται περιοχές ενδιαφέροντος ή κάποιοι συγκεκριμένοι στόχοι.
- Fixations στο στόχο (on-target fixations). Είναι το κλάσμα:
  (fixations πάνω στο στόχο) / (συνολικά fixations).
  Έχει προφανώς νόημα σε πειράματα που πρέπει να βρεθεί συγκεκριμένος στόχος.

iii)Συσχέτιση αυτών των μετρικών με συμπεριφορά-κατάσταση χρήστη.

- Συνολικός αριθμός fixations (Number of fixations overall): Περισσότερα fixations υποδηλώνουν λιγότερο αποδοτική αναζήτηση.
- Διάρκεια fixation (Fixation duration): Μεγαλύτερο σε διάρκεια fixation υποδηλώνει δυσκολία στην εξόρυξη πληροφορίας ή ότι το αντικείμενο είναι πιο υποχρεωτικό με κάποιον τρόπο.
- Αριθμός fixations σε μία περιοχή ενδιαφέροντος (fixations per AOI): Περισσότερα fixations σε μια συγκεκριμένη περιοχή υποδηλώνουν ότι είναι πιο παρατηρούμενη, ή πιο σημαντική αυτή η περιοχή στον χρήστη από άλλες περιοχές.
- Χωρική πυκνότητα fixations (Fixation spatial density): Τα fixations που είναι συγκεντρωμένα σε μια μικρή περιοχή υποδηλώνουν συγκεντρωμένη και αποτελεσματική αναζήτηση. Ομοίως μοιρασμένα fixations υποδηλώνουν μη αποτελεσματική και διαχυμένη αναζήτηση.
- Επαναλαμβανόμενα fixations που έχουν γίνει μετά την εύρεση στόχου (Repeat fixations-post target fixations): Μεγαλύτερος αριθμός fixations εκτός στόχου, αφού ο στόχος έχει εντοπιστεί και του έχει γίνει fixation υποδηλώνει ότι στερείται σημασίας ή ορατότητας.
- Χρόνος για να γίνει το πρώτο fixation (time to first fixation): Γρηγορότεροι χρόνοι για πρώτο fixation σε ένα αντικείμενο ή περιοχή σημαίνει ότι έχει καλύτερες δυνατότητες για να τραβήξει την προσοχή.
- Ποσοστό συμμετεχόντων που εστιάζουν σε μία περιοχή ενδιαφέροντος (Percentage of participants fixating an AOI): Εάν ένα μικρό ποσό συμμετεχόντων εστιάζει σε μια περιοχή που είναι σημαντική για το task, ίσως χρειάζεται να μετακινηθεί ή να υπογραμμιστεί (highlighted).
- Αριθμός fixations σε μία περιοχή ενδιαφέροντος και προσαρμοσμένος για συγκεκριμένο μέγεθος κειμένου (fixations per AOI and adjusted for text length): Εξειδικευμένο για AOI που περιλαμβάνουν μόνο κείμενα, όπου παίρνουμε το μέσο όρο των fixations ανά λέξεων κειμένου όπου πρέπει να ξεχωρίσουμε αν τα περισσότερα fixations

συμβαίνουν λόγω πολλών λέξεων που πρέπει να διαβαστούν ή λόγω δυσκολίας αναγνώρισης ενός συγκεκριμένου αντικειμένου.

- Gaze (ή αλλιώς: dwell, fixation cluster, fixation cycle): Είναι το άθροισμα όλων των fixation duration μέσα σε μια επιβεβλημένη περιοχή. Χρησιμοποιείται για να συγκρίνουμε την διανομή προσοχής μεταξύ στόχων. Επίσης χρησιμοποιείται ως μέτρο προσμονής σε κατάσταση συναίσθησης αν μεγαλύτερα σε διάρκεια gazes «πέφτουν» μέσα στο AOI πριν συμβεί κάποιο γεγονός.
- Fixations στο στόχο (on-target fixations): Χαμηλό ποσοστό υποδηλώνει μικρότερη αποτελεσματικότητα αναζήτησης.



Fixations 1- Οι κόκκινες κουκκίδες που εμφανίζονται παραπάνω.

Saccades.

i)Ορισμός.

Saccades, ή σακκαδική κίνηση, σύμφωνα με όσα έχουμε πει και πιο πάνω, είναι η κίνηση του ματιού του χρήστη μεταξύ δύο fixations. Παρουσιάζεται δηλαδή ως το ευθύγραμμο τμήμα που ενώνει δύο fixations.

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, το μάτι κάνει συνεχώς κάποιες κινήσεις. Θεωρώντας ένα χωρικό τώρα κατώφλι μερικών μικρομέτρων, αποφασίζουμε ότι ο

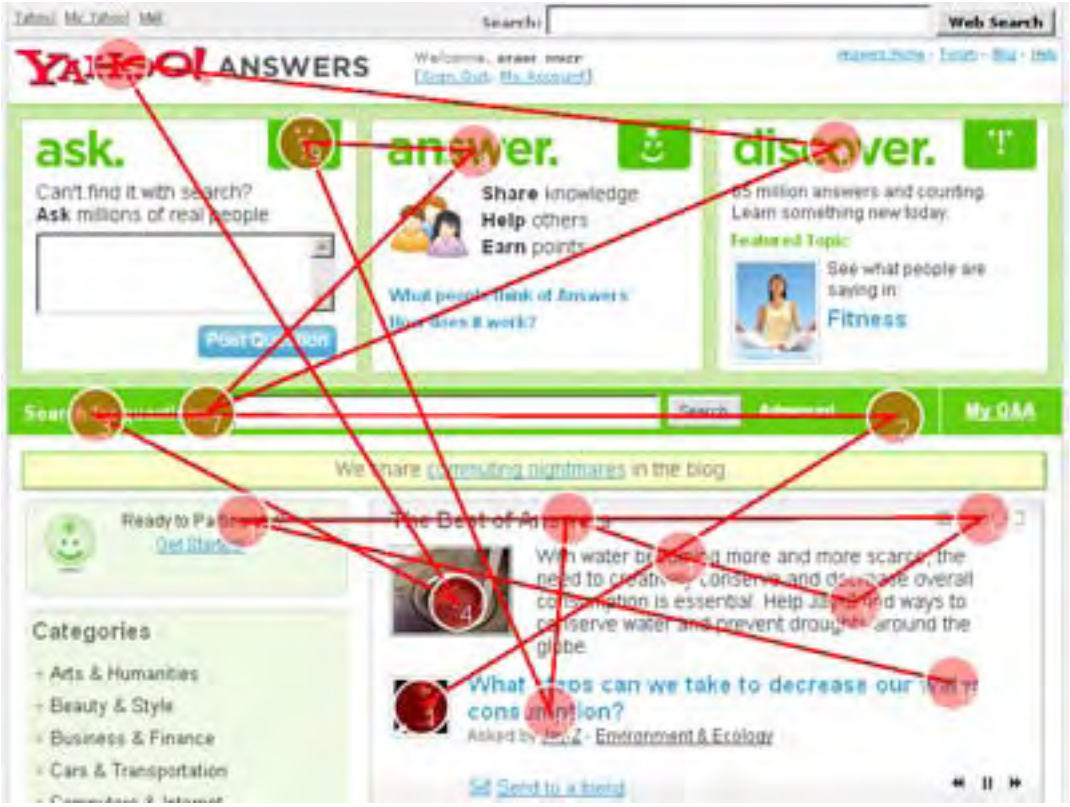
χρήστης «μένει» σε ένα συγκεκριμένο σημείο και εξακολουθεί να εστιάζει σε αυτό (fixation) εάν δεν το ξεπεράσει, σε αντίθετη περίπτωση όμως θεωρούμε ότι κάνει μια σακκαδική κίνηση μέχρι να βρεθεί σε ένα άλλο σημείο εστίασης.

ii) Μετρικές που προκύπτουν από τα saccades. [6],[7],[11]

- Αριθμός σακκαδικών κινήσεων (Number of saccades).
- Μήκος σακκαδικών κινήσεων (Saccade Amplitude).
- Παλινδρομήσεις (Regressive saccades- Regressions).
- Γωνία μεταξύ δύο διαδοχικών saccades, που μπορεί να δηλώνουν αλλαγή στην κατεύθυνση (Saccades revealing marked directional shifts).

iii)Συσχέτιση αυτών των μετρικών με συμπεριφορά-κατάσταση χρήστη.

- Αριθμός σακκαδικών κινήσεων: Περισσότερα saccades υποδηλώνουν περισσότερο ψάξιμο.
- Μήκος σακκαδικών κινήσεων: Μεγαλύτερα σε μήκος saccades υποδηλώνει κάτι πιο σημαντικό , καθώς η προσοχή έχει «τραβηχτεί» από απόσταση.
- Παλινδρομήσεις : Υποδηλώνουν την παρουσία λιγότερο σημαντικών αντικειμένων.
- Γωνία μεταξύ δύο διαδοχικών saccades, που μπορεί να δηλώνουν αλλαγή στην κατεύθυνση: Οποιοδήποτε saccade μεγαλύτερο από 90 μοίρες από το προηγούμενο saccade δηλώνει μια γρήγορη αλλαγή κατεύθυνσης. Αυτό μπορεί να σημαίνει ότι οι στόχοι του χρήστη έχουν αλλάξει ή ότι η εμφάνιση της διεπιφάνειας δεν αποκρίνεται στις προσδοκίες του χρήστη.



Saccades 1- Οι κόκκινες γραμμές που ενώνουν τις κόκκινες κουκκίδες παραπάνω.

Scanpaths.

i)Ορισμός.

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, τα scanpaths είναι "μονοπάτια" που ακολουθεί το μάτι για να "καταγράψει" τις πληροφορίες σε αυτό που βλέπει .

Πιο συγκεκριμένα, λαμβάνοντας υπ' όψιν και τα προηγούμενα, μπορούμε με απλά λόγια να πούμε πως το scanpath είναι το «άθροισμα» των fixations και των saccades.

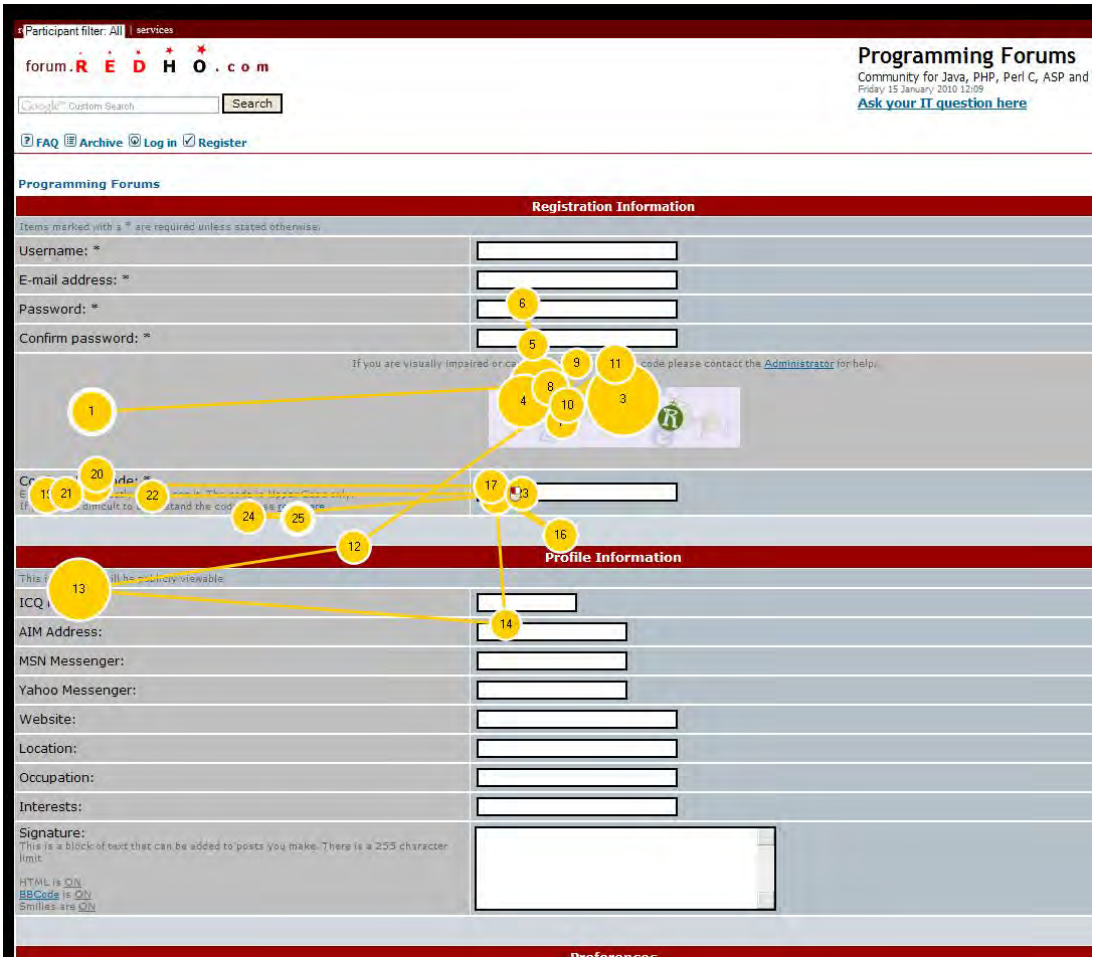
ii) Μετρικές που προκύπτουν από τα scanpaths: [6],[7]

- Διάρκεια scanpath (Scanpath duration).
- Μήκος scanpath (Scanpath length).
- Χωρική πυκνότητα scanpath (Spatial density).
- Μήτρα μετάβασης scanpath (Transition matrix).
- Κανονικότητα scanpath (Scanpath regularity).
- Χωρική κάλυψη υπολογισμένη σε μία κυρτή επιφάνεια (Spatial coverage calculated with convex hull area).

- Κατεύθυνση scanpath (Scanpath direction).
- Λόγος χρόνου saccades προς χρόνο fixations (Saccade/fixation ratio).
- Μεταβολή του scanpath (scanpath variation).

iii)Συσχέτιση αυτών των μετρικών με συμπεριφορά-κατάσταση χρήστη.

- Διάρκεια scanpath: Ένα scanpath που διαρκεί περισσότερο υποδηλώνει λιγότερο αποτελεσματική αναζήτηση.
- Μήκος scanpath: Ένα μεγαλύτερο σε μήκος scanpath υποδηλώνει λιγότερο αποτελεσματική αναζήτηση (ίσως λόγω μη βέλτιστης διάταξης διεπιφάνειας) .
- Χωρική πυκνότητα scanpath: Μικρότερη χωρική πυκνότητα υποδηλώνει πιο άμεση αναζήτηση.
- Μήτρα μετάβασης scanpath: Υποδηλώνει σειρά αναζήτησης όσον αφορά μεταβάσεις από μία περιοχή σε μία άλλη. Τα scanpaths που έχουν πανομοιότυπη χωρική πυκνότητα και μια περιοχή με κυρτό σχήμα μπορεί να έχουν εντελώς διαφορετικές μεταβατικές τιμές- η μία είναι αποτελεσματική και ευθύς ενόσω η άλλη πάει μπρος και πίσω μεταξύ περιοχών, υποδηλώνοντας αβεβαιότητα.
- Κανονικότητα scanpath: Από τη στιγμή που έχει προδιοριστεί «συμπεριφορά κυκλικής αναζήτησης», απόκλιση από ένα «φυσιολογικό» scanpath μπορεί να υποδηλώσει προβλήματα στην αναζήτηση λόγω έλλειψης εκπαίδευσης του χρήστη ή κακή διάταξη της διεπιφάνειας.
- Χωρική κάλυψη υπολογισμένη σε μία κυρτή επιφάνεια: Το μήκος του scanpath και η κυρτή επιφάνεια προσδιορίζουν αναζήτηση σε μια τοπική ή ευρύτερη περιοχή.
- Κατεύθυνση scanpath: Αυτό μπορεί να προσδιορίσει στρατηγική αναζήτησης του χρήστη με μενού, λίστες και άλλα στοιχεία διεπιφάνειας (πχ, top-down vs. bottom-up scanpaths). Το “sweep” (σκούπισμα) υποδηλώνει ένα scanpath σε εξέλιξη προς την ίδια κατεύθυνση. (sweep=Scan path progressing in the same direction)
- Λόγος χρόνου saccades προς χρόνο fixations: Αυτό συγκρίνει το χρόνο που ξοδεύεται στην αναζήτηση (saccades) με το χρόνο που ξοδεύεται στην επεξεργασία (fixating). Μεγαλύτερος λόγος υποδηλώνει περισσότερη επεξεργασία ή λιγότερη αναζήτηση.



Scanpath 1- Το σύνολο των κίτρινων γραμμών και των κουκκίδων στην παραπάνω εικόνα.

Blinks.

i) Ορισμός. [6],[7],[8]

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το blink είναι ανοιγόκλειμα του ματιού. Διαρκεί ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα, και δε γίνεται συνήθως εύκολα αντιληπτό. Στην επιστήμη του Eye tracker έχουν εντοπιστεί τρεις τύποι blinks τους οποίους και αναφέρουμε:

- Ανακλαστικό blink: Γίνεται κατά κύριο λόγο εξαιτίας απότομης μεταβολής φωτεινότητας.
- Ηθελημένο blink: Γίνεται εκούσια από τον ίδιο τον χρήστη.
- Ενδογενές blink: Γίνεται λόγω αντίληψης και επεξεργασίας της πληροφορίας.

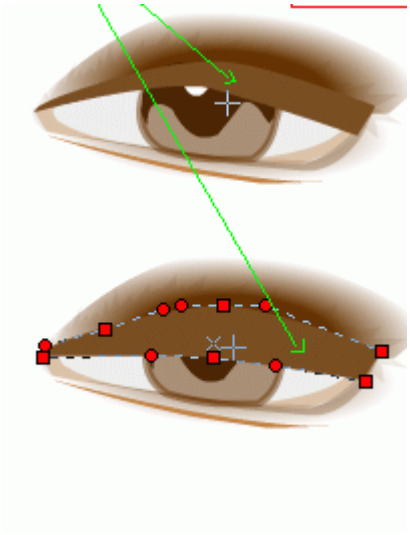
ii) Μετρικές που προκύπτουν από τα blinks:

- Συχνότητα blink (Blink rate)
- Συχνότητα ενδογενούς blink (Aggregate blink rate)

- Διάρκεια blink (Blink duration)
- Χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ των blinks (Blink intervals)

iii)Συσχέτιση αυτών των μετρικών με συμπεριφορά-κατάσταση χρήστη.

- Συχνότητα blink: Χαμηλό Blink rate θεωρείται ότι υποδηλώνει υψηλότερο φορτίο, και υψηλό blink rate μπορεί να υποδηλώνει κόπωση. Πάντως συνδέεται ισχυρά με την απόδοση. Σε πολλές έρευνες η συχνότητα blink μειώνεται σημαντικά όταν στους χρήστες δίνεται ένα απαιτητικό task, αν και υπάρχουν έρευνες που έδωσαν το ακριβώς αντίθετο αποτέλεσμα και σε dual task (driving & auditory), auditory only, driving only, [8] όπου η συχνότητα blink αυξήθηκε συναρτήσει της δυσκολίας).
- Συχνότητα ενδογενούς blink: Όσο περισσοότερη προσοχή απαιτεί ένα task, τόσο λιγότερα ενδογενή blink συμβαίνουν. [8]
- Διάρκεια blink: Συνδέεται ισχυρά με την απόδοση. Μειώνεται με περισσότερη οπτική πληροφορία. Αυξάνεται όταν αυξάνεται ο χρόνος του task. [8]
- Χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ των blinks: Ομοίως με τη διάρκεια των blinks συνδέεται ισχυρά με την απόδοση. Έχει παρατηρηθεί ότι όσο μεγαλώνει ο χρόνος μεταξύ των blinks, οι χρήστες προσπαθούν να αφομοιώσουν όσο το δυνατόν περισσότερη πληροφορία.



Blink 1

Pupilometry.

i) Ορισμός.

ii) Μετρικές που προκύπτουν από το pupilometry: [6],[7],[9],[16],[17],[18],[19],[20]

- Μέγεθος- διάμετρος κόρης οφθαλμού (Pupil size/ Pupil diameter)
- Ποσοστιαία μεταβολή στο μέγεθος κόρης οφθαλμού- Μέση ποσοστιαία μεταβολή στο μέγεθος κόρης οφθαλμού. (PCPS (Percentage Change in Pupil Size)/ APCPS (Average Percentage in Pupil Size))

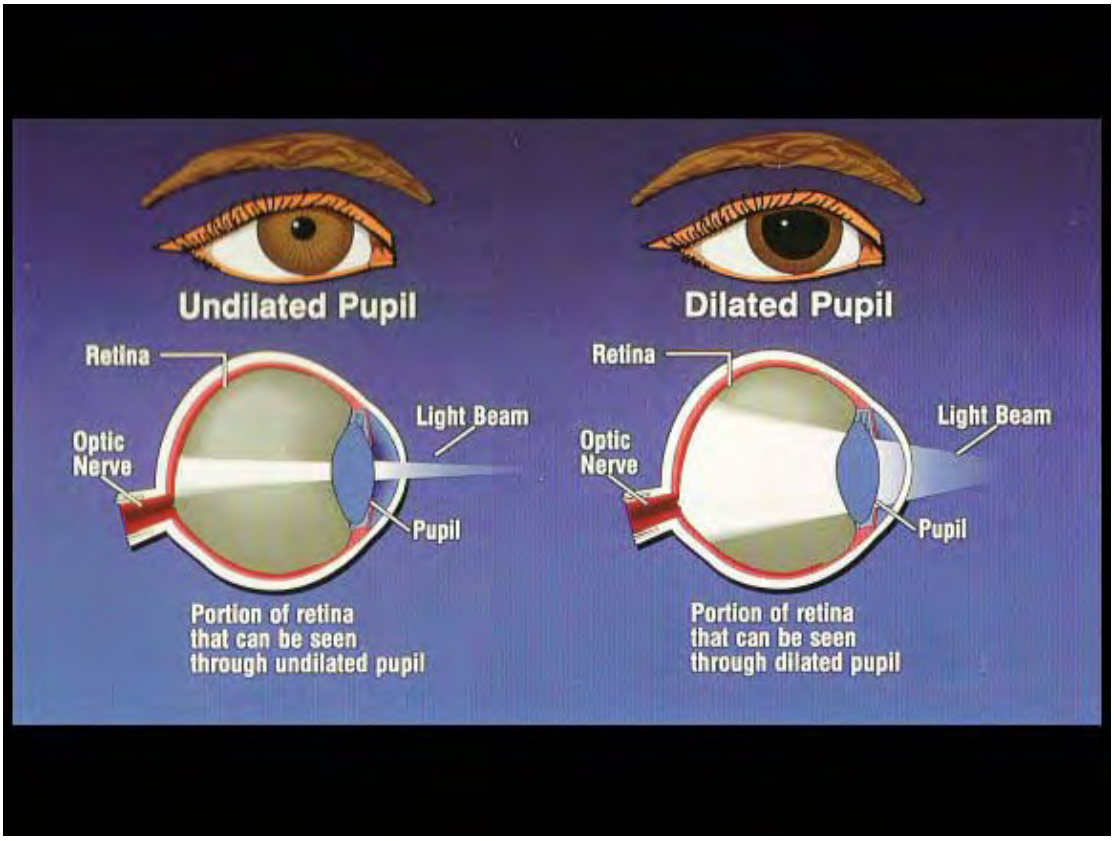
iii)Συσχέτιση αυτών των μετρικών με συμπεριφορά-κατάσταση χρήστη.

- Μέγεθος- διάμετρος κόρης οφθαλμού: Η μέτρηση του μεγέθους της κόρης του ματιού είναι άμεση μέτρηση του γνωσιακού φορτίου(μέτρο διέγερσης).
  Το κατά πόσο έχει διασταλεί η κόρη φαίνεται ότι είναι συνάρτηση των: α) Του φορτίου που επεξεργάζεται (processing load), β) της νοητικής προσπάθειας που απαιτείται για να εκτελεστεί το γνωσιακό task .
  Γενικά ισχύει η συνεπαγωγή: Αύξηση μεγέθους κόρης => Αύξηση mental workload.
  Πρέπει να λάβουμε όμως υπόψη ότι παράγοντες όπως αντανακλαστικά, φωτισμός, συναισθηματική κατάσταση μπορεί να μεταβάλλουν το pupillary response. [1] ,[9]
- Ποσοστιαία μεταβολή στο μέγεθος κόρης οφθαλμού- Μέση ποσοστιαία μεταβολή στο μέγεθος κόρης οφθαλμού: Μέτρηση στην ποσοστιαία μεταβολή του μεγέθους της κόρης. Ορίζουμε ένα baseline για το μέγεθος της κόρης του ματιού, και μετράμε ανά πάσα στιγμή τη μεταβολή του μεγέθους της κόρης βάση του baseline, σύμφωνα με τον αναγραφόμενο τύπο.[2],[19]
  Ο τύπος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της συγκεκριμένης μετρικής είναι:

$$\frac{\text{(measured pupil size – baseline pupil size)}}{\text{(baseline pupil size)}} * 100\ \%$$

Τα τελευταία χρόνια έχει αποδειχτεί η άμεση συνάρτηση διαστολής κόρης οφθαλμού (pupil dilation) με αύξηση γνωσιακού φορτίου. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με την τεχνική ICA (Index of Cognitive Activity)[10] μπορούμε να ξεχωρίσουμε αξιόπιστα και γρήγορα την απόκριση της κόρης του ματιού λόγω γνωσιακού φορτίου (cognitive workload) από την απόκριση της κόρης του ματιού από τις άλλες αλλαγές στη διαστολή της κόρης του οφθαλμού.

Το ICA μετρά ξαφνικές και μη αναμενόμενες ασυνέχειες στο σήμα που δημιουργείται από τη συνεχή καταγραφή της διαμέτρου της κόρης του οφθαλμού. (Marshall 2002).



Pupil Dilation 1

1.4: Πειράματα με χρήση του Eyetracking.

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, η έρευνα eyetracking βρίσκει εφαρμογή σε πολλά διαφορετικά ερευνητικά πεδία. Ως εκ τούτου, θα ήταν σκόπιμο να αναφέρουμε κάποια παραδείγματα πειραμάτων που έχουν διεξαχθεί από διαφορετικές ερευνητικές ομάδες με διαφορετικούς αντικειμενικούς στόχους, με κοινό φυσικά σημείο το eyetracking, τις τελευταίες δεκαετίες που χρησιμοποιείται περισσότερο η τεχνολογία αυτή.

1.4.1: Ιστορική ανασκόπηση της τεχνολογίας του Eyetracking και των πρώτων πειραμάτων. [4]

Είναι ενδιαφέρον να αναφέρουμε τα πρώτα πειράματα που διεξήχθησαν με την τεχνολογία του Eyetracking και ουσιαστικά έδωσαν λόγο και κίνητρο στους ερευνητές να ασχοληθούν και να εντρυφήσουν στην μελέτη της κίνησης του ματιού.

Η μελέτη των κινήσεων του ματιού προϋπάρχει κατά 100 χρόνια περίπου της ευρέως διαδεδομένης χρήσης των υπολογιστών [21]. Πέραν της απλής οπτικής παρακολούθησης, οι αρχικές μέθοδοι για τον εντοπισμό της θέσης των εστιάσεων του ματιού ήταν πολύ ενοχλητικός, καθώς συμπεριλάμβανε απευθείας μηχανική επαφή με τον κερατοειδή. Οι Dodge και Cline (1901), ανέπτυξαν την πρώτη ακριβή, μη ενοχλητική τεχνική eye tracking, χρησιμοποιώντας φως αντανακλασμένο από τον

κερατοειδή. Το σύστημά τους κατέγραφε μόνο την οριζόντια θέση του ματιού σε μία φωτογραφική πλάκα που έπεφτε, και απαιτούσε το κεφάλι του συμμετέχοντα να είναι ακίνητο. Λίγο μετά από αυτό, οι Judd, Mc Allister & Steel (1905), εφάρμοσαν την τεχνολογία των κινηματογραφικών ταινιών για να καταγράψουν τις χρονικές διαστάσεις των κινήσεων του ματιού σε δύο διαστάσεις. Η τεχνική τους κατέγραφε την κίνηση μιας μικρής άσπρης κηλίδας ενός υλικού που εισαγόταν στα μάτια των συμμετεχόντων, κι όχι μέσω φωτός αντανακλασμένου απευθείας από τον κερατοειδή. Αυτοί και άλλοι ερευνητές που ενδιαφέρθηκαν για τις κινήσεις των ματιών έκαναν επιπρόσθετες προόδους στα συστήματα eye tracking κατά τη διάρκεια του πρώτου μισού του εικοστού αιώνα, συνδυάζοντας την αντανάκλαση στον κερατοειδή και τις τεχνικές των κινηματογραφικών ταινιών με διάφορους τρόπους[22].

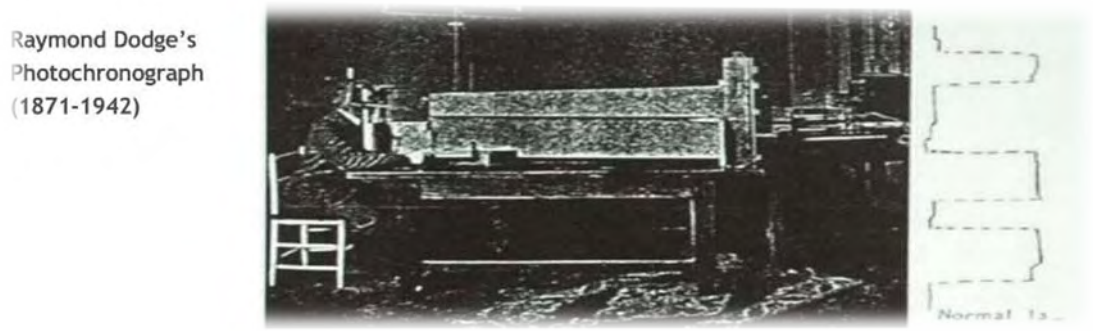


Figure 1. Raymond Dodge's Photochronograph

Τη δεκαετία του 1930, ο Miles Tinker και οι συνάδερφοί του ξεκίνησαν να εφαρμόζουν φωτογραφικές τεχνικές για να μελετήσουν την κίνηση των ματιών κατά την ανάγνωση[23]. Μετέβαλαν τη γραμματοσειρά, το μέγεθος της εκτύπωσης, τη διάταξη της σελίδας, κτλ., και μελέτησαν τις επιπτώσεις στην ταχύτητα ανάγνωσης, και τα πρότυπα των κινήσεων των ματιών. Το 1947, ο Paul Fitts και οι συνεργάτες του[24] ξεκίνησαν να χρησιμοποιούν κάμερες κινηματογραφικών ταινιών για να μελετήσουν τις κινήσεις των ματιών των πιλότων, καθώς οι τελευταίοι χρησιμοποιούσαν τα χειριστήρια και τα όργανα στο πιλοτήριο για να προσγειώσουν ένα αεροπλάνο. Η έρευνα των Fitts et al., αντιπροσωπεύει την πρώτη εφαρμογή του eye tracking γι' αυτό που είναι τώρα γνωστό ως «μηχανική χρηστικότητας» (usability engineering) – η συστηματική μελέτη χρηστών που αλληλεπιδρούν με προϊόντα για να βελτιωθεί η σχεδίαση του προϊόντος.

Περίπου εκείνη την εποχή οι Hartridge και Thompson (1948) εφεύραν τον πρώτο τοποθετημένο στο κεφάλι eyetracker. Επίπονη για τους χρήστες, για τα σημερινά δεδομένα, αυτή η καινοτομία λειτούργησε ως η αρχή για την απελευθέρωση των συμμετεχόντων των μελετών eye tracking από σφιχτούς περιορισμούς της κίνησης του κεφαλιού. Τη δεκαετία του 1960, ο Shackel (1960) και οι Mackworth & Thomas (1962) βελτίωσαν την έννοια των συστημάτων eyetracker που είναι τοποθετημένα στο κεφάλι καθιστώντας τα κάπως λιγότερο ενοχλητικά και

μείωσαν ακόμα περισσότερο τους περιορισμούς στην κίνηση του κεφαλιού του συμμετέχοντος. Σε μία άλλη σημαντική εξέλιξη σχετική με την εφαρμογή του eye tracking στην επικοινωνία ανθρώπου- υπολογιστή, οι Mackworth & Mackworth (1958) σχεδίασαν ένα σύστημα για να καταγράφει τις κινήσεις των ματιών υπερτεθειμένες στη μεταβαλλόμενη οπτική σκηνή που έβλεπε ο συμμετέχων.

Η έρευνα της κίνησης των ματιών και το eye tracking άνθισαν τη δεκαετία του 1970, με μεγάλες προόδους και στην τεχνολογία του eyetracking και στην ψυχολογική θεωρία που συνδέει τα δεδομένα του eyetracking με τις γνωσιακές διεργασίες. Ας δούμε για παράδειγμα βιβλία που γράφτηκαν ως αποτέλεσμα συνεδρίων για τις κινήσεις των ματιών εκείνης της περιόδου[25],[26],[27]. Πολύ από τη δουλειά που ήταν εστιασμένη στην έρευνα στην ψυχολογία και τη φυσιολογία και διερευνούσε το πώς το μάτι του ανθρώπου λειτουργεί και τι μπορεί να αποκαλύψει σχετικά με τις αντιληπτικές και γνωσιακές διεργασίες. Αλλά τα αρχεία των δημοσιεύσεων από τη δεκαετία του 1970 δείχνουν μια νηνεμία στη δραστηριότητα για τη συσχέτιση του eye tracking με το usability engineering. Υποθέτουμε ότι αυτό συνέβη κυρίως λόγω της προσπάθειας που απαιτείται όχι μόνο για τη συλλογή των δεδομένων, μα ακόμα περισσότερο στην ανάλυση των δεδομένων. Όπως το θέτει ο Monty (1975): «Δεν είναι ασυνήθιστο να σπαταλάει κάποιος μέρες για την επεξεργασία αποτελεσμάτων που του πήρε μόλις λίγα λεπτά για να συλλέξει» (p. 331-332). Η δουλειά σε αρκετά εργαστήρια ανθρωπίνων παραγόντων/ ευχρηστίας (κυρίως εκείνων που συνδεόταν με την πολεμική αεροπορία) εστίαζε στην επίλυση των ελλειμάτων με την τεχνολογία eye tracking και την ανάλυση δεδομένων αυτό το χρονικό πλαίσιο. Οι ερευνητές σε αυτά τα εργαστήρια κατέγραφαν την περισσότερη από τη δουλειά τους σε τεχνικές αναφορές του στρατού των Η.Π.Α.[28].

Πολύ από τη σχετική δουλειά τη δεκαετία του 1970 εστίαζε σε τεχνικές βελτιώσεις για να αυξηθεί η ακρίβεια και να μειωθεί η επίπτωση των συσκευών eye tracker στους συμμετέχοντες σε πειράματα eye tracking. Η ανακάλυψη ότι πολλαπλές αντανακλάσεις από το μάτι μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να διαχωρίσουν τις κινήσεις του ματιού από τις κινήσεις του κεφαλιού[29] αύξησαν την ακρίβεια του eye tracking και επίσης προετοίμασαν το έδαφος για τις εξελίξεις που είχαν ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη ελευθερία στην κίνηση του συμμετέχοντος. Χρησιμοποιώντας αυτήν την ανακάλυψη, δύο συντονισμένες ομάδες στρατιωτικο-βιομηχανικές[30] ανέπτυξαν η καθεμιά ένα απομακρυσμένο σύστημα eye tracking που μείωσε δραματικά τη φορτικότητα του eyetracker και τους περιορισμούς στο μάτι του συμμετέχοντα [31],[32]. Αυτές οι συντονισμένες στρατιωτικής/βιομηχανικής ανάπτυξης ομάδες και άλλες, έκαναν ακόμα πιο σημαντικές συνεισφορές με την αυτοματοποίηση της ανάλυσης δεδομένων του eye tracking. Η έλευση του μικροϋπολογιστή σε αυτό το γενικότερο χρονικό πλαίσιο παρείχε τους απαραίτητους πόρους για ανάλυση δεδομένων υψηλής ταχύτητας. Αυτή η καινοτομία ήταν ένας ουσιαστικός πρόδρομος για τη χρήση των δεδομένων του eye tracking σε πραγματικό χρόνο ως ένα μέσο για την αλληλεπίδραση ανθρώπου- υπολογιστή[33]. Σχεδόν όλη η δουλειά eye tracking πριν από αυτό χρησιμοποιούσε τα δεδομένα μόνο αναδρομικά,

παρά σε πραγματικό χρόνο (σε παλαιότερη δουλειά, η ανάλυση μπορούσε μόνο να προχωρήσει αφότου το φιλμ είχε εμφανιστεί). Οι τεχνολογικές πρόοδοι στο eye tracking κατά τη διάρκεια των δεκαετιών 1960 και 1970 ακόμα φαίνεται να αντανακλώνται στα περισσότερα εμπορικά διαθέσιμα συστήματα eye tracking σήμερα [34].

Οι ψυχολόγοι που μελέτησαν τις κινήσεις των ματιών και τις εστιάσεις των πριν το 1970, γενικά επιχείρησαν να αποφύγουν τους γνωσιακούς παράγοντες όπως η μάθηση, η μνήμη, ο φόρτος (γνωσιακός), και η παράταξη της προσοχής. Αντ' αυτού, η εστίασή τους ήταν στις σχέσεις μεταξύ των κινήσεων του ματιού και τις απλές ιδιότητες των οπτικών ερεθισμάτων, όπως η κίνηση του στόχου, η αντίθεση, και η θέση. Η λύση τους στο πρόβλημα των υψηλού επιπέδου γνωσιακών παραγόντων ήταν «να αγνοηθεί, ελαχιστοποιηθεί ή ακυρωθεί η μελέτη τους σε μία προσπάθεια να αναπτυχθούν μοντέλα των υποτιθέμενων απλούστερων, χαμηλού επιπέδου διεργασιών, ήτοι, αισθητικοκινητικές σχέσεις και η υποκείμενη φυσιολογία τους»[35] Αλλά αυτή η στάση άρχισε να αλλάζει σταδιακά τη δεκαετία του 1970. Όταν οι μηχανικοί βελτίωσαν την τεχνολογία του eye tracking, οι ψυχολόγοι άρχισαν να μελετούν τις σχέσεις μεταξύ των εστιάσεων (ή fixations όπως ορίστηκαν σε προηγούμενη ενότητα) και γνωσιακής δραστηριότητας. Αυτή η δουλειά κατέληξε σε μερικά στοιχειώδη, θεωρητικά μοντέλα για τη συσχέτιση των εστιάσεων σε συγκεκριμένες γνωσιακές διαδικασίες. Βλέπε για παράδειγμα τη δουλειά των Just & Carpenter[3]. Φυσικά, εργαστήρια επιστημονικά, εκπαιδευτικά και μηχανικών διέθεταν το μόνο «σπίτι» για τους υπολογιστές κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια αυτής της περιόδου. Έτσι λοιπόν, το eye tracking δεν είχε εφαρμοστεί ακόμα στη μελέτη της αλληλεπίδρασης ανθρώπου- υπολογιστή σε αυτό το σημείο. Οι τηλέτυποι για εισαγωγή γραμμής εντολών, οι διάτρητες κάρτες και οι κασέτες, και οι εκτυπωμένες γραμμές αλφαριθμητικού αποτελέσματος χρησίμευε ως μια πρωταρχική μορφή αλληλεπίδρασης ανθρώπου- υπολογιστή.

Όπως ο Senders (2000) επεσήμανε, η χρήση του eye tracking έχει επιμόνως έρθει πίσω για να λύσει νέα προβλήματα σε κάθε δεκαετία από τη δεκαετία του 1950. Ο Senders προσομοιάζει το eye tracking με έναν Φοίνικα που αναδύεται από τις στάχτες του ξανά και ξανά με κάθε μία νέα γενιά μηχανικών να σχεδιάζουν νέα συστήματα eye tracker και κάθε νέα γενιά γνωσιακών ψυχολόγων να δράττεται από νέα προβλήματα. Η δεκαετία του 1980 δεν αποτέλεσε εξαίρεση. Όσο οι προσωπικοί υπολογιστές πολλαπλασιάζονταν, οι ερευνητές ξεκίνησαν να ερευνούν πώς το πεδίο του eye tracking μπορούσε να εφαρμοστεί σε θέματα αλληλεπίδρασης ανθρώπου-υπολογιστή. Η τεχνολογία φαινόταν ιδιαιτέρως χρήσιμη για να απαντηθούν ερωτήσεις σχετικά με το πώς οι χρήστες ψάχνουν για εντολές σε μενού υπολογιστών [36],[37],[38],[39]. Η δεκαετία του 1980 επίσης αποτέλεσε την απαρχή του eye tracking σε πραγματικό χρόνο ως μέσον για την αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή. Αρχική δουλειά σε αυτήν την περιοχή αρχικά εστίασε πρωτίστως σε χρήστες που ήταν άτομα με ειδικές ανάγκες [40],[41],[42]. Επιπλέον, η δουλειά σε προσομοιωτές πτήσης επιχείρησε να προσομοιώσει μία μεγάλη οθόνη υψηλής

ανάλυσης παρέχοντας υψηλή ανάλυση οπουδήποτε εστίαζε ο παρατηρητής και μικρότερη ανάλυση στην περιφέρεια[43]. Ο συνδυασμός των δεδομένων της κίνησης του ματιού σε πραγματικό χρόνο με άλλες πιο συμβατικές μεθόδους επικοινωνίας χρήστη- υπολογιστή επίσης πρωτοπόρησε κατά τη διάρκεια της δεκαετίας 1980[44],[45],[46],[47].

Σε πιο πρόσφατες εποχές, το eye tracking στην αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή έχει δείξει ταπεινόφρων ανάπτυξη και όσον αφορά τα μέσα για τη μελέτη ευχρηστίας των διεπιφανειών υπολογιστή και όσον αφορά τα μέσα για την αλληλεπίδραση με τον υπολογιστή. Όσο οι τεχνολογικές εξελίξεις όπως το διαδίκτυο, το e-mail και η βιντεο-τηλεδιάσκεψη εξελίχθηκαν σε βιώσιμα μέσα διαμοιρασμού πληροφορίας κατά τη διάρκεια της δεκαετίας 1990 και έπειτα, οι ερευνητές πάλι στράφηκαν στο eye tracking για να απαντήσουν ερωτήσεις σχετικά με την ευχρηστία [48,49,50] και να υπηρετήσει ως μια συσκευή εισόδου του υπολογιστή[51],[52],[53],[54].

1.4.2: Παραδείγματα χρήσης eye tracking σε πειράματα.

Στη συνέχεια έχουν επιλεγεί πειράματα με κριτήριο να δοθεί για κάθε γενική κατηγορία μετρικών ένα παράδειγμα χρήσης των. Φυσικά, κάθε πείραμα δεν περιορίζεται στην ανάλυση μόνο μίας μετρικής, ή μιας γενικής κατηγορίας μετρικών, αλλά συνήθως, μία ή δύο μετρικές δίνουν ένα σαφές συμπέρασμα, το οποίο και αναφέρεται (συνήθως με τη βοήθεια μίας μετρικής) στα αποτελέσματα.

(i) Πείραμα παρατήρησης κινούμενων αντικειμένων. [12]

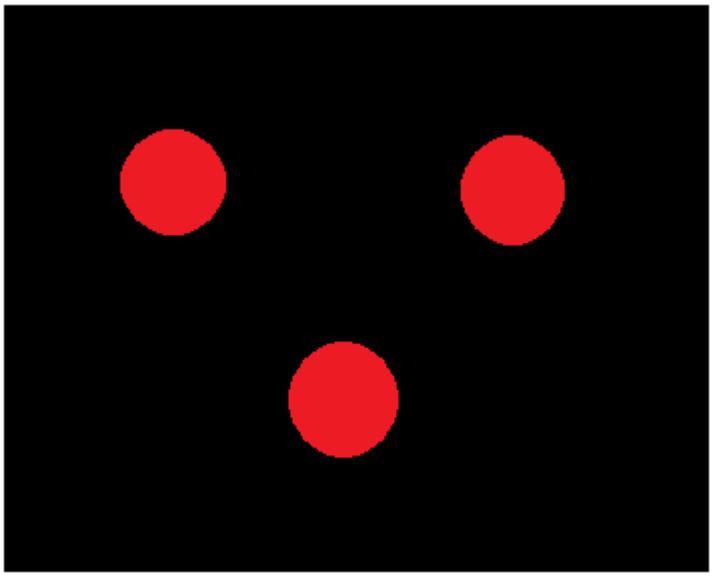
Σε αυτό το πείραμα, ο σκοπός ήταν να μελετηθεί η εστίαση της προσοχής των χρηστών όταν έπρεπε να παρακολουθήσουν ταυτόχρονα διαφορετικούς κινούμενους στόχους. Από το σημείο στο οποίο κοίταζαν κάθε φορά οι χρήστες, και την πορεία των ματιών, οι ερευνητές κατέληξαν σε ενδιαφέροντα συμπεράσματα.

Το πείραμα είχε ως εξής: Οι χρήστες έπρεπε να κοιτάζουν σε μία οθόνη όπου βρισκόταν ένα τετράγωνο «κουτί» μαύρου φόντου, και μέσα υπήρχαν αρχικά 1 κόκκινη τελεία, στη συνέχεια 3 κόκκινες τελείες και στο τέλος 8 κόκκινες τελείες, οι οποίες όλες κινούταν τυχαία μέσα στο μαύρο «κουτί».

Τα αποτελέσματα αυτού του πειράματος έδειξαν τα εξής:

Γενικά, οι χρήστες έκαναν fixations πιο συχνά στους στόχους παρά σε αντικείμενα αντιπερισπασμού. Όμως, στο πείραμα με τους 3 στόχους (3 κουκκίδες) εστίασαν για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα στο μέσον του τριγώνου που σχηματίζεται από αυτές τις κουκκίδες, κι όχι τόσο στις κουκκίδες ξεχωριστά. Αυτό οφείλεται στην ομαδοποίηση στόχων. Σε αυτό το άρθρο έδειξαν οι συγγραφείς ότι οι χρήστες εσκεμμένα εστίασαν τα μάτια τους σε περιοχή διαφορετική των στόχων που παρακολουθούσαν ως συνέπεια αυτής της ομαδοποίησής τους.

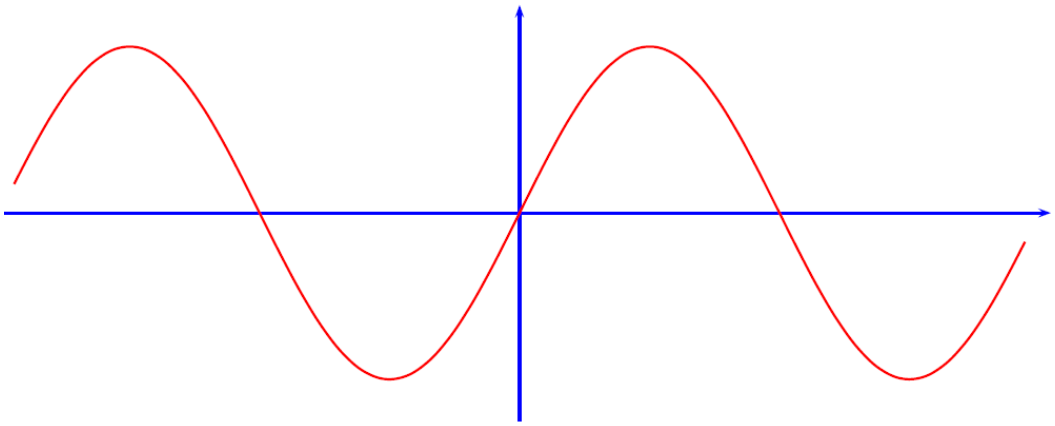
Συνεπώς, σε αυτό το πείραμα, με τη βοήθεια κυρίως της μετρικής: «αριθμός fixations σε στόχο», οι ερευνητές κατάφεραν να φτάσουν σε σαφή συμπεράσματα σχετικά με τη συμπεριφορά των χρηστών σε τέτοιες περιπτώσεις.



Πείραμα 1-Fixations

(ii) Μέτρηση saccades με χρήση μεθοδολογίας Eye-Tracking σε άτομα πάσχοντα από σχιζοφρένεια. [13]

Οι σακκαδικές κινήσεις που γίνονται όταν παρακολουθείται από τον συμμετέχοντα ένας στόχος της μορφής ημιτονοειδούς κύματος και όταν εστιάζει σε έναν στάσιμο στόχο μελετήθηκαν στις εξής τρεις ομάδες: σχιζοφρενείς, άλλοι ψυχιατρικά νοσηλευόμενοι, και ψυχικά υγιείς άνθρωποι. Η συχνότητα των σακκαδικών κινήσεων και κατά την παρακολούθηση των ημιτονοειδών κυμάτων αλλά και κατά την εστίαση του σταθερού στόχου ήταν σημαντικά μεγαλύτερη μεταξύ των σχιζοφρενών απ' ότι μεταξύ των άλλως δύο ομάδων που συγκρίνονταν στο πείραμα. Το πρότυπο των συμβάντων των σακκαδικών κινήσεων μέσα σε κύκλους της ημιτονοειδούς κίνησης ήταν παρόμοια και στις τρεις ομάδες: τα περισσότερα συμβάντα (εδώ αναφέρεται στις σακκαδικές κινήσεις) έγιναν στην μεγαλύτερη ταχύτητα του στόχου και τα λιγότερα συμβάντα έγιναν στα σημεία αντιστροφής (κορυφές του ημιτόνου). Τα αποτελέσματα θεωρούνται συμβατά με την υπόθεση της αποτυχίας μηχανισμών αναστολών.



Πείραμα 2- Saccades

(iii) «Οι παράγοντες που καθορίζουν τη συμπεριφορά κατά τη θέαση ιστοσελίδων: μια έρευνα eye tracking». [14]

Οι ερευνητές θέτουν σε αυτό το πείραμα το ερώτημα: Πώς "βλέπουν" οι χρήστες διαφορετικά web sites;

Στο συγκεκριμένο πείραμα έλαβαν μέρος 30 χρήστες το οποίο αποτελούταν από 22 ιστοσελίδες. Εξερευνήθηκαν παράγοντες συμπεριφοράς σε μία ιστοσελίδα, η οποία καθορίζεται από το φύλο του χρήστη, τη σειρά θέασης της ιστοσελίδας, και την επίδραση μεταξύ του τύπου της ιστοσελίδας και τη διάταξη της σελίδας.

Αποτελέσματα: Η ανάλυση του scanpath έδειξε ότι η πολυπλοκότητα του σχεδιασμού της ιστοσελίδας επηρέασε το βαθμό του scanpath variation (δηλαδή της μεταβολής του scanpath) μεταξύ διαφορετικών χρηστών στην ίδια ιστοσελίδα.



Πείραμα 3-Scanpath

(iv) "Προσομοίωση οδήγησης – μέτρηση απόδοσης με συχνότητα blinks" [8]

Το πείραμα αυτό αποτελούταν από δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος οι συμμετέχοντες έπρεπε απλώς να εκτελέσουν ένα πείραμα προσομοίωσης οδήγησης, ενώ στη δεύτερη φάση έπρεπε παράλληλα με την οδήγηση να ανταποκριθούν και σε κάποιες ερωτήσεις (ακουστικό καθήκον).

Αποτελέσματα: Στη δεύτερη περίπτωση (του διπλού καθήκοντος) παρατηρήθηκε μία αύξηση σε συχνότητα blinks ενώ η μέση διάμετρος της κόρης επίσης επίσης αυξήθηκε σε σχέση με την πρώτη περίπτωση της απλής προσομοίωσης οδήγησης. Ακόμα, αξίζει να σημειωθεί ότι μείωση των blinks βρέθηκε συνυφασμένη με πνευματική συγκέντρωση σε καθήκοντα.



Πείραμα 4- Blinks - driving task

(v) "Πείραμα διόρθωσης κειμένου- αλλαγή στο pupil size" [15]

Στο πείραμα αυτό έγινε μια προσπάθεια κατανόησης αλλαγών στο γνωσιακό φορτίο χρηστών χρησιμοποιώντας ένα καθήκον διόρθωσης κειμένου.

Εδώ οι ερευνητές χρησιμοποίησαν την ποσοστιαία μεταβολή της διαμέτρου της κόρης ως μετρική (PCPS- Μέτρηση στην ποσοστιαία μεταβολή του μεγέθους της κόρης), το οποίο μετράται ως εξής: Ορίζουμε ένα baseline για το μέγεθος της κόρης του ματιού, και μετράμε ανά πάσα στιγμή τη μεταβολή του μεγέθους της κόρης βάση του baseline.

Αποτελέσματα: Η μέτρηση του μεγέθους της κόρης του ματιού είναι άμεση μέτρηση του γνωσιακού φορτίου(μέτρο διέγερσης).

Το κατά πόσο έχει διασταλεί η κόρη φαίνεται ότι είναι συνάρτηση των: α) Του φορτίου που επεξεργάζεται (processing load), β)της νοητικής προσπάθειας που απαιτείται για να εκτελεστεί το γνωσιακό καθήκον .

Συνεπώς πολύ απλά μπορούμε να πούμε πως ισχύει η ισοδυναμία:

Αύξηση μεγέθους κόρης => Αύξηση mental workload



Πείραμα 5- Pupil DIlation

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Εξοπλισμός.

Στο κεφάλαιο αυτό θα κάνουμε μια επίδειξη του Eye tracker που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής, καθώς και του λογισμικού που είναι εγκατεστημένου, του Tobii Studio το οποίο χρησιμοποιείται για δημιουργία και διεξαγωγή πειραμάτων. Στη συνέχεια, θα κάνουμε την απαραίτητη σύνδεση που απαιτείται μεταξύ του θεωρητικού υποβάθρου των μετρικών που εξετάσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο με τα δεδομένα και τις μετρικές που μας δίνει ο εξοπλισμός που διαθέτουμε.

Hardware & Software χαρακτηριστικά:

Hardware:

Το εργαστήριο διαθέτει τον Tobii T60 Series EyeTracker , ο οποίος έχει τεχνικά χαρακτηριστικά 60Hz data rate καθώς και tracking distance 50 ~ 80 cm.

Η συχνότητα που αναφέρεται παραπάνω εννοείται πως είναι συχνότητα δειγματοληψίας του eye tracker και στην προκειμένη περίπτωση, ο συγκεκριμένος eye tracker (με συχνότητα 60 Hz) συλλέγει δεδομένα κάθε 16.6 ms και αυτό είναι δεδομένο για κάθε eye tracker με συγκεκριμένη συχνότητα (για παράδειγμα ένας eye tracker με συχνότητα 120 Hz συλλέγει δεδομένα κάθε 8.3 ms).

Software:

Ο Eye tracker που χρησιμοποιείται έχει εγκατεστημένο το λειτουργικό που παρέχεται από την εταιρεία κατασκευής του και είναι το Tobii Studio 2.05.

2.1:Δυνατότητες λογισμικού για το σχεδιασμό του πειράματος.

Με το λογισμικό αυτό όπως προαναφέρθηκε μπορούμε να δημιουργήσουμε και να διεξάγουμε πειράματα. Για τη δημιουργία των πειραμάτων, το λογισμικό αυτό μας παρέχει τις εξής δυνατότητες:

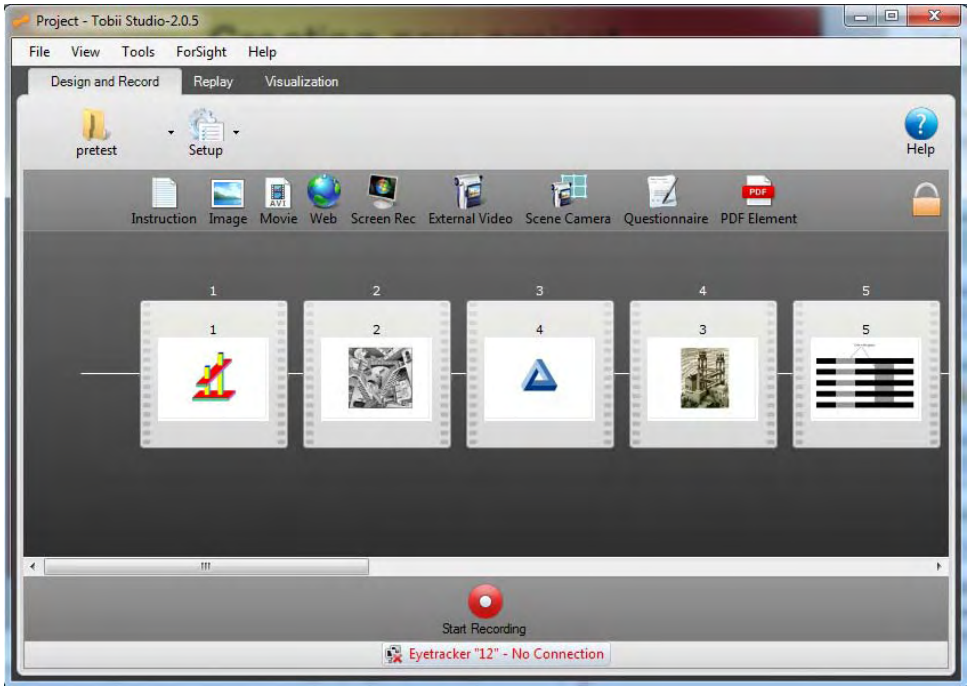
1)Μπορούμε να εισάγουμε εικόνες, αρχεία pdf, βίντεο, σελίδες στο web, κείμενο, γραπτές οδηγίες για τον χρήστη (για την ομαλή διεξαγωγή του πειράματος)

2)Δυνατότητα screen recording, το οποίο σημαίνει πως καταγράφεται ό,τι γίνεται στην οθόνη (πιο χρήσιμο για word processor, excel etc.).

3)Δυνατότητα External Video, το οποίο σημαίνει πως καταγράφεται ό,τι εμφανίζεται στην κάμερα .

4)Δυνατότητα Scene Camera, το οποίο είναι σαν το External Video, με επιπρόσθετο χαρακτηριστικό ότι κάνει μια προσαρμογή για να «αποζημιώσει» το γεγονός ότι η κάμερα αυτή είναι τοποθετημένη σε μια συγκεκριμένη γωνία σχετική με το ερέθισμα και τον συμμετέχοντα.

5)Δυνατότητα ερωτηματολογίου με ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής.



Προετοιμασία πειράματος 1

2.2: Δυνατότητες λογισμικού για τις προεπιλογές του πειράματος.

Το λογισμικό μας δίνει τη δυνατότητα να επιλέξουμε αν η ανάλυση θα γίνει με βάση το δεξί, το αριστερό μάτι ή έναν μέσο όρο των δύο.

Επίσης, μας επιτρέπει να επιλέξουμε από τα παρακάτω φίλτρα:

1) Raw Data Filter : Κανένα φίλτρο για τα fixation δεν εφαρμόζεται στα δεδομένα αλλά όλα τα σημεία από τα δεδομένα που έχουν παρθεί παρουσιάζονται στις απεικονίσεις και χρησιμοποιούνται για την ανάλυση στο στατιστικό εργαλείο. Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτό απαιτεί πολλούς υπολογιστικούς πόρους και η ανάλυση θα γίνει πολύ αργά αν όλα τα δεδομένα έχουν καταγραφεί.

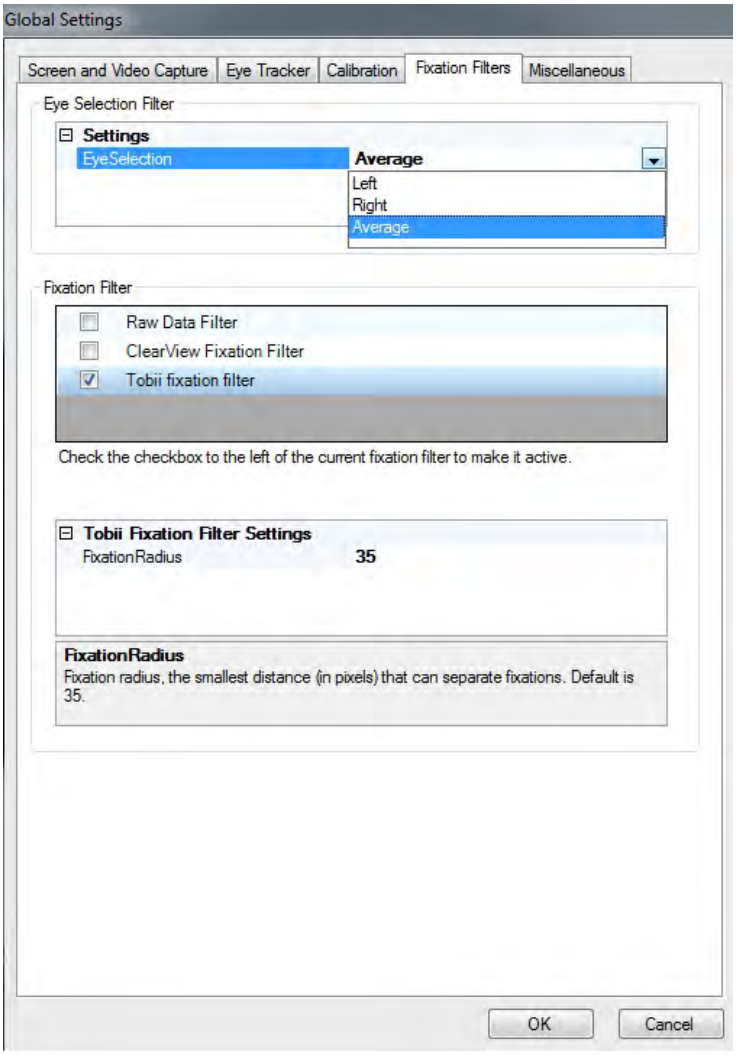
2) Clearview: Προσδιορίζει τη μέγιστη απόσταση μεταξύ δύο σημείων έτσι ώστε αυτά να θεωρηθεί ότι ανήκουν στο ίδιο fixation και ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται για μία εστίαση να βρίσκεται μέσα σε μια συγκεκριμένη ακτίνα για να θεωρηθεί ως ένα fixation.

3) Tobii fixation filter(default) : Το φίλτρο εντοπίζει γρήγορες αλαγές στο σήμα σημείου παρατήρησης χρησιμοποιώντας The filter detects quick changes in the gaze point signal using κυλιόμενο μέσο όρο (sliding averaging). Το πόσο διακριτές χρειάζεται να είναι οι αλλαγές ούτως ώστε να διαχωριστούν τα fixations μπορεί να προσαρμοστεί με μία ακτίνα κατωφλίου.

Το φίλτρο εκτιμά τη θέση των fixations μεταξύ των αλλαγών στη θέση εστίασης χρησιμοποιώντας έναν εκτιμητή διαμέσου (median-estimator) και ελέγχοντας εάν and by checking if συνεχόμενα fixations (στο πεδίο του χρόνου) είναι μαζί πιο κοντά από το δεδομένο κατώφλι (στο χωρικό πεδίο). Το κατώφλι η (threshold) τίθεται κάτω από τις επιλογές του φίλτρου των fixations (fixation filter settings). Η τιμή χρησιμοποιείται όταν υπολογίζεται εάν το σημείο παρατήρησης ανήκει σε ένα νέο fixation ή όχι. Η τιμή κατωφλίου θέτει ένα μέγιστο για το πόσο μακριά επιτρέπεται να είναι τα fixations σε ακτίνα pixel και να εξακολουθούν να ανήκουν στο ίδιο fixation.

Ενδεικτικά να αναφέρουμε όσον αφορά τα κατώφλια ότι τυπικά ορίζονται στις εξής τιμές:

- Φωτογραφίες: 50pixels, 200ms.
- Κείμενο: 20 pixels, 40 ms.
- Μεικτό: 30 pixels, 100 ms.



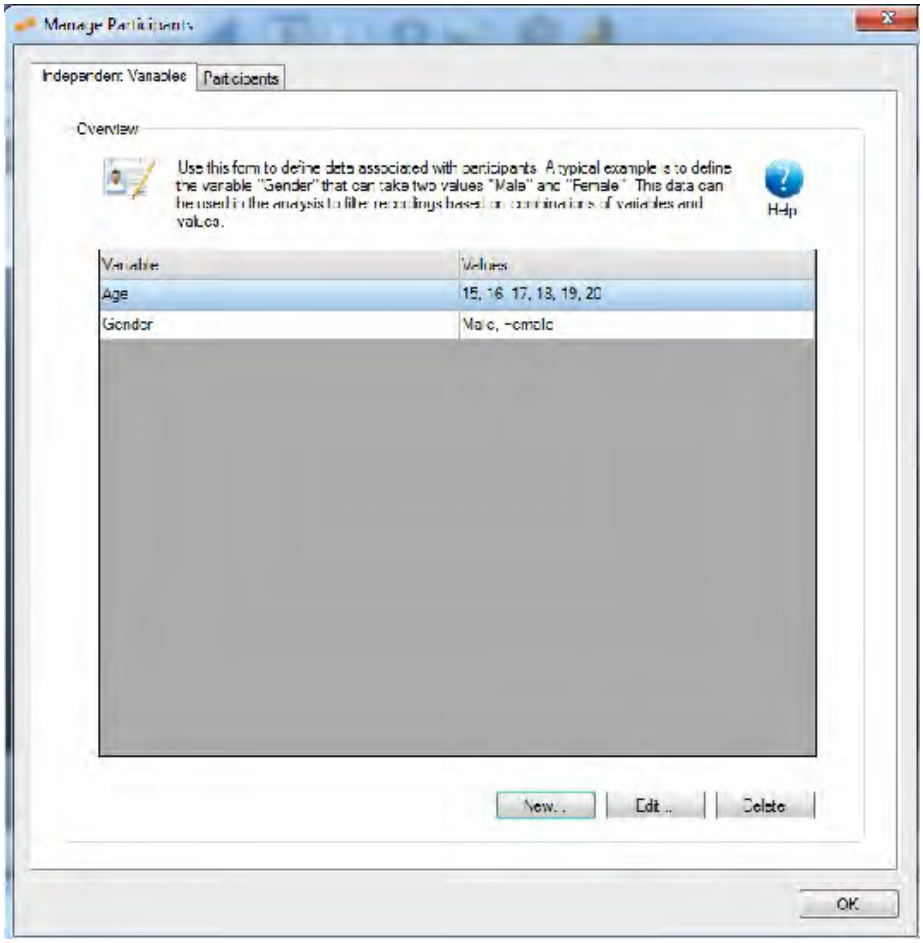
Προεπιλογές προγράμματος 1

2.3: Δυνατότητες λογισμικού για τη διεξαγωγή του πειράματος.

1)Προσθήκη συμμετεχόντων.

Το μόνο απαραίτητο είναι κάποιο όνομα για να διαχωρίζεται ο ένας συμμετέχων από τον άλλο.

Παρέχεται η δυνατότητα για εισαγωγή επιπλέον στοιχείων του συμμετέχοντος ως μεταβλητές. Οι μεταβλητές μπορούν να δημιουργηθούν για να διευκολύνουν την ανάλυση. Χαρακτηριστικά όπως η ηλικία, το φύλλο δίνονται καθώς και οι δυνατές τιμές τους.



Στοιχεία συμμετεχόντων 1

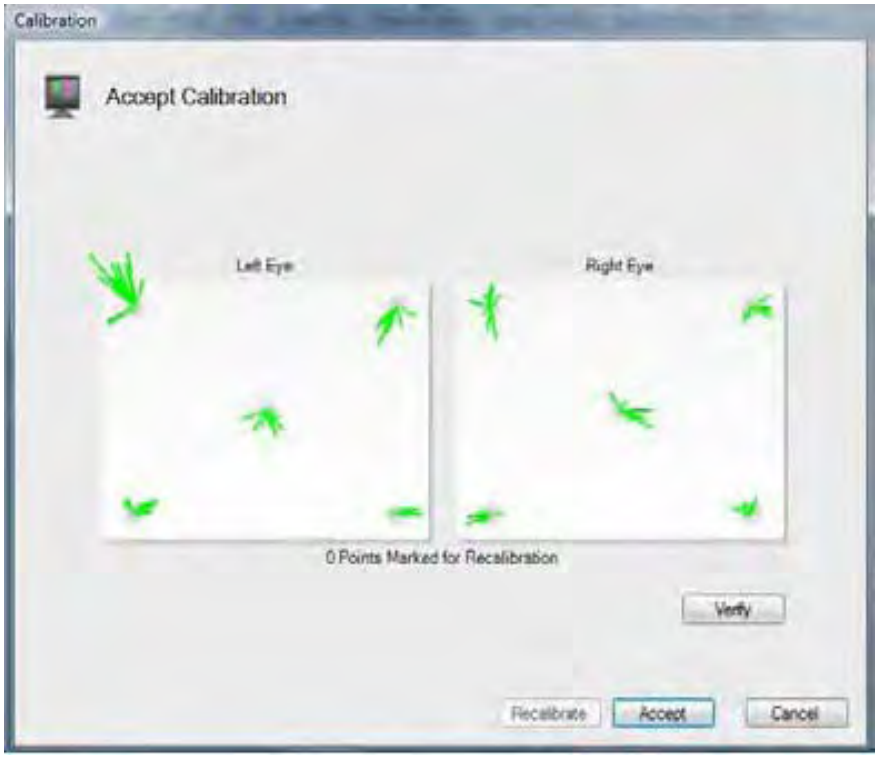
2)Πριν την έναρξη του πειράματος.

Πριν την έναρξη του πειράματος γίνεται από το λογισμικό σε κάθε χρήστη ξεχωριστά μια βαθμονόμηση (calibration). Κατά τη διάρκεια του calibration ο eye tracker μετρά χαρακτηριστικά των ματιών του χρήστη και τα χρησιμοποιεί με τη βοήθεια ενός τρισδιάστατου μοντέλου ματιού με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που έχει για να υπολογίσει τα δεδομένα της παρατήρησης.

Ζητείται από το χρήστη να κοιτά σε συγκεκριμένα σημεία της οθόνης των σημείων βαθμονόμησης (calibration dots). Οι εικόνες αυτές συλλέγονται και αναλύονται και οι πληροφορίες αποθηκεύονται και εισάγονται στο μοντέλο για να είναι δυνατόν μετά να υπολογιστεί το που κοιτά ο χρήστης κατά τη διάρκεια του τεστ.

Η ποιότητα του calibration φαίνεται από τις πράσινες γραμμές, των οποίων το μήκος αντιπροσωπεύει το offset ανάμεσα σε κάθε δείγμα που λήφθηκε και του κέντρου του σημείου βαθμονόμησης (calibration dot).

Μεγάλο offset μπορεί να προκληθεί από διάφορους παράγοντες όπως το να μην συγκεντρώνεται ο χρήστης στα σημεία ή να αποσπάται η προσοχή του. Ωστόσο δεν είναι απαραίτητο να κρατάει το κεφάλι εντελώς ακίνητο, αρκεί η προσοχή του να είναι στις κινούμενες τελείες.

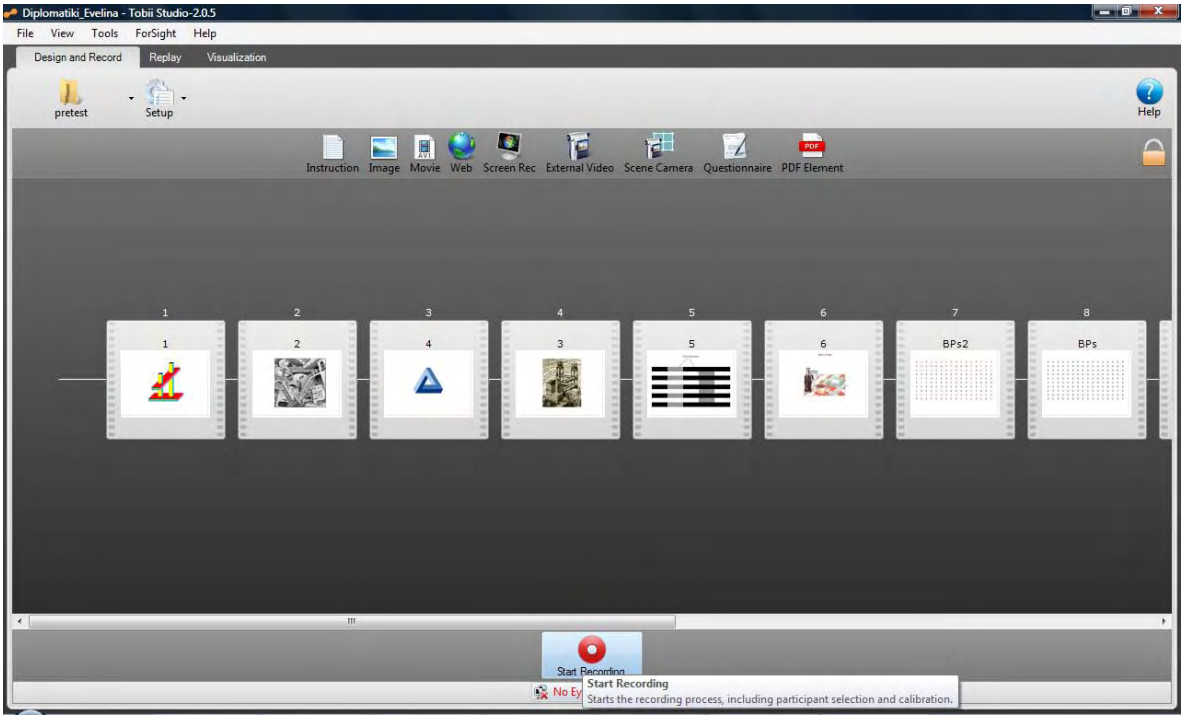


Calibration 1

3)Κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Αφότου ο χρήστης επιλέξει «Start Recording», ο Eye tracker αρχίζει και καταγράφει τις κινήσεις του ματιού το χρήστη, αφού το πείραμα ξεκινά στην οθόνη του συμμετέχοντα.

Κατά τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος, ο χρήστης βλέπει στην οθόνη του Eye tracker το μέσο που έχουμε επιλέξει (εικόνα, βίντεο, κλπ) και είτε μετά από ένα ορισμένο διάστημα, είτε με κλικ, είτε με πάτημα κάποιου πλήκτρου αυτό το μέσο αλλάζει μέχρι να ολοκληρωθεί το τεστ. Όλες οι κινήσεις των ματιών του χρήστη καθώς και οι αντιδράσεις του καταγράφονται και προκύπτουν έτσι δυο video. Το πρώτο με τις κινήσεις των ματιών του στο μέσο και το δεύτερο από την κάμερα του Eye tracker με το πρόσωπο του χρήστη.

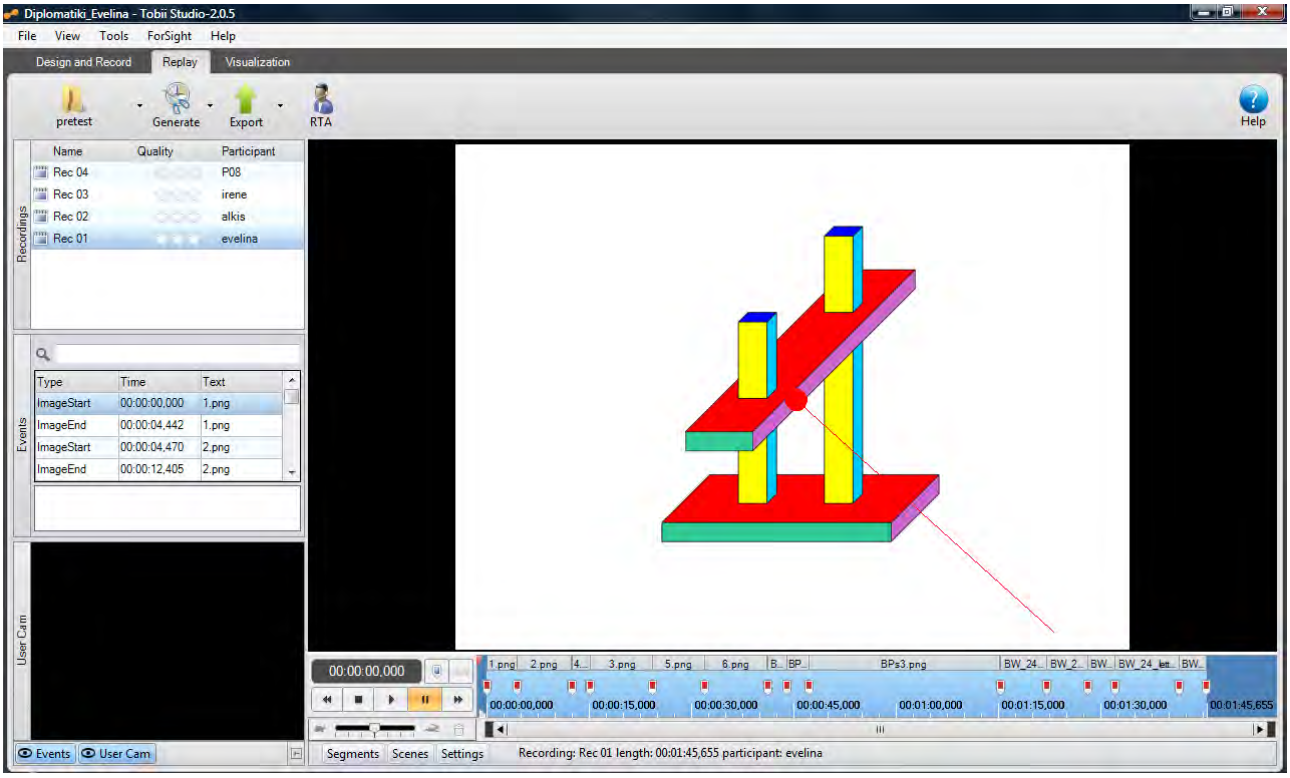


Start recording button 1

2.4: Δυνατότητες λογισμικού για την ανάλυση του πειράματος (replay).

Με τη λειτουργία replay μπορούμε να αναπαράγουμε ό,τι καταγράφηκε κατά τη διάρκεια του πειράματος και να επιλέξουμε αν θέλουμε να βλέπουμε τα fixations στην οθόνη. Μπορούμε επίσης να δούμε και το βίντεο που περιέχει τις αντιδράσεις του χρήστη.

Είναι δυνατό να μεταβούμε σε οποιοδήποτε σημείο χρησιμοποιώντας την μπάρα που βρίσκεται στο κάτω μέρος της κεντρικής οθόνης του replay.



Replay 1

Επάνω στην μπάρα του χρόνου, υπάρχουν και τα γεγονότα (events), τα οποία συμβολίζονται με κόκκινα ταμπελάκια και υποδηλώνουν ότι εμφανίζεται μια εικόνα, ξεκινάει ένα βίντεο ή ο χρήστης κάνει κλικ με το mouse και καταγράφονται. Άλλα στοιχεία που είναι απαραίτητα για την ανάλυση του πειράματος είναι:

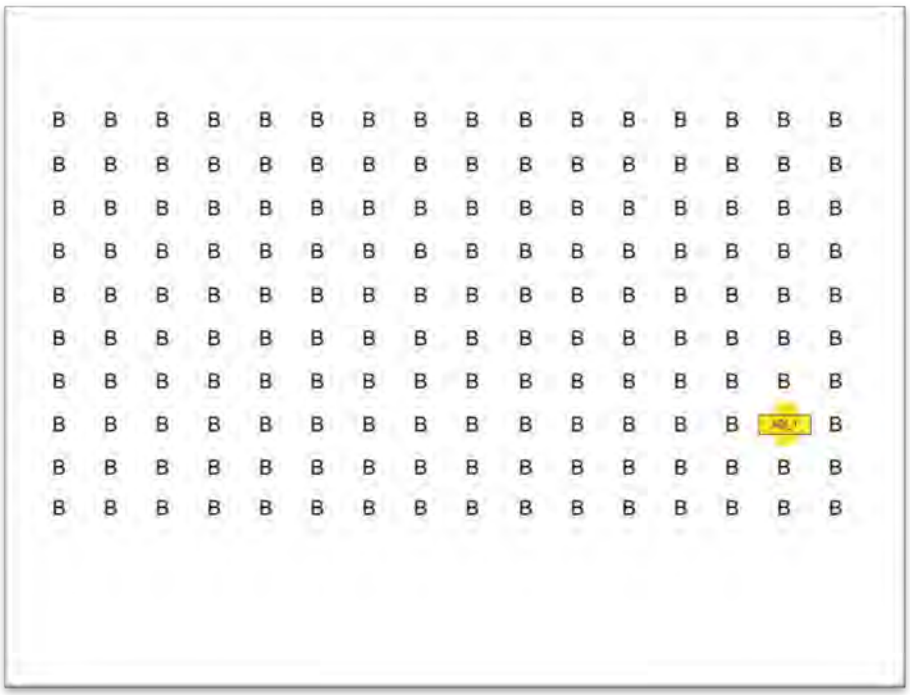
Scenes: Απαραίτητα όταν έχω μόνο βίντεο. Για να μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε τα εργαλεία οπτικοποίησης, οι εγγραφές (recordings) που γίνονται με ταινίες, και οι εγγραφές από την οθόνη (screen recording) πρέπει να διαχωριστούν σε σκηνές (scenes). Ένα μέρος της εγγραφής –δεδομένα παρατήρησης μαζί με ένα φόντο από τα πολυμέσα- καθορίζεται για τη δημιουργία μιας στατικής εικόνας.

Segments: Ένα segment, ή «τεμάχιο» είναι μέρος της εγγραφής. Τα segments και οι σκηνές πρέπει να δημιουργούνται για εγγραφές όπου ο τύπος των πολυμέσων «Screen Recording» ή Movie (AVI) έχουν χρησιμοποιηθεί ούτως ώστε να είμαστε σε θέση να χρησιμοποιήσουμε διαφορετικά εργαλεία οπτικοποίησης.

Video: Δυνατότητα εξαγωγής video.

Μία ακόμα σπουδαία δυνατότητα που μας παρέχεται από το λογισμικό είναι η επιλογή συγκεκριμένων περιοχών ενδιαφέροντος (AOIs- Areas Of Interest), οι οποίες μπορούν να είναι ορθογωνίου, ελλειπτικού ή ακόμα και ελεύθερου σχήματος.

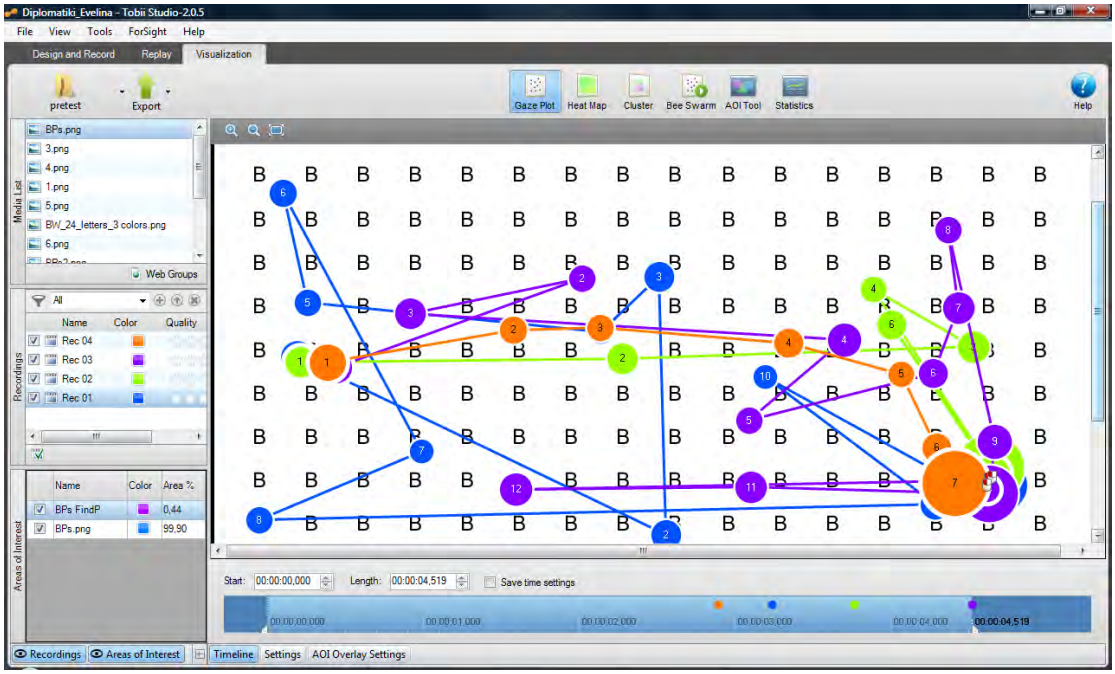
Σε πολλά πειράματα μας είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τη συμπεριφορά του χρήστη μόνο για μια συγκεκριμένη περιοχή της οθόνης, όπως στην εικόνα που φαίνεται παρακάτω.



Στο συγκεκριμένο παράδειγμα μας απασχολεί πότε θα γίνει mouse click στο P. Μας ενδιαφέρει τι γίνεται στο συγκεκριμένο σημείο που βρίσκεται το P. Έτσι λοιπόν το οριοθετούμε με το AOI Tool, και η μετέπειτα ανάλυση μπορεί να γίνει μόνο μέσα σε αυτό το χώρο (ή σε άλλες περιπτώσεις και να συγκριθεί με τη συμπεριφορά του συμμετέχοντος στο υπόλοιπο κομμάτι της οθόνης).

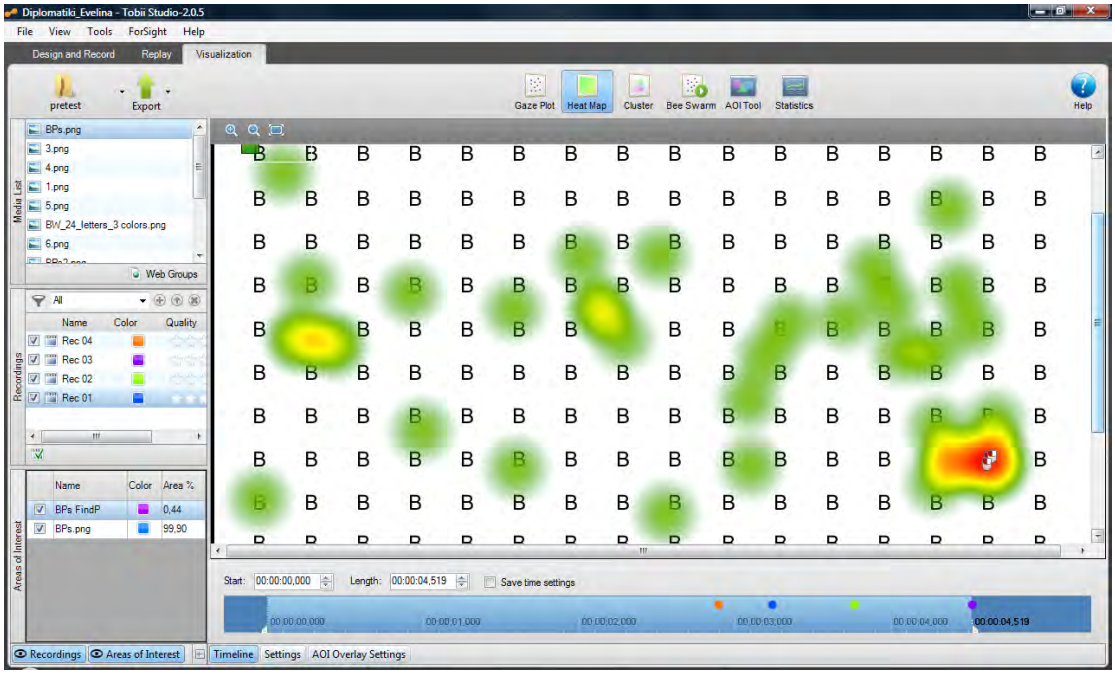
2.5: Δυνατότητες οπτικοποίησης.

- Gaze plot: Δείχνει όλες τις διαδρομές του χρήστη στο μέσο. Πολύ χρήσιμο στην οπτικοποίηση των scanpaths. Τα fixations εμφανίζονται με κύκλους, η ακτίνα των οποίων προσδιορίζει τη διάρκεια των fixations (για έναν χρήστη ή για περισσότερους).



Gazeplot 1

- Heatmap : Με την χρωματική κλιμάκωση (από πράσινο προς κόκκινο) δείχνει τις περιοχές που ο χρήστης εστίασε στην οθόνη λιγότερο (πράσινο), περισσότερο (κίτρινο), ή και πάρα πολύ (κόκκινο). Κι εδώ για έναν χρήστη ή για περισσότερους.



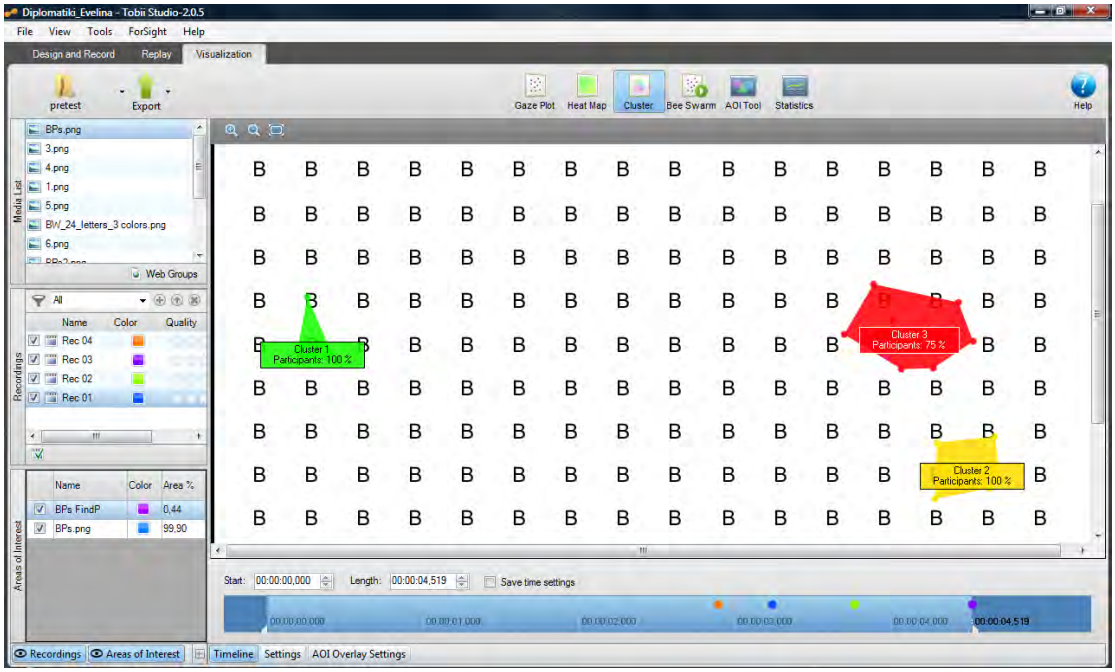
Heat map 1

- Gaze opacity: Αντίστοιχο του heatmap, μόνο που στην προκειμένη περίπτωση, οι περιοχές που εστίασε ο χρήστης, η εικόνα είναι εμφανής, ενώ στις περιοχές που δεν εστίασε, η οθόνη είναι μαύρη. Έτσι έχουμε μια πιο σαφή εικόνα για το τι «είδε» ο χρήστης και τι αγνόησε (για έναν χρήστη ή για περισσότερους) Ισχύει δηλαδή ότι: Φωτεινά σημεία -> περισσότερα fixations.



Gaze Opacity 1

- Cluster : Με το εργαλείο αυτό έχουμε μια αυτόματη διαδικασία εύρεσης περιοχών ενδιαφέροντος (AOIs). Κι εδώ για έναν χρήστη ή για περισσότερους.



Cluster 1

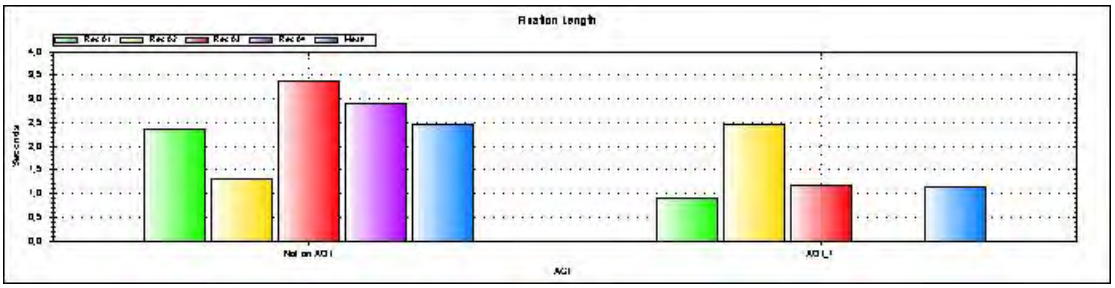
2.6: Μετρικές που εξάγει το λογισμικό.

Το λογισμικό μας παρέχει έτοιμες κάποιες μετρικές που μας είναι αρκετές φορές απαραίτητες για τη στατιστική ανάλυση των πειραμάτων μας. Αυτές είναι οι εξής:

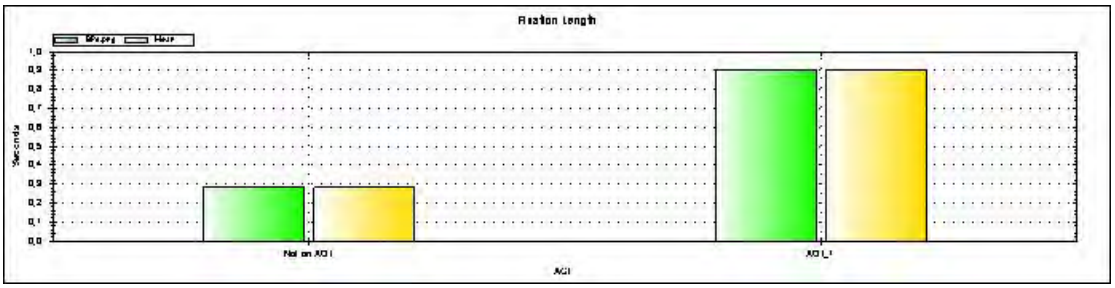
- ✓ Ο χρόνος σε sec από τη στιγμή που προβλήθηκε το ερέθισμα έως την έναρξη του πρώτου fixation.
- ✓ Το μήκος των fixation σε ένα AOI σε sec.
- ✓ Διάρκεια πρώτου fixation.
- ✓ Ο αριθμός των fixation σε ένα AOI.
- ✓ Ο συνολικός χρόνος σε sec για κάθε φορά που ένας χρήστης κοιτάζει σε ένα AOI.
- ✓ Ο αριθμός των επισκέψεων σε ένα AOI.
- ✓ Ο αριθμός των fixation πριν το πρώτο fixation του συγκεκριμένου χρήστη σε ένα AOI.
- ✓ Τι ποσοστό των συμμετεχόντων είδαν το AOI.
- ✓ Ο χρόνος από το πρώτο fixation μέχρι το πρώτο mouse click.
- ✓ χρόνος μέχρι το πρώτο mouse click.
- ✓ Ο αριθμός των mouse click.

Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τρόποι να αναπαρασταθούν τα στατιστικά δεδομένα για διαφορετικές περιοχές (AOI), είτε ως αποτελέσματα για τους διαφορετικούς συμμετέχοντες (recordings/participants vs AOIs) ή ως μέσος όρος όλων των συμμετεχόντων (Images vs AOIs).

Υπάρχει επίσης η δυνατότητα εμφάνισης σε πίνακες, αλλά και σε γραφήματα των μετρικών που αναφέρθηκαν πριν πάλι με τις δυο επιλογές Recordings vs AOIS και Images vs AOIS.



Recordings vs AOIs 1



Images vs AOIs 1

2.7: Μειονέκτημα λογισμικού.

Όπως καθίσταται σαφές από τα προηγούμενα, οι μετρικές που εξάγει το λογισμικό, είναι πολύ περιορισμένες, ειδικά σε σχέση με τα πειράματα που θέλουμε εμείς να διεξάγουμε και να αναλύσουμε. Πιο συγκεκριμένα:

- Επικεντρώνεται στα fixations.
- Δεν δίνει όλες τις μετρικές που θέλουμε:
    - Saccades
    - Scanpaths
    - Blink Rate
    - Pupil Size

Από τη στιγμή λοιπόν που οι μετρικές αυτές μας είναι απαραίτητες, είναι σαφές ότι πρέπει να τις υπολογίσουμε χρησιμοποιώντας τα Raw Data.

2.8: Μετρικές που πρέπει να υπολογίσουμε.

Αρχικά, να υπενθυμίσουμε πως στην επιστήμη του eye tracking, οι μετρικές που χρησιμοποιούνται κατά καιρούς από τις διάφορες ερευνητικές ομάδες είναι πάρα πολλές, και συνήθως, πολλές μετρικές «επινοούνται» και χρησιμοποιούνται σε συγκεκριμένα πειράματα και λίγες φορές.

Εδώ, αναφερόμαστε στις πλέον χρησιμοποιούμενες μετρικές, μετρικές που μπορούν να μας βοηθήσουν να καταλήξουμε σε διαφόρων ειδών συμπεράσματα ανάλογα με το πλαίσιο της χρήσης των (context of use).

Το εργαλείο μας δίνει τη δυνατότητα να εξάγουμε τα δεδομένα του πειράματος σε ένα αρχείο tsv (Tab-separated values). Είναι μια μορφοποίηση η οποία χρησιμοποιείται συχνά και μπορεί να γίνει η ανάγνωση και η επεξεργασία του αρχείου με διαφορετικούς τρόπους.

Το λογισμικό μας δίνει τη δυνατότητα είτε να εξάγουμε όλα τα δεδομένα του πειράματος, είτε συγκεκριμένα δεδομένα- μετρικές μέσω φίλτρου. Ενδεικτικά δεδομένα- μετρικές που μας δίνει το λογισμικό είναι :

- ✓ Timestamp: Η χρονική στιγμή που συλλέχθηκε το δεδομένο σε ms.
- ✓ ValidityLeft/Right: Ένα νούμερο που δείχνει αν έχει έγκυρα δεδομένα ή όχι από το αριστερό και δεξί μάτι αντίστοιχα. Οι τιμές του κυμαίνονται από 0 εως 4. Γενικά θεωρούμε ότι τα δεδομένα μας είναι έγκυρα αν οι τιμές είναι το πολύ 1. Μη έγκυρα δεδομένα μπορούν να προκύψουν αν ο χρήστης χάσει την προσοχή του εκτός της οθόνης του Eye Tracker, ανοιγοκλείσει τα μάτια ή για κάποιο λόγο ο Eye Tracker χάσει την επαφή του.
- ✓ PupilLeft/Right: Το μέγεθος της κόρης του ματιού σε mm.
- ✓ Fixation Index: Αύξων αριθμός των fixations.
- ✓ MappedGazeDataPointX/Y: Οι συντεταγμένες X και Y της ακριβούς θέσης που έχει εστιάσει ο χρήστης, αφού έχει χαρτογραφηθεί στην εικόνα.
- ✓ MappedGazeDataPoint: Είναι η συνιστώσα της θέσης του μέσου όρου των δυο ματιών που έχει χαρτογραφηθεί πάνω στο συγκεκριμένο μέσο και η τιμή αναφέρεται σε pixels.

Παρακάτω, δίνουμε παραδείγματα μετρικών που το λογισμικό δεν εξάγει αυτόματα, αλλά είναι χρήσιμες γενικά σε πολλές διαφορετικές πειραματικές διαδικασίες, και με ποιο τρόπο μπορούμε εμείς με τα δεδομένα που μας δίνονται από το λογισμικό να μπορέσουμε να εξάγουμε οτιδήποτε μας είναι απαραίτητο για τη μελέτη και ανάλυσή μας.

Μήκος σακκαδικών κινήσεων (Saccade amplitude): Βλέπουμε πως παρόλο που το μήκος των σακκαδικών κινήσεων είναι από τις βασικότερες μετρικές που χρησιμοποιούνται, δεν υπάρχει κάποια αντιστοιχία από το λογισμικό.

Η διαδικασία που πρέπει να ακολουθηθεί ούτως ώστε να μπορέσουμε να υπολογίσουμε το μήκος οποιουδήποτε saccade είναι η εξής:

(i) Εξετάζω τα Raw Data
(ii) Αν τα data είναι έγκυρα δηλαδή δεν μεσολαβεί invalid data μεταξύ των δύο διαφορετικών fixation, τότε:
(iii) Υπολογίζω την Ευκλείδια απόσταση από το πρώτο fixation έως το δεύτερο.
(iv) Επαναλαμβάνω τη διαδικασία για οποιοδήποτε saccade χρειάζεται να υπολογίσω.

Γωνία μεταξύ δύο διαδοχικών saccades (Saccade angle): Παρατηρούμε πάλι πως δεν υπάρχει κάποια αντιστοιχία από το λογισμικό ώστε να παράγεται αυτόματα αυτή η μετρική.

Η διαδικασία που πρέπει να ακολουθηθεί ούτως ώστε να μπορέσουμε να υπολογίσουμε τη γωνία μεταξύ δύο διαδοχικών saccades είναι παρόμοια με την προηγούμενη, καθώς πρέπει πρώτα να υπολογιστούν τα saccades μεταξύ των οποίων θέλουμε να μετρήσουμε τη γωνία, με την προσθήκη των εξής βημάτων:

(i) Τα δεδομένα πρέπει να εξεταστούν ούτως ώστε να είμαστε βέβαιοι πως έχουμε τρία διαδοχικά fixations, μεταξύ των οποίων δεν μεσολαβούν μη έγκυρα δεδομένα (invalid data).
(ii) Εύρεση γωνίας διανυσμάτων με χρήση γεωμετρικών τύπων.

Μήκος scanpath (Scanpath length).

Όμοια με πριν, για να μπορέσω να εξάγω τη μετρική αυτή, από τη στιγμή που δεν παρέχεται αυτόματα από το λογισμικό, θα πρέπει να ακολουθήσω την εξής διαδικασία:

(i) Υπολογισμός των μηκών όλων των saccades από τα οποία αποτελείται το προς μελέτη scanpath σύμφωνα με τη διαδικασία που αναφέρθηκε παραπάνω.
(ii) Άθροιση όλων των μηκών αυτών.

Διάρκεια scanpath (Scanpath duration).

Για τον υπολογισμό της μετρικής αυτής, απαιτείται:

(i) Να γνωρίζουμε πως μεταξύ του πρώτου και του τελευταίου fixation που απαρτίζουν το scanpath, δεν υπάρχουν μη έγκυρα δεδομένα.
(ii) Υπολογισμός της διαφοράς μεταξύ της χρονικής στιγμής όπου συμβαίνει το τελευταίο fixation με τη χρονική στιγμή που συμβαίνει το πρώτο.

Συχνότητα των blinks (Blink rate).

Η μετρική αυτή είναι από τις βασικότερες στη σύγχρονη έρευνα, η οποία είναι και αρκετά δύσκολο να μετρηθεί με βάση τα δεδομένα που μας παρέχει το λογισμικό.

Η διαδικασία που πρέπει να ακολουθηθεί ούτως ώστε να μπορέσουμε να υπολογίσουμε τη συχνότητα των blinks είναι η εξής:

(i) Εξετάζω τα Raw Data και τα ελέγχω ως προς την εγκυρότητά τους με τη βοήθεια των δεδομένων ValidityLeft/Right που αναφέρθηκαν προηγουμένως.
(ii) Θέτω κατώφλι για το οποίο θεωρώ ότι συμβαίνει ένα blink, όπως επίσης και ένα άνω όριο, βάσει της τρέχουσας βιβλιογραφίας (πχ εάν έχω 5-13 συνεχόμενα μη έγκυρα και στα δύο μάτια, θεωρώ ότι εκεί συμβαίνει ένα blink, αλλιώς είναι απλά μη έγκυρα τα δεδομένα).

Διάμετρος της κόρης του οφθαλμού (Pupil size).

Ενώ το λογισμικό μας παρέχει την πληροφορία για τη διάμετρο της κόρης κάθε ματιού ξεχωριστά ανά πάσα χρονική στιγμή όπου έχει γίνει δειγματοληψία, πρακτικά μας είναι άχρηστο, από τη στιγμή που αυτό που μας ενδιαφέρει είναι οι μεταβολές σύμφωνα με την αλλαγή στη φωτεινότητα, την αντίθεση/ αλλαγή των χρωμάτων και κυρίως στη μεταβολή του γνωσιακού φορτίου. Η ανάλυση της συγκεκριμένης μετρικής είναι η πλέον δύσκολη, αφού σύμφωνα με τις σύγχρονες διαδικασίες γίνεται με ανάλυση σήματος με μετασχηματισμούς Fourier, ούτως ώστε να μπορέσουν να διαχωριστούν με ασφάλεια οι παραπάνω παράγοντες που επιδρούν στη μεταβολή της διαμέτρου της κόρης.

Φυσικά, όπως έχει προαναφερθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο, υπάρχει μια πιο απλή (πιο επισφαλής όμως) μετρική, η οποία μετρά την ποσοστιαία επί τοις εκατό μεταβολή της διαμέτρου της κόρης, η οποία μετρική μπορεί μεν να μην

παρέχεται από το λογισμικό, μπορούμε όμως εμείς να την υπολογίσουμε με πιο απλές μεθόδους απ' ότι χρειαζόμαστε στην προηγούμενη περίπτωση:

(i) Εξετάζω τα Raw Data και εάν τα data είναι έγκυρα τότε:

(ii) Λαμβάνω τις τιμές του Pupil size από τα Raw Data (είτε για κάθε μάτι ξεχωριστά, ή τον μέσο όρο τους).

(iii) Υπολογίζω την ποσοστιαία αλλαγή (η οποία υποδεικνύει αλλαγή στο γνωσιακό φορτίο).

2.9: Συμπεράσματα.

- Το Tobii Studio δίνει περιορισμένες πληροφορίες
- Εξερευνά κυρίως μετρικές που βασίζονται στα fixations
- Ελλειπές όσον αφορά μετρικές όπως scanpath, saccades, blink rate, pupil size που παίζουν σημαντικό ρόλο.

Από τα παραπάνω προκύπτει πως είναι επιτακτική η ανάγκη ανάπτυξης ενός εργαλείου το οποίο θα παράγει αυτόματα από τα Raw Data του Tobii Studio όσο τον δυνατόν περισσότερες από τις μετρικές οι οποίες είναι αναγκαίες στη σύγχρονη έρευνα eye tracking. Να σημειωθεί πως οι μετρικές που αναφέρθηκαν παραπάνω ως μετρικές απαραίτητες για την έρευνα στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής, αλλά μη αυτόματα εξαγόμενες από το λογισμικό αυτό, είναι μόνο λίγες σε σχέση με αυτές που χρησιμοποιούνται κατά κόρον πλέον, και αναφέρθηκαν καθαρά ως παραδείγματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Σχεδιασμός του εργαλείου.

3.1: Ορισμός του προβλήματος.

Όπως αναφέρθηκε και το προηγούμενο κεφάλαιο, οι δυνατότητες που μας παρέχει το ήδη υπάρχον λογισμικό του Eye tracker, είναι αρκετά περιορισμένες. Δεν είμαστε σε θέση με αυτό να λάβουμε όλες τις απαραίτητες μετρικές που χρειαζόμαστε για την ανάλυση των δεδομένων μας, παρά μόνο συγκεκριμένες, κυρίως που έχουν σχέση με fixations, και αυτές έχουν ως επί το πλείστον νόημα για περιοχές ενδιαφέροντος (AOIs).

Προκύπτει λοιπόν πως είναι επιτακτική η ανάγκη ανάπτυξης ενός εργαλείου το οποίο θα παράγει αυτόματα από τα Raw Data του Tobii Studio όσο τον δυνατόν περισσότερες από τις μετρικές οι οποίες είναι αναγκαίες στην έρευνα eye tracking για τη διπλωματική αυτή.

Για να κατανοήσουμε απόλυτα το πώς πρέπει να λειτουργεί αυτό το εργαλείο, θα ορίσουμε πρώτα τι χρειαζόμαστε να κάνει.

Όπως είπαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, χρειαζόμαστε επιπλέον μετρικές από αυτές που μας παρέχει το λογισμικό. Μετρικές όπως το μήκος σακκαδικής κίνησης (saccade length), γωνία μεταξύ των σακκαδικών κινήσεων (saccade angle), μεταβολή της διαμέτρου της κόρης του οφθαλμού (pupil diameter) , απόλυτη μεταβολή της διαμέτρου της κόρης του οφθαλμού (pupil change), αλλά και ο αριθμός των blinks (ανοιγόκλειμα του ματιού) είναι πολύ σημαντικές και τις συναντούμε πολύ συχνά στη βιβλιογραφία, ειδικά όσον αφορά τη μελέτη γνωσιακού φορτίου με το οποίο ασχολούμαστε και στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Φυσικά, για να μπορέσουμε να εξάγουμε σωστά αυτές τις μετρικές, χρειάζεται να παρέμβουμε πάνω στα δεδομένα που μας δίνει το λογισμικό υπό τη μορφή αρχείων raw data tsv files.

Συγκεκριμένα, για να μπορέσουμε να εξάγουμε ορθά τις ζητούμενες μετρικές όπως ορίστηκαν παραπάνω, χρειάζονται διαδικασίες που ορίζονται ακριβώς παρακάτω.

Μήκος σακκαδικών κινήσεων (Saccade length):

Η διαδικασία που πρέπει να ακολουθηθεί ούτως ώστε να μπορέσουμε να υπολογίσουμε το μήκος οποιουδήποτε saccade είναι η εξής:

(i)Εξετάζω τα Raw Data

(ii)Αν τα data είναι έγκυρα δηλαδή δεν μεσολαβεί invalid data μεταξύ των δύο διαφορετικών fixation, τότε:

(iii)Υπολογίζω την Ευκλείδια απόσταση από το πρώτο fixation έως το δεύτερο.

(iv)Επαναλαμβάνω τη διαδικασία για οποιοδήποτε saccade χρειάζεται να υπολογίσω.

Γωνία μεταξύ δύο διαδοχικών saccades (Saccade angle):

Η διαδικασία που πρέπει να ακολουθηθεί ούτως ώστε να μπορέσουμε να υπολογίσουμε τη γωνία μεταξύ δύο διαδοχικών saccades είναι παρόμοια με την προηγούμενη, καθώς πρέπει πρώτα να υπολογιστούν τα saccades μεταξύ των οποίων θέλουμε να μετρήσουμε τη γωνία, με την προσθήκη των εξής βημάτων:

(v)Τα δεδομένα πρέπει να εξεταστούν ούτως ώστε να είμαστε βέβαιοι πως έχουμε τρία διαδοχικά fixations, μεταξύ των οποίων δεν μεσολαβούν μη έγκυρα δεδομένα (invalid data).

(vi)Ύυρεση γωνίας διανυσμάτων με χρήση γεωμετρικών τύπων.

Αριθμός των blinks (Blink number).

Η διαδικασία που πρέπει να ακολουθηθεί ούτως ώστε να μπορέσουμε να υπολογίσουμε τη συχνότητα των blinks είναι η εξής:

(i)Εξετάζω τα Raw Data και τα ελέγχω ως προς την εγκυρότητά τους με τη βοήθεια των δεδομένων ValidityLeft/Right που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

(ii)Θέτω κατώφλι για το οποίο θεωρώ ότι συμβαίνει ένα blink, όπως επίσης και ένα άνω όριο, βάσει της τρέχουσας βιβλιογραφίας (πχ εάν έχω 5-13 συνεχόμενα μη έγκυρα και στα δύο μάτια, θεωρώ ότι εκεί συμβαίνει ένα blink, αλλιώς είναι απλά μη έγκυρα τα δεδομένα).

Διάμετρος της κόρης του οφθαλμού (Pupil diameter).

Για να αποκτήσω άμεσα χρησιμοποιούμενα δεδομένα για τη διάμετρο της κόρης του οφθαλμού:

(i)Εξετάζω τα Raw Data για την εγκυρότητά τους και εάν τα data είναι έγκυρα τότε:

(ii)Λαμβάνω τις τιμές του Pupil size από τα Raw Data (είτε για κάθε μάτι ξεχωριστά, ή τον μέσο όρο τους).

Μεταβολή της διαμέτρου της κόρης του οφθαλμού (Pupil change).

Για να αποκτήσω άμεσα χρησιμοποιούμενα δεδομένα για τη μεταβολή της διαμέτρου της κόρης του οφθαλμού:

(i)Εξετάζω τα Raw Data για την εγκυρότητά τους και εάν τα data είναι έγκυρα τότε:

(ii)Λαμβάνω τις τιμές του Pupil size από τα Raw Data (είτε για κάθε μάτι ξεχωριστά, ή τον μέσο όρο τους).

(iii)Υπολογίζω κάθε φορά την απόλυτη τιμή της μεταβολής της διαμέτρου της κόρης του οφθαλμού μεταξύ δύο διαδοχικών χρονικών στιγμών. Σε περίπτωση που έχω invalid δεδομένα, η πράξη γίνεται μεταξύ της προηγούμενης έγκυρης τιμής.

3.2: Προδιαγραφές του εργαλείου.

Η υπό σχεδίαση εφαρμογή πρέπει να πληροί συγκεκριμένα κριτήρια. Τα κριτήρια αυτά μπορούν να χωριστούν σε κατηγορίες, όπως πρακτικά κριτήρια, αισθητικά κριτήρια, και λειτουργικά κριτήρια.

Λειτουργικά κριτήρια.

i. Ένα από τα βασικότερα προβλήματα που καλείται να λύσει το εργαλείο είναι η επεξεργασία τεράστιου όγκου δεδομένων, από πολλά διαφορετικά αρχεία. Συνεπώς το πρώτο κριτήριο που πρέπει να πληρείται είναι να μπορεί να λαμβάνει όλα τα δεδομένα μαζί, δηλαδή να μπορεί να λαμβάνει από τον χρήστη, όλα τα αρχεία με τα δεδομένα που μας δίνει το λογισμικό (γιατί ας μην ξεχνάμε πως κάθε αρχείο που μας δίνει το λογισμικό αναφέρονται σε συμπεριφορά ενός χρήστη, είτε για ένα συγκεκριμένο χρονικό κομμάτι του πειράματος, είτε για όλη τη διάρκεια του πειράματος).
ii. Ως απόρροια του προηγούμενου κριτηρίου, δεν αρκεί η εφαρμογή μόνο να μπορεί να λαμβάνει ταυτόχρονα όλα τα απαραίτητα δεδομένα σε μορφή αρχείων, αλλά να μπορεί και να τα επεξεργάζεται αυτόματα, χωρίς να χρειάζεται ο χρήστης να καταβάλλει κάποια προσπάθεια.
iii. Να μπορεί να παίρνει ως είσοδο αρχεία που αποτελούν τη συμπεριφορά του χρήστη για όλο το πείραμα, κι όχι μόνο για ένα συγκεκριμένο κομμάτι του, και να αναγνωρίζει αυτόματα διάφορα στοιχεία του πειράματος όπως τα ονόματα των stimulus που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα, τα ονόματα των

χρηστών, τα ονόματα των περιοχών ενδιαφέροντος που όρισε αργότερα ο σχεδιαστής του πειράματος κλπ.

iv. Να μπορεί, αφού έχει αναγνωρίσει όλα τα παραπάνω, να επεξεργάζεται συγκεκριμένα δεδομένα, βάσει κριτηρίων που ο χρήστης θα επιλέξει, πχ. για συγκεκριμένες περιοχές ενδιαφέροντος, ή για ένα συγκεκριμένο χρήστη, ή για ένα συγκεκριμένο ερέθισμα.

Πρακτικά κριτήρια.

i. Η εφαρμογή πρέπει να παρέχει στον χρήστη επιλογές για το φιλτράρισμα και για την ανάλυση του πειράματος, οι οποίες να είναι προφανείς, και να έχουν νόημα για εκείνον.

ii. Τα επεξεργασμένα και φιλτραρισμένα δεδομένα που θα εξάγει η εφαρμογή (τα οποία θα έχουν υποστεί επεξεργασία και φιλτράρισμα από τις επιλογές του ερευνητή), να είναι σε τέτοια μορφή έτσι ώστε να μπορούν κατευθείαν να εισαχθούν σε ένα ειδικό στατιστικό εργαλείο χωρίς να χρειάζεται να υποστούν περαιτέρω επεξεργασία.

iii. Η εφαρμογή να έχει τη δυνατότητα να παρέχει στον χρήστη μια γραφική απεικόνιση των επεξεργασμένων- φιλτραρισμένων δεδομένων που θα προκύψουν από την ανάλυσή του. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορεί να έχει μια πρώτη- διαισθητική ιδέα των αποτελεσμάτων άμεσα, πριν χρησιμοποιήσει το στατιστικό εργαλείο, και ίσως να αντιληφθεί κάποια δεδομένα που «ξεχωρίζουν» από τα υπόλοιπα, και να μην τα χρησιμοποιήσει καθόλου στην ανάλυσή του.

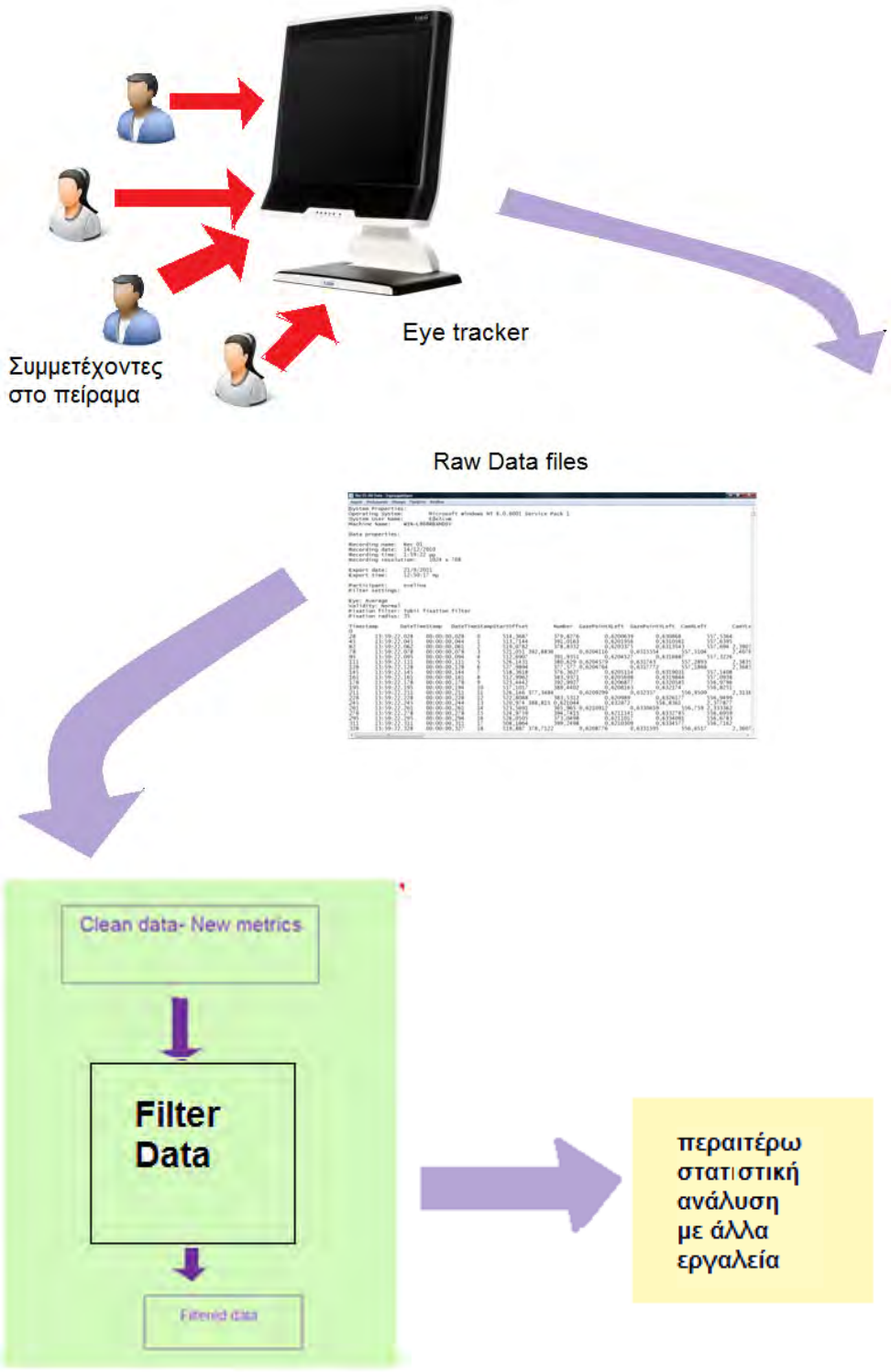
Κριτήρια ευχρηστίας.

i. Η εφαρμογή αυτή σκοπό έχει να διευρύνει τις δυνατότητες που μας δίνει το ήδη υπάρχον λογισμικό που μας παρέχει ο Eye tracker. Δηλαδή, απευθύνεται κυρίως σε χρήστες που έχουν εξοικείωση με το παραπάνω λογισμικό, και τον τρόπο δομής της ανάλυσης που παρέχει.
Συνεπώς, θα πρέπει η εφαρμογή που θα σχεδιαστεί να έχει την ίδια δομή όσον αφορά τους τρόπους ανάλυσης των δεδομένων αλλά και των δυνατοτήτων που μας παρέχει το εργαλείο.

ii. Θα πρέπει να γίνονται κατανοητά άμεσα στον χρήστη η δομή και ο τρόπος λειτουργίας της εφαρμογής χωρίς να απαιτείται ιδιαίτερη προσπάθεια για την εκμάθησή της, ειδικά εάν έχει χρησιμοποιήσει στο παρελθόν το λογισμικό Tobii Studio που παρέχεται από τον Eye tracker.

3.3:Δομή του εργαλείου.

Για την καλύτερη κατανόηση της εφαρμογής, προσπαθήσαμε να απεικονίσουμε σχηματικά τη δομή που πρέπει να έχει η εφαρμογή μας για να ικανοποιούνται οι παραπάνω απαιτήσεις. Η δομή αυτή παρουσιάζεται παρακάτω:



Δομή του εργαλείου 1

Όπως μπορούμε να αντιληφθούμε από το σχήμα, αρχικά διεξάγεται το πείραμα στον Eye tracker, με τη βοήθεια των συμμετεχόντων.

Από το πείραμα αυτό, ο ερευνητής με τη βοήθεια του λογισμικού το οποίο παρέχεται από τον Eye tracker, εξάγει τα αρχεία με τα δεδομένα (raw data files), όπου κάθε αρχείο αντιστοιχεί σε έναν χρήστη. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, τα αρχεία αυτά είναι εντελώς ακατέργαστα, μεγάλα σε όγκο, και συνεπώς εντελώς δύσχρηστα για ανάλυση.

Τα αρχεία αυτά, τα λαμβάνει η εφαρμογή στην οποία αναφερόμαστε. Αρχικά κάνει τον κατάλληλο «καθαρισμό» που απαιτείται σύμφωνα με αυτά που έχουμε αναφέρει προηγουμένως σε αυτό το κεφάλαιο, και εξάγει νέα αρχεία με «καθαρά» δεδομένα και νέες μετρικές, που δεν μας παρείχε το ήδη υπάρχον λογισμικό. Στη συνέχεια, δίνει την επιλογή στο χρήστη να κάνει φιλτράρισμα σύμφωνα με τα δικά του κριτήρια. Τα αποτελέσματα τέλος, προκύπτουν σε μια μορφή που επιτρέπει την άμεση ανάλυση από κάποιο στατιστικό πρόγραμμα χωρίς κάποια επιπλέον επεξεργασία από τον χρήστη της εφαρμογής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Ανάπτυξη του εργαλείου.



4.1: Γλώσσα ανάπτυξης εργαλείου

Για την ανάπτυξη του εργαλείου αποφασίσαμε να επιλέξουμε τη γλώσσα προγραμματισμού Python. Είναι μια γλώσσα εύκολη στην εκμάθηση, ιδανική για το χειρισμό αρχείων με εύκολο και αποτελεσματικό τρόπο. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος που επιλέξαμε αυτή τη γλώσσα.

Η Python είναι μια γλώσσα που κερδίζει έδαφος τελευταία κυρίως λόγω της ελαστικότητας που τη χαρακτηρίζει σε σχέση με άλλες γλώσσες προγραμματισμού και της ευκολίας στην εκμάθηση και χρήση της.

Φυσικά, λόγω της ευρείας διάδοσής της, έχουν αναπτυχθεί αρκετές βιβλιοθήκες για να την υποστηρίξουν, σχεδόν σε οτιδήποτε μπορεί να χρειαστεί ο προγραμματιστής.

Κατά την ανάπτυξη του εργαλείου, χρειάστηκε να χρησιμοποιηθούν αρκετές βιβλιοθήκες της Python. Βιβλιοθήκες όπως η wx, η οποία είναι η βιβλιοθήκη γραφικών της Python, και τα wx Widgets επίσης για σχεδίαση γραφικών στοιχείων, η βιβλιοθήκη Numpy για μαθηματικές πράξεις και σχεδιασμό γραφικών παραστάσεων, όπως και η Matplotlib, επίσης μαθηματική βιβλιοθήκη με περισσότερες όμως δυνατότητες από τη Numpy.

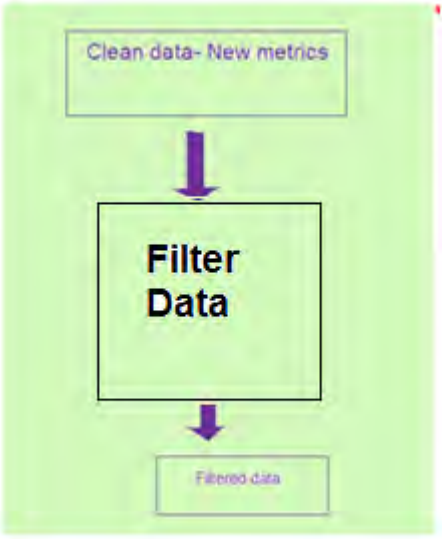




4.2:Αρχιτεκτονική του εργαλείου.

Όπως δείξαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, θέλουμε από το εργαλείο να βοηθά ούτως ώστε τα μεγάλα και ογκώδη αρχεία δεδομένων (που μας παράγει το λογισμικό που μας παρέχει ο Eye tracker), να μπορούν να «καθαρίζονται», να φιλτράρονται και να μπορούν να καταλήξουν σε μια μορφή τέτοια ώστε να μπορούν να αναλυθούν εύκολα και γρήγορα από ένα στατιστικό πρόγραμμα.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η αρχιτεκτονική του εργαλείου:



Αρχιτεκτονική του εργαλείου 1

Δηλαδή, αρχικά τα αρχεία που λαμβάνονται να καθαρίζονται, να επεξεργάζονται και να δίνουν νέα, αντίστοιχα tsv αρχεία, καθαρισμένα, με υπολογισμένες μετρικές που δεν μας παρείχε το ήδη υπάρχον λογισμικό.

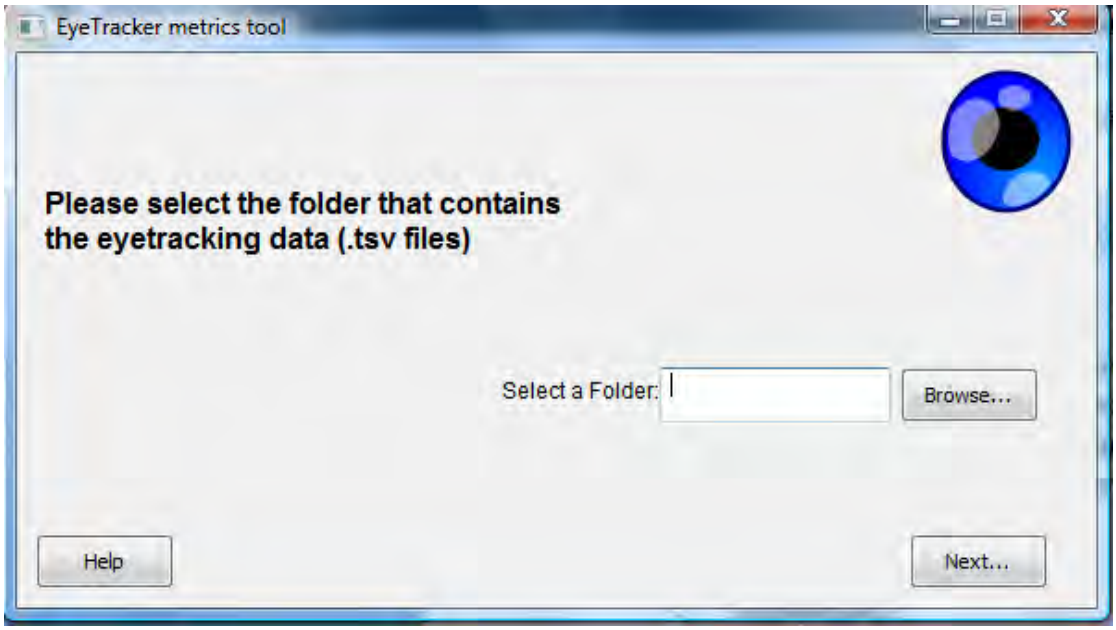
Στη συνέχεια, ο χρήστης μέσω μιας σαφούς διεπιφάνειας να μπορεί να «φιλτράρει» τα δεδομένα σύμφωνα με τα δικά του κριτήρια, και

Τέλος, τα φιλτραρισμένα από το χρήστη δεδομένα, να προκύπτουν σε τέτοια μορφή ούτως ώστε να μπορούν να αναλυθούν εύκολα από ένα στατιστικό πρόγραμμα.

4.3:Διεπιφάνειες εργαλείου

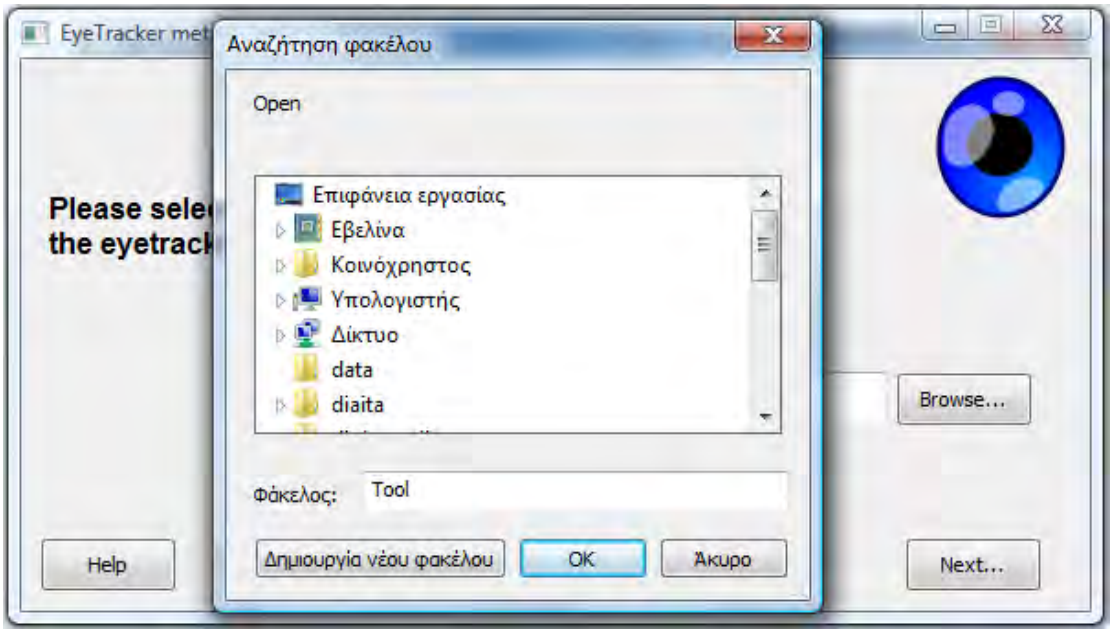
Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιαστούν οι διεπιφάνειες της εφαρμογής και θα επεξηγηθούν οι λειτουργίες που υποστηρίζονται. Για την καλύτερη κατανόηση του τρόπου λειτουργίας, θα παρουσιάζουμε με εικόνες τι εμφανίζει το εργαλείο στο χρήστη, καθώς θα περιγράφουμε τη λειτουργία του εργαλείου.

I. Διεπιφάνεια $1^{η}$.



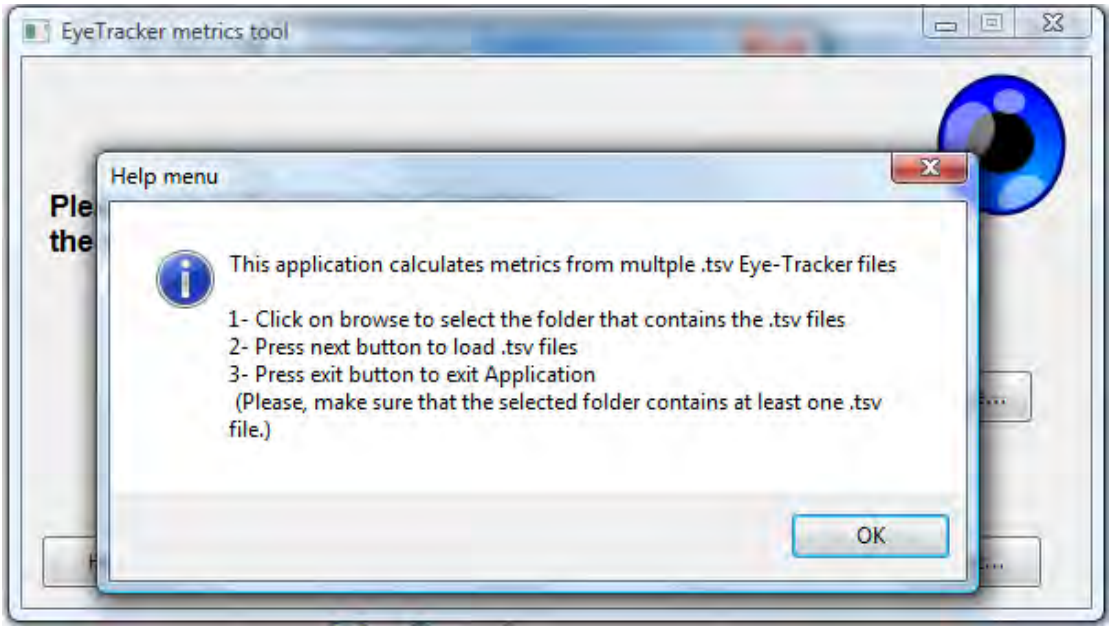
Διεπιφάνεια 1

Στην πρώτη διεπιφάνεια, όπως φαίνεται και από την παραπάνω εικόνα, ζητείται από το χρήστη να επιλέξει τον φάκελο στον οποίο έχει αποθηκευμένα τα tsv αρχεία του πειράματος. Δηλαδή τα αρχεία δεδομένων (raw data files) που έχουν εξαχθεί από το λογισμικό Tobii Studio του Eye tracker, και καθένα εκ των οποίων αντιστοιχούν σε έναν χρήστη.



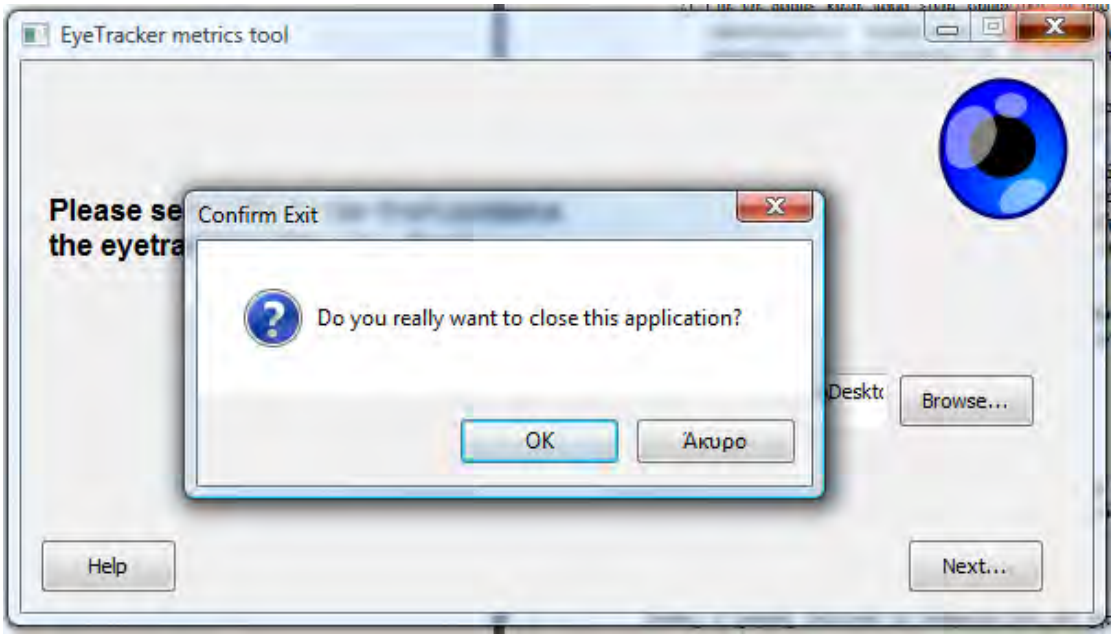
Επιλογή Φακέλου 1

Αφού ο χρήστης πατήσει στο κουμπί «Browse…», εμφανίζεται στην οθόνη του το παράθυρο επιλογής προορισμού φακέλου, όπως φαίνεται στη εικόνα από πάνω. Ο χρήστης, αφού επιλέξει τον φάκελο με τα δεδομένα του και πατήσει «OK» μεταφέρεται πίσω στην πρώτη διεπιφάνεια.



Βοήθεια 1

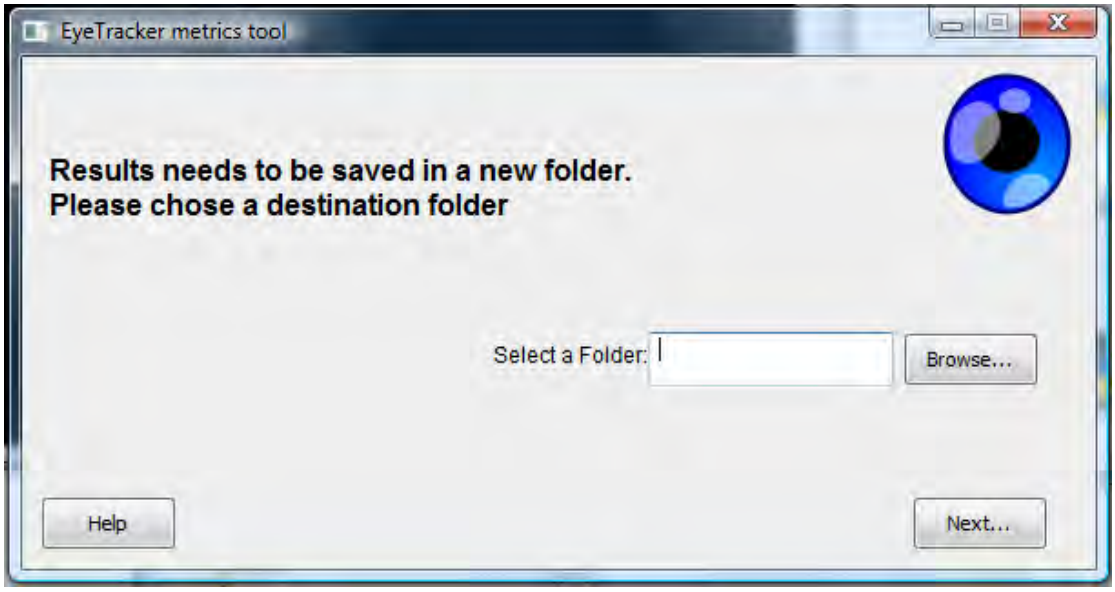
Εάν για κάποιο λόγο ο χρήστης έχει μπερδευτεί, ή κάτι από τη διαδικασία λειτουργίας της εφαρμογής μέχρι εκείνη τη στιγμή του φαίνεται δυσνόητο, μπορεί να ανατρέξει στην επιλογή «Help». Όταν πατήσει λοιπόν επάνω στο κουμπί «Help», εμφανίζεται στην οθόνη του το παραπάνω μήνυμα.



Βεβιασμένη έξοδος 1

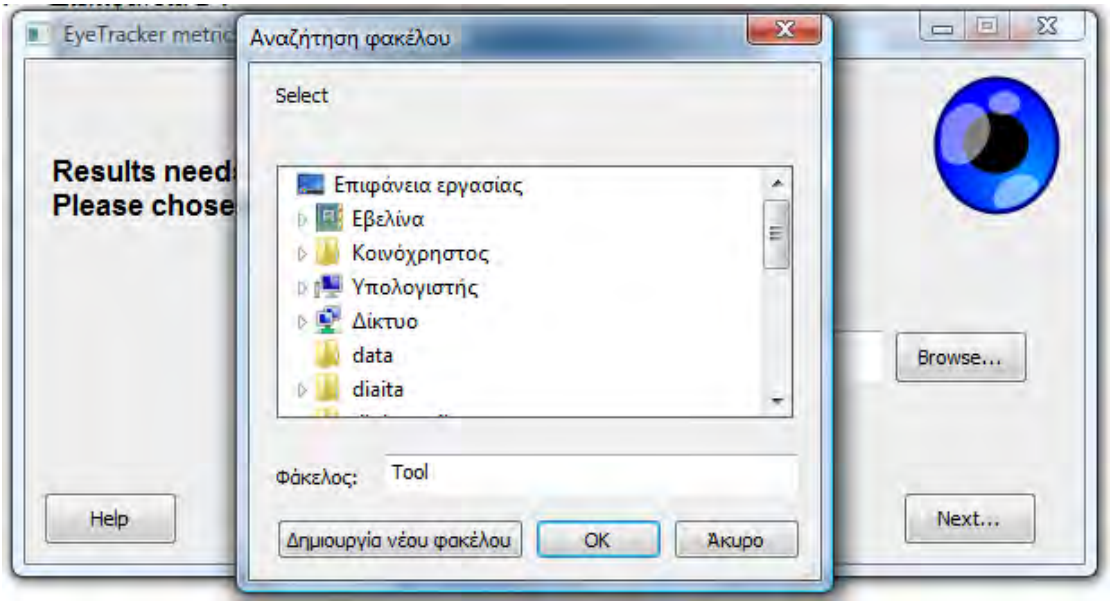
Εάν για κάποιο λόγο ο χρήστης θελήσει να εξέλθει της εφαρμογής, μπορεί να το κάνει πατώντας το κουμπί «Κλείσιμο του παραθύρου». Σε αυτήν την περίπτωση θα εμφανιστεί μήνυμα επιβεβαίωσης εξόδου, απλά στην περίπτωση που από λάθος έχει πατηθεί το κουμπί εξόδου.

II. Διεπιφάνεια 2η.



Διεπιφάνεια 2

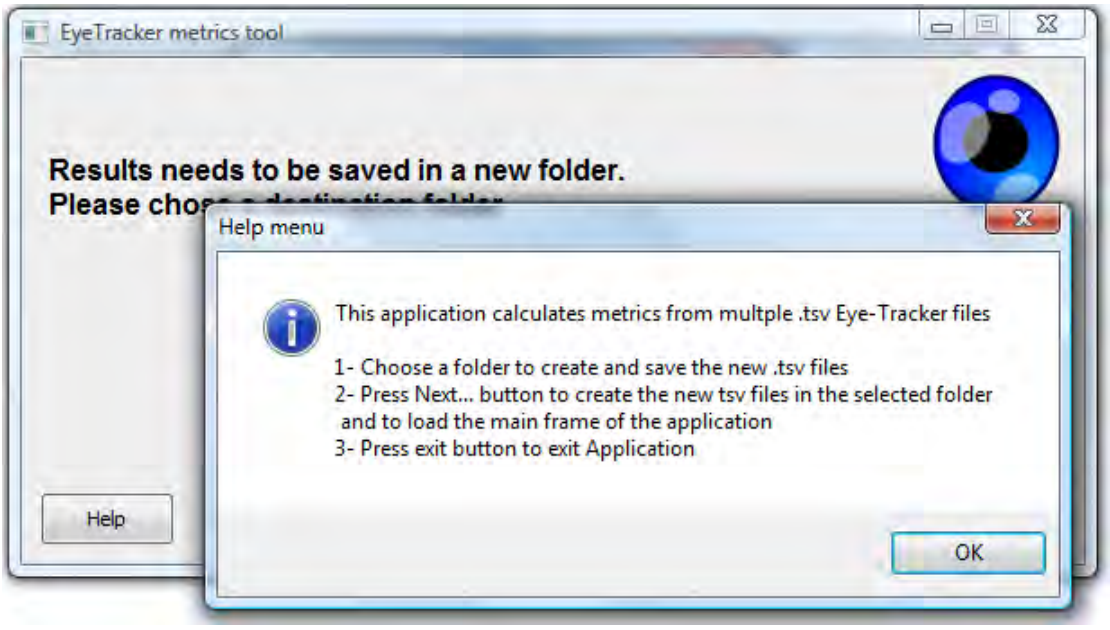
Στη δεύτερη διεπιφάνεια ομοίως με την πρώτη , όπως φαίνεται και από την παραπάνω εικόνα, ζητείται από το χρήστη να επιλέξει τον φάκελο στον οποίο θα αποθηκευτούν τα καινούρια tsv αρχεία με τα «καθαρισμένα» δεδομένα του πειράματος και τις υπολογισμένες νέες μετρικές. Δηλαδή τα αρχεία δεδομένων (raw data files) που έχουν παραχθεί από το δικό μας εργαλείο, που ουσιαστικά επεκτείνει το λογισμικό Tobii Studio του Eye tracker, και αντίστοιχα με τα παλιά raw data files, καθένα εκ των νέων αρχείων tsv αντιστοιχεί σε έναν χρήστη.



Επιλογή Φακέλου 2

Ομοίως με την πρώτη διεπιφάνεια, αφού ο χρήστης πατήσει στο κουμπί «Browse…», εμφανίζεται στην οθόνη του το παράθυρο επιλογής προορισμού φακέλου, όπως φαίνεται στη εικόνα από πάνω. Ο χρήστης, αφού επιλέξει τον φάκελο στον οποίο θέλει να αποθηκευτούν τα καινούρια αρχεία tsv, και πατήσει «OK» μεταφέρεται πίσω στην πρώτη διεπιφάνεια.

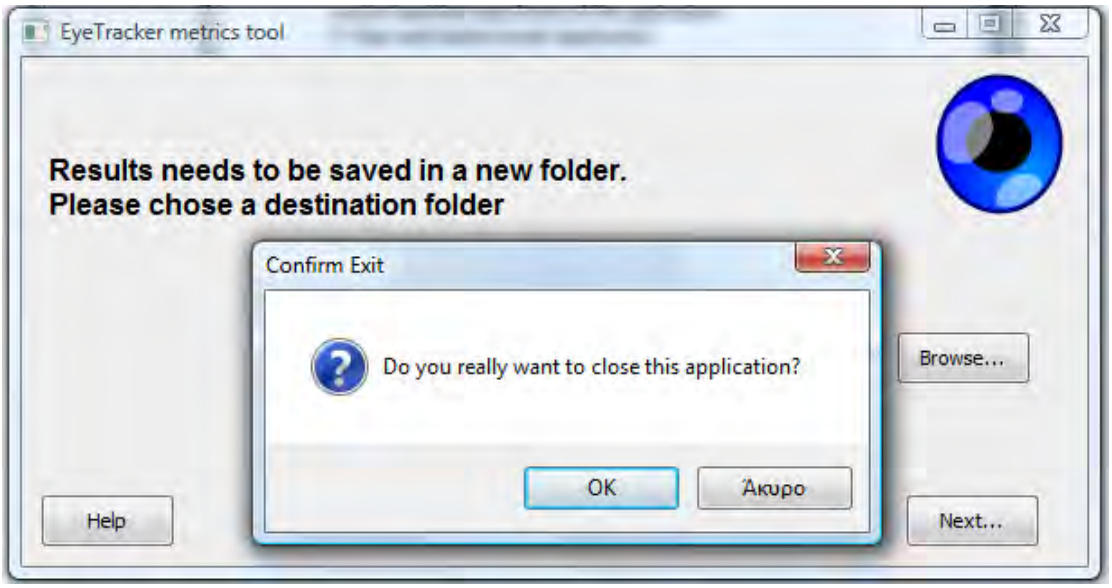
Εάν το κρίνει απαραίτητο, μπορεί να δημιουργήσει έναν νέο φάκελο για να αποθηκεύσει τα καινούρια αρχεία tsv, με την επιλογή που του δίνει το παράθυρο «Δημιουργία νέου φακέλου».



Βοήθεια 2

Ομοίως με την πρώτη διεπιφάνεια, εάν για κάποιο λόγο ο χρήστης έχει μπερδευτεί, ή κάτι από τη διαδικασία λειτουργίας της εφαρμογής μέχρι εκείνη τη στιγμή του φαίνεται δυσνόητο, μπορεί να ανατρέξει στην επιλογή «Help».

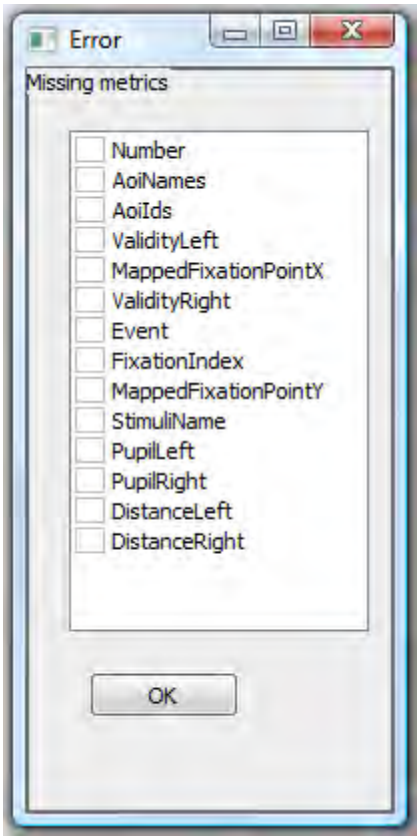
Όταν πατήσει λοιπόν επάνω στο κουμπί «Help», εμφανίζεται στην οθόνη του το παραπάνω μήνυμα.



Βεβιασμένη έξοδος 2

Ομοίως με την πρώτη διεπιφάνεια, εάν για κάποιο λόγο ο χρήστης θελήσει να εξέλθει της εφαρμογής, μπορεί να το κάνει πατώντας το κουμπί «Κλείσιμο του παραθύρου». Σε αυτήν την περίπτωση θα εμφανιστεί μήνυμα επιβεβαίωσης εξόδου, απλά στην περίπτωση που από λάθος έχει πατηθεί το κουμπί εξόδου.

III. Διεπιφάνεια λάθους.

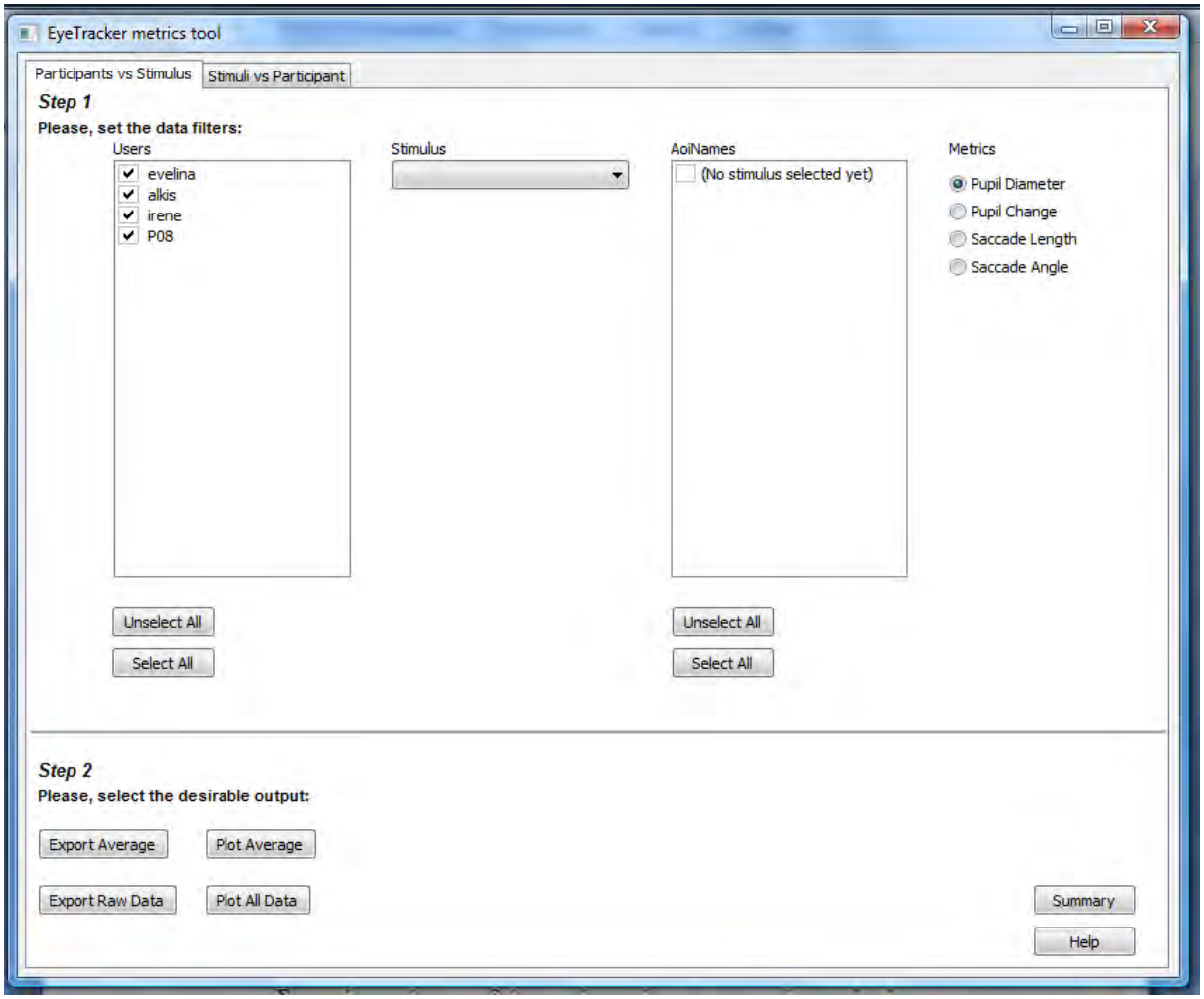


Διεπιφάνεια 3- Λάθους

Αξίζει να σημειωθεί πως το εργαλείο, αφού λάβει τη διεύθυνση προορισμού του φακέλου όπου είναι αποθηκευμένα τα αρχικά tsv raw data files του πειράματος, στην πρώτη διεπιφάνεια, ελέγχει ως προς την ορθότητά τους τα αρχεία που περιέχει ο φάκελος. Συγκεκριμένα, ελέγχει για την ύπαρξη των δεδομένων που χρειάζεται μεταγενέστερα το εργαλείο για να δημιουργήσει τα νέα tsv αρχεία. Εάν εντοπίσει κάποια έλλειψη, ενημερώνει το χρήστη με το παράθυρο λάθους παραπάνω, εξηγώντας ποια από τα δεδομένα λείπουν από τα tsv αρχεία που υπήρχαν στον φάκελο. Στην εικόνα που φαίνεται παραπάνω, έχουμε θεωρήσει το ακραίο σενάριο πως λείπουν όλα τα απαραίτητα δεδομένα για την ορθή λειτουργία του εργαλείου.

IV. Κύρια Διεπιφάνεια.

i) Tab No1: Participants vs. Stimulus



Tab No 1- Participants vs. Stimulus

Σε αυτή τη διεπιφάνεια ο χρήστης μπορεί να κάνει την ανάλυσή του με βάση ένα συγκεκριμένο ερέθισμα (stimulus) ή συγκεκριμένες περιοχές ενδιαφέροντος (AOIs) του συγκεκριμένου αυτού ερεθίσματος, κάνοντας σύγκριση μεταξύ των συμμετεχόντων. Μπορεί να επιλέξει έναν, όλους, ή όποιους χρήστες θέλει για να κάνει την ανάλυση που τον ενδιαφέρει.

Επίσης, όπως προαναφέρθηκε, μπορεί να επιλέξει να κάνει την ανάλυσή του είτε σε ολόκληρο το ερέθισμα που επιλέγει, είτε σε μία περιοχή ενδιαφέροντος, είτε σε περισσότερες περιοχές ενδιαφέροντος. Εάν επιλέξει περισσότερες από μία περιοχές ενδιαφέροντος, το εργαλείο παίρνει όλα τα δεδομένα από τις περιοχές ενδιαφέροντος που έχουν επιλεγεί και μόνο από αυτές.

Στη συνέχεια, του δίνεται η επιλογή όσον αφορά την ανάλυσή του, να λάβει τις εξής μετρικές σύμφωνα με τις επιλογές που έχει κάνει:

Α) Διάμετρος της κόρης του οφθαλμού- Pupil Dilation(mm).

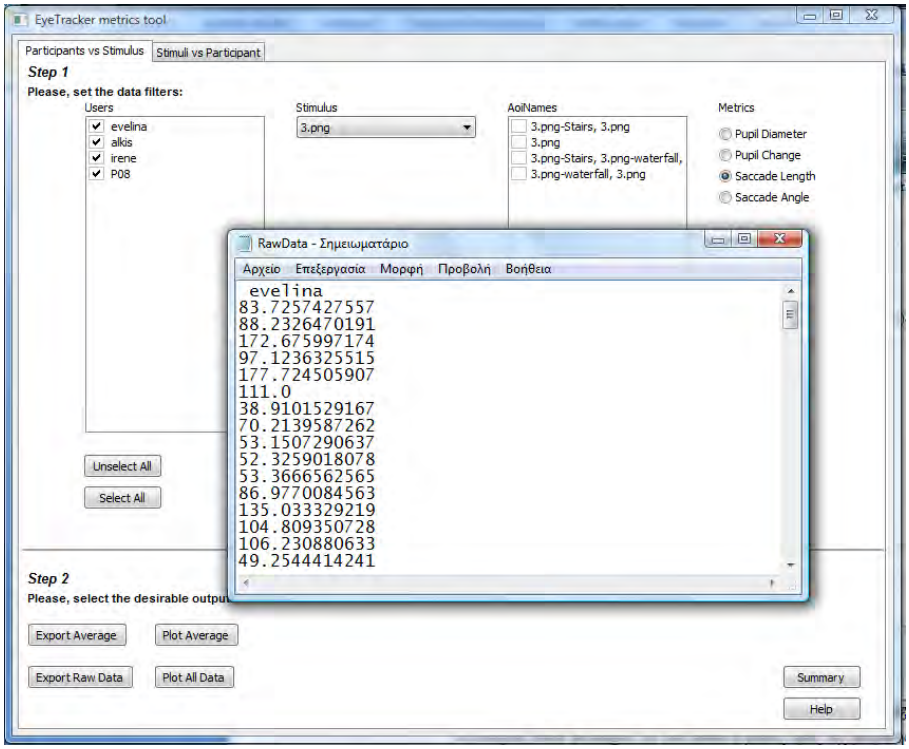
Β) Απόλυτη μεταβολή της διαμέτρου της κόρης του οφθαλμού- Pupil Change (mm).

Γ)Μήκος σακκαδικών κινήσεων- Saccade Length (pixels).

Δ)Γωνία μεταξύ διαδοχικών σακκαδικών κινήσεων- Saccade Angle (degrees).

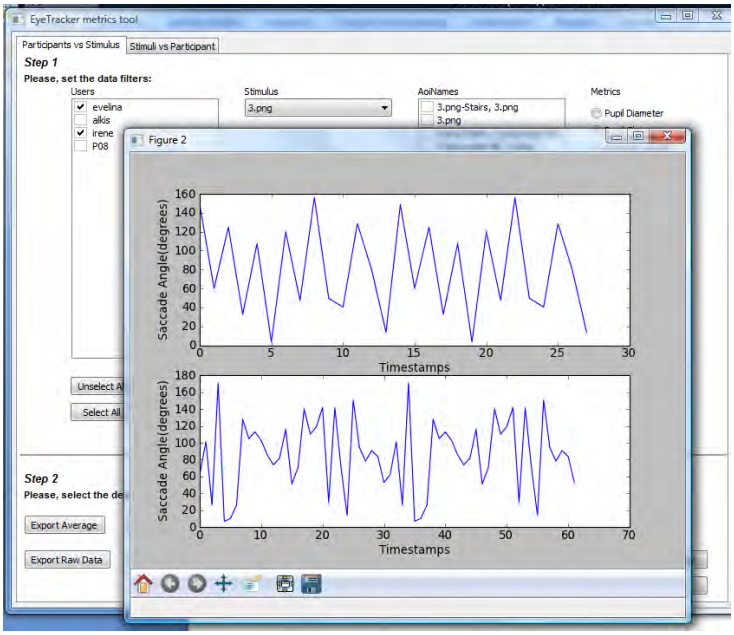
Αφού έχει κάνει τις επιλογές του ο χρήστης, το εργαλείο του δίνει τις εξής δυνατότητες:

1) Βάσει των κριτηρίων που έχουν επιλεγεί, μπορεί να επιλέξει πατώντας το κουμπί «Export Average» να του δοθεί ο μέσος όρος της μετρικής που έχει επιλέξει στο συγκεκριμένο ερέθισμα (ή περιοχή/ περιοχές ενδιαφέροντος του ερεθίσματος) ανά συμμετέχοντα, δεδομένα που γράφονται αυτόματα σε αρχείο text και εμφανίζονται στην οθόνη του χρήστη. Το αρχείο text αυτό αποθηκεύεται αυτόματα στο φάκελο όπου έχουν αποθηκευτεί τα νέα αρχεία tsv (που έχει επιλέξει ο χρήστης) πάντοτε με την ονομασία «Average». Πρόκειται για ένα βοηθητικό αρχείο, και χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή καθώς κάθε φορά που πατιέται το κουμπί «Export Average» τα νέα δεδομένα γράφονται στο αρχείο «Average.txt», και σβήνονται τα προηγούμενα δεδομένα.
2) Βάσει των κριτηρίων που έχουν επιλεγεί, μπορεί να επιλέξει πατώντας το κουμπί «Export Raw Data» να του δοθούν όλα τα δεδομένα που ανταποκρίνονται στη μετρική που έχει επιλέξει στο συγκεκριμένο ερέθισμα (ή περιοχή/ περιοχές ενδιαφέροντος του ερεθίσματος) ανά συμμετέχοντα, δεδομένα που γράφονται αυτόματα σε αρχείο text και εμφανίζονται στην οθόνη του χρήστη. Το αρχείο text αυτό αποθηκεύεται αυτόματα στο φάκελο όπου έχουν αποθηκευτεί τα νέα αρχεία tsv (που έχει επιλέξει ο χρήστης) πάντοτε με την ονομασία «Raw Data». Πρόκειται για ένα βοηθητικό αρχείο, και χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή καθώς κάθε φορά που πατιέται το κουμπί «Export Raw Data» τα νέα δεδομένα γράφονται στο αρχείο «Raw Data.txt», και σβήνονται τα προηγούμενα δεδομένα.



Raw Data 1

3) Βάσει των κριτηρίων που έχουν επιλεγεί, μπορεί να επιλέξει πατώντας το κουμπί «Plot Average» να του δοθεί ο μέσος όρος της μετρικής που έχει επιλέξει στο συγκεκριμένο ερέθισμα (ή περιοχή/ περιοχές ενδιαφέροντος του ερεθίσματος) ανά συμμετέχοντα, σε μορφή γραφικής παράστασης, η οποία εμφανίζεται στην οθόνη του χρήστη.
4) Βάσει των κριτηρίων που έχουν επιλεγεί, μπορεί να επιλέξει πατώντας το κουμπί «Plot All Data» να του δοθούν όλα τα δεδομένα που ανταποκρίνονται στη μετρική που έχει επιλέξει στο συγκεκριμένο ερέθισμα (ή περιοχή/ περιοχές ενδιαφέροντος του ερεθίσματος) ανά συμμετέχοντα, σε μορφή γραφικών παραστάσεων, οι οποίες εμφανίζονται στην οθόνη του χρήστη.



Raw Data 2-Plot Raw Data

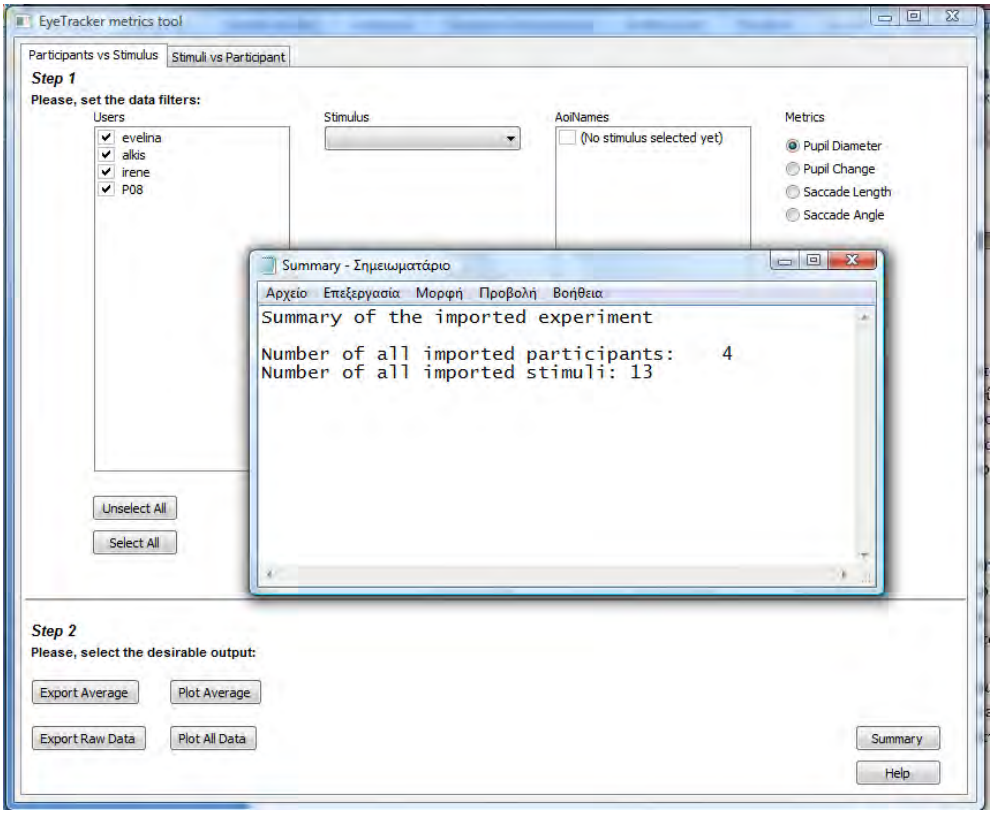
Κουμπιά «Select All», «Unselect All»

Για λόγους ευχρηστίας του εργαλείου, προστέθηκαν κάτω από τις λίστες «Participants» και «AOI Names» τα κουμπιά αυτά, ώστε να γίνεται άμεσα η πολλαπλή επιλογή/ από-επιλογή όλων των στοιχείων των λιστών, χωρίς να χρειάζεται ο χρήστης να επιλέγει τα στοιχεία ένα-ένα. Άλλωστε, συνήθως ενδιαφέρει το χρήστη να γίνει η ανάλυση με όλα του τα δεδομένα.

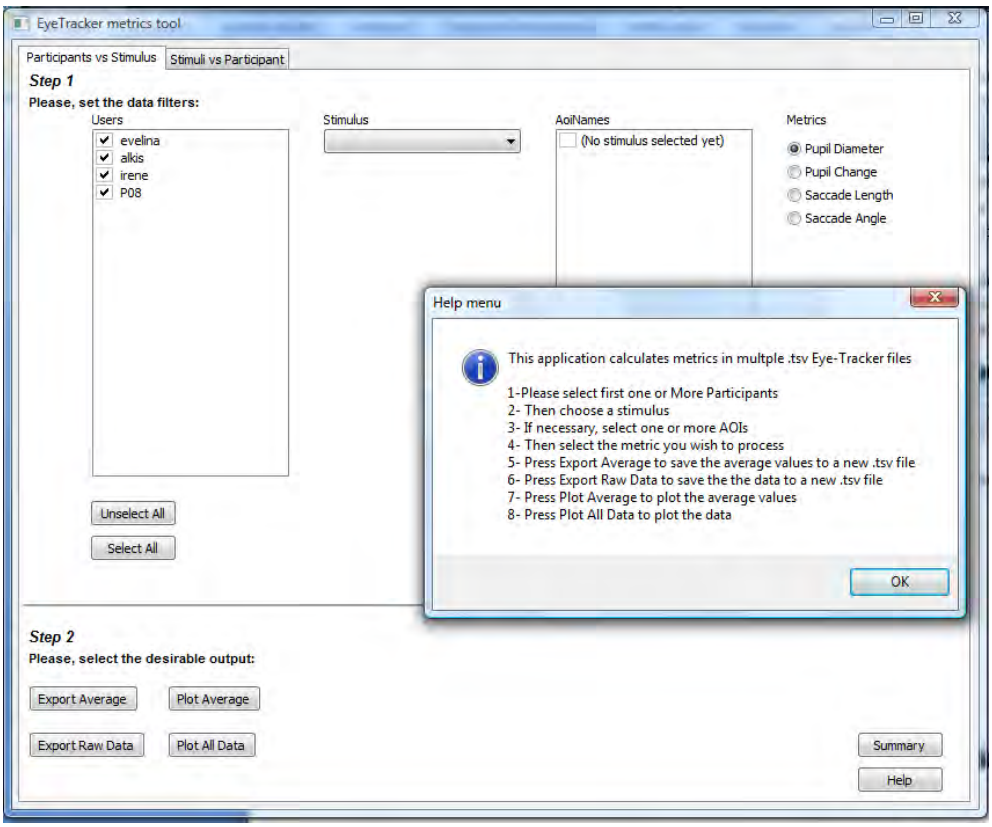
Κουμπιά «Summary», «Help»

Το κουμπί «Summary» υπενθυμίζει κάθε στιγμή στο χρήστη τον αριθμό των συμμετεχόντων στο πείραμα, καθώς και τον αριθμό των ερεθισμάτων από τα οποία αποτελείται το πείραμα. Τα στοιχεία αυτά αποθηκεύονται σε αρχείο text στο φάκελο όπου έχουν αποθηκευτεί τα νέα αρχεία tsv, το οποίο έχει πάντα την ονομασία «Summary».

Το κουμπί «Help» δίνει σαφείς οδηγίες για τη λειτουργία του εργαλείου στη συγκεκριμένη διεπιφάνεια και δη στο συγκεκριμένο tab. Ο χρήστης μπορεί να ανατρέχει πάντοτε εύκολα και γρήγορα σε περίπτωση που μπερδευτεί, ή δει κάποιο μήνυμα λάθους.



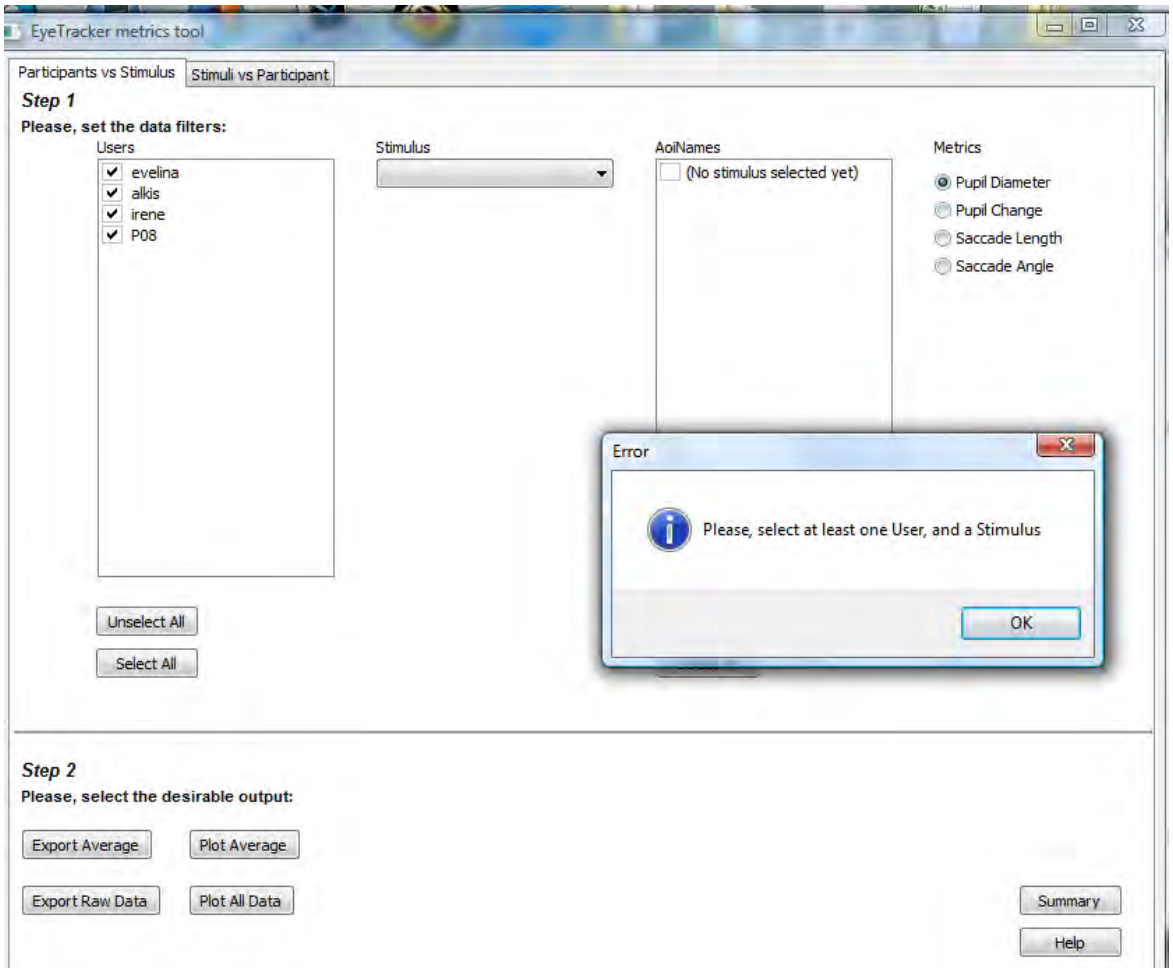
Summary 1



Help option 1

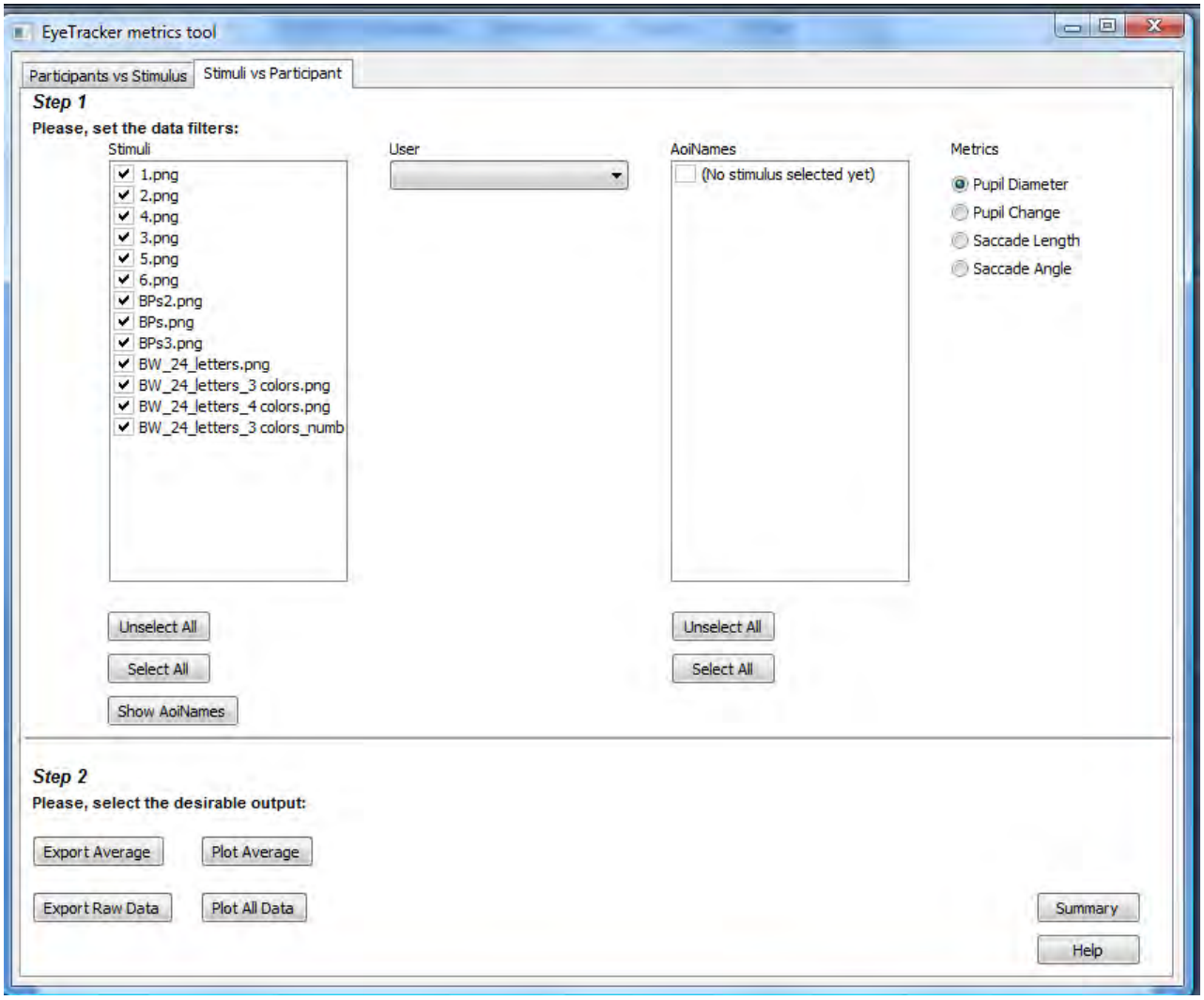
Μηνύματα λάθους.

Σε περίπτωση που ο χρήστης έχει παραλείψει να επιλέξει τουλάχιστον έναν συμμετέχοντα, και ένα ερέθισμα και προσπαθήσει πατήσει κάποιο από τα κουμπιά εξαγωγής δεδομένων, το εργαλείο θα δώσει μήνυμα λάθους.



Error Message 1

ii) Tab No2: Stimuli vs. Participant



Tab No 2- Stimuli vs Participant

Σε αυτή τη διεπιφάνεια ο χρήστης μπορεί να κάνει την ανάλυσή του με βάση έναν συγκεκριμένο συμμετέχοντα, κάνοντας σύγκριση μεταξύ των ερεθισμάτων (stimulus) ή συγκεκριμένων περιοχών ενδιαφέροντος (AOIs). Μπορεί να επιλέξει ένα, όλα, ή όποια ερεθίσματα (ή περιοχές ενδιαφέροντος) θέλει για να κάνει την ανάλυση που τον ενδιαφέρει.

Στη συνέχεια, του δίνεται η επιλογή όσον αφορά την ανάλυσή του, να λάβει τις εξής μετρικές σύμφωνα με τις επιλογές που έχει κάνει:

Α) Διάμετρος της κόρης του οφθαλμού- Pupil Dilation(mm).

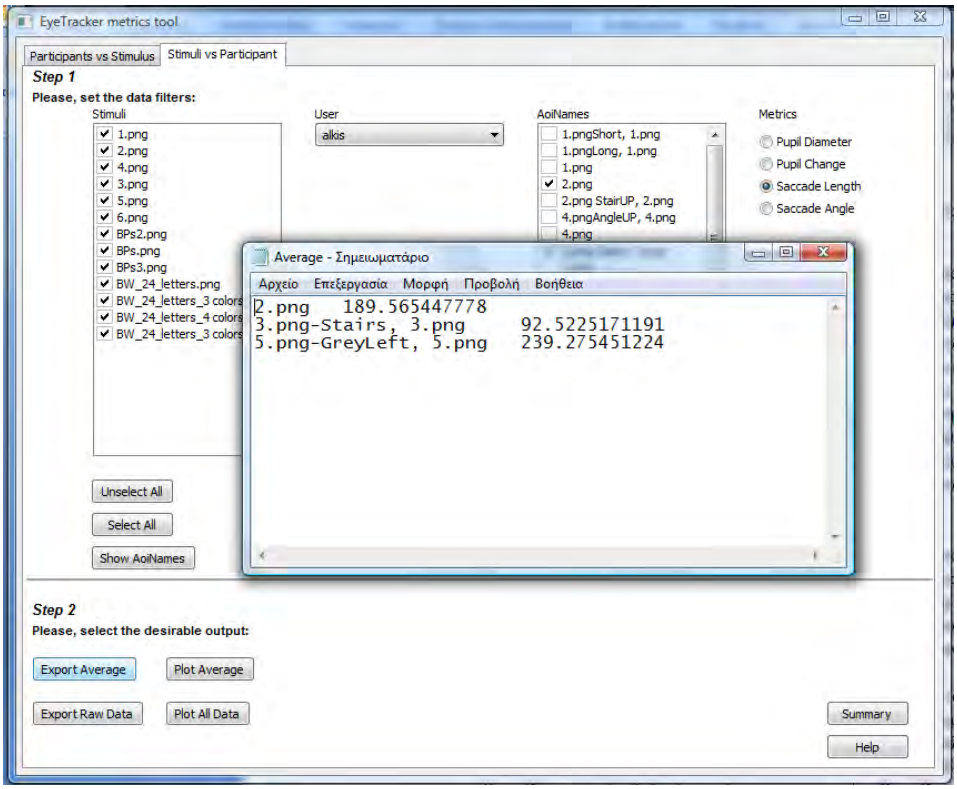
Β) Απόλυτη μεταβολή της διαμέτρου της κόρης του οφθαλμού- Pupil Change (mm).

Γ)Μήκος σακκαδικών κινήσεων- Saccade Length (pixels).

Δ)Γωνία μεταξύ διαδοχικών σακκαδικών κινήσεων- Saccade Angle (degrees).

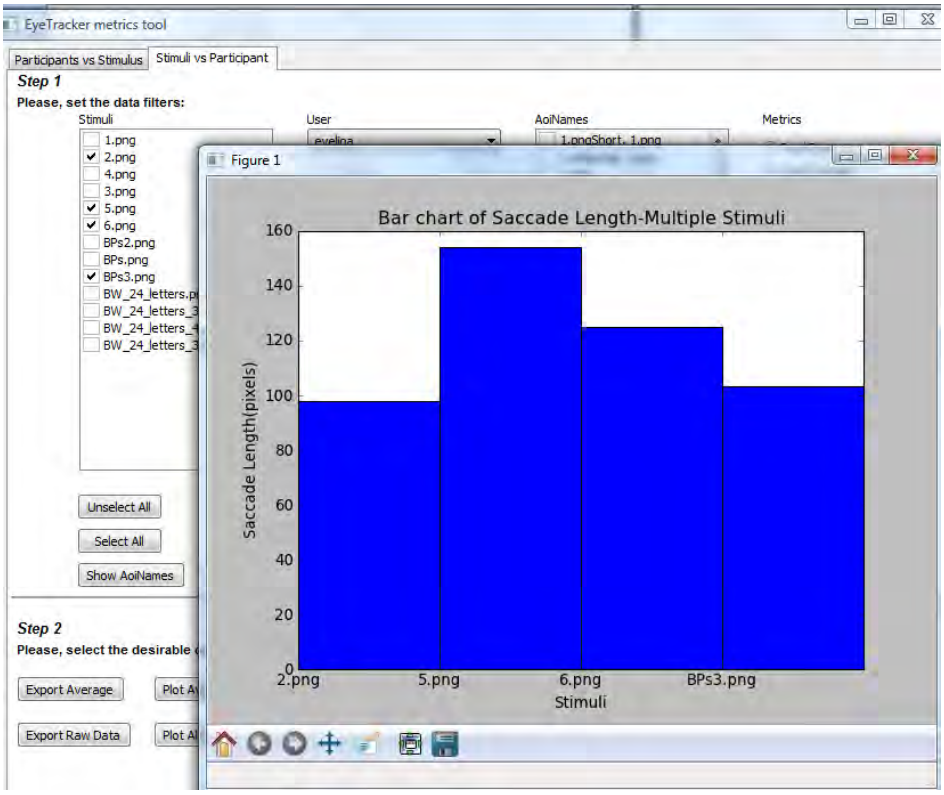
Αφού έχει κάνει τις επιλογές του ο χρήστης, το εργαλείο του δίνει τις εξής δυνατότητες:

1) Βάσει των κριτηρίων που έχουν επιλεγεί, μπορεί να επιλέξει πατώντας το κουμπί «Export Average» να του δοθεί ο μέσος όρος της μετρικής που έχει επιλέξει στο συγκεκριμένο συμμετέχοντα ανά ερέθισμα (ή περιοχή/ περιοχές ενδιαφέροντος του ερεθίσματος), δεδομένα που γράφονται αυτόματα σε αρχείο text και εμφανίζονται στην οθόνη του χρήστη. Το αρχείο text αυτό αποθηκεύεται αυτόματα στο φάκελο όπου έχουν αποθηκευτεί τα νέα αρχεία tsv (που έχει επιλέξει ο χρήστης) πάντοτε με την ονομασία «Average». Πρόκειται για ένα βοηθητικό αρχείο, και χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή καθώς κάθε φορά που πατιέται το κουμπί «Export Average» τα νέα δεδομένα γράφονται στο αρχείο «Average.txt», και σβήνονται τα προηγούμενα δεδομένα.



Average 1

2) Βάσει των κριτηρίων που έχουν επιλεγεί, μπορεί να επιλέξει πατώντας το κουμπί «Export Raw Data» να του δοθούν όλα τα δεδομένα που ανταποκρίνονται στη μετρική που έχει επιλέξει στο συγκεκριμένο συμμετέχοντα ανά ερέθισμα (ή περιοχή/ περιοχές ενδιαφέροντος του ερεθίσματος), δεδομένα που γράφονται αυτόματα σε αρχείο text και εμφανίζονται στην οθόνη του χρήστη. Το αρχείο text αυτό αποθηκεύεται αυτόματα στο φάκελο όπου έχουν αποθηκευτεί τα νέα αρχεία tsv (που έχει επιλέξει ο χρήστης) πάντοτε με την ονομασία «Raw Data». Πρόκειται για ένα βοηθητικό αρχείο, και χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή καθώς κάθε φορά που πατιέται το κουμπί «Export Raw Data» τα νέα δεδομένα γράφονται στο αρχείο «Raw Data.txt», και σβήνονται τα προηγούμενα δεδομένα.
3) Βάσει των κριτηρίων που έχουν επιλεγεί, μπορεί να επιλέξει πατώντας το κουμπί «Plot Average» να του δοθεί ο μέσος όρος της μετρικής που έχει επιλέξει στο συγκεκριμένο συμμετέχοντα ανά ερέθισμα (ή περιοχή/ περιοχές ενδιαφέροντος του ερεθίσματος), σε μορφή γραφικής παράστασης, η οποία εμφανίζεται στην οθόνη του χρήστη.



Average 2- Plot Average

4) Βάσει των κριτηρίων που έχουν επιλεγεί, μπορεί να επιλέξει πατώντας το κουμπί «Plot All Data» να του δοθούν όλα τα δεδομένα που ανταποκρίνονται στη μετρική που έχει επιλέξει στο συγκεκριμένο συμμετέχοντα ανά ερέθισμα (ή περιοχή/ περιοχές ενδιαφέροντος του

ερεθίσματος), σε μορφή γραφικών παραστάσεων, οι οποίες εμφανίζονται στην οθόνη του χρήστη.

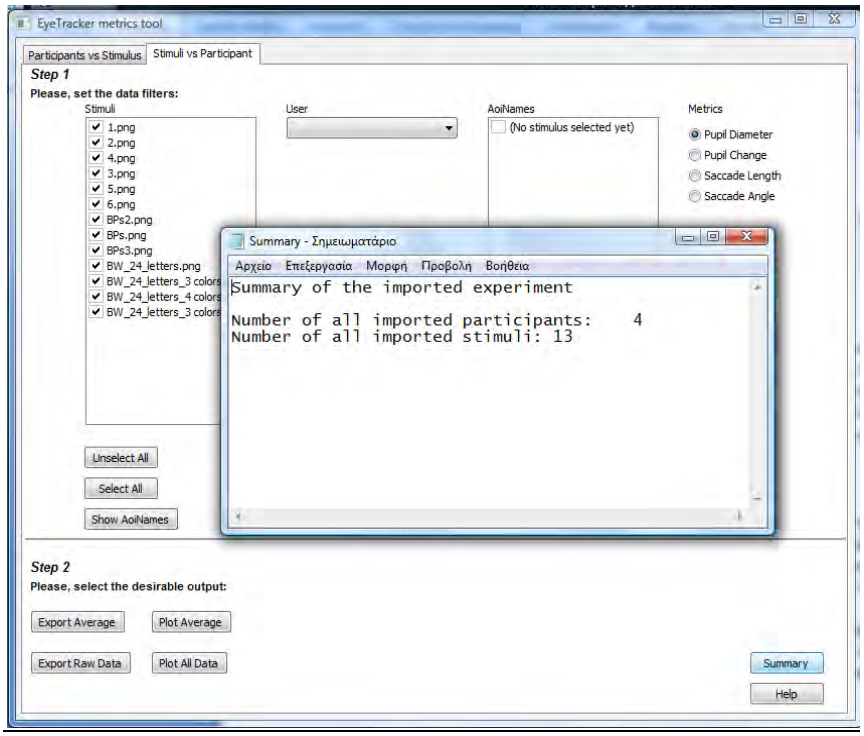
Κουμπιά «Select All», «Unselect All»

Για λόγους ευχρηστίας του εργαλείου, προστέθηκαν κάτω από τις λίστες «Stimuli» και «AOI Names» τα κουμπιά αυτά, ώστε να γίνεται άμεσα η πολλαπλή επιλογή/ από-επιλογή όλων των στοιχείων των λιστών, χωρίς να χρειάζεται ο χρήστης να επιλέγει τα στοιχεία ένα-ένα. Άλλωστε, συνήθως ενδιαφέρει το χρήστη να γίνει η ανάλυση με όλα του τα δεδομένα.

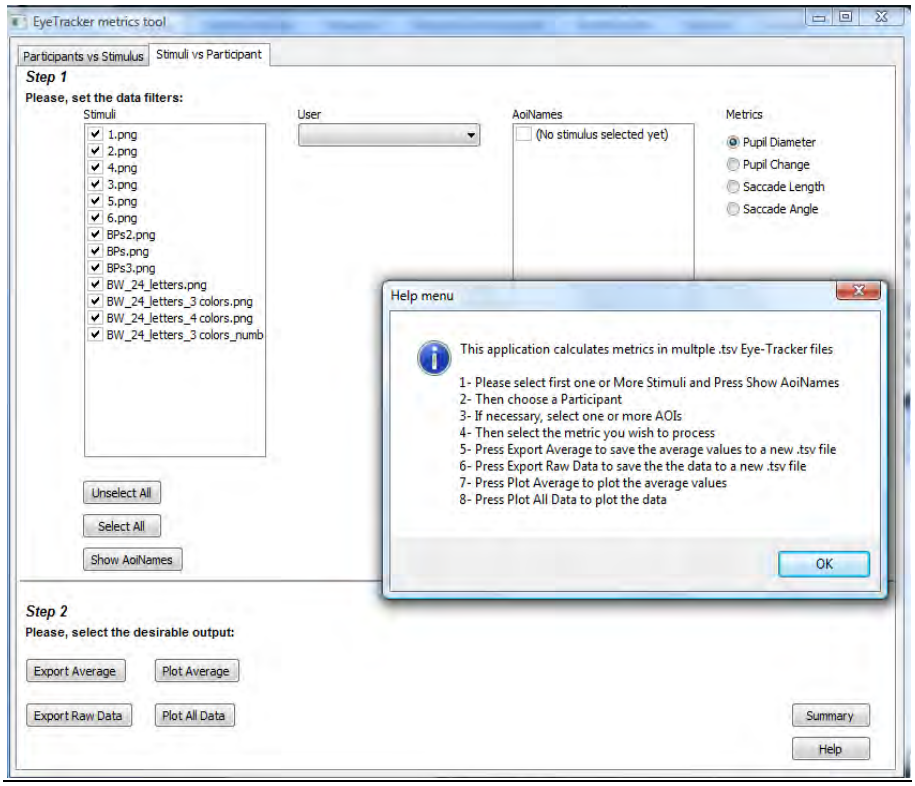
Κουμπιά «Summary», «Help»

Το κουμπί «Summary» υπενθυμίζει κάθε στιγμή στο χρήστη τον αριθμό των συμμετεχόντων στο πείραμα, καθώς και τον αριθμό των ερεθισμάτων από τα οποία αποτελείται το πείραμα. Τα στοιχεία αυτά αποθηκεύονται σε αρχείο text στο φάκελο όπου έχουν αποθηκευτεί τα νέα αρχεία tsv, το οποίο έχει πάντα την ονομασία «Summary».

Το κουμπί «Help» δίνει σαφείς οδηγίες για τη λειτουργία του εργαλείου στη συγκεκριμένη διεπιφάνεια και δη στο συγκεκριμένο tab. Ο χρήστης μπορεί να ανατρέχει πάντοτε εύκολα και γρήγορα σε περίπτωση που μπερδευτεί, ή δει κάποιο μήνυμα λάθους.



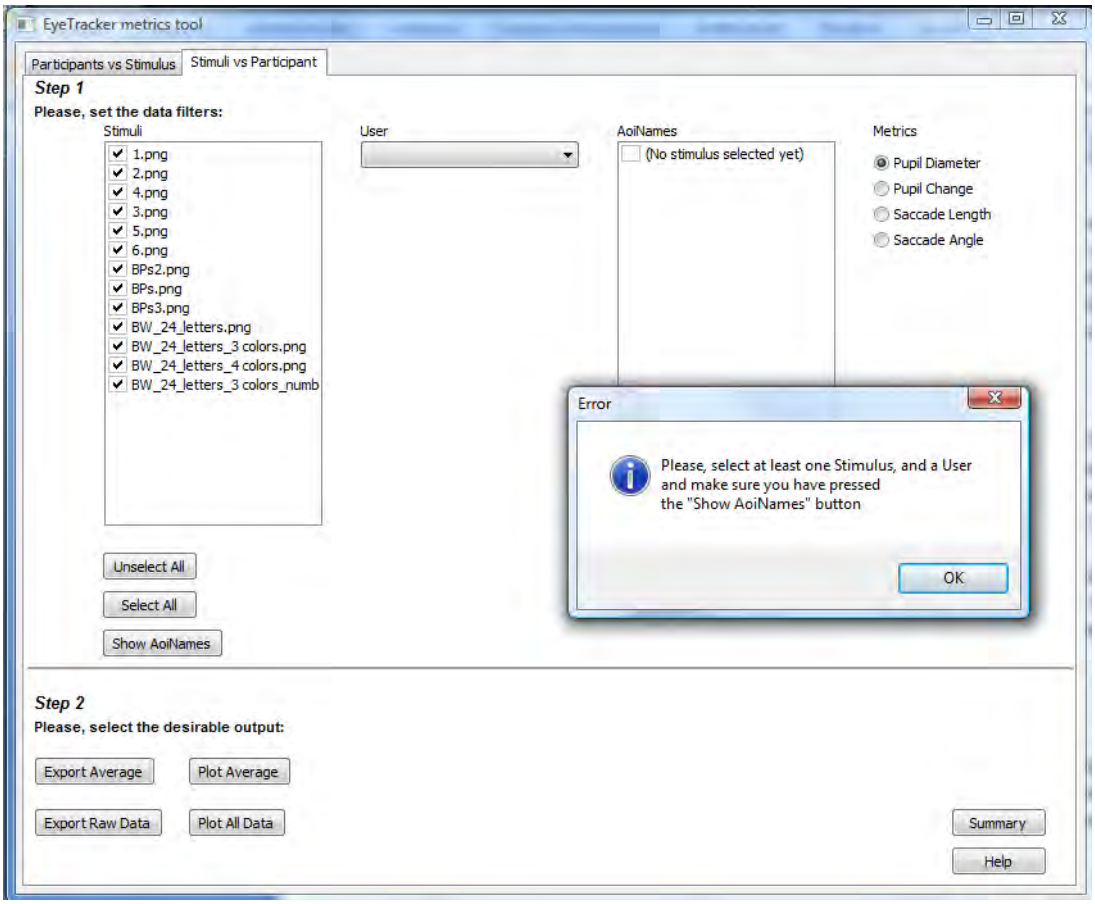
Summary 2



Help option 2

Μηνύματα λάθους.

Σε περίπτωση που ο χρήστης έχει παραλείψει να επιλέξει τουλάχιστον ένα ερέθισμα, δεν έχει πατήσει το κουμπί «Show AOI Names», και έναν συμμετέχοντα και προσπαθήσει πατήσει κάποιο από τα κουμπιά εξαγωγής δεδομένων, το εργαλείο θα δώσει μήνυμα λάθους.



Error Message 2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Αξιολόγηση του εργαλείου.

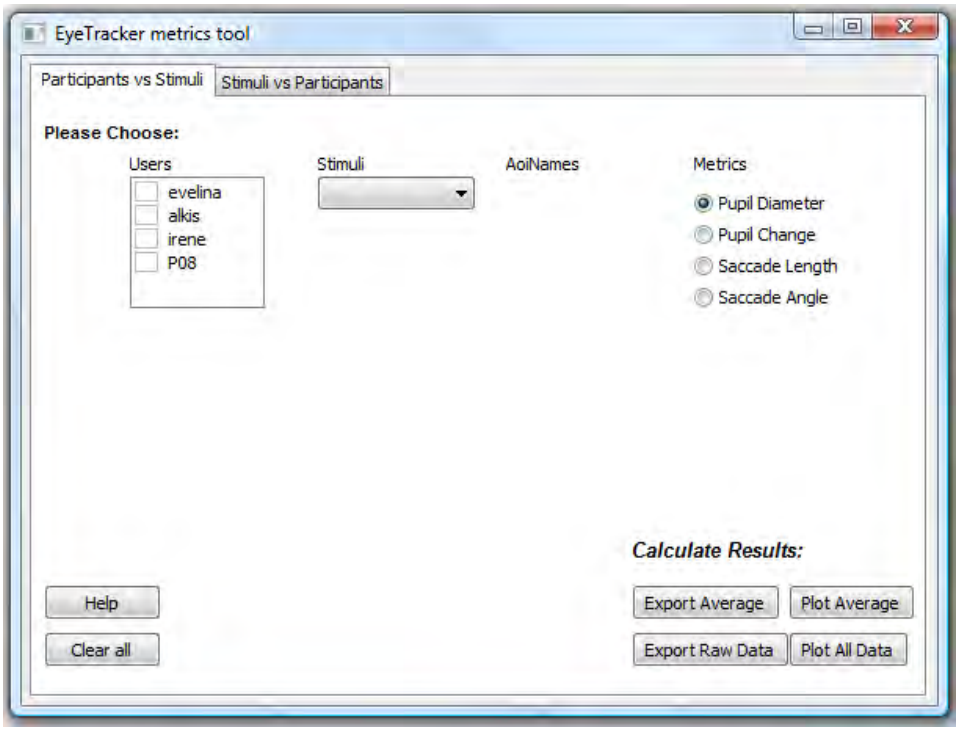
Το εργαλείο δέχθηκε δύο αξιολογήσεις από έμπειρους χρήστες κατά την ανάπτυξή του, με σκοπό τη διόρθωση λαθών, τόσο λειτουργικών όσο και αισθητικών.

Κατά την πρώτη αξιολόγηση, βρέθηκαν αρκετά λάθη, κρίσιμα κυρίως τα οποία διορθώθηκαν πριν γίνει η δεύτερη αξιολόγηση. Στη δεύτερη αξιολόγηση βρέθηκαν πάλι αρκετά λάθη, μικρά κυρίως τα οποία διορθώθηκαν κατά ένα μεγάλο ποσοστό πριν την τελική έκδοση του εργαλείου.

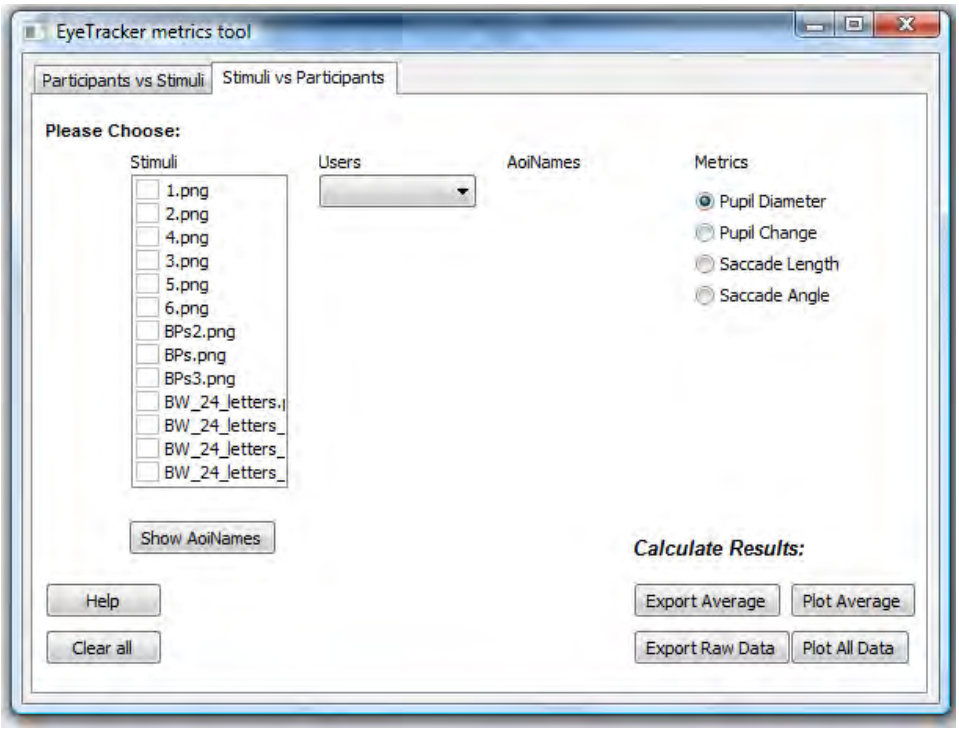
5.1: Αξιολόγηση Νο1.

Οι εικόνες που φαίνονται παρακάτω είναι εικόνες της πρώτης έκδοσης του εργαλείου, πριν γίνει ακόμα η πρώτη αξιολόγηση.

i) Κύρια διεπιφάνεια κατά την εκκίνηση



Tab 1- First 1



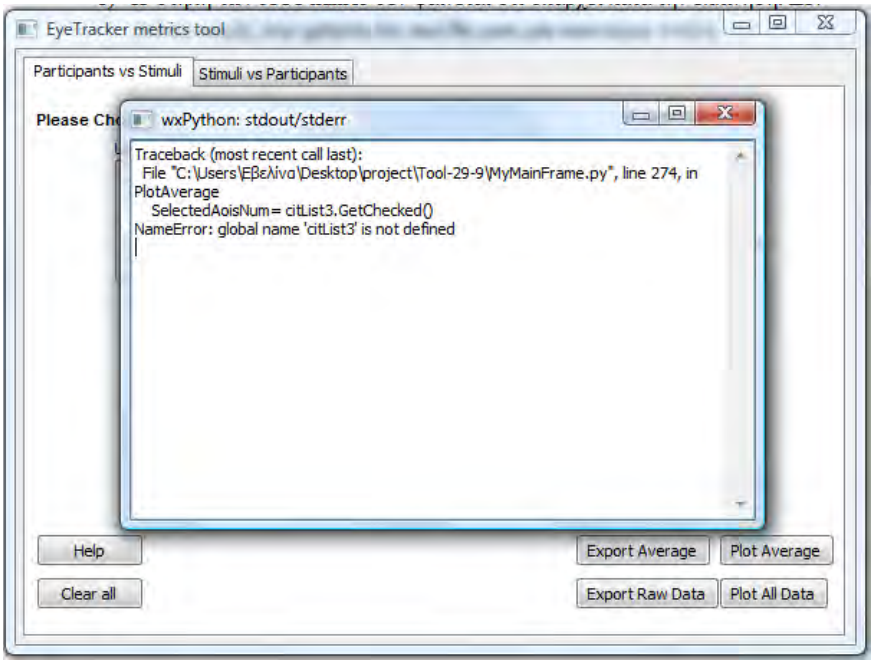
Tab 2- First 1

Οι παραπάνω εικόνες είναι οι εικόνες της κυρίως διεπιφάνειας που μας δίνει το εργαλείο στην πρώτη του έκδοση κατά την εκκίνηση.

Τα προβλήματα που διαπιστώθηκαν σε αυτό το σημείο ήταν τα εξής:

1) Η στήλη των AOI names δεν φαίνεται ότι υπάρχει κατά την εκκίνηση. Δεν γίνεται σαφές στο χρήστη ότι εκεί θα μπει μία καινούρια στήλη.
2) Το παράθυρο έχει πολύ μικρό μέγεθος.
3) Εξ' αιτίας της διάταξης του παραθύρου δεν ήταν σαφή τα βήματα που έπρεπε να ακολουθήσει ο χρήστης για την ορθή λειτουργία του εργαλείου.
4) Κατά την εκκίνηση του εργαλείου δεν ήταν αυτόματα επιλεγμένα τα checkboxes, αλλά από-επιλεγμένα.
5) Επιπλέον , δεν υπήρχαν κουμπιά για να μπορεί ο χρήστης να επιλέγει-από-επιλέγει όλα τα checkboxes των στηλών ταυτόχρονα.
6) Όπως είναι εμφανές κυρίως από τη δεύτερη εικόνα, το μέγεθος των στηλών ήταν πολύ μικρό, με αποτέλεσμα να μην φαίνονται καλά οι επιλογές που είχε ο χρήστης.
7) Δεν υπήρχε κουμπί «Summary».

ii)Κύρια Διεπιφάνεια κατά τη χρήση.



Error Message 3

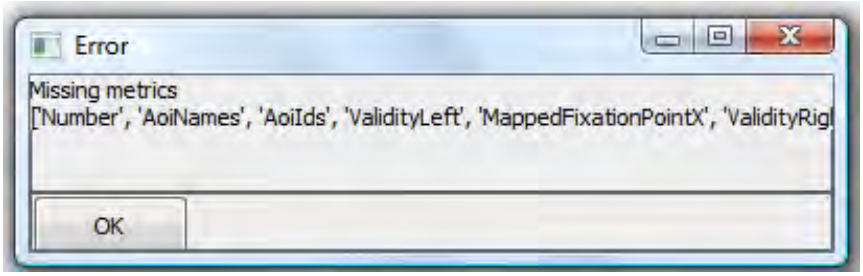
8) Όπως φαίνεται και από την παραπάνω εικόνα, δεν υπήρχε πρόβλεψη για μηνύματα λάθους σε περίπτωση που ο χρήστης προσπαθούσε να κάνει ανάλυση χωρίς πρώτα να είχε επιλέξει όλα τα απαραίτητα φίλτρα.

Άλλες παρατηρήσεις στην κύρια Διεπιφάνεια:

9) Η αρχική βιβλιοθήκη που χρησιμοποιήθηκε για το σχεδιασμό των γραφικών παραστάσεων είχε αρκετά μειονεκτήματα, με κύρια την έλλειψη αυτόματης επιλογής βαθμονόμησης των αξόνων και την έλλειψη δυνατότητας αποθήκευσης των γραφικών παραστάσεων.

10) Υπήρχε πρόβλημα στην στήλη «AOI Names», καθώς δεν γινόταν καταστροφή της προηγούμενης λίστας όταν ο χρήστης επέλεγε καινούριο stimulus/ καινούρια stimuli με αποτέλεσμα να μην μπορεί να γίνει σωστά η επιλογή των στοιχείων της λίστας AOI Names.

iii) Διεπιφάνεια Λάθους.

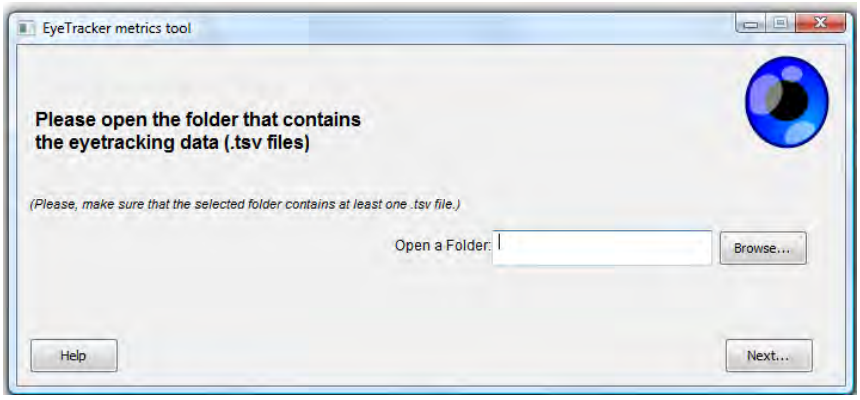


Error Message 4

11) Όπως μπορούμε να καταλάβουμε από την παραπάνω εικόνα, το παράθυρο της διεπιφάνειας λάθους είναι πολύ μικρό, δεν φαίνονται όλα όσα πρέπει να φανούν στο μήνυμα λάθους και δεν είναι αρκετά σαφές το ποιο είναι τελικά το μήνυμα λάθους.

5.2: Αξιολόγηση No2.

i) Πρώτη Διεπιφάνεια

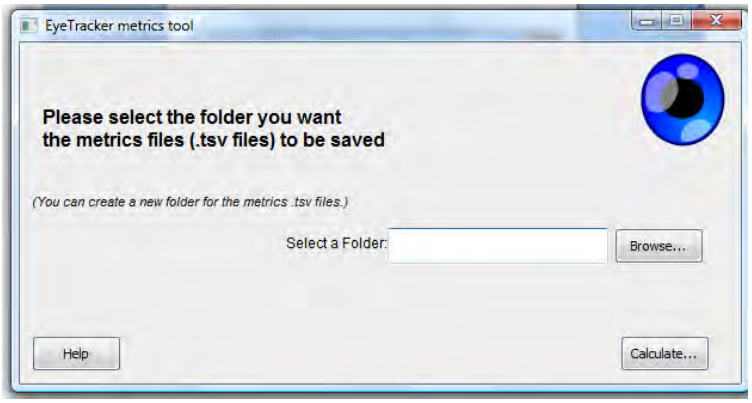


Version 2- διεπιφάνεια 1

1. Το “Please open the folder that contains the Eyetracking data(.tsv files)” και το “please, make sure that the selected folder contains at least one .tsv file” λένε πάνω κάτω το ίδιο πράγμα να γίνει μια πρόταση. Το δεύτερο δεν χρειάζεται ή μπορεί να μπει στο help Το παράθυρο πρέπει να γίνει ποιο λιτό γιατί εκτελεί μια πολύ απλή διαδικασία. (average)
2. Το “Open a folder” να γίνει “select folder” (minor)
3. Χρειάζεται μια στοίχιση τον αντικειμένων για περισσότερη ισορροπία. (minor)
4. Στο help το browse calculates “metrics in multiple” να γίνει “from multiple” (minor)

5. Το “Browse folder…” πρέπει να γίνει: click on browse to select the folder that contains the .tsv files το 3 βήμα είναι περιττό πρέπει να φύγει. (minor)
6. Αν κάποιος πατήσει next χωρίς να έχει επιλέξει κάποιον φάκελο βγάζει μήνυμα λάθους (παρακάτω εικόνα). Το μήνυμα δεν είναι βοηθάει τον χρήστη να καταλάβει το λάθος του ούτε του δίνει οδηγίες .(critical)

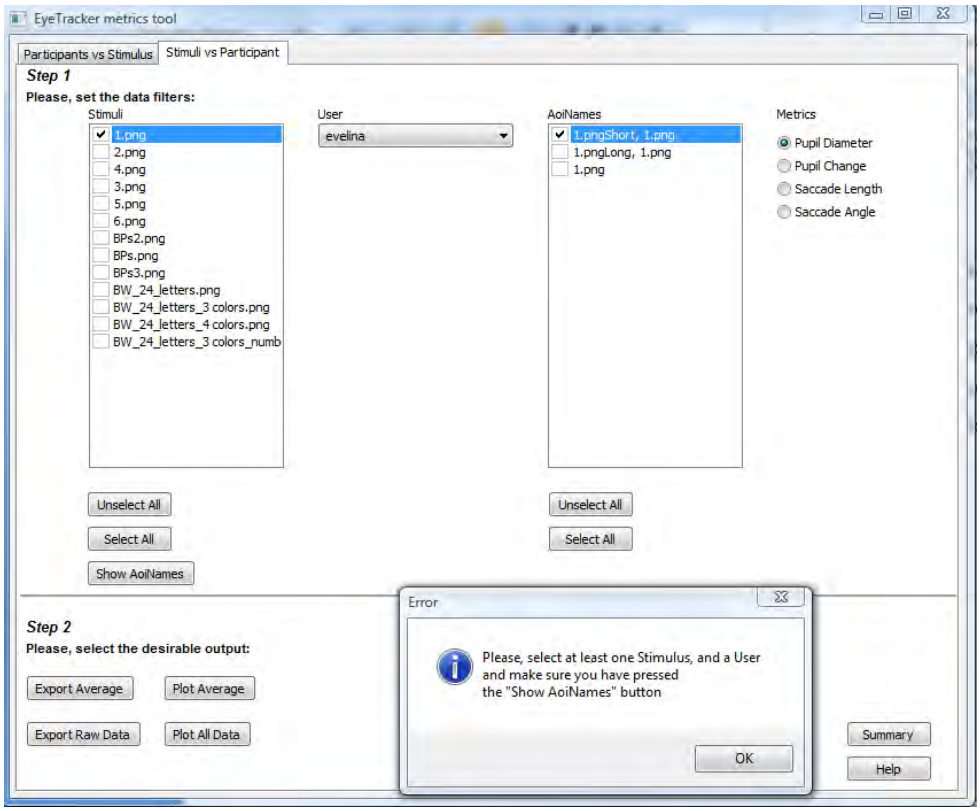
ii) Δεύτερη Διεπιφάνεια



Version 2- διεπιφάνεια 2

7. Το calculate πρέπει να γίνει next. Ο χρήστης δεν ξέρει αν αυτό είναι το επόμενο βήμα και το επιλέγει επειδή δεν έχει άλλη επιλογή.(minor)
8. Το κείμενο δεν βοηθάει τον χρήστη να καταλάβει γιατί χρειάζεται αυτό το βήμα. Θα μπορούσε να γράφει “Results needs to be saved in a new folder. Please chose a destination folder” (minor)
9. Το “You can create a new folder…” δεν χρειάζεται. (minor)
10. Δεν είναι ωραίο που αλλάζει μέγεθος το παράθυρο σε σχέση με το προηγούμενο (συνοχή). Θα μπορούσε και το προηγούμενο να έχει της ίδιες διαστάσεις με αυτό που είναι ποιο συμμαζεμένο.(minor)
11. Το help χρειάζεται να διορθωθεί δεν βοηθάει τον χρήστη να καταλάβει.(average)

iii)Κύρια Διεπιφάνεια



Version 2- διεπιφάνεια 3-Error!!

12. Το Stimulus versus participants tab δεν δουλεύει σωστά. (critical)
13. Στις γραφικές παραστάσεις πρέπει να αναγράφονται τα ονόματα των χρηστών και όχι νούμερα που δεν έχουν φυσική ερμηνεία για τον χρήστη στην οριζόντια μπάρα. (critical)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Πείραμα

Σε αυτή τη φάση, σχεδιάστηκε ένα πείραμα με σκοπό να μελετήσουμε τη μεταβολή του γνωσιακού φορτίου σε χρήστες, χρησιμοποιώντας το εργαλείο που αναπτύχθηκε για την ανάλυση και μελέτη του πειράματος αυτού.

Οι λόγοι που έγινε αυτό το πείραμα είναι τρεις:

1) Για να δούμε ποιες από τις μετρικές που εξάγει το εργαλείο μας σχετίζονται άμεσα με το γνωσιακό φορτίο(cognitive workload).
2) Για να δούμε κατά πόσο είναι σημαντικά τα αποτελέσματα σε ένα αρκετά «αποστειρωμένου» περιβάλλοντος χρήσης πείραμα, και κατά πόσο θα μπορούσαμε να τα γενικεύσουμε και για πραγματικά περιβάλλοντα χρήσης, όπως π.χ. ιστοσελίδες.
3) Για να δούμε εάν η αρχική μορφή του προγράμματος ανάλυσης των raw data files του tobii studio μας ήταν χρήσιμη και πρακτική.

Ο σκοπός αυτής της μελέτης είναι να κατανοήσουμε πόσο και πώς μεταβάλλεται το γνωσιακό φορτίο του χρήστη. Επίσης διερευνά κατά πόσο μεταβάλλεται το γνωσιακό φορτίο σε διαφορετικά ερεθίσματα και καθήκοντα. Συγκεκριμένα, ο σχεδιασμός του πειράματος έγινε για να απαντήσει τα εξής ερωτήματα:

- Πόσο μεταβάλλεται το γνωσιακό φορτίο του χρήστη όταν τον υποβάλλουμε σε κλιμακούμενης δυσκολίας καθήκοντα;
- Ποια είναι η σημαντικότητα της εκμάθησης του πειράματος του χρήστη στη μεταβολή του γνωσιακού του φορτίου;

6.1: Σχεδιασμός πειράματος.

Η μελέτη αυτή χωρίστηκε σε τρεις κατηγορίες καθηκόντων (καθήκοντα μαθηματικού συλλογισμού, καθήκοντα κατανόησης γραπτού λόγου, και καθήκοντα οπτικά/οπτικής αναζήτησης), κλιμακούμενης δυσκολίας.

6.2: Εξοπλισμός.

Καθώς ο χρήστης εκτελούσε τα καθήκοντα που του ζητούνταν, καταγράφαμε τη διαδικασία αυτή με τον Tobii T60 Series EyeTracker και έχει τεχνικά χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 2.

6.3: Χρήστες και καθήκοντα.

Σε αυτό το πείραμα συμμετείχαν 5 χρήστες (3 άνδρες και 2 γυναίκες), ηλικίας από 23 έως 34 ετών.

Ένα σημαντικό μέρος της μελέτης μας ήταν να αναγνωρίσουμε σημαντικές κατηγορίες καθηκόντων, αντιπροσωπευτικές (όσο γινόταν στα πλαίσια του

πειράματος) των καθηκόντων της καθημερινότητας των ατόμων. Λαμβάνοντας υπ' όψιν μας αρκετές μελέτες για το γνωσιακό φορτίο, όπως επίσης και την προσωπική μας εμπειρία και κρίση, καταλήξαμε σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες, οι οποίες όντως είναι αναπόσπαστο κομμάτι των καθημερινών εργασιών ενός μέσου ατόμου που χρησιμοποιεί τον υπολογιστή σε καθημερινή βάση είτε στην εργασία του είτε στον ελεύθερό του χρόνο. Αυτές οι τρεις κατηγορίες αναπτύχθηκαν με τη λογική το κάθε καθήκον να έχει ελαφρώς αυξημένη δυσκολία από το προηγούμενο.

- Προβλήματα κατανόησης γραπτού λόγου

  Σε αυτήν την κατηγορία επιλέξαμε τρεις υποκατηγορίες κλιμακούμενης δυσκολίας:

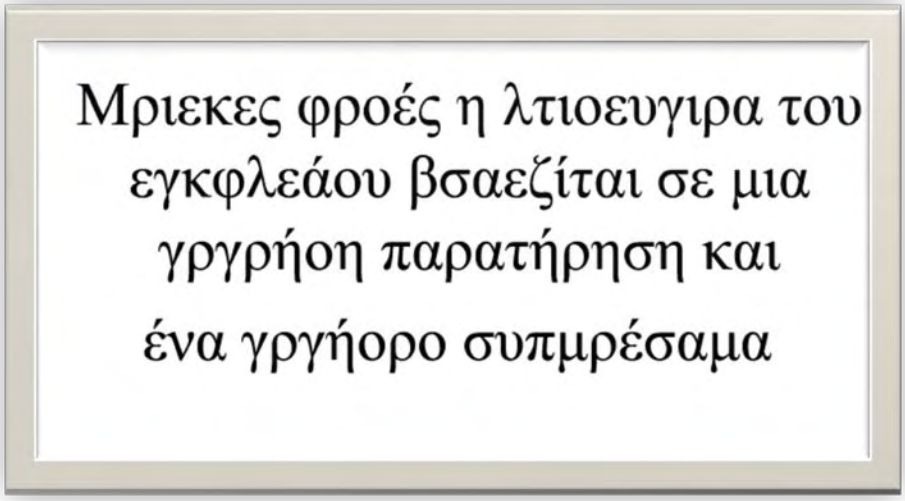
  i. Ορθογραφικά προβλήματα.
  ii. Συντακτικά προβλήματα.
  iii. Προβλήματα κατανόησης κειμένου σε μη ορθή διάταξη στοιχείων.

  Κάθε φορά δινόταν στο χρήστη ένα κείμενο σε άσπρο φόντο με μαύρα γράμματα και του ζητούταν κάθε φορά είτε να εντοπίζει τα λάθη που υπήρχαν (για τα ορθογραφικά και συντακτικά καθήκοντα), είτε να διαβάσει ένα κείμενο δυνατά στο οποίο είτε υπήρχε διαστρεβλωμένη διάταξη γραμμάτων στις λέξεις, είτε υπήρχε απουσία φωνηέντων στις λέξεις (στα καθήκοντα κατανόησης κειμένου σε μη ορθή διάταξη στοιχείων).

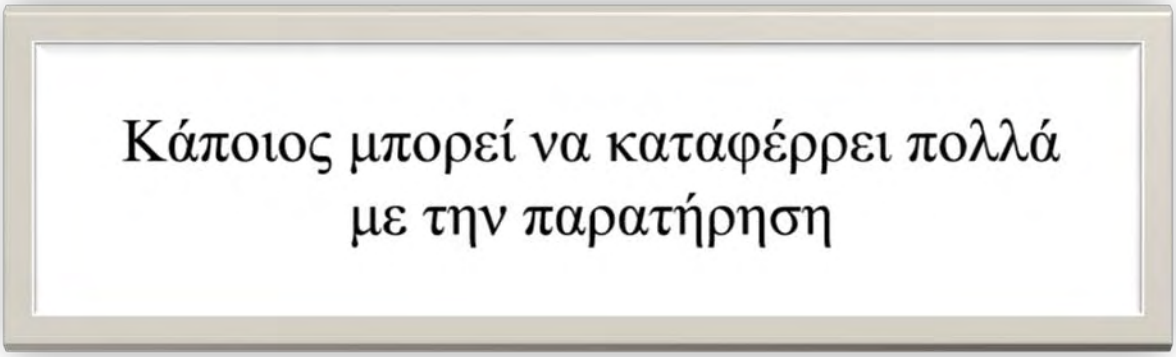
  Όσον αφορά την υποκατηγορία των αναγραμματισμών, τα πιο εύκολα καθήκοντα, με το μικρότερο μήκος πρότασης ήταν στην αρχή του πειράματος, ακολουθούμενα από τα επόμενα τα οποία ήταν κλιμακούμενης δυσκολίας (από το πιο εύκολο στο πλέον δύσκολο).

  Στις υπόλοιπες δύο υποκατηγορίες, οι διαφορές στη δυσκολία μεταξύ των εικόνων ήταν μηδαμινές, θεωρούμε δηλαδή ότι ήταν της ίδιας δυσκολίας.

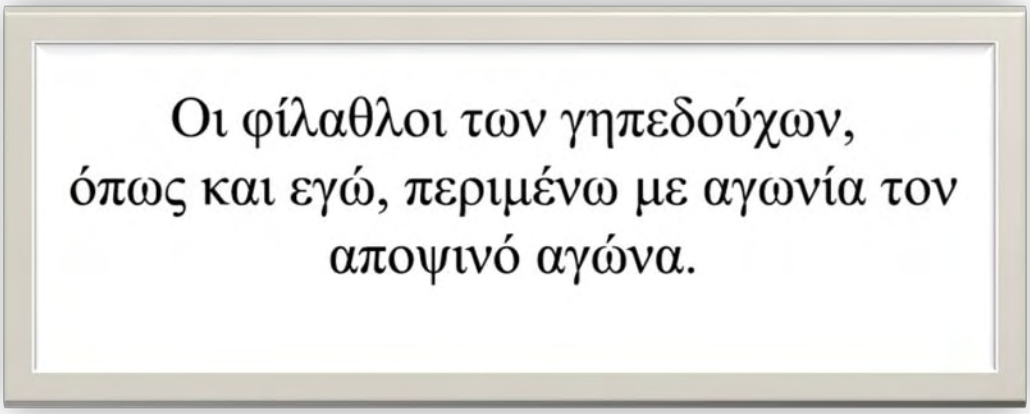
  Το πείραμα αποτελούταν από δεκατρία διαφορετικά κείμενα-εικόνες.



Αναγραμματισμός 1



Ορθογραφία 1



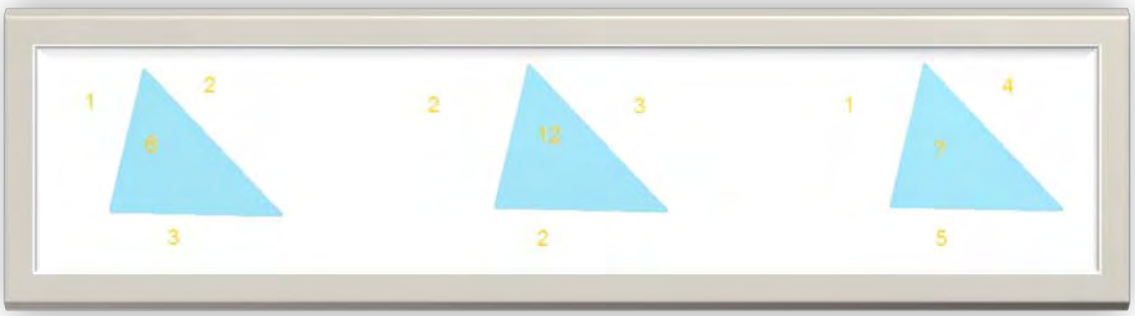
Σύνταξη 1

- Προβλήματα μαθηματικού συλλογισμού

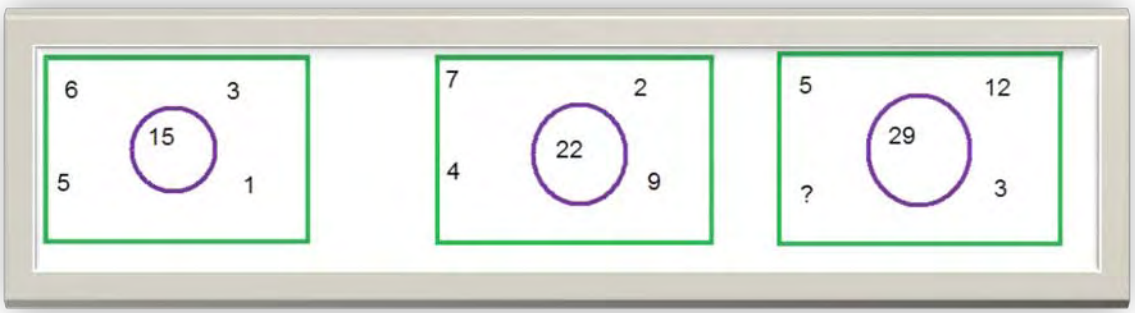
  Σε αυτήν την κατηγορία, δίνονταν στο χρήστη εικόνες, από τις οποίες έπρεπε να κατανοήσει το μαθηματικό ερώτημα που έθεταν, και να απαντήσει σωστά τη λύση του συγκεκριμένου προβλήματος.

  Τα προβλήματα δίνονταν σε γραφική μορφή, διαφορετική κάθε φορά ώστε ο χρήστης να μπορεί να συνειδητοποιεί κάθε φορά ότι έχει κληθεί να απαντήσει σε κάτι διαφορετικό.

  Τα προβλήματα ήταν κλιμακούμενης δυσκολίας, και σε αυτά ζητούνταν να γίνονται συγκεκριμένες μαθηματικές πράξεις (πρόσθεση, αφαίρεση, πολλαπλασιασμός), διαφορετικές κάθε φορά όπως προαναφέρθηκε.
  Το πείραμα αποτελούταν από πέντε διαφορετικές εικόνες-προβλήματα.
  Ο χρήστης έπρεπε να απαντήσει δυνατά την σωστή απάντηση που του έθετε η κάθε εικόνα, και να προχωρήσει σε επόμενη με κλικ του ποντικιού.



Μαθηματικό πρόβλημα 1



Μαθηματικό πρόβλημα 2

- Προβλήματα οπτικά/οπτικής αναζήτησης

  Σε αυτήν την κατηγορία, ανήκουν τρεις υποκατηγορίες κλιμακούμενης δυσκολίας:

  i. Οπτικές οφθαλμαπάτες.
  ii. Οπτική αναζήτηση στοιχείου σε εικόνα με διατεταγμένα στοιχεία.
  iii. Οπτική αναζήτηση στοιχείου σε εικόνα με μη διατεταγμένα στοιχεία.

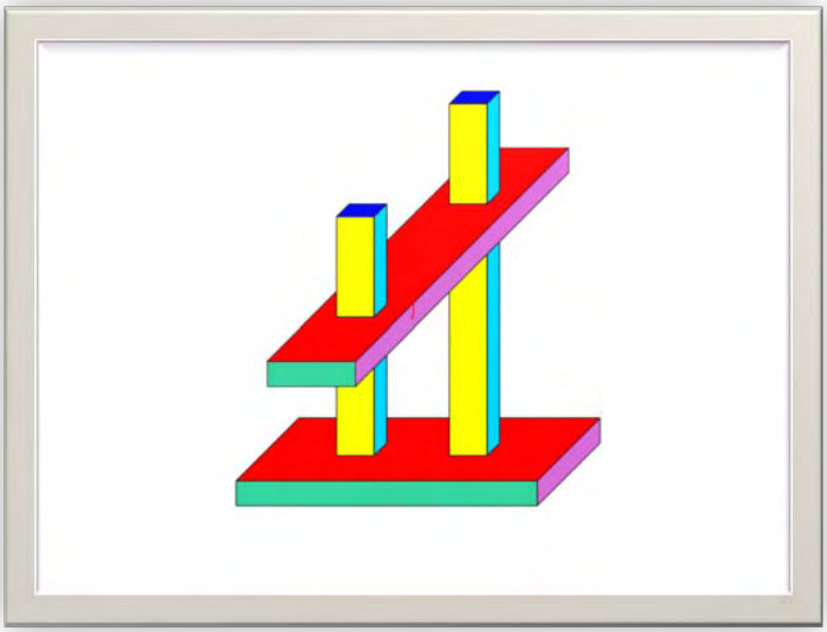
  Στην πρώτη κατηγορία, ο χρήστης παρατηρούσε κάποιες εικόνες, και να εντοπίσει το λόγο (ή τους λόγους) για τον οποίο (ή τους οποίους), η εικόνα αυτή, δεν θα μπορούσε να υπάρχει στην πραγματικότητα. Σε κάποιες εικόνες ήταν εύκολο να εντοπιστεί η οφθαλμαπάτη, και ήταν απλές γραφικά, όσο προχωρούσε όμως το πείραμα, η δυσκολία αύξανε και τα γραφικά γίνονταν πιο πολύπλοκα.

  Στη δεύτερη κατηγορία, ο χρήστης παρατηρούσε κάποιες εικόνες τα οποία αποτελούταν από γράμματα τοποθετημένα σε διάταξη και να εντοπίζει ένα συγκεκριμένο γράμμα. Η δυσκολία αύξανε μεταβάλλοντας τα χρώματα, εισάγοντας περισσότερα γράμματα κλπ.

  Στην τρίτη κατηγορία, ο χρήστης παρατηρούσε κάποιες εικόνες τα οποία αποτελούταν από γράμματα μη τοποθετημένα σε διάταξη, αλλά σε τυχαίες θέσεις στην οθόνη και να εντοπίζει ένα συγκεκριμένο γράμμα. Η δυσκολία αύξανε μεταβάλλοντας τα χρώματα, εισάγοντας περισσότερα γράμματα κλπ.

  Το πείραμα αποτελούταν από πέντε διαφορετικές εικόνες-προβλήματα.

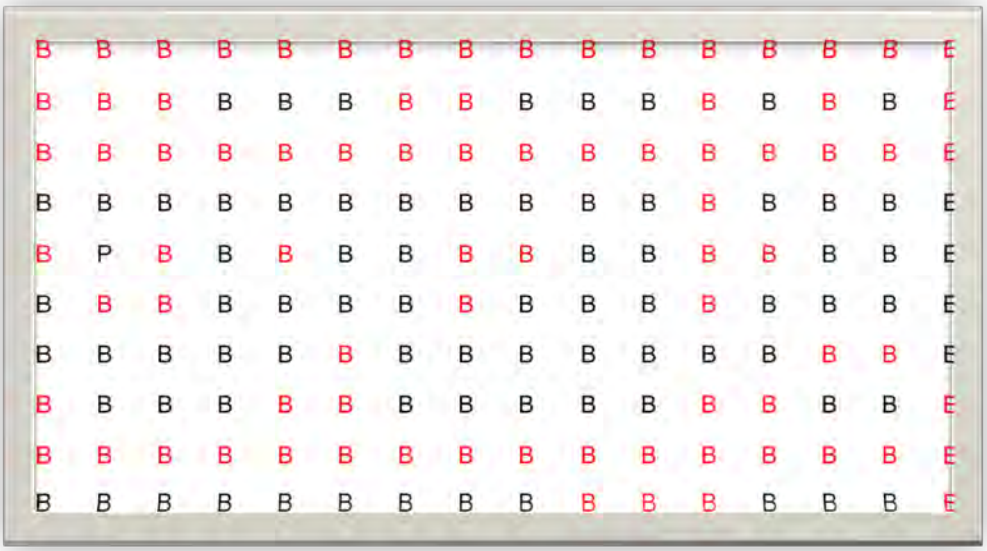
  Ο χρήστης έπρεπε όταν έβρισκε το ζητούμενο γράμμα να το δείξει και να πει δυνατά ότι το βρήκε, και να προχωρήσει σε επόμενη εικόνα με κλικ του ποντικιού.



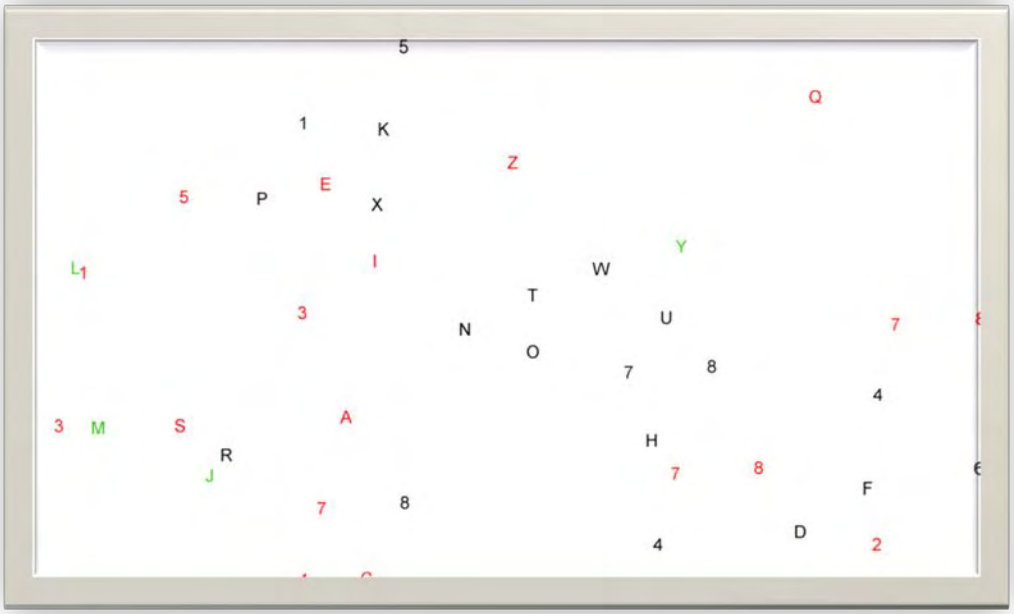
Optical Illusion 1



Optical Illusion 2



Γράμματα σε διάταξη 1



Γράμματα χωρίς διάταξη 1

6.4: Διαδικασία.

Κατά την άφιξη στο εργαστήριο, ο κάθε χρήστης ενημερωνόταν για τις τρεις φάσεις του πειράματος, και γενικές οδηγίες. Στη συνέχεια, ο κάθε χρήστης καθόταν στον Eye-tracker και έκανε ένα τεστ βαθμονόμησης (calibration process),που κάνει αυτόματα το Tobii software πριν ξεκινήσει το οποιοδήποτε πείραμα. Ο χρήστης όπως προαναφέρθηκε έπρεπε να εκτελέσει τρεις διαφορετικές κατηγορίες

καθηκόντων, κλιμακούμενης δυσκολίας κάθε φορά. Πριν την έναρξη κάθε διαφορετικής κατηγορίες, παρεχόταν στον κάθε χρήστη ειδικότερες οδηγίες για την εκτέλεση της συγκεκριμένης πειραματικής διαδικασίας. Σε κάθε φάση του πειράματος, ήταν πάντοτε παρών ένας από τους σχεδιαστές του πειράματος ώστε να ελέγχεται η ορθότητα των απαντήσεων που έδιναν οι χρήστες. Η σειρά παρουσίασης των εικόνων ήταν ίδια για όλους τους χρήστες, όμως δεν ήταν σε όλες τις περιπτώσεις η σειρά κλιμάκωσης δυσκολίας. Ζητήθηκε από τους χρήστες να δώσουν τις απαντήσεις τους όσο το δυνατόν συντομότερα και σωστότερα.

6.5: Μετρήσεις.

Τα δεδομένα που μας δόθηκαν από το Tobii Studio Software για τις κινήσεις του ματιού και τη διάμετρο της κόρης των χρηστών (raw data files) συγκεντρώθηκαν, και υπέστην επεξεργασία από την αρχική μορφή του προγράμματος που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας. Δηλαδή, φιλτραρίστηκαν από ανεπιθύμητα δεδομένα, και υπολογίστηκαν καινούριες μετρικές, μετρικές δηλαδή που δεν μας έδινε το λογισμικό που χρησιμοποιήσαμε.

Οι μετρικές που αξιολογήσαμε, για να προσπαθήσουμε να καταλάβουμε την μεταβολή του γνωσιακού φορτίου συνάδουν κατά ένα μεγάλο ποσοστό με τις μετρικές που χρησιμοποίησαν κι άλλες ερευνητικές ομάδες στη βιβλιογραφία για τον ίδιο σκοπό και ήταν οι εξής:

1) Αριθμός Fixation
2) Συχνότητα Fixation
3) Μέση διάμετρος της κόρης
4) Μέση απόσταση από την οθόνη
5) Μέσος όρος fixation ανά δευτερόλεπτο
6) Χρόνος παρατήρησης
7) Μέσο μήκος saccade
8) Μέση γωνία saccade
9) Αριθμός blinks

6.6: Αποτελέσματα-Συμπεράσματα.

Όπως το περιμέναμε άλλωστε, η μέση διάμετρος της κόρης, μας έδωσε στατιστικώς σημαντικά συμπεράσματα σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις. [10],[6],[7],[9],[16],[17],[18],[19],[20]

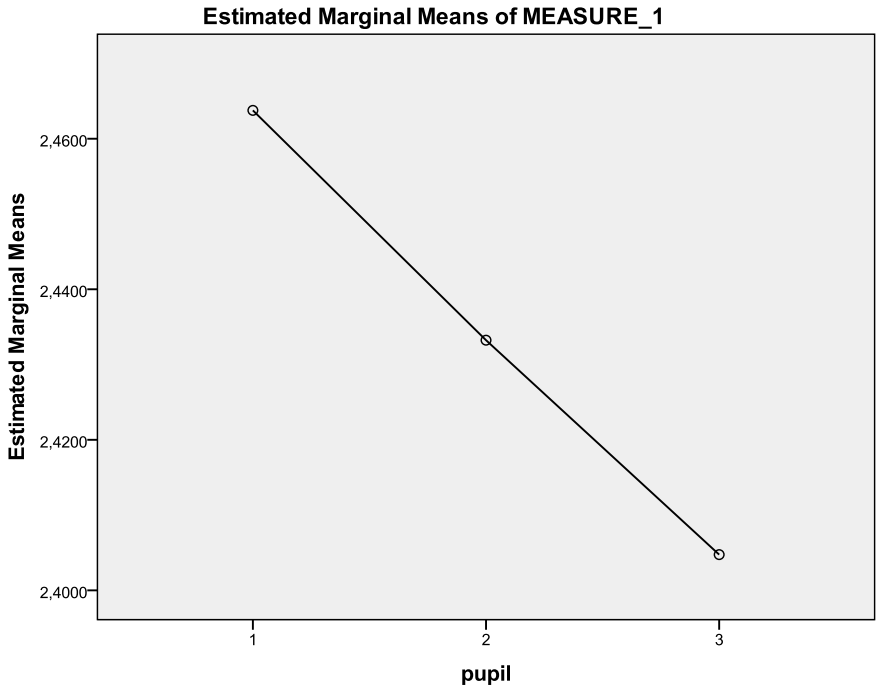
Για την εξαγωγή των μετρικών, όπως προαναφέρθηκε, χρησιμοποιήσαμε την αρχική μορφή του προγράμματος που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, το οποίο μας έδωσε τις μετρικές που αναφέρθηκαν παραπάνω. Χειροκίνητα,

ομαδοποιήσαμε τα αποτελέσματα αυτά, και χρησιμοποιώντας το στατιστικό πρόγραμμα SPSS και συγκεκριμένα τη στατιστική μέθοδο ANOVA για όλες τις μετρικές που προαναφέραμε, πήραμε τα παρακάτω αποτελέσματα:

1) Προβλήματα κατανόησης γραπτού λόγου

Σε αυτήν τη φάση του πειράματος, προέκυψε κάποιο στατιστικώς σημαντικό συμπέρασμα μόνο για την υποκατηγορία «Ορθογραφία», και τη μετρική «Μέση διάμετρος κόρης ματιού». Συγκεκριμένα τα αποτελέσματα της ανάλυσης είναι τα εξής:

Sig. F(2,4)=16.503 ,p=.012 (<.05)



Όπως προαναφέρθηκε στην αρχή του κεφαλαίου, τα ερωτήματα που θέσαμε πριν τη διεξαγωγή του πειράματος ήταν κατά πόσο μεταβάλλεται το γνωσιακό φορτίο του χρήστη όταν τον υποβάλλουμε σε κλιμακούμενης δυσκολίας καθήκοντα όπως επίσης και ποια είναι η σημαντικότητα της εκμάθησης του πειράματος του χρήστη στη μεταβολή του γνωσιακού του φορτίου.

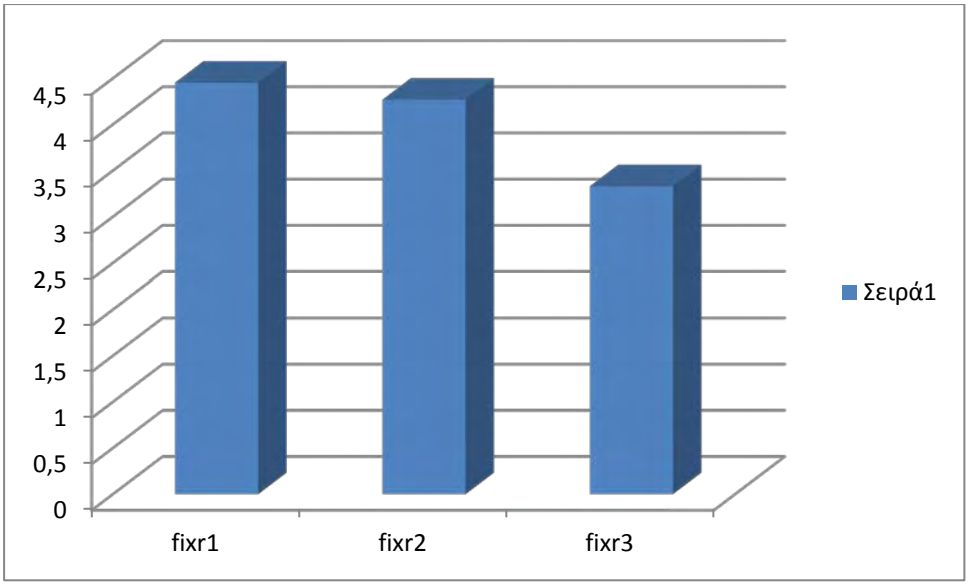
Συμπέρασμα-Συζήτηση

Η παραπάνω γραφική παράσταση, η οποία προκύπτει από όλους τους χρήστες που έλαβαν μέρος θα μπορούσε να ερμηνευτεί ως εξής:

Στη συγκεκριμένη περίπτωση υπενθυμίζουμε ότι μεταξύ τους τα κείμενα δεν είχαν μεγάλη διαφορά στη δυσκολία, όπως άλλωστε μας είχαν αναφέρει και οι χρήστες, συνεπώς:
Η σημαντικότητα της εκμάθησης κατέχει μείζονα ρόλο, καθώς στη συγκεκριμένη περίπτωση, η διαφορά στη δυσκολία μεταξύ των καθηκόντων είναι μηδαμινή, και οι χρήστες κατέβαλαν μικρότερο γνωσιακό φόρτο για την ορθή διεξαγωγή του πειράματος. Αυτό το συμπέρασμα είναι προφανές, καθώς, όπως έχει αποδειχθεί, ισχύει ότι αύξηση του γνωσιακού φόρτου συνεπάγεται και αύξηση της διαμέτρου της κόρης του οφθαλμού, και αντίστροφα μείωση του γνωσιακού φόρτου συνεπάγεται μείωση της διαμέτρου της κόρης του οφθαλμού.
Πώς λοιπόν θα μπορούσαμε να διορθώσουμε αυτό το πρόβλημα; Μια προτεινόμενη ιδέα θα ήταν να δίνουμε πιο πολλά παραδείγματα στους χρήστες, σε εισαγωγική φάση ώστε να μάθουν το πείραμα, και να μελετούμε τη συμπεριφορά τους κάνοντας eyetracking μετά από τη διαδικασία αυτή της εκπαίδευσης.

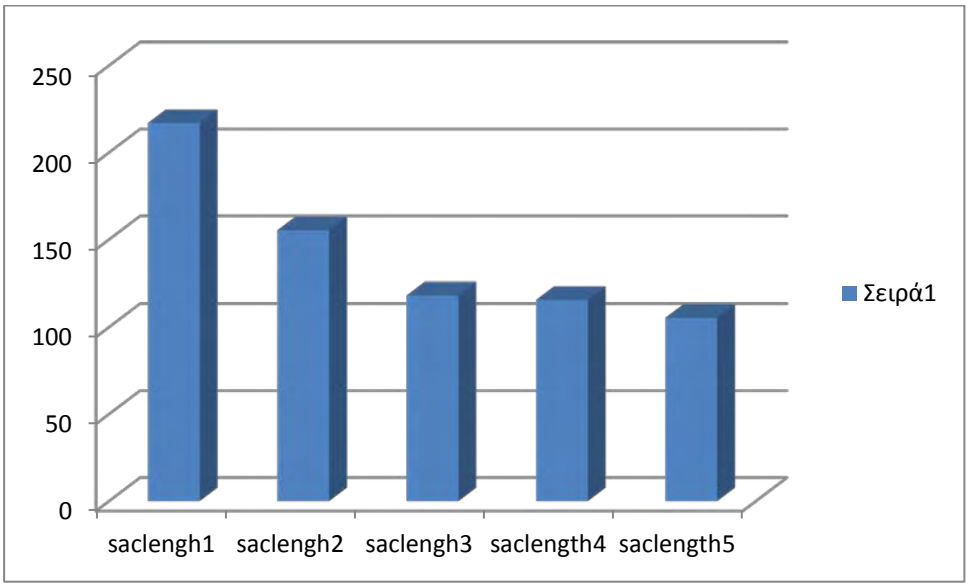
Όπως είναι εμφανές στον αναγνώστη, το δείγμα που είχαμε ήταν σχετικά μικρό, συνεπώς μας ενδιαφέρουν οποιεσδήποτε ενδείξεις προέκυψαν σε σχέση με τις μετρικές που μελετήσαμε και αναλύσαμε.
Άλλες ενδείξεις που είχαμε σε σχέση με τη συσχέτιση των μετρικών που μελετήσαμε με το γνωσιακό φορτίο των χρηστών παρουσιάζονται παρακάτω:

Στην υποκατηγορία «Συντακτικό», η μετρική «Συχνότητα Fixation», έδειξε ότι σχετίζεται με το γνωσιακό φορτίο. Στην παρακάτω γραφική παράσταση, φαίνεται ο μέσος όρος μεταξύ χρηστών για καθένα από τα προβλήματα που δόθηκαν στους χρήστες κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης του πειράματος.
Είναι ένδειξη εδώ το γεγονός ότι σταθερά μειώνεται ο ρυθμός των fixation όσο εξελίσσεται το πείραμα, κάτι που πιθανώς να σημαίνει ότι κατά την αύξηση του γνωσιακού φορτίου, οι χρήστες κάνουν λιγότερα fixations ανά δευτερόλεπτο. Φυσικά, επαναλαμβάνουμε πως πρόκειται απλά για μια ένδειξη, και θα πρέπει μελλοντικά να γίνουν περισσότερα πειράματα προς αυτήν την κατεύθυνση.



Στην υποκατηγορία «Ορθογραφία», η μετρική «Μήκος σακκαδικής κίνησης», έδειξε ότι σχετίζεται με το γνωσιακό φορτίο. Στην παρακάτω γραφική παράσταση, φαίνεται ο μέσος όρος μεταξύ χρηστών για καθένα από τα προβλήματα που δόθηκαν στους χρήστες κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης του πειράματος.

Είναι ένδειξη εδώ το γεγονός ότι σταθερά μειώνεται το μήκος των σακκαδικών κινήσεων όσο εξελίσσεται το πείραμα, κάτι που πιθανώς να σημαίνει ότι κατά την αύξηση του γνωσιακού φορτίου, οι χρήστες κάνουν πιο μικρές σακκαδικές κινήσεις. Φυσικά, επαναλαμβάνουμε πως πρόκειται απλά για μια ένδειξη, και θα πρέπει μελλοντικά να γίνουν περισσότερα πειράματα προς αυτήν την κατεύθυνση.



2) Προβλήματα μαθηματικού συλλογισμού

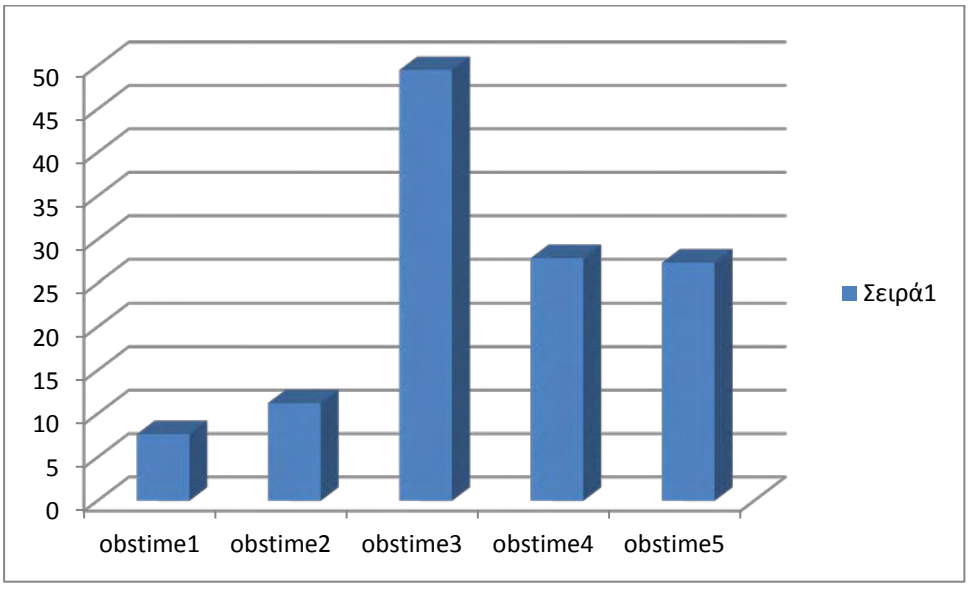
Αξίζει εδώ να αναφέρουμε ότι υπήρχε διαφορά στην αξιολόγηση της δυσκολίας των μαθηματικών προβλημάτων μεταξύ ατόμων διαφορετικού φύλου. Όμως το δείγμα ήταν σχετικά μικρό για να κάνουμε σύγκριση μεταξύ των δύο ομάδων.

Αξιοσημείωτο επίσης είναι ότι είχαμε θέσει ως προβλήματα στους χρήστες αρχικά δύο πολύ απλά, στα οποία δινόταν επεξήγηση ως προς το τι πράξη χρειαζόταν να εκτελέσουν, και τρία προβλήματα- μαθηματικοί γρίφοι περίπου της ίδιας δυσκολίας, στους οποίους καλούνταν να αναγνωρίσουν τη μαθηματική πράξη πριν την εκτελέσουν.

Κάποια ένδειξη δόθηκε από τη μετρική «Χρόνος παρατήρησης». Όπως φαίνεται και στο παρακάτω γράφημα, ο χρόνος παρατήρησης στα δύο απλά μαθηματικά προβλήματα είναι αρκετά μικρότερος σε σχέση με τα τρία επόμενα. Αξιοσημείωτη είναι η μεγάλη διάρκεια παρατήρησης της τρίτης εικόνας, όπου εμφανίζεται ο πρώτος μαθηματικός γρίφος. Εξίσου αξιοσημείωτη είναι και η απότομη μεταβολή στη διάρκεια παρατήρησης στις επόμενες δύο εικόνες.

Θα μπορούσαμε να ερμηνεύσουμε το πρώτο αποτέλεσμα, λαμβάνοντας υπ' όψιν τον παράγοντα της μεγάλης μεταβολής του γνωσιακού φορτίου (από τη δεύτερη στην τρίτη εικόνα), και το δεύτερο αποτέλεσμα με βάση τον παράγοντα «εκμάθηση» του πειράματος.

Να επαναλάβουμε ότι πρόκειται για κάποια ένδειξη, και περαιτέρω πειράματα θα πρέπει να διεξαχθούν προς αυτήν την κατεύθυνση.

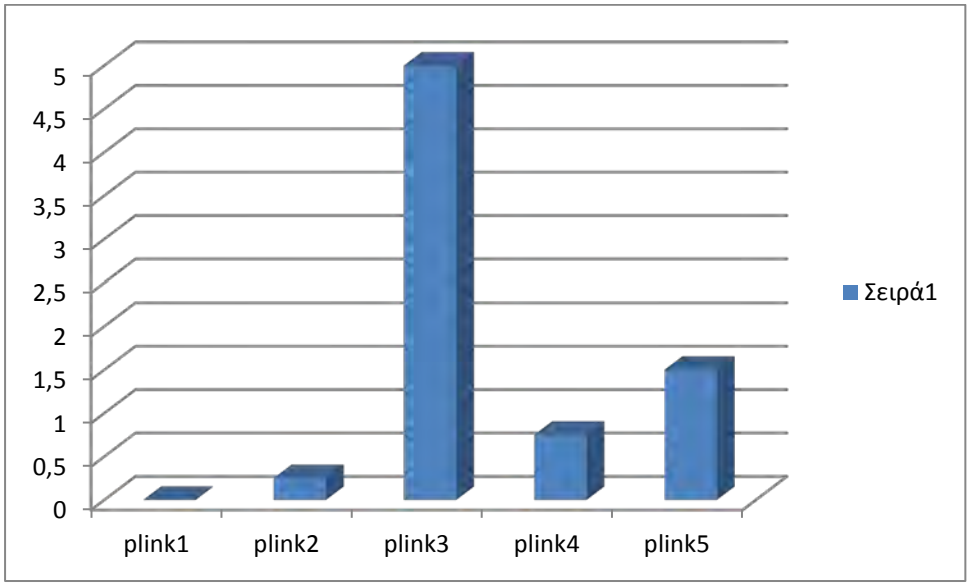


Παρόμοια ένδειξη με την παραπάνω λάβαμε και για τη μετρική «blinks».

Όπως φαίνεται και στο παρακάτω γράφημα, ο αριθμός των blinks στα δύο απλά μαθηματικά προβλήματα είναι αρκετά μικρότερος σε σχέση με τα τρία επόμενα. Αξιοσημείωτη είναι ο μεγάλος αριθμός blinks της τρίτης εικόνας, όπου εμφανίζεται ο πρώτος μαθηματικός γρίφος. Εξίσου αξιοσημείωτη είναι και η απότομη μεταβολή αριθμού blinks στις επόμενες δύο εικόνες.

Θα μπορούσαμε να ερμηνεύσουμε το πρώτο αποτέλεσμα, λαμβάνοντας υπ' όψιν τον παράγοντα της μεγάλης μεταβολής του γνωσιακού φορτίου (από τη δεύτερη στην τρίτη εικόνα), και το δεύτερο αποτέλεσμα με βάση τον παράγοντα «εκμάθηση» του πειράματος.

Να επαναλάβουμε ότι πρόκειται για κάποια ένδειξη, και περαιτέρω πειράματα θα πρέπει να διεξαχθούν προς αυτήν την κατεύθυνση.

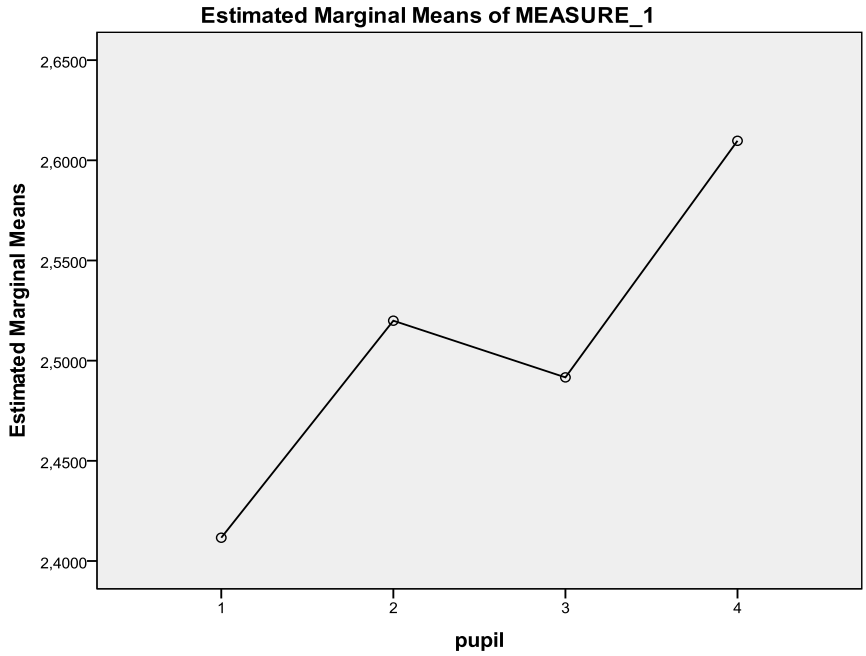


3) Προβλήματα οπτικά/οπτικής αναζήτησης

α)Οπτικές οφθαλμαπάτες

Σε αυτήν την υποκατηγορία, προέκυψε κάποιο στατιστικώς σημαντικό συμπέρασμα μόνο για τη μετρική «Μέση διάμετρος κόρης ματιού». Συγκεκριμένα τα αποτελέσματα της ανάλυσης είναι τα εξής:

Sig. F(3,9)=7.75 ,p=.007

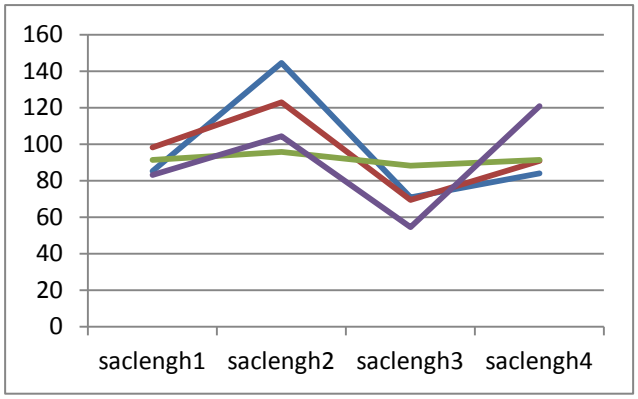


Πριν ξεκινήσουμε να επεξηγούμε τα αποτελέσματα, πρέπει οπωσδήποτε να αναφέρουμε ότι σε αυτή τη φάση του πειράματος, οι εικόνες δεν δόθηκαν στους συμμετέχοντες με αύξουσα κλιμάκωση της πολυπλοκότητας. Αρχικά δόθηκε μια απλή σε γραφικά εικόνα, με άσπρο φόντα και χρώματα, έπειτα μια πολύπλοκη εικόνα με μαύρο φόντο, ασπρόμαυρη, έπειτα πάλι μια απλή σε γραφικά εικόνα, με άσπρο φόντο και χρώματα, και τέλος πάλι μια πολύπλοκη εικόνα με μαύρο φόντο, ασπρόμαυρη.

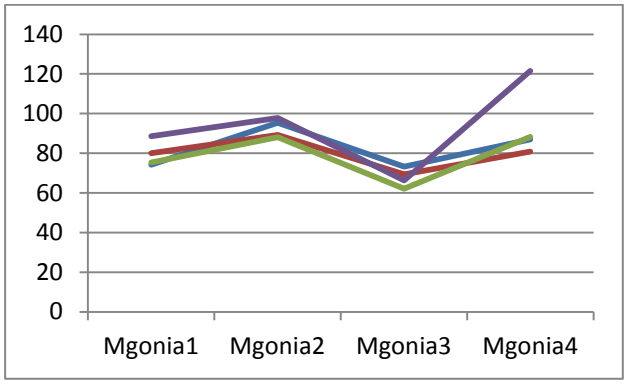
Συμπέρασμα-Συζήτηση

Συνεπώς βλέπουμε, ότι υπάρχει μια αναλογική εξάρτηση της διαμέτρου της κόρης του οφθαλμού από την πολυπλοκότητα της εικόνας, η οποία πρακτικά σημαίνει μεγαλύτερο γνωσιακό φόρτο σε μια πολύπλοκη σε γραφικά εικόνα από μια απλή σε γραφικά εικόνα. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε αυτή τη φάση του πειράματος δεν μπορούμε να συνυπολογίσουμε κάπου τον παράγοντα «εκμάθηση του πειράματος», αφού οι χρήστες δεν καλούνταν να εκτελέσουν κάποιο καθήκον, αλλά απλά να κοιτάξουν την εικόνα για λίγο. Άρα εδώ μελετούμε μόνο τη μεταβολή του γνωσιακού φόρτου και τα αποτελέσματα συνάδουν πλήρως με τη συνεπαγωγή:
Αύξηση του γνωσιακού φόρτου => Αύξηση της διαμέτρου της κόρης οφθαλμού. [10],[19],[20],[15]

Στη συγκεκριμένη φάση του πειράματος είχαμε κάποια ακόμα στατιστικώς σημαντική ένδειξη. Συγκεκριμένα, σε ό,τι αφορά τις μετρικές: «Μήκος σακκαδικής κίνησης» και «Γωνία μεταξύ σακκαδικών κινήσεων», είδαμε ότι οι χρήστες είχαν σχεδόν ταυτόσημα αποτελέσματα:



Εικόνα 1-μήκος σακκαδικών κινήσεων



Εικόνα 2-Γωνία μεταξύ σακκαδικών κινήσεων

Η ένδειξη αυτή μπορεί να συσχετίζεται με το γνωσιακό φορτίο, όμως είναι δύσκολο να καταλήξουμε σε κάποιο συμπέρασμα.

Όσον αφορά το μήκος των σακκαδικών κινήσεων, αντίστοιχες έρευνες έχουν δείξει πως μικρότερες σακκαδικές κινήσεις υποδηλώνουν επιβολή μικρότερου γνωσιακού φορτίου.[6],[7]

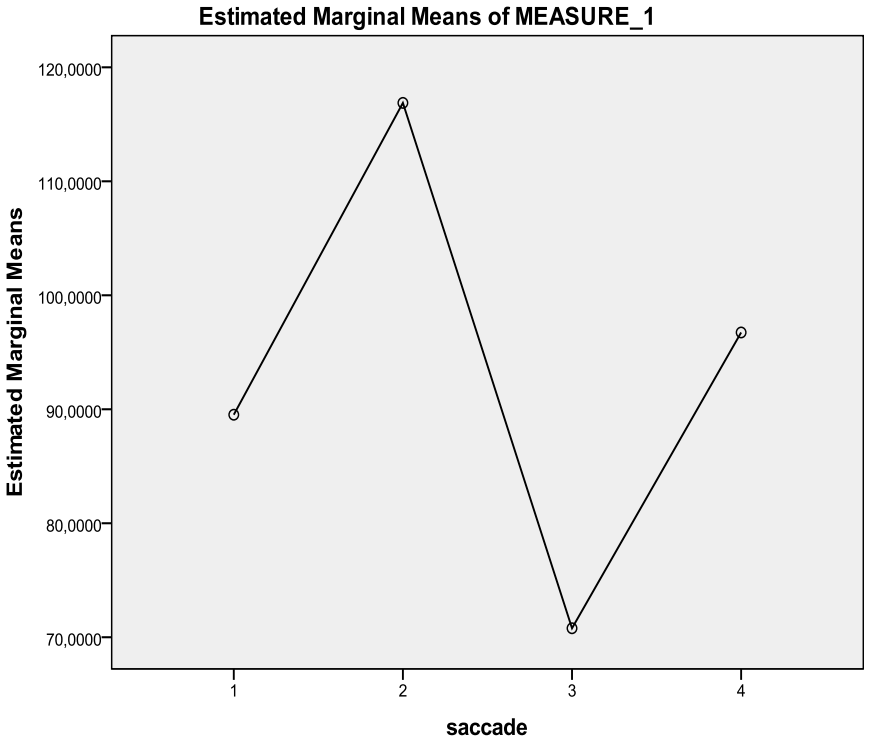
Όσον αφορά τη γωνία μεταξύ των σακκαδικών κινήσεων, αντίστοιχες έρευνες έχουν δείξει πως μικρότερες γωνίες υποδηλώνουν επιβολή μεγαλύτερου γνωσιακού φορτίου και πως, όσο οι γωνίες μεγαλώνουν προσεγγίζοντας τις 180 μοίρες, τόσο μικρότερο το γνωσιακό φορτίο.[6],[7]

Εξετάζοντας την συμπεριφορά των χρηστών όπως φαίνεται στα παραπάνω γραφήματα, έχουμε κάποιες τέτοιες ενδείξεις, όμως δεν μπορούμε να καταλήξουμε ασφαλώς σε κάποιο συμπέρασμα.

Από τη στατιστική ανάλυση ANOVA προέκυψαν τα συμπεράσματα:

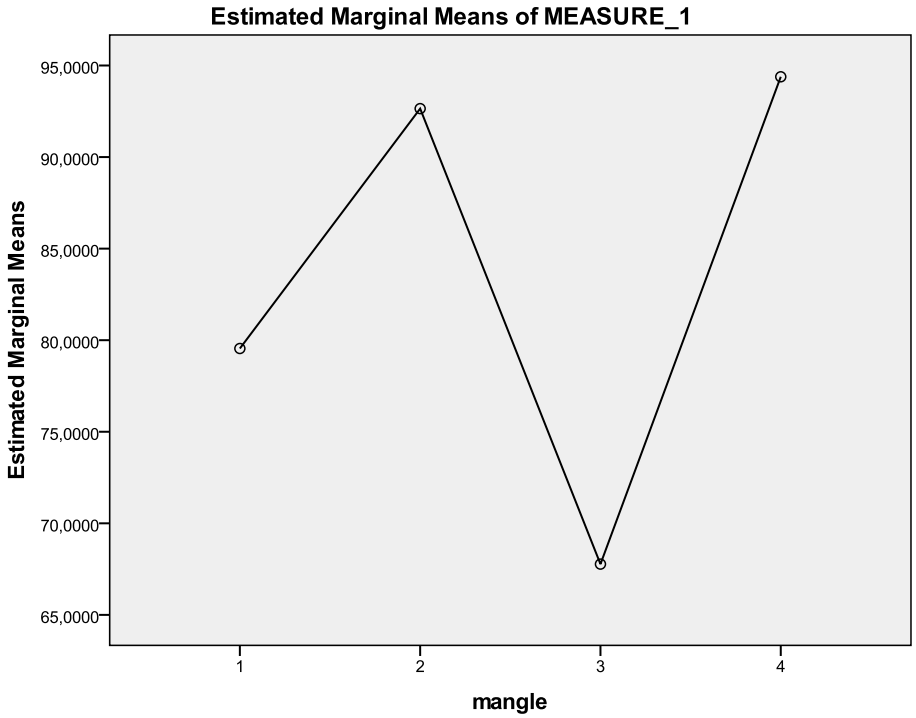
Για το μήκος σακκαδικών κινήσεων:

Sig. F(3,9)=4,629 p=.032 (<.05)



Για τη γωνία μεταξύ σακκαδικών κινήσεων:

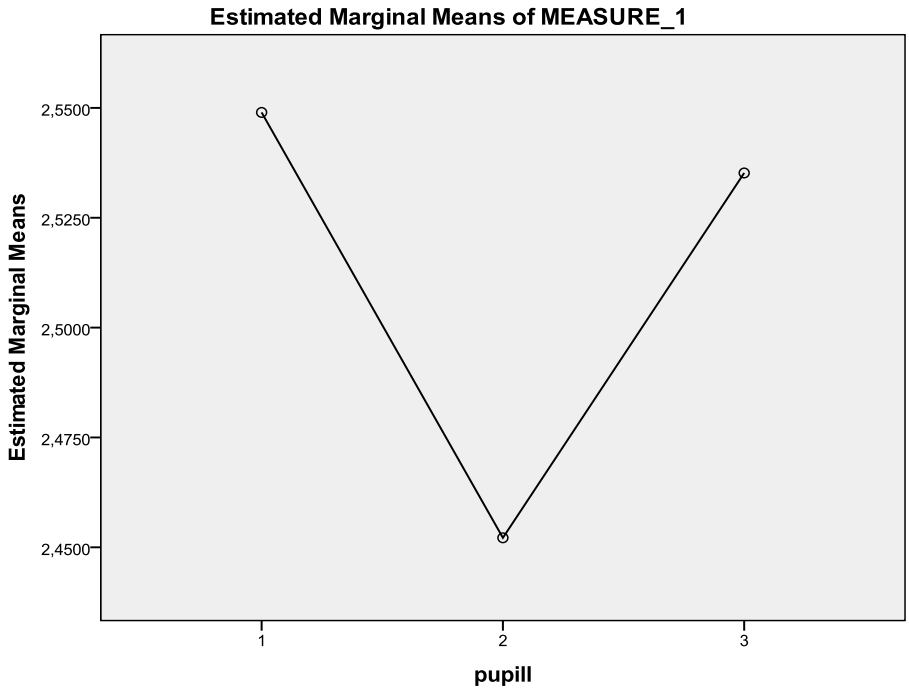
Sig. F(3,9)=7.863 p=.007 (<.05)



β) Οπτική αναζήτηση στοιχείου σε εικόνα με διατεταγμένα στοιχεία.

Σε αυτήν την υποκατηγορία, προέκυψε κάποιο στατιστικώς σημαντικό συμπέρασμα μόνο για τη μετρική «Μέση διάμετρος κόρης ματιού». Συγκεκριμένα τα αποτελέσματα της ανάλυσης είναι τα εξής:

Sig. F(2,6)=7.067 ,p=.026 (p<.05)



Πριν ξεκινήσουμε να επεξηγούμε τα αποτελέσματα, πρέπει οπωσδήποτε να αναφέρουμε ότι σε αυτή τη φάση του πειράματος, οι εικόνες έχουν κλιμακούμενη δυσκολία και δόθηκαν στους χρήστες με σειρά αύξουσας δυσκολίας. Όμως, η πρώτη εικόνα με τη δεύτερη είχαν πολύ μικρή διαφορά στη δυσκολία. Συγκεκριμένα και τις δύο εικόνες μέσα σε μία διάταξη γραμμάτων «B» έπρεπε ο χρήστης να βρει ένα μοναδικό «P». Η μόνη διαφορά σε δυσκολία ήταν πως ενώ στην πρώτη εικόνα όλα τα γράμματα ήταν με μαύρο χρώμα, στη δεύτερη κάποια από τα γράμματα ήταν με κόκκινο χρώμα. Τέλος, η τρίτη εικόνα είχε μεγάλη διαφορά σε δυσκολία καθώς αποτελούταν από μαύρα και κόκκινα γράμματα όλου του αγγλικού αλφαβήτου (όχι μόνο B και P) και αριθμούς.

Συμπέρασμα-Συζήτηση

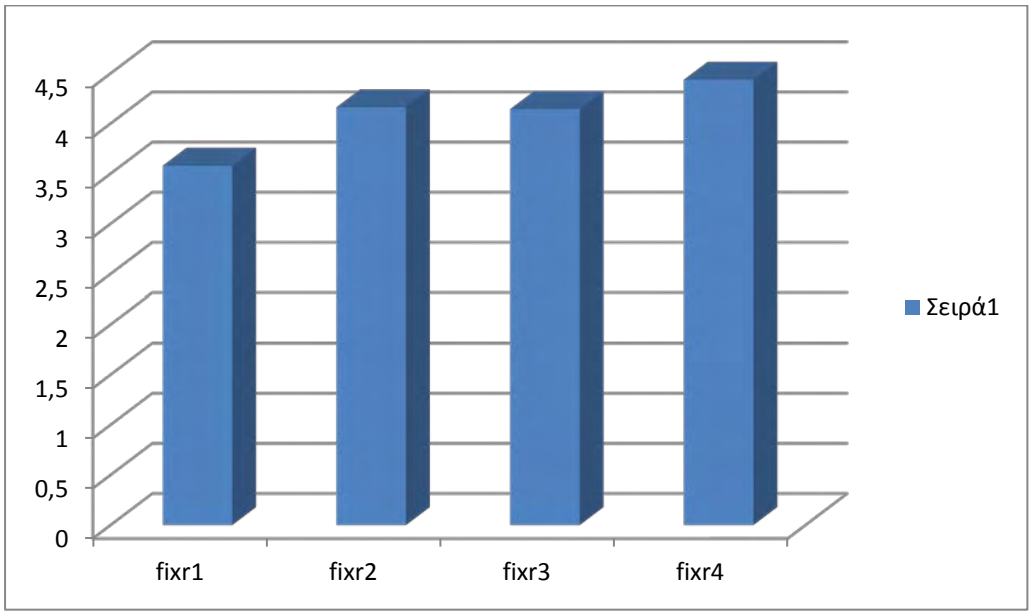
Συνεπώς, λαμβάνοντας πάντοτε υπ' όψιν ότι ο γνωσιακός φόρτος είναι ανάλογος με τη μεταβολή της διαμέτρου της κόρης, μπορούμε να πούμε πως η εκμάθηση του πειράματος διαδραματίζει μεγάλο ρόλο, καθώς όπως παρατηρούμε, ο γνωσιακός φόρτος της πρώτης εικόνας παρόλο που ήταν η ευκολότερη, είναι ο μεγαλύτερος και από τις τρεις εικόνες. Φυσικά, η ποσότητα των δεδομένων και η πολυπλοκότητά των διαδραματίζει επίσης μείζονα ρόλο, κάτι που συνάδει με τη μεγάλη διαφορά γνωσιακού φόρτου από τη δεύτερη εικόνα στην τρίτη, όπου, όπως προαναφέρθηκε, είχαμε πληθώρα νέων στοιχείων, που δεν υπήρχαν στις προηγούμενες εικόνες.

γ) Οπτική αναζήτηση στοιχείου σε εικόνα με μη διατεταγμένα στοιχεία.

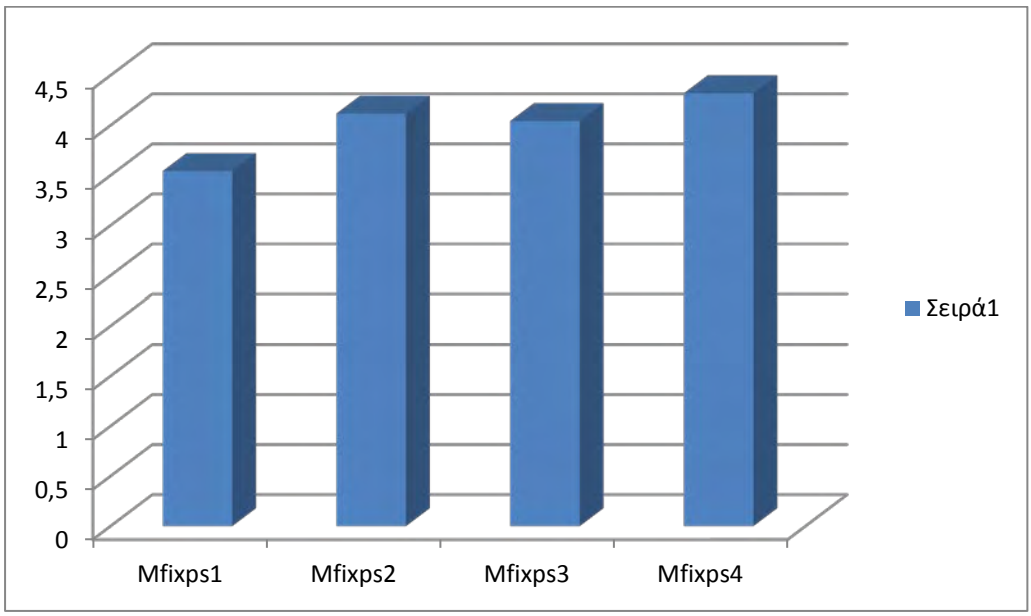
Στη συγκεκριμένη φάση του πειράματος οφείλουμε να τονίσουμε πως ναι μεν τα προβλήματα αναζήτησης ήταν κλιμακούμενης δυσκολίας, αφετέρου, η κλιμάκωση

ήταν ουσιαστικά ανεπαίσθητη στο χρήστη. Συνυπολογίζοντας δε, την παράμετρο «εκμάθηση του πειράματος», μπορούμε να πούμε με αρκετά μεγάλη ασφάλεια πως το γνωσιακό φορτίο ήταν σταθερής έντασης.

Κάποιες ενδείξεις που λάβαμε, συνάδουν με την παραπάνω πρόταση. Συγκεκριμένα, η μετρική «Συχνότητα Fixations» και «Μέσος όρος fixation ανά δευτερόλεπτο» έδωσαν τέτοιου είδους ενδείξεις, όπως φαίνεται και στα παρακάτω γραφήματα:



Εικόνα 3-συχνότητα fixations



Εικόνα 4-μέσος όρος fixations ανά δευτερόλεπτο

Τονίζουμε πως όλα αυτά τα συμπεράσματα στα οποία καταλήξαμε παραπάνω αποτελούν απλές ενδείξεις και πρέπει στο μέλλον να γίνουν περαιτέρω έρευνες και πειραματικές διαδικασίες ώστε να μπορούμε ασφαλώς να αποφανθούμε την άμεση συσχέτιση των μετρικών που μελετήσαμε με το γνωσιακό φορτίο του χρήστη.

Συμπεράσματα-Μελλοντικές Προεκτάσεις

Συμπεράσματα

Ένα από τα σημαντικότερα συμπεράσματα στο οποίο καταλήγουμε είναι ότι η εφαρμογή που σχεδιάστηκε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας βοήθησε ουσιαστικά και σημαντικά στην επεξεργασία δεδομένων από τη συσκευή Eye tracker.

Για την ακρίβεια, η εφαρμογή βοήθησε στη σημαντική μείωση του χρόνου εκτέλεσης της ανάλυσης, συνέβαλλε στην αποφυγή λαθών, και σίγουρα βοήθησε στην ευχρηστία του χειρισμού των δεδομένων.

Βεβαίως, η εφαρμογή που σχεδιάστηκε βοηθάει στη διεξαγωγή και ανάλυση και άλλων πειραμάτων.

Από το πείραμα σαφώς βγάλαμε αρκετά συμπεράσματα όσον αφορά το γνωσιακό φορτίο και τις μετρικές που συνδέονται με αυτό, όπως παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Μελλοντικές προεκτάσεις

Σε αυτό το σημείο, θα πρέπει να προτείνουμε την διεξαγωγή αντίστοιχων πειραμάτων με αυτό που διεξήγαμε και περιγράψαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, αλλά με περισσότερους χρήστες ούτως ώστε να εξαχθούν πιο ασφαλή συμπεράσματα.

Επίσης, προτείνουμε να διεξαχθούν και άλλου τύπου πειράματα, με διαφορετική προσέγγιση και υλοποίηση από το δικό μας ώστε να διερευνηθούν περαιτέρω οι παράμετροι και οι μετρικές που σχετίζονται άμεσα με το γνωσιακό φορτίο των χρηστών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1]"Eye Tracking Methodology Theory and Practice", Second Edition,Andrew Duchowski, Springer,2007

[2]40 military pilots. Aircraft landing approach., Fitts, et al., 1950

[3] Just & Carpenter, 1976

[4]Eye movements during reading, visual search, and scene perception: An overview., Monica S. Castelhano, Queen's University and Keith Rayner University of California, San Diego and University of Massachusetts, Amherst

[5]New Techniques for Evaluating Innovative Interfaces with Eye Tracking, Sandra Marshall San Diego State University and EyeTracking, Inc., 2003

[6]Eye Tracking in Human-Computer Interaction and Usability Research: Current Status and Future Prospects Alex Poole and Linden J. Ball Psychology Department, Lancaster University, UK

[7]Eye Tracking in Human–Computer Interaction and Usability Research: Ready to Deliver the Promises ,Robert J. K. Jacob and Keith S. Karn

[8] Task Performance and Eye Activity: Predicting Behavior Relating to Cognitive Workload, Y.Tsai, E.Viire, C,Strychacz, B.Chase, T-P. Jung

[9] task-evoked pupillary response to mental workload in human-computer interaction , Shamsi T .Iqbal, Xianjun Sam Zheng and Brian P. Balley, 2004 CHI

[10] S.Marshall, S., 'The Index of Cognitive Activity: Measuring Cognitive Workload.,' In D. Schmorrow (Chair), Tomorrow's Human Computer Interaction from Vision to Reality: Building cognitively aware computational systems. Symposium presented at IEEE 7th Conference on Human Factors and Power Plants, Scottsdale, AZ, September 2002.

[11] Eye Tracking Metrics for Workload Estimation in flight Deck Operation, Kyle Ellis,Graduate Student, Thomas Schnell,Associate Professor, Operator Performance Laboratory, University of Iowa,2009

[12]Eye movements during multiple object tracking: Where do participants look?, Hilda M. Fehd *, Adriane E. Seiffert, 2007

[13]Eye-Tracking Patterns in Schizophrenia An Analysis Based on the Incidence of Saccades,Jean P. Mialet, MD; Pierre Pichot, MD, 1981

[14]The determinants of web page viewing behavior: an eye-tracking study, Bing Pan , Helene A. Hembrooke ,Geri K. Gay Laura A. Granka, Matthew K. Feusner,Jill K. Newman,Information Science Program, Department of Communication, Cornell University, 2004

[15]Towards an Index of Opportunity: Understanding Changes in Mental Workload during Task Execution, Shamsi T.Iqbal, Piotr D. Adamczyk, Xianjun Sam Zheng and Brian P.Balley, 2005

[16] Eye Movements in Reading and Information Processing: 20 Years of Research Keith Rayner ~ University of Massachusetts at Amherst,1988

[17] What the Eyes Reveal: Measuring the Cognitive Workload of Teams, Sandra Marshall, 2009.

[18]Integrating psychophysiological measures of cognitive workload and eye movements to detect strategy shifts, Marshall, S.P.; Pleydell-Pearce, C.W.; Dickson, B.T.;San Diego State Univ., CA, USA, System Sciences, 2003. Proceedings of the 36th Annual Hawaii International Conference.

[19]Shamsi T. Iqbal, Piotr D. Adamczyk, Xianjun Sam Zheng and Brian P Bailey στο CHI 2005: Towards an Index of Opportunity: Understanding Changes in Mental Workload during Task Execution

[20]Pupil Dilation as an Indicator of Cognitive Workload in Human- Computer Interaction, Marc Pomplun and Sindhura Sunkara, Department of Computer Science, University of Massachusetts at Boston

[21]Javal, 1878/1879

[22]Mackworth& Mackworth, 1958

[23]Tinker, 1963

[24]Fitts, Jones & Milton, 1950

[25]Monty & Senders, 1976

[26]Senders, Fisher & Monty 1978

[27]Fisher, Monty & Senders, 1981

[28]Simmons, 1979

[29]Cornsweet and Crane, 1973

[30]U.S. Airforce/ Honeywell Corporation και U.S.Army/ EG&G Corporation

[31]Monty & Hall, 1974, Monty, 1975

[32]Merchant et al., 1974

[33]Anliker, 1976

[34]Collewijin, 1999

[35]Kowel, 1990, p.1

[36]Card, 1984

[37]Hendrickson 1989

[38]Altonen, 1998

[39]Byrne et al. 1999

[40]Hutchinson, 1989

[41]Levine,1984

[42]Levine, 1981

[43]Tong, 1984

[44]Bolt,1981, 1982

[45]Levine, 1984

[46]Glenn, 1986

[47]Ware & Mikaelian, 1987

[48]Benel, Ottens & Horst, 1991

[49]Ellis et al. 1998

[50]Cowen, 2001

[51]Starker & Bolt, 1990

[52]Vertegaal, 1999

[53]Jacob,1991

[54]Zhai, Morimonto & Ihde, 1999