

Αξιολόγηση Απόδοσης Συσκευών Προσομοίωσης Ποντικού Εφαρμογή σε Σύστημα Εγκεφαλικών Σημάτων¹

Ελευθέριος Καλόγερος και Ηλίας Σαλεμής

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
{e.kalogeros, i.salemis}@di.uoa.gr

Περίληψη. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζουμε τη σχεδίαση και υλοποίηση μιας εφαρμογής λογισμικού που επεκτείνει τις συστάσεις και υποδείξεις του προτύπου ISO 9241-9 για την πραγματοποίηση πολυπαραμετρικών πειραμάτων και αναλύσεων αξιολόγησης των επιδόσεων εργονομίας Διεπαφής Ανθρώπου Υπολογιστή κατά την χρήση οποιασδήποτε συσκευής κατάδειξης και επιλογής (point and click) που προσομοιώνει τις λειτουργίες ενός κοινού ποντικού. Στη συνέχεια εφαρμόζοντας το λογισμικό αυτό εξετάζουμε κατά πόσο μια συσκευή ανίχνευσης εγκεφαλικών κυμάτων που υποστηρίζει επικοινωνία ανθρώπου – υπολογιστή και προσομοιώνει τις λειτουργίες του ποντικού, είναι αξιόπιστη, ακριβής, λειτουργική, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις ατόμων με σοβαρές αναπηρίες στα άνω άκρα.

1 Εισαγωγή

Μερικές βασικές λειτουργίες στη κοινή επικοινωνία ανθρώπου υπολογιστή είναι συνυφασμένες με κινήσεις των χεριών του χρήστη (π.χ. χρήση ποντικού, πληκτρολογίου) με αποτέλεσμα άτομα με ολική ή μερική απώλεια κινητικότητας στα άνω άκρα να μη μπορούν να χειριστούν με ευκολία ή και καθόλου τους υπολογιστές.

Η τεχνολογία ανίχνευσης και επεξεργασίας εγκεφαλικών σημάτων βρίσκεται ήδη σε τέτοιο στάδιο ώστε να είναι εφικτή η δημιουργία συσκευών που έχουν ως κύριο σκοπό να βοηθήσουν άτομα με σοβαρά κινητικά προβλήματα να χειρίζονται τους υπολογιστές χωρίς να είναι απαραίτητη οποιαδήποτε κίνηση των άκρων τους. Κινήσεις όπως αυτές των ματιών ή των μυών του προσώπου, ακόμα και η έντονη εγκεφαλική δραστηριότητα μπορούν να αντικαταστήσουν, όπου υπάρχει ανάγκη, την χρήση των χεριών και επομένως των παραδοσιακών συσκευών εισόδου όπως το ποντίκι [2], [3], [10].

Η παρούσα εργασία προσπαθεί να απαντήσει στα ερωτήματα: Σε ποιο βαθμό είναι εφικτή η αντικατάσταση του ποντικού από συσκευές πρόσβασης σε ηλεκτρονικό υπολογιστή βασισμένες σε εγκεφαλικά σήματα; Πως θα χρησιμοποιηθούν σε μια

¹ Επιβλέπων Καθηγητής: Γεώργιος Κουρουπέτρογλου

εφαρμογή διάφορα μεγέθη για να καθορίζουν αντικειμενικά τη σύγκριση απόδοσης με εκείνη του κλασσικού ποντικιού;

Ο νόμος του Fitts, αποτελεί ένα πρώτο μοντέλο αξιολόγησης τέτοιων συσκευών. Ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (ISO) από το 2000 έχει εκδώσει το πρότυπο 9241-9 'Εργονομικές απαιτήσεις για εργασία γραφείου με μονάδες οπτικής απεικόνισης – Μέρος 9: Απαιτήσεις για διατάξεις εισαγωγής δεδομένων εξαιρουμένων των πληκτρολογίων [5]. Το πρότυπο αυτό παρέχει τις απαιτήσεις και τις συστάσεις για τον εργονομικό σχεδιασμό συσκευών εισόδου εξαιρουμένου του πληκτρολογίου, όπως είναι το ποντίκι, η ιχνόσφαιρα (trackball), τα στυλό φωτός, οι οθόνες αφής κ.λ.π. Επίσης καθορίζει την μέθοδο αξιολόγησης τέτοιων συσκευών μέσα από συγκεκριμένους δείκτες καθορισμού της ταχύτητας, της ακρίβειας και της προσπάθειας για τη χρήση αυτών των συσκευών.

Πρόσφατα έχουν προταθεί νέοι δείκτες αξιολόγησης [8]. Ωστόσο δεν υπάρχει μια εφαρμογή λογισμικού η οποία, λαμβάνοντας υπ' όψιν όλους τους παραπάνω δείκτες να αξιολογεί την κάθε συσκευή. Αρχικός μας στόχος λοιπόν, ήταν ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη μιας τέτοιας εφαρμογής λογισμικού και στη συνέχεια η διεξαγωγή πειραμάτων όπου συμμετέχουν άτομα με και χωρίς κινητικές αναπηρίες με σκοπό την αξιολόγηση δύο συσκευών εισόδου: του κοινού ποντικιού και του Cyberlink Brainfingers [4], μιας συσκευής ανίχνευσης εγκεφαλικών σημάτων.

Η εργασία είναι οργανωμένη ως εξής: αρχικά γίνεται μια σύντομη αναφορά στις κοινές συσκευές προσομοίωσης ποντικιού. Στη συνέχεια εισάγεται η αρχή και ο τρόπος λειτουργίας της Cyberlink Brainfingers. Ακολουθεί η παρουσίαση του ISO 9241-9 καθώς και τα πειράματα, οι μετρήσεις και οι δείκτες που χρησιμοποιήσαμε για την αξιολόγηση συσκευών εισόδου προσομοίωσης ποντικιού. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η εφαρμογή αξιολόγησης συσκευών προσομοίωσης ποντικιού που αναπτύξαμε. Τέλος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πιλοτικών πειραμάτων που πραγματοποιήσαμε.

2 Το Ποντίκι και Συσκευές Προσομοίωσης Ποντικιού

Το ποντίκι (mouse) ανήκει στις συσκευές κατάδειξης (pointing device). Με τον όρο αυτό εννοούμε μια μηχανική-ηλεκτρονική κατασκευή που ελέγχει την κίνηση ενός δείκτη σε μια οθόνη απεικόνισης. Οι συσκευές κατάδειξης είναι στενά συνδεδεμένες δύο διαδικασίες στην επικοινωνία ανθρώπου υπολογιστή: α) την λειτουργία της κατάδειξης και β) τη λειτουργία της επιλογής. Σήμερα θεωρούνται απαραίτητο και αναπόσπαστο κομμάτι για όλα τα κοινά συστήματα υπολογιστών, ιδιαίτερα εκείνα με Γραφική Διεπαφή Χρήστη (Graphical User Interface). Κύριο χαρακτηριστικό τους αποτελεί το γεγονός ότι ο χρήστης πρέπει να προβεί σε μια ενέργεια χρησιμοποιώντας το χέρι του για να μετακινήσει την συσκευή προς μια κατεύθυνση, λαμβάνοντας ως αποτέλεσμα την μετακίνηση του δείκτη στην οθόνη. Σκοπός της μετακίνησης του δείκτη είναι η τοποθέτησή του σε ένα συγκεκριμένο σημείο, όπου συνήθως βρίσκεται κάποιος πλήκτρο ή περιοχή στόχος. Επόμενη κίνηση είναι συνήθως, η επιλογή του στόχου (click) με την άσκηση πίεσης σε μια συγκεκριμένη περιοχή της συσκευής κατάδειξης.

Εκτός από το ποντίκι έχουν κατασκευαστεί διάφορες άλλες συσκευές κατάδειξης, όπως η ιχνόσφαιρα (trackball), η οθόνη αφής (trackpads), η φωτογραφίδα (lightpen), ο μοχλός χειρισμού (joystick) και το trackpoint [12]. Οι διαφορές τους εντοπίζονται τόσο στον μηχανικό σχεδιασμό, την υλοποίησή τους, όσο και στον τρόπο χειρισμού τους. Ωστόσο, κοινό αποτέλεσμα όλων είναι η μετακίνηση ενός δείκτη με σκοπό την κατάδειξη και επιλογή ενός στόχου σε μια οθόνη απεικόνισης ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή, γι' αυτό συχνά αναφέρονται ως συσκευές προσομοίωσης ποντικιού.

Μετακινώντας το ποντίκι προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση, ο δείκτης στην οθόνη απεικόνισης ακολουθεί την ίδια ακριβώς πορεία. Η κίνησή του χαρακτηρίζεται από το γεγονός ότι είναι συνεχής, δηλαδή ο δείκτης δεν μετακινείται από ένα σημείο σε κάποιο άλλο δίχως να περάσει από όλα τα σημεία του μονοπατιού που επιλέξαμε για να μεταβούμε από το αρχικό σημείο στο τελικό. Σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως τις οθόνες αφής και τα οπτικά στυλό κατάδειξης, μπορούμε να επιλέξουμε τον στόχο άμεσα και ο δείκτης να μεταφερθεί αυτόματα στο σημείο αυτό.

3 Εγκεφαλικά Κύματα και η Συσκευή Cyberlink Brainfingers

Εγκεφαλικά κύματα (Brain Waves), ορίζονται τα σήματα που προέρχονται από την ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφάλου. Αυτή η δραστηριότητα παράγεται από τα δισεκατομμύρια νευρικά κύτταρα του εγκεφάλου, τους νευρώνες, κάθε φορά που αυτά ενεργοποιούνται για να εκτελέσουν μια δραστηριότητα.

Τα εγκεφαλικά κύματα διακρίνονται, ανάλογα με τον τρόπο δημιουργίας τους, τη συχνότητά τους και την περιοχή του εγκεφάλου από την οποία προέρχονται σε:

- ElectroOculoGraphic (EOG) ή ΗλεκτροΟπτικά σήματα: (theta Waves) έχουν τη χαμηλότερη συχνότητα και προέρχονται από την κίνηση των βολβών των ματιών.
- ElectroEncephaloGraphic (EEG) ή ΗλεκτροΕγκεφαλικά σήματα: προέρχονται από τη διανοητική δραστηριότητα του εγκεφάλου π.χ. έντονη σκέψη. Μπορούν να διαχωριστούν στα alpha και beta Waves.
- ElectroMyoGraphic (EMG) ή ΗλεκτροΜυικά σήματα: προέρχονται από την μυική δραστηριότητα του προσώπου.

Ένα σύστημα ανίχνευσης εγκεφαλικών σημάτων (BCI) είναι το Cyberlink™ Brainfingers™ κατασκευασμένο από την Brain Actuated Technologies®, Inc. Ένα τέτοιο σύστημα διαθέτει το Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Πρόκειται για μια συσκευή προσομοίωσης ποντικιού που επιτρέπει πλήρη έλεγχο του δείκτη (mouse cursor) στην οθόνη απεικόνισης του ηλεκτρονικού υπολογιστή χωρίς τη χρήση χεριών, παρά μόνο με τη χρήση εγκεφαλικών κυμάτων. Ένας συνδυασμός από κατάλληλα ανεπτυγμένο υλικό και λογισμικό που ανιχνεύει το συνολικό σήμα που προέρχεται από το μέτωπο του χρήστη, είτε πρόκειται για μυικές κινήσεις και συσπάσεις του προσώπου του χρήστη (EMG), είτε από κινήσεις των βολβών των ματιών του (EOG), είτε από καθαρά εγκεφαλικά σήματα (EEG) επιτρέπει στον χρήστη πλήρη έλεγχο και επικοινωνία με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσα από την λειτουργία κατάδειξης και

επιλογής (point and click). Επομένως ο χρήστης είναι σε θέση να εκτελέσει οποιαδήποτε ενέργεια εκτελεί κάποιος με τη χρήση του ποντικιού. Μπορεί να πλοηγηθεί στο περιβάλλον του λειτουργικού συστήματος, να «τρέξει» εφαρμογές, να πλοηγηθεί στο Διαδίκτυο, ακόμα και να παίξει παιχνίδια. Σε συνδυασμό με εικονικά πληκτρολόγια στην οθόνη του υπολογιστή, μπορεί να στείλει χαρακτήρες σε μια εφαρμογή ή να γράψει σε κειμενογράφο.

Το σύστημα Cyberlink Brainfingers αποτελείται από κατάλληλα αναπτυγμένο λογισμικό και υλικό. Το υλικό αποτελείται από τρία ηλεκτρόδια τα οποία συλλέγουν τα εγκεφαλικά σήματα. Τα ηλεκτρόδια εφάπτονται πάνω σε συγκεκριμένα σημεία του κεφαλιού ή του μετώπου του χρήστη και γι' αυτό βρίσκονται τοποθετημένα πάνω σε μια κορδέλα την οποία πρέπει να φορέσει ο χρήστης. Μετά τη συλλογή των αναλογικών σημάτων από τα ηλεκτρόδια, ειδικά κατασκευασμένο υλικό ψηφιοποιεί και διακρίνει τα σήματα μεταξύ τους και εν συνεχεία τα αποστέλλει στον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Στη συνέχεια το λογισμικό αναλαμβάνει να αντιστοιχίσει στο κάθε σήμα την ενέργεια που θέλει ο χρήστης να επιτελέσει ο υπολογιστής και που αντιστοιχεί σε κάποια λειτουργία του ποντικιού.

Αν και το σύστημα μπορεί να ανιχνεύσει και τις τρεις κατηγορίες σημάτων (EMG, EOG, EEG), ο έλεγχος του κέρσορα με χρήση των EEG σημάτων δεν ήταν εύκολος από άτομα που διαθέτουν παραμένουσες κινήσεις στους μύς του προσώπου, γι' αυτό κυρίως EMG και EOG σήματα χρησιμοποιήθηκαν για τις λειτουργίες της κατάδειξης (point) και επιλογής (click). Οι ενέργειες με τις οποίες ο χρήστης έπαιρνε τον έλεγχο του κέρσορα φαίνονται στον Πίνακα 1:

Πίνακας 1. Αντιστοιχισή μεταξύ ενέργειας χρήστη και κίνησης του κέρσορα

| Ενέργεια | Σήμα | Κίνηση |
|-------------------------------------|---------|---------------|
| Ανασήκωμα φρυδιών/ένταση στο μέτωπο | EMG/EEG | Πάνω |
| Κλείσιμο αριστερού ματιού | EOG | Δεξιά |
| Χαλάρωση/Εκπνοή | - | Αριστερά/Κάτω |
| Σφίξιμο δοντιών | EMG | Αριστερό κλικ |

4 Δείκτες Αξιολόγησης Συσκευών Προσομοίωσης Ποντικιού

Ένα πρώτο μοντέλο για την αξιολόγηση συσκευών προσομοίωσης ποντικιού αποτελεί ο νόμος του Fitts και κατά πόσο αυτός εφαρμόζεται σε ενέργειες κατάδειξης και επιλογής. Ο νόμος του Fitts είναι ένα μοντέλο της ανθρώπινης ψυχοκινητικής συμπεριφοράς που αναπτύχθηκε το 1954 και αποτελεί μια εμπειρική μαθηματική σχέση που μοντελοποιεί την σχέση μεταξύ ταχύτητας/ακρίβειας σε μια γρήγορη κίνηση με σκοπό την επίτευξη κάποιου στόχου. Σύμφωνα με τον νόμο αυτό, ο χρόνος για την μετακίνηση πάνω από ένα συγκεκριμένο στόχο μεγέθους W που βρίσκεται σε απόσταση D από το σημείο εκκίνησης είναι μια λογαριθμική συνάρτηση του λόγου Απόσταση/Μέγεθος. Υπάρχουν διάφορες

μαθηματικές μορφές του νόμου του Fitts. Για τις αξιολογήσεις μας χρησιμοποιήσαμε τη σχέση:

$$MT = a + b \log_2(D/W + 1)$$

όπου:

- MT είναι ο χρόνος κίνησης (Movement Time)
- a και b είναι εμπειρικές παράμετροι που εξαρτώνται από την συσκευή.
- D είναι η απόσταση από το σημείο εκκίνησης ως το κέντρο του στόχου.
- W είναι το πλάτος του στόχου.

καθώς αποδείχθηκε ο πιο κατάλληλος για τον σκοπό μας, αλλά είναι και ο πιο κοινά αποδεκτός και χρησιμοποιούμενος [1], [7].

Ο όρος $\log_2(D/W + 1)$, ονομάζεται δείκτης δυσκολίας (ID). Επομένως, ο νόμος του Fitts μπορεί αλλιώς να ερμηνευτεί ως εξής: ο χρόνος μετακίνησης είναι μια γραμμική συνάρτηση του βαθμού δυσκολίας.

Επίσης για τα πειράματα κατάδειξης και επιλογής από το πρότυπο ISO 9241-9 [5] υιοθετήσαμε τους εξής ποσοτικούς δείκτες αξιολόγησης: Χρόνος Κίνησης (Movement time-MT), Ενεργό εύρος στόχου (Effective target width-We), Δείκτης Δυσκολίας (Index of Difficulty-ID), Ενεργός Δείκτης Δυσκολίας (Effective Index of Difficulty-IDe), Ρυθμός απόδοσης (Throughput- TP) και Λανθασμένη επιλογή (Missed Click-MCL).

Τέλος χρησιμοποιήσαμε τους παρακάτω δείκτες που έχουν προταθεί σχετικά πρόσφατα [9], [6] που ουσιαστικά επεκτείνουν εκείνους του ISO 9241-9: Επανείσοδος στην Επιφάνεια του στόχου (Target Re-entry-TRE), Διάτμηση άξονα των κέντρων των δύο στόχων (Task axis crossing-TAC), Αλλαγή κατεύθυνσης κίνησης (Movement direction change-MDC), Μεταβλητότητα Κίνησης (Movement variability-MV), Σφάλμα Μετακίνησης (Movement error-ME) και Μετατόπιση Κίνησης (Movement offset-MO).

5 I.D.E.A: Εφαρμογή Αξιολόγησης Απόδοσης Συσκευών

Με βάση τους δείκτες αξιολόγησης που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο και των συστάσεων και υποδείξεων του προτύπου ISO 9241-9 για τον σχεδιασμό πειραμάτων κατάδειξης και επιλογής κατασκευάστηκε σχεδιάσαμε και αναπτύξαμε κατάλληλο λογισμικό (Input Device Evaluation Application -I.D.E.A.) με το οποίο αξιολογεί μέσω των συνολικά όλων των δεικτών τις επιδόσεις χρήσης συσκευών προσομοίωσης του ποιντικού. Το λογισμικό αποτελείται από δύο δοκιμασίες κατάδειξης και επιλογής.

Στη δοκιμασία κατάδειξης και επιλογής με κίνηση του κέρσορα σε οριζόντιο άξονα (One Dimension Tapping Test), δύο ορθογώνιοι στόχοι ίδιου μεγέθους W και ύψους H , που απέχουν μεταξύ τους οριζόντια απόσταση D εμφανίζονται στον κεντρικό οριζόντιο άξονα της οθόνης. Ο χρήστης θα πρέπει να καταδείξει και να επιλέξει τον κάθε στόχο 10 φορές για κάθε κύκλο της δοκιμασίας πραγματοποιώντας κινήσεις δεξιά και αριστερά ανάμεσα στους δύο στόχους. Κάθε κύκλος ξεκινά με τον κέρσορα κλειδωμένο στο κέντρο του αριστερού στόχου και ο χρήστης θα πρέπει να εκτελέσει ένα click για να ελευθερώσει τον κέρσορα και να ξεκινήσει το πείραμα και τη συλλογή δεδομένων. Το αρχικό κλικ δεν λαμβάνεται υπόψιν στις μετρήσεις. Ο επόμενος στόχος που θα πρέπει να επιλεγεί

χρωματίζεται κόκκινος. Σε κάθε επιτυχημένη επιλογή στόχου, ο δείκτης μεταφέρεται αυτόματα στο κέντρο του επιλεγμένου στόχου και ο χρήστης συνεχίζει στην επιλογή του άλλου στόχου με την απόσταση D να παραμένει σταθερή σε κάθε προσπάθεια. Σε κάθε αποτυχημένη επιλογή στόχου ένα ηχητικό σήμα ειδοποιεί τον χρήστη, χωρίς ωστόσο να διακόπτεται η προσπάθειά του για την επιλογή του στόχου. Επιπλέον, μόλις ο δείκτης εισέρχεται στην επιφάνεια του στόχου, το χρώμα του στόχου αλλάζει υποδεικνύοντας στον χρήστη ότι μπορεί να εκτελέσει επιτυχημένο κλικ.

Η δοκιμασία κατάδειξης και επιλογής με κίνηση του κέρσορα σε οριζόντιο άξονα υλοποιήθηκε κυρίως για να εξετάσουμε κατά πόσο εφαρμόζεται ο νόμος του Fitts. Επομένως η εφαρμογή επιτρέπει την επιλογή διαφορετικών συνδυασμών στις τιμές πλάτους W και απόστασης D των στόχων τέτοιων ώστε ο βαθμός δυσκολίας του τεστ να λαμβάνει μία εκ των τιμών: 1, 2, 3, 4, 5 και 6.

Στη δοκιμασία επιλογής και κατάδειξης με κίνηση του κέρσορα σε οριζόντιο και κάθετο άξονα (Two Dimension Tapping Test), 16 τετράγωνοι στόχοι μεγέθους πλευράς W βρίσκονται ισομερώς τοποθετημένοι πάνω στην περίμετρο ενός κύκλου με κέντρο το κέντρο της οθόνης και ακτίνας D . Το πείραμα ξεκινά με τον κέρσορα κλειδωμένο στον υψηλότερα τοποθετημένο στόχο. Αφού ο χρήστης ελευθερώσει τον κέρσορα με ένα κλικ, θα πρέπει να τον κινήσει για την επιλογή του ακριβώς απέναντι στόχου κ.ο.κ. Η δοκιμασία ολοκληρώνεται με την επιτυχημένη επιλογή όλων των στόχων από μία φορά. Σε κάθε επιτυχημένη επιλογή ενός στόχου ο δείκτης μετακινείται στο κέντρο του και ο χρήστης μετακινεί τον δείκτη για την επιλογή του απέναντι στόχου. Κάθε φορά ο επόμενος προς επιλογή στόχος χρωματίζεται κόκκινος. Σε κάθε αποτυχημένο κλικ, ένα ηχητικό σήμα ακούγεται χωρίς ωστόσο να διακόπτεται η προσπάθεια του χρήστη για την επιλογή του στόχου.

Η συλλογή των δεδομένων γίνεται ως εξής: κατά τη διάρκεια ενός πειράματος, κάθε 10 msec καταγράφεται η τρέχουσα θέση του κέρσορα μαζί με άλλες πληροφορίες, όπως αν τη χρονική αυτή στιγμή έγινε κλικ σε κάποιο στόχο, ή αν έγινε λανθασμένο κλικ, ή αν εισήλθε ο κέρσορας σε ένα στόχο, ή αν εξήλθε από το στόχο. Αυτό σημαίνει πως για κάθε ένα δευτερόλεπτο από την εκκίνηση έως την ολοκλήρωση της δοκιμασίας λαμβάνουμε 100 στιγμιότυπα της θέσης του κέρσορα τα οποία αναπαριστούν την κίνησή του κατά τη διάρκεια κάθε δευτερολέπτου ώστε να έχουμε μια λεπτομερή περιγραφή της πορείας που ακολούθησε ο κέρσορας κατά τη διάρκεια όλου του πειράματος.

Για την υλοποίηση του γραφικού περιβάλλοντος διεπαφής (GUI) με τον χρήστη και την συλλογή και καταγραφή των δεδομένων στο I.D.E.E. χρησιμοποιήθηκε Microsoft® Visual Basic.

6 Πειράματα

Τα πειράματα έλαβαν χώρα στις ειδικά εξοπλισμένες και πλήρως προσβάσιμες για άτομα με αναπηρίες εγκαταστάσεις του Τμήματος Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών και σύμφωνα με τις συστάσεις για τις συνθήκες πραγματοποίησης πειραμάτων του ISO 9241-9.

Στα πειράματα έλαβαν μέρος:

- Τέσσερα άτομα χωρίς αναπηρίες (Able Bodied users-AB) οι οποίοι διεξήγαγαν τις δοκιμασίες με τη χρήση του mouse και με τη χρήση του Cyberlink-Brainfingers
- 2 άτομα με τετραπληγία (Motion Impaired users-MI) τα οποία ήταν σε θέση να διεξάγουν τις δοκιμασίες με το mouse και με το Cyberlink-Brainfingers.

Οι χρήστες χωρίστηκαν σε δύο ομάδες, τους AB χρήστες και MI χρήστες και τα αποτελέσματα υπολογίστηκαν αναλόγως.

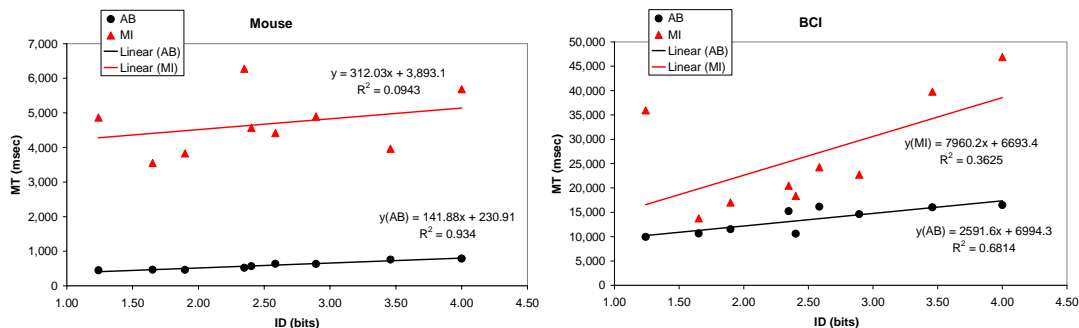
Τα πειράματα περιλάμβαναν 1 ώρα εξάσκηση με τη συσκευή BCI για την εξοικείωση των χρηστών και ακολουθούσε η πραγματοποίηση των δοκιμασιών κατάδειξης και επιλογής με κίνηση του κέρσρα σε οριζόντιο άξονα και κατάδειξης και επιλογής με κίνηση του κέρσρα σε οριζόντιο και κάθετο άξονα με τη χρήση και των δύο συσκευών (ποντικιού και BCI).

Αν και η εκτέλεση των δοκιμασιών με τη χρήση του ποντικιού ολοκληρωνόταν κατά μέσο όρο σε 1 ώρα (που αντιστοιχούν σε 360.000 μετρήσεις), η εκτέλεση των πειραμάτων με την χρήση του BCI συστήματος ήταν εξουθενωτική για τους χρήστες γι' αυτό και η ολοκλήρωσή τους γινόταν τμηματικά σε 2 μέρες με 2 ώρες κάθε μέρα (συνολικά 1.440.000 μετρήσεις).

Με την ολοκλήρωση των πειραμάτων οι χρήστες συμπλήρωναν ένα ερωτηματολόγιο με το οποίο αξιολογούσαν τις δύο συσκευές.

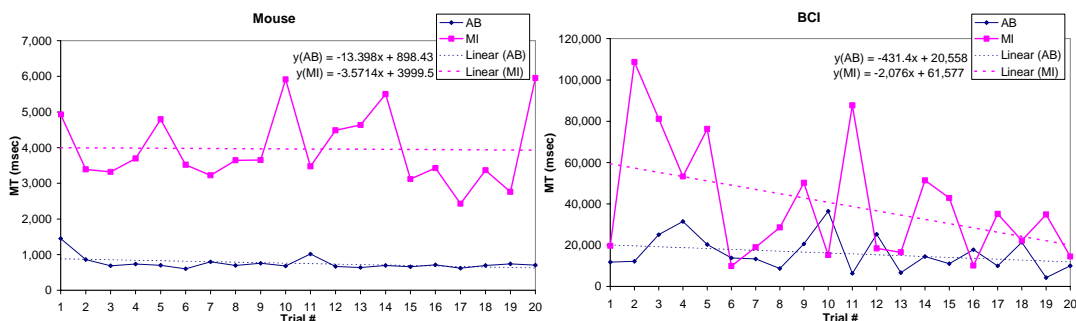
7 Αποτελέσματα

Πρωταρχικός μας στόχος ήταν να εξετάσουμε κατά πόσο εφαρμόζεται ο νόμος του Fitts στη χρήση του ποντικιού και του συστήματος Cyberlink™ Brainfingers™, και να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα που εξήχθησαν ανά συσκευή και ομάδα ατόμων.



Σχήμα 1. Νόμος του Fitts: Γραφική παράσταση Χρόνου Κίνησης (MT) – Δείκτη Δυσκολίας (ID) στις περιπτώσεις ποντικιού και BCI.

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα των Χρόνων Κίνησης (MT) για κάθε ομάδα χρηστών για τη δοκιμασία κατάδειξης και επιλογής με κίνηση του κέρσορα σε οριζόντιο άξονα ανάλογα με τον Δείκτη Δυσκολίας (ID). Στο ίδιο σχήμα απεικονίζεται και ο νόμος του Fitts. Στο πρώτο γράφημα, η γραμμικότητα μεταξύ του MT και ID για του χρήστες χωρίς κινητικές δυσκολίες (AB) και για χρήση του ποντικιού (mouse) είναι εμφανής με την γραμμική τάση να δίνει $R^2=0.934$. Αντιθέτως, για τους χρήστες με κινητικά προβλήματα στα άνω άκρα (MI), οι τιμές του MT δεν φανερώνουν



γραμμικότητα καθώς αυξάνει το ID, δίνοντας γραμμική τάση με $R^2=0.094$, το οποίο είναι σχετικά χαμηλό. Το αποτέλεσμα αυτό εξηγείται, καθώς ο νόμος του Fitts, σαν καθαρά μαθηματικό μοντέλο, δεν μπορεί να περιγράψει και να συμπεριλάβει την δυσκολία και σπαστικότητα στην κίνηση των άνω άκρων των MI. Όσον αφορά το δεύτερο γράφημα και την περίπτωση χρήσης του συστήματος BCI, ο νόμος του Fitts δεν εφαρμόζεται ικανοποιητικά σε καμία από τις δύο ομάδες χρηστών δίνοντας γραμμικές τάσης με $R^2=0.681$ για τους AB, και $R^2=0.362$ για τους MI χρήστες.

Σχήμα 2. Μέσος Χρόνος Κίνησης (MT) για κάθε ομάδα χρηστών (AB-MI) ανά προσπάθεια επιλογής στόχου στις περιπτώσεις ποντικιού και BCI.

Στη δοκιμασία κατάδειξης και επιλογής με κίνηση του κέρσορα σε οριζόντιο άξονα, για κάθε κύκλο πειράματος με συγκεκριμένη τιμή του Δείκτη Δυσκολίας (ID), ο χρήστης έπρεπε να επιλέξει επιτυχώς τον καθένα από τους δύο στόχους 10 φορές, συνολικά 20 επιτυχείς επιλογές για κάθε μπλοκ και για κάθε ID. Συνυπολογίζοντας τους χρόνους μετακίνησης για κάθε μία από τις 20 επιτυχείς επιλογές, ανά ομάδα χρηστών και συσκευή λαμβάνουμε τα γραφήματα του Σχήματος 2. Στα γραφήματα αυτά παρουσιάζεται ο βαθμός εξοικίωσης των χρηστών με τη χρήση της συσκευής κατά την διεξαγωγή των δοκιμασιών. Παρατηρούμε ότι και για τις δύο ομάδες χρηστών και για χρήση και των δύο συσκευών υπάρχει βελτίωση στην απόδοσή τους καθώς ο χρόνος κατάδειξης και επιλογής του στόχου μειώνεται όσον αυξάνεται ο αριθμός των προσπαθειών. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι ότι ο βαθμός βελτίωσης στη χρήση της συσκευής BCI είναι μεγαλύτερος από την περίπτωση χρήσης του ποντικιού, ενώ εντυπωσιακή είναι η βελτίωση στην χρήση της συσκευής BCI από τους χρήστες με κινητικά προβλήματα στα άνω άκρα συγκριτικά

με την βελτίωση των χρηστών χωρίς κινητικές αναπηρίες στη χρήση της ίδιας συσκευής. Μάλιστα, το δεύτερο γράφημα δείχνει ότι οι MI χρήστες έχουν την προοπτική να μάθουν να χειρίζονται καλύτερα την BCI συσκευή από τους AB χρήστες, το οποίο αποκλείεται για την περίπτωση του ποντικιού. Οι γραμμές τάσεις δίνουν τις εξής κλίσεις: (AB,mouse)=13.4, (MI,mouse)=3.6, (AB,BCI)=431.4, (MI,BCI)=2,076.

Με το τεστ κατάδειξης και επιλογής με κίνηση του κέρσορα σε οριζόντιο και κάθετο άξονα, σκοπό είχαμε να υπολογίσουμε τις τιμές των δεικτών αξιολόγησης: Movement Time (MT), Effective Target Width (We), Throughput (TP=IDE/MT) and Missed Clicks (MCL), Target Re-entry (TRE), Task Axis Crossing (TAC), Movement Direction Change (MDC), Movement Variability (MV), Movement Error (ME) and Movement Offset (MO). Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2 κατηγοριοποιημένα ανά ομάδα χρηστών και συσκευή, είναι συγκρίσιμα με άλλες μελέτες που έχουν γίνει [6] και δείχνουν τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι MI χρήστες. Ειδικά για την συσκευή BCI, είναι μάλλον απογοητευτικά αλλά και αναμενόμενα. Με περαιτέρω εξάσκηση στην χρήση της συσκευής BCI, αναμένουμε βελτίωση στην απόδοση χρήσης της συγκεκριμένης συσκευής.

8 Συμπεράσματα

Παρουσιάσαμε τη σχεδίαση και υλοποίηση της εφαρμογής λογισμικού I.D.E.A. που επεκτείνει τις συστάσεις και υποδείξεις του προτύπου ISO 9241-9 για την πραγματοποίηση πειραμάτων μιας και δύο διαστάσεων και πολυπαραμετρικών αναλύσεων αξιολόγησης των επιδόσεων εργονομίας Διεπαφής Ανθρώπου Υπολογιστή κατά την χρήση οποιασδήποτε συσκευής κατάδειξης και επιλογής (point and click) που προσομοιώνει τις λειτουργίες ενός κοινού ποντικιού. Στη συνέχεια εφαρμόσαμε το λογισμικό αυτό στην περίπτωση της συσκευής ανίχνευσης εγκεφαλικών κυμάτων (BCI) Cyberlink Brainfingers που υποστηρίζει επικοινωνία ανθρώπου – υπολογιστή και προσομοιώνει τις λειτουργίες του ποντικιού και εξετάσαμε αν είναι αξιόπιστη, ακριβής, λειτουργική συγκριτικά με το κοινό ποντίκι στις περιπτώσεις ατόμων με σοβαρές αναπηρίες στα άνω άκρα συγκριτικά με άτομα χωρίς αναπηρίες.

Πίνακας 2. Αποτελέσματα Αξιολόγησης Χρήσης Ποντικιού και BCI για τις δύο ομάδες χρηστών.

| ΠΟΝΤΙΚΙ | | | BCI | | |
|----------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------|---------------------------------|------------------------------|
| Δείκτης | AB χρήστες Μέση Τιμή (SD) | MI χρήστες Μέση Τιμή (SD) | Δείκτης | AB χρήστες Μέση Τιμή (SD) | MI χρήστες Μέση Τιμή (SD) |
| MCL | 0.03 (0.06) | 0,17 (0,25) | MCL | 0.75 (0,79) | 3.05 (2.25) |
| TRE | 0.09 (0.11) | 0.09 (0.12) | TRE | 0.39 (0.15) | 1.4 (0.66) |
| TAC | 1.47 (0.21) | 1.85 (0.21) | TAC | 5.87 (0.41) | 14.63 (10.28) |
| MDC | 19.47 (2.54) | 65.47 (12.72) | MDC | 422.38 (44.77) | 1,161.44 (995.89) |
| ME | 14.86 (2.70) | 24.27 (11.83) | ME | 130.55 (16.87) | 201.82 (112.36) |
| MO | -0.98 (4.68) | -16.82 (15.41) | O | 58.82 (8.14) | 122.85 (73.31) |
| MV | 21.58 (4.23) | 44.08 (17.31) | MV | 167.15 (22.32) | 263.27 (150.08) |
| MT | 0.762 (0.045) | 4.18 (0.77) | MT | 25.564 (0.701) | 104.69 (106.65) |
| W _e | 22.74 (3.42) | 19.75 (1.45) | W _e | 23.16 (1.98) | 30.53 (3.19) |
| TP | 5.81 (0.57) | 1.12 (0.18) | TP | 0.182 (0.007) | 0.081 (0.084) |

Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής παρουσιάστηκαν για πρώτη φορά στο διεθνές συνέδριο HCII 2003 [11]. Για το σύστημα ανίχνευσης εγκεφαλικών σημάτων, δεν υπάρχουν δεδομένα και μετρήσεις από άλλους ερευνητές για να γίνει σύγκριση. Είναι φανερό ότι το συγκεκριμένο σύστημα BCI δεν δείχνει ανταγωνιστικό προς το ποντίκι, όσον αφορά την εργονομία, την ταχύτητα, την ευκολία και την ακρίβεια χρήσης. Ωστόσο τα αποτελέσματα δείχνουν πως τα άτομα με σοβαρές κινητικές αναπηρίες έχουν μια εναλλακτική λύση για την επικοινωνία τους με τον υπολογιστή, ακόμα και αν δεν έχουν εναπομένουσα κινητική δραστηριότητα εκτός των μυών του προσώπου. Επιπλέον, πολύ σημαντική για την περίπτωση του συστήματος BCI ήταν η βελτίωση της χρήσης του συστήματος με την πάροδο του χρόνου.

Αναφορές

1. Accot, J., & Zhai, S. (1997). Beyond Fitts' law: Models for trajectory-based HCI tasks. Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems – CHI '97, 295-302. New York: ACM.
2. Barreto, B. A., Scargle, D. S., & Adjouadi, M. (2000). A practical EMG-based human-computer interface for users with motor disabilities. Journal of Rehabilitation Research and Development, 37 (1).
3. Bayliss, D. J., & Auernheimer, B. (2001). Using a brain-computer interface in virtual and real worlds. Proceedings of HCI International 2001 – International Conference on Human-Computer Interaction, 312-316. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
4. Brain Actuated Technologies, Inc.: <http://www.brainfingers.com/cyberlink.htm>
5. ISO/TC 159 & CMC (2000): ISO 9241-9:2000(E), Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs)-Part 9: Requirements for non-keyboard input devices.
6. Keates, S., Hwang, F., Langdon, P., Clarkson, P. J., & Robinson, P. (2002). Cursor measures for motion-impaired computer users. Proceedings of ACM SIGCAPH Conference on Assistive Technologies - ASSETS 2002, 135-142. New York: ACM.

7. MacKenzie, I. S. (1991). Fitts' law as a performance model in human-computer interaction. Doctoral dissertation. Toronto, Ontario, Canada: University of Toronto. Retrieved from York University Web site: <http://www.yorku.ca/mack/phd.html>
8. MacKenzie, I. S. (2001). A note on ISO testing of computer pointing devices. Retrieved November 11, 2002, from York University web site: <http://www.yorku.ca/mack/RN-ISO.html>
9. MacKenzie, I. S., Kauppinen, T., & Silfverberg, M. (2001). Accuracy measures for evaluating computer pointing devices. Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems – CHI '01, 3 (1), 9-19. New York: ACM.
10. Ming, C., Dingfeng, X., Xiaorong, G. & Shangkai, D. (2001). Brain-computer interface with high transfer rates. Proceedings of 8th International Conference On Neural Information Processing – ICONIP 2001.
11. Pino, A., Kalogeros, E., Salemis, I., and Kouroupetroglou, G. (2003): "Brain Computer Interface Cursor Measures for Motion-impaired and Able-bodied Users", in *Universal Access in HCI: Inclusive Design in the Information Society*, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Proceedings of the 10th International Conference on Human-Computer Interaction, June 22-27, 2003, Crete, Greece, pp. 1462-1466.
12. Ξιπτερίδης, Κ., Μιτσόπουλος, Ε. και Κουρουπέτρογλου, Γ. (2001): "Τεχνικές πρόσβασης σε υπολογιστικά περιβάλλοντα", Τεχνική Έκθεση, έργο ΑΙΝΕΙΑΣ, Αθήνα, 2001, <http://www.di.uoa.gr/speech/aeneas/pdf/p41b.pdf>