



Ιόνιο Πανεπιστήμιο
Σχολή Επιστήμης της Πληροφορίας & Πληροφορικής
Τμήμα Πληροφορικής

Ανθρωποκεντρική Διάδραση σε Ψηφιακές Πολιτιστικές Εφαρμογές

Πτυχιακή Εργασία
του
Μιχαήλ-Χρυσοβαλάντη Παγκρακιώτη

Επιβλέπων Καθηγητής: Κωνσταντίνος Οικονόμου

Κέρκυρα, 23 Ιανουαρίου 2025

Περίληψη

Τα μουσεία χρησιμοποιούν ψηφιακά διαδραστικά εκθέματα για την επαύξηση των παραδοσιακών εκθεμάτων με επιπλέον λειτουργικότητα στοχεύοντας στην αύξηση της συμμετοχής και του ενδιαφέροντος των επισκεπτών [1]. Προβλήματα χρηστικότητας, ωστόσο, επηρεάζουν αρνητικά την αλληλεπίδραση [2], ενώ τα ψηφιακά εκθέματα αδυνατούν να προσφέρουν την ίδια συναισθηματική εμπειρία αλληλεπίδρασης συγκριτικά με τα πρωτότυπα [3], απομακρύνοντας τους χρήστες από το ουσιαστικό περιεχόμενο. Οι διεπαφές φυσικής διάδρασης έχουν αποδείξει πως μπορούν να προσφέρουν λύση σε αυτό με τον περιορισμό του χάσματος μεταξύ του φυσικού και του ψηφιακού κόσμου, με διαδεδομένη προσέγγιση αυτή που περιλαμβάνει αναγνώριση χειρονομιών. Πιο εξειδικευμένες προσεγγίσεις φυσικής διάδρασης στοχεύουν στην αναγνώριση μη-επαυξημένων χειρονομιών, εξαλείφοντας την ανάγκη χρήσης φορητού εξοπλισμού [4]. Στο συγκεκριμένο έργο παρουσιάζεται μια στρατηγική ανάπτυξης διεπαφών φυσικής διάδρασης με ψηφιακά εκθέματα. Τα εξεταζόμενα ψηφιακά εκθέματα αφορούν τρισδιάστατα μοντέλα τα οποία απεικονίζονται είτε σε συμβατικές οθόνες ή σε ολογραμμτικές προβολές με τις οποίες οι χρήστες καλούνται να αλληλεπιδράσουν εκτελώντας χειρονομίες.

Abstract

Museums use digital interactive exhibits to enhance traditional exhibits with additional functionality, aiming to increase visitor engagement and interest [1]. Usability issues, however, negatively affect the interaction [2], while digital exhibits fail to provide the same sentimental interaction experience compared to the originals [3], keeping users disengaged from the actual content. Natural user interfaces have proven to offer a solution to this by narrowing the gap between the physical and digital world, with a common approach including gesture recognition. More specialized natural interaction approaches aim to recognize unaugmented gestures, eliminating the need of using wearable equipment [4]. In this work, an approach for developing interfaces to naturally interact with digital exhibits is presented. The considered digital exhibits are mainly three-dimensional models which are either depicted on conventional monitors, or on holographic projections, with which users are supposed to interact by performing hand gestures.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες στον Βασίλειο Κομιανό για την καθοδήγηση που μου έδωσε και το χρόνο που διέθεσε προσφέροντάς μου τις πολύτιμες γνώσεις του σε όλα τα στάδια εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας.

Ευχαριστώ επίσης τους συμφοιτητές, συναδέλφους και φίλους μου, Παναγιώτη, Βασίλη, Νίκο, Άλκη και Κώστα, για το ενδιαφέρον και τη στήριξή τους. Τα ενθαρρυντικά τους λόγια λειτούργησαν ως κίνητρο και η βοήθειά τους υπήρξε καθοριστική για την ολοκλήρωση αυτού του έργου.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου, τον αδερφό μου, τους παππούδες, τις γιαγιάδες και την υπόλοιπη οικογένειά μου για την αμέριστη αγάπη και υποστήριξή τους σε όλο το διάστημα των σπουδών μου.

Ανθρωποκεντρική Διάδραση σε Ψηφιακές Πολιτιστικές Εφαρμογές

Μιχαήλ-Χρυσοβαλάντης Παγκρακιώτης
(Α.Μ.: Π2014035)
p14pagk@ionio.gr
(m.pagkrakiotis@gmail.com)

Τριμελής Επιτροπή:
Κωνσταντίνος Οικονόμου (Επιβλέπων)
Μιχαήλ Στεφανιδάκης
Θεόδωρος Ανδρόνικος

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	3
2	Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας	6
2.1	Διεπαφή Χρήστη	6
2.1.1	Γραφική Διεπαφή Χρήστη	6
2.1.2	Φυσική Διεπαφή Χρήστη	7
2.1.3	Χειρονομακή Διεπαφή Χρήστη	8
2.1.4	Σχετικές Εργασίες - Related Work	13
2.2	Διαδραστικά Ψηφιακά Μουσειακά Εκθέματα	17
2.2.1	Οφέλη Ψηφιακών Εκθεμάτων	17
2.2.2	Σύγκριση Μεθόδων Διάδρασης με Ψηφιακά Εκθέματα	17
2.2.3	Οφέλη Διαδραστικότητας Ψηφιακών Εκθεμάτων	18
2.2.4	Ψηφιακά Διαδραστικά Εκθέματα σε Μουσειακές Διεπαφές	19
2.3	Χρηστικότητα Συστήματος	20
2.3.1	Ευκολία Εκμάθησης	20
2.3.2	Αποδοτικότητα — Efficiency	21
2.3.3	Ευκολία Απομνημόνευσης — Memorability	22
2.3.4	Σφάλματα Χρήσης — Use Errors	23
2.3.5	Υποκειμενική Ικανοποίηση — Subjective Satisfaction	24
2.4	Θεμελιώδεις Αρχές Διάδρασης	25
2.4.1	Ανατροφοδότηση	25
2.4.2	Επιδοχές και Σηματοδότες	26
2.4.3	Εννοιολογικό Μοντέλο	27
2.4.4	Χαρτογράφηση	28
2.5	Βασικές Αρχές Εργονομίας και Στόχοι/Προϋποθέσεις Χειρονομιών	29
2.6	Ανάλυση Ποιοτικών Χαρακτηριστικών Διεπαφών Χρήστη	30
2.6.1	Συσχέτιση Διαισθητικότητας – Ευκολίας Εκμάθησης	30
2.6.2	Συσχέτιση Φυσικότητας Χαρτογραφήσεων – Ευκολίας Αντίληψης Μοντέλου Διάδρασης	30
2.6.3	Συσχέτιση Κυριολεξίας Χαρτογραφήσεων – Αποδοτικότητας	31
2.6.4	Παράγοντες που επηρεάζουν την Ικανοποίηση των Χρηστών	32
2.6.5	Συμπεράσματα Ανάλυσης Ποιοτικών Χαρακτηριστικών	33
2.7	Αξιολόγηση	33
2.7.1	Χαρακτηριστικά και Μορφές Αξιολόγησης	33
2.7.2	Σχεδιασμός Πλάνου Αξιολόγησης	34
2.7.3	Εξαρτώμενες &Ανεξάρτητες Μεταβλητές	35
2.7.4	Μέγεθος Δείγματος: Στατιστικό Υπόβαθρο και Τρόπος Υπολογισμού	35

3 Σχεδιασμός και Ανάπτυξη Χειρονομιακής Διεπαφής Χειρισμού Ψηφιακών Αντικειμένων	38
3.1 Παράθεση Χρησιμοποιηθέντος Εξοπλισμού	38
3.2 Δημιουργία Συστήματος Αναγνώρισης Χειρονομιών	39
3.2.1 Σχεδιασμός Χειρονομιών & Συστήματος Αναγνώρισης	39
3.2.2 Ανάλυση Χειρονομιών	40
3.2.3 Μεθοδολογία Αναγνώρισης Χειρονομιών	42
3.2.4 Μετατροπή των Παραμέτρων των Χειρονομιών σε Κίνηση Ψηφιακού Μοντέλου	44
3.2.5 Πρώτη Δοκιμή και Αξιολόγηση Συστήματος	45
3.3 Αύξηση Ακρίβειας Αναγνώρισης Συστήματος	45
3.3.1 Προσδιορισμός προβλήματος	45
3.3.2 Επανασχεδιασμός Διαμόρφωσης Συστήματος	45
3.3.3 Αξιολόγηση Νέας Μεθόδου	46
3.4 Βελτίωση Εργονομίας	47
3.4.1 Αναγνώριση Εργονομικών Ελαττωμάτων Συστήματος	47
3.4.2 Επανασχεδιασμός Χειρονομιών με Εργονομικά Πρότυπα	48
3.4.3 Αξιολόγηση Ακρίβειας Αναγνώρισης Εργονομικών Χειρονομιών	49
3.4.4 Συμπεράσματα Μεταβολών Υλικοτεχνικού Εξοπλισμού	51
3.5 Ενίσχυση Ανατροφοδότησης	51
3.5.1 Παρατηρήσεις Αδυναμιών Συστήματος	51
3.5.2 Επαναπρογραμματισμός Συστήματος — Συνεχής Παρακολούθηση Θέσης	52
3.5.3 Εύρεση Βέλτιστης Παραμετροποίησης Συστήματος	54
3.5.4 Επιπρόσθετη Χαρτογράφηση Αναγνώρισης Χειρονομιών	55
3.6 Αξιολόγηση Ποσοτικών και Ποιοτικών Χαρακτηριστικών των Χαρτογραφήσεων	56
3.6.1 Στατιστική Ανάλυση Απόδοσης	57
3.6.2 Ποιοτική Ανάλυση	60
3.7 Συμπεράσματα Βελτιωτικών Αλλαγών	62
4 Μεθοδολογία Αξιολόγησης Διεπαφής	64
4.1 Πλάνο Αξιολόγησης	65
4.2 Εφαρμογή Αξιολόγησης	70
4.2.1 Μεθοδολογία Ανάπτυξης Εφαρμογής	71
4.2.2 Περιγραφή Τρόπου Λειτουργίας Εφαρμογής	72
4.3 Μελέτη Πεδίου	74
4.4 Ερωτηματολόγιο	76
4.4.1 Δημογραφικά Στοιχεία	76
4.4.2 Post-Task Ερωτηματολόγιο	77
4.4.3 Post-Test Ερωτηματολόγιο	79
5 Αποτελέσματα Αξιολόγησης	82
5.0.1 Ανάλυση Υποκειμενικών Δεδομένων Χρηστικότητας	82
5.0.2 Ανάλυση Συνειδητής και Υποσυνείδητης Κατανόησης	83
5.0.3 Ανάλυση Αποδοτικότητας και Αποτελεσματικότητας	84
5.0.4 Πρόβλήματα Διάδρασης	85
6 Συμπεράσματα	87

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Η ενσωμάτωση ψηφιακών-διαδραστικών τεχνολογιών σε πολιτιστικούς χώρους παρατηρείται ολοένα και συχνότερα και αποσκοπεί στην ενίσχυση της εμπειρίας των επισκεπτών και στην προσέγγιση ευρύτερου μέρους του πληθυσμού. Οι πολιτιστικοί, και γενικότερα οι δημόσιοι χώροι, ωστόσο, χαρακτηρίζονται από την έλλειψη συνέπειας λόγω της πληθώρας διαφορετικών απαιτήσεων και χαρακτηριστικών των ατόμων που τους επισκέπτονται, συνεπώς και η εφαρμογή ψηφιακών τεχνολογιών σε αυτούς συνοδεύεται από ένα σύνολο δυσκολιών και προκλήσεων: Ένα μεγάλο μέρος του πληθυσμού παρουσιάζει φοβία ή έλλειψη ενδιαφέροντος προς οτιδήποτε ψηφιακό, ενώ παράλληλα στερείται, ή θεωρεί πως στερείται, των απαιτούμενων γνώσεων για τη σωστή χρήση ενός ψηφιακού-διαδραστικού συστήματος. Επιπλέον, οι συνθήκες του περιβάλλοντος δεν επιτρέπουν την αφιέρωση χρόνου στην προσαρμογή και εκπαίδευση των χρηστών, λόγω του περιορισμένου διαθέσιμου χρόνου που τείνει να αφιερώνεται κατά μέσο όρο από κάθε επισκέπτη σε κάθε έκθεμα. Κατά τη σχεδίαση λοιπόν μιας ψηφιακής διαδραστικής διεπαφής, η οποία προορίζεται να τοποθετηθεί σε δημόσιο χώρο και να χρησιμοποιηθεί από πλήθος ατόμων χωρίς συγκεκριμένα δημογραφικά χαρακτηριστικά, είναι ιδιαίτερα σημαντική η κάλυψη δύο προϋποθέσεων: Το τεχνολογικό τμήμα της διεπαφής θα πρέπει να είναι κρυμμένο ώστε, αφενός, να μην αποτρέπει τους χρήστες από το να τη χρησιμοποιήσουν και, αφετέρου, να μην αποσπά την προσοχή και τη συγκέντρωσή τους. Επίσης, ο τρόπος λειτουργίας θα πρέπει να είναι ξεκάθαρος και η απόκριση της διεπαφής άμεση και προβλέψιμη προκειμένου να επιτρέψει την αποδοτική χρήση της από τη πρώτη στιγμή, χωρίς την απαίτηση εκπαίδευσης, καθοδήγησης ή ύπαρξης προηγούμενων εμπειριών.

Αναφορές στην ψηφιακή ενίσχυση πολιτιστικών χώρων αφορούν, κατά κύριο λόγο, διαδραστικά ψηφιακά εκθέματα, η αυξανόμενη χρήση των οποίων προκύπτει από τα αποδεδειγμένα οφέλη τους. Μεταξύ άλλων, η άυλη-ψηφιακή φύση των εκθεμάτων τα κάνει περισσότερο προσιτά σε ένα ευρύτερο μέρος του πληθυσμού, μειώνοντας το απαιτούμενο κόστος σε χρόνο και σε χρήματα για την πρόσβαση στο περιεχόμενό τους, καταργώντας την ανάγκη φυσικής παρουσίας, ενώ προσφέρει τη δυνατότητα παράκαμψης περιορισμών του φυσικού κόσμου. Επιπλέον, η χρήση εκθεμάτων με τη μορφή διαδραστικών πολυμέσων προσφέρει μια πιο πλούσια και δυναμική εμπειρία χρήσης συγκριτικά με τα παραδοσιακά-στατικά εκθέματα. Τέλος, ο συνδυασμός της διαδραστικότητας των εκθεμάτων με την υιοθέτηση τεχνικών φυσικής/χειρονοματικής διάδρασης, υπό τις κατάλληλες συνθήκες, διεγείρει το ενδιαφέρον των επισκεπτών, συνδυάζοντας

την αποτελεσματική διάδοση γνώσεων με τη διασκέδαση. Στην επίτευξη αυτών των συνθηκών συμβάλλει η χρήση φυσικών διεπαφών χρήστη.

Η φυσική διεπαφή χρήστη είναι μια προσπάθεια εξέλιξης της γραφικής διεπαφής χρήστη και έχει ως σκοπό τον περιορισμό του χάσματος μεταξύ του φυσικού και του ψηφιακού κόσμου. Το κύριο χαρακτηριστικό που την κάνει να διαφέρει από τις προηγούμενες διεπαφές χρήστη είναι η ανθρωποκεντρική σχεδίασή της. Ο σκοπός των φυσικών διεπαφών είναι η αντικατάσταση της δημιουργίας αυθαίρετων συμβάσεων και κανόνων, για τη συμμόρφωση των ανθρώπων στον τρόπο λειτουργίας της τεχνολογίας, από την προσαρμογή της ίδιας της τεχνολογίας στις ανθρώπινες ανάγκες και προτιμήσεις προκειμένου η χρήση τους να είναι φυσική. Η φυσικότητα αυτή λοιπόν προκύπτει από την εκμετάλλευση γνώσεων που οι άνθρωποι έχουν ήδη αποκτήσει καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής τους αλληλεπιδρώντας με τον φυσικό κόσμο, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαισθητικά για την αλληλεπίδραση με μια διεπαφή χωρίς να απαιτείται περαιτέρω εκμάθηση. Το πλεονέκτημα των φυσικών διεπαφών χρήστη είναι ότι η αλληλεπίδραση των χρηστών είναι διασκεδαστική, εύκολη και φυσική, καθώς δίνεται η δυνατότητα χρήσης ενός ευρύτερου μέρους από τις υπάρχουσες ικανότητές τους, συγκριτικά με τη διάδραση με πιο παραδοσιακές γραφικές διεπαφές, στις οποίες η αλληλεπίδραση περιορίζεται συνήθως στη χρήση πληκτρολογίου και ποντικιού.

Οι χειρονομιακές διεπαφές χρήστη είναι μια μορφή φυσικής διεπαφής η οποία κάνει δυνατή την αλληλεπίδραση μέσω της αναγνώρισης χειρονομιών ή άλλων κινήσεων του σώματος. Οι χειρονομιακές, όπως και οι φυσικές διεπαφές χρήστη, δύνανται να προσφέρουν μια διαισθητική και φυσική εμπειρία αλληλεπίδρασης στους χρήστες, βασισμένη σε προϋπάρχουσες γνώσεις. Στα πλεονεκτήματα των χειρονομιακών διεπαφών συγκαταλέγεται επίσης η δυνατότητα εξάλειψης των φυσικών συσκευών εισόδου και η αντικατάστασή τους από την άμεση και ανέπαφη αλληλεπίδραση με το ίδιο το περιεχόμενο της διεπαφής, γεγονός που βοηθάει στη συγκέντρωση των χρηστών. Ένα παράπλευρο κέρδος των χειρονομιακών διεπαφών, το οποίο προκύπτει από τη δυνατότητά τους να εμπλέκουν ολόκληρο το ανθρώπινο σώμα, είναι ότι κάνουν περισσότερο ενεργή τη συμμετοχή των χρηστών, βελτιώνοντας το αντιληπτό αίσθημα ελέγχου, ισχύος και άνεσης όσον αφορά την αλληλεπίδραση, ενισχύοντας το ενδιαφέρον και την ικανοποίησή τους.

Δυστυχώς, οι χειρονομιακές διεπαφές χρήστη, πέρα από την προοπτική βελτίωσης, έρχονται με πλήθος κινδύνων οι οποίοι απειλούν με την υποβάθμιση πολλών τομέων της αλληλεπίδρασης. Οι χειρονομίες είναι από τη φύση τους επιρρεπείς στη δημιουργία προβληματικών καταστάσεων όταν χρησιμοποιούνται ως μορφή διάδρασης, είτε λόγω ακούσιας-διαισθητικής εκτέλεσής τους από τους χρήστες, είτε λόγω εκούσιας εκτέλεσης, αλλά αποτυχημένης ή λανθασμένης αναγνώρισης από το σύστημα. Τα παραπάνω δημιουργούν προβλήματα στην κατανόηση του τρόπου λειτουργίας της διεπαφής και προκαλούν σύγχυση. Επιπλέον, οι χειρονομιακές διεπαφές, καθώς απαιτούν μεγαλύτερη συμμετοχή του σώματος, είναι πιθανότερο να προκαλέσουν προβλήματα εργονομίας και κούρασης.

Οι προβληματικές καταστάσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω δεν είναι μόνιμες, αλλά επιδέχονται ενέργειες για την επίλυσή τους. Απαιτείται η ανάπτυξη συστημάτων να καθοδηγείται από τις αδιάσειστες αρχές της αλληλεπίδρασης, της χρηστικότητας και της εργονομίας, προκειμένου να εξαλείφονται προβλήματα κακού σχεδιασμού, αλλά και να μπορούν να προληφθούν ενδεχόμενες προβληματικές καταστάσεις που θα προκύψουν

από την ίδια τη φύση των χειρονομιών. Σημαντικό είναι επίσης ο σχεδιασμός, τόσο των χειρονομιακών διεπαφών όσο και γενικότερα των φυσικών διεπαφών, να μη γίνεται αυθαίρετα, αλλά βάσει των προτιμήσεων και των αναγκών των χρηστών στους οποίους η διεπαφή απευθύνεται ώστε να εξασφαλίζεται η βολική και φυσική χρήση τους.

Στα πλαίσια αυτής της Πτυχιακής Εργασίας εξετάζεται η ανάπτυξη χαμηλού κόστους χειρονομιακής διεπαφής για τη φυσική αλληλεπίδραση με ολογραμματικές προβολές ψηφιακών εκθεμάτων, με σκοπό τη χρήση της σε ένα μουσείο ή άλλον πολιτιστικό χώρο. Η Πτυχιακή Εργασία είναι δομημένη σε 6 κεφάλαια ως εξής: Στο κεφάλαιο 2 υπάρχει βιβλιογραφική ανασκόπηση στην οποία εξετάζονται παράγοντες σχετικοί με τις θεμελιώδεις αρχές της αλληλεπίδρασης, την εργονομία, τη χρησιμότητα και την αξιολόγηση ενός συστήματος. Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται η μέθοδος σχεδιασμού και ανάπτυξης διεπαφής αναγνώρισης χειρονομιών, στο κεφάλαιο 4 περιγράφεται το πλάνο της αξιολόγησης της εν λόγω διεπαφής και στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αξιολόγησης. Ακολουθεί το κεφάλαιο 6 με τα συνολικά συμπεράσματα.

Κεφάλαιο 2

Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας

2.1 Διεπαφή Χρήστη

Στον τομέα της Επικοινωνίας Ανθρώπου-Υπολογιστή, μεταξύ των οντοτήτων του ανθρώπου και του συστήματος υπάρχει ένα ενδιάμεσο επίπεδο που ονομάζεται «Διεπαφή Χρήστη». Σύμφωνα με τον Hookway [5], η διεπαφή είναι μια μορφή σχέσης η οποία δημιουργείται ανάμεσα σε δύο ή περισσότερες ξεχωριστές οντότητες με τέτοιο τρόπο ώστε να υφίσταται μόνο όταν αυτές συνάπτουν ενεργή σχέση μεταξύ τους. Η διεπαφή ανθρώπου-συστήματος δεν είναι ούτε η πρώτη διεπαφή, ούτε ο μόνος τύπος διεπαφής ο οποίος μπορεί να οριστεί ως μια μορφή συσχέτισης, ενώ η αρχική ιδέα της διεπαφής προέρχεται από το πεδίο της δυναμικής ρευστών [5]. Σε γενικότερο πλαίσιο, η διεπαφή καθορίζεται από τη σύζευξη των διαδικασιών του διαχωρισμού και της ένωσης [5]. Με άλλα λόγια, η διεπαφή διατηρεί και ελέγχει τον διαχωρισμό που καθιστά τις δύο οντότητες ξεχωριστές, επιτρέποντας παράλληλα την επιλεκτική μεταφορά πληροφοριών από τη μια οντότητα στην άλλη [5].

Ειδικότερα για τον τομέα της επικοινωνίας ανθρώπου-υπολογιστή, μια διεπαφή χρήστη είναι ο χώρος στον οποίο λαμβάνουν χώρα οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ ανθρώπων και συστημάτων. Ο στόχος των αλληλεπιδράσεων που διενεργούνται μέσω της διεπαφής χρήστη είναι η δυνατότητα αποτελεσματικής λειτουργίας και χειρισμού του συστήματος, ενώ παράλληλα από αυτό ανατροφοδοτούνται πληροφορίες οι οποίες βοηθούν τον χειριστή του συστήματος στη διεργασία λήψης αποφάσεων.

2.1.1 Γραφική Διεπαφή Χρήστη

Η πιο διαδεδομένη διεπαφή είναι η γραφική διεπαφή χρήστη (Graphical User Interface - GUI), η οποία δημιουργήθηκε ως μια προσπάθεια δημιουργίας ενός φιλικότερου προς τον χρήστη περιβάλλοντος σε σχέση με αυτό της προγενέστερης διεπαφής γραμμής εντολής (Command Line Interface - CLI) την οποία και αντικατέστησε. Βασική αδυναμία της διεπαφής γραμμής εντολής ήταν (και παραμένει) η δυσκολία εκμάθησης του μοντέλου λειτουργίας του εκάστοτε συστήματος και η ανάγκη απομνημόνευσης μεγάλου αριθμού εντολών, γεγονός που περιόριζε τη χρήση της σε χρήστες με προγραμματιστικές γνώσεις [6]. Χρησιμοποιώντας την παραπάνω αδυναμία ως έναυσμα, η γραφική διεπαφή χρήστη σχεδιάστηκε με γνώμονα την ορατότητα [7] και τον ρυθμό μάθησης, στοχεύοντας στη γρήγορη εκμάθηση των χρηστών στον τρόπο χειρισμού και ελέγχου

του συνόλου των ενεργειών της διεπαφής. Οι παραδοσιακές γραφικές διεπαφές χρήστη υιοθετούν τη χρήση περιφερειακών συσκευών όπως πληκτρολόγιο και ποντίκι [8] και το περιεχόμενό τους οπτικοποιείται και οργανώνεται σε ένα περιβάλλον το οποίο βασίζεται σε συμβολικές αναπαραστάσεις ενεργειών και αντικειμένων από τον πραγματικό κόσμο με τη μορφή τεχνητών στοιχείων όπως παράθυρα, μενού ή κουμπιά [6], [8]. Μέσω των παραπάνω συμβολικών αναπαραστάσεων όλες οι διαθέσιμες λειτουργίες της διεπαφής μπορούν να γίνουν ορατές και, συμπερασματικά, εύκολα ανιχνεύσιμες, επιτρέποντας και καθοδηγώντας τον χρήστη να μάθει το σύστημα εξερευνώντας το, εξαλείφοντας την ανάγκη γνώσης προγραμματιστικών εντολών [7], [6].

2.1.2 Φυσική Διεπαφή Χρήστη

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η γραφική διεπαφή χρήστη απαιτεί συνήθως τη χρήση φυσικών περιφερειακών συσκευών (ποντίκι, πληκτρολόγιο κλπ.) με τις οποίες πραγματοποιείται ο χειρισμός ενός συνόλου τεχνητών στοιχείων (παράθυρα, μενού κλπ.), τα οποία τελικά επεξεργάζονται το περιεχόμενο. Η φυσική διεπαφή χρήστη (Natural User Interface - NUI) είναι μια προσπάθεια εξέλιξης της γραφικής διεπαφής χρήστη και έχει ως σκοπό τον περιορισμό του χάσματος μεταξύ του φυσικού και του ψηφιακού κόσμου. Αφαιρώντας και κρύβοντας τα ενδιάμεσα στρώματα μεταξύ του χρήστη και του περιεχομένου, η φυσική διεπαφή χρήστη καταφέρνει να εξαφανίζεται πίσω από το περιεχόμενο [8]. Η πιο διαδεδομένη μέθοδος αλληλεπίδρασης που υιοθετείται είναι το άμεσο στυλ χειρισμού ρεαλιστικών αναπαραστάσεων του περιεχομένου, απαλείφοντας τα τεχνητά εικονικά στοιχεία που παρεμβάλλονταν, και αντικαθιστώντας τον χειρισμό περιφερειακών συσκευών από αναγνώριση αφής, ομιλίας, χειρονομιών κλπ. [8], [6]. Η αξιοποίηση φυσικών δραστηριοτήτων στην αλληλεπίδραση παράγει μεγαλύτερη ικανοποίηση και μειώνει τις απαιτήσεις νοητικής προσπάθειας [6], αυξάνοντας τη συνέπεια με τη διάδραση με απτά αντικείμενα και τη διαισθητικότητα, και συνεπώς την προσβασιμότητα και την ευκολία εκμάθησης για όλους, ανεξαρτήτως της υπάρχουσας εμπειρίας χρήσης υπολογιστών [6].

Εξετάζοντας την εξέλιξη των διεπαφών χρήστη παρατηρείται μια συνεχής τάση η αλληλεπίδραση να γίνεται ολοένα και πιο φιλική προς τον χρήστη με τις απαιτούμενες προϋπάρχουσες γνώσεις να μειώνονται και το μέρος του πληθυσμού στο οποίο απευθύνονται να ευρύνεται. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι διεπαφές γραμμής εντολής απευθύνονταν αποκλειστικά στο μικρό μέρος του πληθυσμού το οποίο κατείχε την απαραίτητη για τη χρήση τους εξειδίκευση. Η δε εκμάθηση της εν λόγω εξειδίκευσης ήταν δύσκολη, γεγονός που αποτέλεσε αφορμή για τη δημιουργία των γραφικών διεπαφών χρήστη. Ένα πρόβλημα που παρατήρησαν οι Borba & Zuffo [6] στις γραφικές διεπαφές χρήστη ήταν ότι, παρά την οπτικοποίηση του περιεχομένου και την ύπαρξη προκαθορισμένων μενού, ο τρόπος αλληλεπίδρασης μπορεί μεν να έγινε περισσότερο φιλικός συγκριτικά με την πληκτρολόγηση εντολών στις διεπαφές γραμμής εντολής, συνέχισε ωστόσο να απαιτεί την εκμάθηση των χρηστών σχετικά με τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος, καθώς δεν επρόκειτο για πραγματικά φυσική προς τους ανθρώπους αλληλεπίδραση, αλλά ένα σύνολο από μεταφορές και αναπαραστάσεις πραγματικών αλληλεπιδράσεων και στοιχείων του φυσικού κόσμου. Το πρόβλημα αυτό θα περίμενε κανείς να έχει επιλυθεί με την εισαγωγή των φυσικών διεπαφών χρήστη στον τομέα της επικοινωνίας ανθρώπου-υπολογιστή. Πράγματι, οι φυσικές διεπαφές προσφέρουν την προοπτική για τη βελτίωση της αλληλεπίδρασης και ο έλεγχος συστημάτων μέσω φυσικών διεπαφών οι οποίες παρακάμπτουν τις συμβατικές συσκευές αποτελεί μια ευπρόσδεκτη εναλλακτική

πρακτική, ειδικά σε περιπτώσεις στις οποίες οι παραδοσιακές μέθοδοι κρίνονται μη-βολικές ή ακατάλληλες [7]. Τονίζεται ωστόσο πως οι φυσικοί τρόποι αλληλεπίδρασης δεν αποτελούν πανάκεια καθώς, αφενός η χρήση τους από μόνη της δεν συνεπάγεται την επίλυση προβλημάτων της αλληλεπίδρασης, και αφετέρου διότι έρχονται με το ενδεχόμενο νέων προβλημάτων, λαθών και σύγχυσης [7]. Μια αδυναμία των φυσικών διεπαφών που εντοπίζει ο Norman [7] είναι η έλλειψη ορατότητας των λειτουργιών τους, σε αντίθεση με τις γραφικές διεπαφές που συνηθίζεται να έχουν ορατές τις διαθέσιμες λειτουργίες τους καθοδηγώντας με αυτόν τον τρόπο τον χρήστη. Προκειμένου οι διαθέσιμες λειτουργίες του συστήματος να γίνουν ανιχνεύσιμες από τον χρήστη σε αυτή την περίπτωση απαιτείται προσεκτικός σχεδιασμός της διεπαφής και χρήση αντιληπτών επιδοχών και σηματοδοτών (βλ. ενότητα 2.4.2) όπου αυτό κρίνεται αναγκαίο [7]. Επιπλέον, σύμφωνα με τον Norman [7], δεν είναι όλες οι φυσικές διεπαφές απαραίτητα φυσικές, ούτε μπορούν όλες να χρησιμοποιηθούν διαισθητικά. Προκειμένου να απαλειφθεί το ενδεχόμενο σύγχυσης σχετικά με τους διαθέσιμους τρόπους αλληλεπίδρασης, αναφέρει πως απαιτείται ο ορισμός προτύπων μέσω των οποίων σε βάθος χρόνου θα υπάρξει πραγματικά διαισθητική χρήση [7].

2.1.3 Χειρονομιακή Διεπαφή Χρήστη

Ορισμός Χειρονομίας

Μια μορφή φυσικής διεπαφής χρήστη αποτελούν οι χειρονομιακές διεπαφές χρήστη, στις οποίες τα δεδομένα εισόδου που λαμβάνει ένα σύστημα προέρχονται από την αναγνώριση χειρονομιών. Τι ορίζεται όμως με τον όρο χειρονομία; Σύμφωνα με το αγγλικό λεξικό Merriam-Webster [9], χειρονομία (gesture) είναι: «μια κίνηση συνήθως του σώματος ή των άκρων η οποία εκφράζει ή δίνει έμφαση σε μια ιδέα, συναισθημα ή στάση· η χρήση κινήσεων των άκρων ή του σώματος ως μέσο έκφρασης· κάτι που λέγεται ή πραγματοποιείται για λόγους τυπικότητας ή ευγένειας, ως ένα σύμβολο ή ένδειξη, ή για την επίδρασή του στη στάση των άλλων». Η χειρονομία έχει πληθώρα εννοιών και στην ελληνική γλώσσα. Σύμφωνα με το λεξικό της νέας ελληνικής γλώσσας του Μπαμπινιώτη [10], συνοπτικά, η χειρονομία ορίζεται από τις συνειδητές και ασυνείδητες κινήσεις των χεριών, οι οποίες μπορεί να φέρουν συμβολική σημασία ή να χρησιμοποιούνται για την απόδοση έμφασης στα λεγόμενα κάποιου, αλλά και από τις πράξεις καλής ή κακής προθέσεως. Από τους Pavlovic, Sharma & Huang [11] και τους Chanda, Mukherjee, Modak & Nath [12], οι χειρονομίες αναφέρονται ως μια μέθοδος μη-λεκτικής αλληλεπίδρασης μέσω ορατών κινήσεων του σώματος ή ενεργειών, οι οποίες κυμαίνονται από απλές ενέργειες για υπόδειξη ή/και μετακίνηση αντικειμένων, έως περισσότερο σύνθετες οι οποίες εκφράζουν συναισθήματα και δίνουν τη δυνατότητα επικοινωνίας με άλλους ανθρώπους.

Ιστορία των Χειρονομιών ως Μέσο Επικοινωνίας στον Φυσικό Κόσμο

Όταν γίνεται αναφορά στην εξέλιξη της ανθρώπινης γλώσσας τείνει να συγκρίνεται η ανθρώπινη ομιλία με ήχους ζώων [13]. Η φωνητική διάσταση των δύο τρόπων επικοινωνίας παρουσιάζει μεν ομοιότητες, υποστηρίζεται ωστόσο πως οι πρώτες γλωσσικές εκφράσεις των προγόνων μας είχαν χειρονομιακό χαρακτήρα [13]. Σύμφωνα με την παραπάνω υπόθεση, η χειρονομιακή επικοινωνία προηγείται της λεκτικής, καθιστώντας τις χειρονομίες ένα σημαντικό μέσο επικοινωνίας του παρελθόντος στον φυσικό κόσμο [12], το οποίο παραμένει ενεργό έως σήμερα [13] από ανθρώπους σε όλον τον κόσμο ανεξαρ-

τήτως του πολιτιστικού και γλωσσικού τους υποβάθρου [14]. Η χρήση των χειρονομιών στην επικοινωνία γίνεται αυτόματα και διαισθητικά, γεγονός που μπορεί να εξηγηθεί από την εμφάνισή τους στους ανθρώπους κατά τη βρεφική ηλικία πριν την ανάπτυξη της ομιλίας, και μπορεί να αποδειχθεί από την πραγματοποίηση χειρονομιών ακόμα και από εκ γενετής τυφλά άτομα, με την ίδια συχνότητα πραγματοποίησης και εκφράζοντας τις ίδιες πληροφορίες μεταξύ ατόμων με και χωρίς όραση [14].

Ιστορία των Χειρονομιών στην ΕΑΥ

Και στον τομέα της Επικοινωνίας Ανθρώπου-Υπολογιστή (ΕΑΥ) ωστόσο, οι χειρονομίες αποτελούν μέρος των διεπαφών χρήστη από πολύ παλιά [7]. Σύμφωνα με τους Norman [7] & Myers [15], η πρώτη εμπορική εφαρμογή χειρονομιακής διεπαφής που έγινε γνωστή στο ευρύ κοινό ήταν το 1992 με την pen-based διεπαφή (η οποία απαιτούσε χρήση γραφίδας για συγγραφή κειμένου, χειρισμό αντικειμένων κλπ.) του Apple Newton. Πηγαίνοντας ακόμα πιο πίσω, σε έρευνα των Krueger, Gionfriddo & Hinrichsen [16] το 1985 παρουσιάζεται λειτουργικό πρωτότυπο εφαρμογής το οποίο κάνει σύγχρονη (real-time) αναγνώριση mid-air χειρονομιών (χωρίς δηλαδή χρήση φορετού εξοπλισμού) για χειρισμό γραφικών αντικειμένων σε μεγάλες προβολές. Όπως αναφέρουν οι Krueger et al. [16], η ανάπτυξη του πρωτοτύπου ξεκίνησε το 1970. Εξειδικευμένοι αισθητήρες ανίχνευσης της θέσης και της κίνησης των χεριών έχουν αναπτυχθεί και για τους τομείς των βιντεοπαιχνιδιών και των ηλεκτρικών μουσικών οργάνων, με την πατέντα για το όργανο Theremin, ο χειρισμός του οποίου γίνεται μέσω mid-air χειρονομιών χωρίς χρήση φορετού εξοπλισμού, να κατοχυρώνεται το 1928 [7].

Ο λόγος για τον οποίο η χρήση χειρονομιακών διεπαφών με την πάροδο του χρόνου γίνεται ολοένα και περισσότερο διαδεδομένη, οφείλεται στην ανάπτυξη ισχυρών και οικονομικών τεχνολογιών για αισθητήρες και επεξεργαστές, με το γεγονός αυτό να αποτελεί την κύρια διαφορά μεταξύ των σημερινών συστημάτων και αυτών που αναπτύχθηκαν τα προηγούμενα 50 χρόνια [7]. Οικονομικοί αισθητήρες και επεξεργαστές μεγάλης ακρίβειας και ισχύος επιτρέπουν τη λήψη λεπτομερών δεδομένων και την άμεση επεξεργασία τους για την αναγνώριση χειρονομιών, κάνοντας πλέον πρακτική και αποδοτική την αξιοποίησή τους σε προσιτές-μαζικής παραγωγής διεπαφές [7].

Ορισμός και Κατηγοριοποίηση Χειρονομιών στην ΕΑΥ

Σαφής ορισμός του όρου της χειρονομίας στον τομέα της Επικοινωνίας Ανθρώπου-Υπολογιστή δεν υπάρχει καθώς παρατηρείται ασυμφωνία στην χρήση του όρου μεταξύ διαφορετικών ερευνητών. Ορισμένοι από αυτούς με τον όρο χειρονομία αναφέρονται σε οποιαδήποτε κίνηση του χεριού αναγνωρίζεται από ένα σύστημα, ακόμα και αν απαιτεί την άμεση χρήση συσκευών όπως γραφίδες, φωτογραφίδες και οθόνες αφής [15], [7], [17], ενώ άλλοι αναφέρονται αποκλειστικά σε μη-απτικές διεπαφές με αναγνώριση κινήσεων του χεριού στον χώρο (στην βιβλιογραφία αναφέρονται ως spatial/ mid-air/ unaugmented/ freehand/ non-haptic gestures) [16], [18], [11], [19], [20], [21], [4]. Η παρούσα έρευνα επικεντρώνεται στη δεύτερη μορφή.

Οι χωρικές κινήσεις του χεριού σύμφωνα με τους Pavlovic et al. [11] διαφοροποιούνται, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα της εικόνας 2.1, σε (εκούσιες) χειρονομίες και ακούσιες κινήσεις. Οι ακούσιες κινήσεις είναι οι κινήσεις που δεν εκφράζουν χρήσιμες πληροφορίες και συνεπώς η αναγνώρισή τους δεν έχει νόημα στον τομέα της Επικοινωνίας Ανθρώπου-Υπολογιστή. Οι χειρονομίες μπορούν να χωριστούν σε δύο περαιτέρω

κατηγορίες βάση του σκοπού εκτέλεσής τους σε: επικοινωνιακές (communicative) και χειριστικές (manipulative) [11]. Οι χειριστικές χειρονομίες είναι αυτές που χρησιμοποιούνται για την αλληλεπίδραση με ψηφιακά αντικείμενα (μετακίνηση, περιστροφή κλπ.), συνήθως με τρόπο που μιμείται τον τρόπο χειρισμού φυσικών αντικειμένων, ενώ οι επικοινωνιακές χειρονομίες χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία πληροφοριών ή εντολών χειρισμού τεχνητών λειτουργιών του συστήματος, οι οποίες δεν έχουν απαραίτητα άμεση σχέση με το φυσικό περιβάλλον [11].



Σχήμα 2.1: Ταξινόμια Κινήσεων Χεριών

Από τους Nancel, Wagner, Pietriga, Chapuis & Mackay [21] οι χειρονομίες διαφοροποιούνται βάση του τρόπου υλοποίησής τους σε τέσσερις ακόμα κατηγορίες: σύμφωνα με το αν πραγματοποιούνται μόνο από ένα χέρι (unimanual) ή ως συνδυασμός κινήσεων και των δύο χεριών (bimanual), και σύμφωνα με τη συνέχεια που τις διέπει σε κυκλικές χειρονομίες (circular), οι οποίες πραγματοποιούνται από συνεχόμενες κινήσεις του/των χεριών, και σε γραμμικές χειρονομίες (linear), οι οποίες πρόκεινται για διακριτές κινήσεις καθώς απαιτούν την επαναφορά του/των χεριών σε κάποια αρχική θέση πριν την επανάληψή τους. Στην έρευνα των Nancel et al. [21] σημειώνεται επίσης, βάση της βιβλιογραφίας, πως καλύτερη αποδοτικότητα είθισται να συναντάται σε bimanual κυκλικές κινήσεις, χωρίς ωστόσο αυτό να αποτελεί σύμβαση. Όπως φαίνεται και από τα αποτελέσματα της δοκιμής τους, η αποδοτικότητα των χειρονομιών μπορεί να επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες των συνθηκών και του τρόπου λειτουργίας του εκάστοτε συστήματος, κάνοντας διαφορετικούς συνδυασμούς περισσότερο αποδοτικούς και βολικούς έναντι άλλων.

Πλεονεκτήματα Χρήσης Χειρονομιών στην ΕΑΥ

Η χρήση χειρονομιών ως μια μορφή διάδρασης έχει τη δυνατότητα να βελτιώνει την αλληλεπίδραση τόσο σε «κλασσικές» εφαρμογές επιτραπέζιου υπολογιστή με την αντικατάσταση των περιφερειακών συσκευών, όσο και από την αντικατάσταση μοχλών και κουμπιών σε ηλεκτρονικά ελεγχόμενα συστήματα [11]. Αυτό προκύπτει καθώς οι

χειρονομίες χρησιμοποιούνται αυτόματα και διαισθητικά για την επικοινωνία μεταξύ των ανθρώπων στον φυσικό κόσμο [14], με τη δυνατότητα αυτή να μεταφέρεται και στην αλληλεπίδραση με χειρονομιακές διεπαφές χρήστη, προσφέροντας περισσότερο διαισθητική λειτουργία [12] και φυσικότερο τρόπο διάδρασης [18] συγκριτικά με τον χειρισμό γραφικών διεπαφών χρήστη. Σε αυτό συμβάλει επίσης το γεγονός ότι οι χειρονομίες που αποτελούνται από κινήσεις των χεριών είναι περισσότερο εκφραστικές και χρησιμοποιούνται συχνότερα, συγκριτικά με κινήσεις και εκφράσεις του προσώπου και του υπόλοιπου σώματος [18].

Ένα παράπλευρο κέρδος των χειρονομιακών διεπαφών, το οποίο προκύπτει από τη δυνατότητά τους να εμπλέκουν ολόκληρο το ανθρώπινο σώμα, είναι, σύμφωνα με τους Norman [7] και Norman & Nielsen, [17], ότι κάνουν περισσότερο ενεργή τη συμμετοχή των χρηστών. Αυτή η ενίσχυση της ενασχόλησης εισάγει ένα ευχάριστο αίσθημα ενεργής δράσης, βελτιώνοντας το αντιληπτό αίσθημα ελέγχου, ισχύος και άνεσης όσον αφορά την αλληλεπίδραση, ενισχύοντας το ενδιαφέρον και την ικανοποίησή τους.

Η χρήση χειρονομιακών διεπαφών προσφέρει επίσης πληθώρα πλεονεκτημάτων σε πιο εξειδικευμένους τομείς της Επικοινωνίας Ανθρώπου-Υπολογιστή, όπως διεπαφές που χρησιμοποιούνται σε περιβάλλοντα με ειδικές απαιτήσεις όπως αυτή της αποστείρωσης στο περιβάλλον ενός χειρουργείου, αλλά και διεπαφές που απευθύνονται σε ηλικιωμένους ή άτομα με αναπηρίες και μειωμένες κινητικές ικανότητες, βοηθώντας τους τόσο στην αλληλεπίδραση με άλλους ανθρώπους [11], όσο και με υπολογιστικά συστήματα. Αναλυτικότερη περιγραφή των παραπάνω με αναφορές σε παραδείγματα γίνεται στην επόμενη ενότητα 2.1.4.

Προβλήματα Χρήσης Χειρονομιών στην ΕΑΥ

Δυστυχώς, οι χειρονομιακές διεπαφές χρήστη, πέρα από την προοπτική βελτίωσης, έρχονται με πλήθος κινδύνων οι οποίοι απειλούν με την υποβάθμιση πολλών τομέων της αλληλεπίδρασης. Οι Norman & Nielsen, [17], αναφέρουν αρχικά ως αιτία αυτής της υποβάθμισης τον τρόπο σχεδιασμού και ανάπτυξης των χειρονομιακών διεπαφών, κατηγορώντας τους προγραμματιστές και κατ' επέκταση τις εταιρίες. Κατά την περίοδο ανάπτυξης μιας διεπαφής παρατηρούν την ύπαρξη άγνοιας σε καθιερωμένες συμβάσεις και κανόνες οι οποίοι έχουν προκύψει από τη μακρά ιστορία και τα ευρήματα της έρευνας στην Επικοινωνία Ανθρώπου-Υπολογιστή, ακολουθούμενη από την εμπορική κυκλοφορία δημιουργικών μεν, αλλά κακοσχεδιασμένων και απερίσκεπτων διεπαφών, πριν την ολοκλήρωση των δοκιμών τους και της απόδειξης της χρηστικότητάς τους, οι οποίες επίσης στερούνται καθιερωμένων οδηγιών για την καθοδήγηση των χρηστών ως προς τον τρόπο αλληλεπίδρασης με αυτές [17].

Πέρα από τον κακό σχεδιασμό, οι χειρονομίες από τη φύση τους είναι επιρρεπείς στη δημιουργία προβληματικών καταστάσεων όταν χρησιμοποιούνται ως μορφή διάδρασης. Η πρώτη προβληματική κατάσταση προκύπτει από την ακούσια εκτέλεση λειτουργιών στις χειρονομιακές διεπαφές και προκαλείται συχνά καθώς οι χρήστες, εν αγνοία τους, τυχαίνει να εκτελούν χειρονομίες ή να αγγίζουν την οθόνη χωρίς να το επιθυμούν [17]. Αντίστοιχα συχνή είναι η αντίστροφη κατάσταση, στην οποία οι χρήστες εκούσια εκτελούν κάποια χειρονομία στην προσπάθειά τους να δώσουν κάποια εντολή στο σύστημα, η οποία όμως, λόγω αποτυχημένης αναγνώρισης ή λανθασμένης εκτέλεσης της χειρονομίας, δεν εκτελείται [17]. Τα αίτια της πρόκλησης αυτών των καταστάσεων έγκεινται στο γεγονός ότι οι χειρονομίες στερούνται στοιχεία που θεωρούνται ιδιαίτερα κρίσιμα

προκειμένου να υπάρξει επιτυχημένη αλληλεπίδραση με έναν υπολογιστή [7]. Υπάρχουν ορισμένες αρχές της αλληλεπίδρασης (αναλύονται στην ενότητα 2.4) οι οποίες είναι απολύτως ανεξάρτητες από το είδος της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται. Ορισμένες τεχνολογίες ωστόσο υπερτερούν έναντι άλλων στη συμφωνία με αυτές τις αρχές. Όπως έχει αναφερθεί ήδη, το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των γραφικών διεπαφών χρήστη είναι η ανακαλυψιμότητα, η δυνατότητα δηλαδή ανακάλυψης όλων των διαθέσιμων λειτουργιών μιας διεπαφής από τον χρήστη μέσα από την εξερεύνηση μενού, εξαλείφοντας την ανάγκη απομνημόνευσής τους. Αντίθετα, σε φυσικές διεπαφές, και ειδικότερα σε συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν αποκλειστικά χειρονομίες για τη διάδραση, η ανακαλυψιμότητα των διαθέσιμων λειτουργιών και του τρόπου εκτέλεσής τους είναι προβληματική και οφείλεται στον συνδυασμό ύπαρξης δυσκολίας στην εύρεση τρόπου γνωστοποίησής τους στους χρήστες, και της άγνοιας πάνω σε αυτό το θέμα από τους προγραμματιστές [7], [17]. Ένα ακόμα στοιχείο που στερούνται οι χειρονομίες είναι η ορατότητα. Λόγω της εφήμερης φύσης τους, οι χειρονομίες δεν αφήνουν ίχνη από την πορεία τους, γεγονός που τις καθιστά «αόρατες», με αποτέλεσμα σε περιπτώσεις που ο χρήστης δεν λάβει απόκριση από το σύστημα, ή λάβει απόκριση διαφορετική από την επιθυμητή, να μην είναι σε θέση να καταλάβει γιατί [7]. Τέλος, η ελεύθερη-αυθόρμητη φύση των χειρονομιών, πέρα από το πλεονέκτημα της φυσικότητας, αυξάνει την πιθανότητα ασαφούς ή με αδιάλειπτο τρόπο ακούσιας εκτέλεσής τους [7].

Συνοψίζοντας, η ευκολία ακούσιας εκτέλεσης λειτουργιών, η ανάκαμψη από τις οποίες είναι δύσκολη, παράλληλα με τη συχνή εκούσια αλλά αποτυχημένη προσπάθεια εκτέλεσης λειτουργιών λόγω της ύπαρξης ελλιπούς ορατότητας των χειρονομιών, ελλιπούς ανατροφοδότησης από το σύστημα και ελλιπούς συνέπειας και ανακαλυψιμότητας του σωστού τρόπου εκτέλεσής τους, απειλούν τη βιωσιμότητα των χειρονομιακών διεπαφών [17]. Στις περιπτώσεις αυτές δεν δίνεται στους χρήστες η δυνατότητα εύκολης ανίχνευσης και διόρθωσης ενδεχόμενων λαθών στις ενέργειές τους, αφήνοντάς τους να πιστεύουν πως οι ενέργειές τους ήταν σωστές. Αυτό με τη σειρά του δημιουργεί σύγχυση, κάνοντας τις αντιδράσεις του συστήματος να μοιάζουν τυχαίες, υποβαθμίζοντας την αίσθηση ελέγχου, την αντιληπτή αξιοπιστία του συστήματος και την εμπιστοσύνη των χρηστών προς αυτό [17].

Πρόληψη και Αντιμετώπιση Προβλημάτων Χρήσης Χειρονομιών στην EAY

Οι προβληματικές καταστάσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω δεν είναι μόνιμες, αλλά επιδέχονται ενέργειες για την επίλυσή τους. Η λανθασμένη αντιμετώπιση του σχεδιασμού και της ανάπτυξης χειρονομιακών διεπαφών χρήστη από τις εταιρίες απαιτεί η ανάπτυξη συστημάτων να πάψει να παρασύρεται από τις στιγμιαίες επιθυμίες και αυθαίρετες ιδέες των εταιριών και των προγραμματιστών, και αντίθετα να δέχεται καθοδήγηση από τις αδιάσειστες αρχές της αλληλεπίδρασης και της χρησιμότητας [17]. Αντίστοιχα, και οι προβληματικές καταστάσεις που δημιουργούνται από την ίδια τη φύση των χειρονομιών μπορούν να προληφθούν και να αντιμετωπιστούν από τη συνέπεια με αυτές τις αρχές. Πιο συγκεκριμένα, η έλλειψη κατανόησης του τρόπου λειτουργίας ενός συστήματος απαιτεί τη δημιουργία ενός ξεκάθολου εννοιολογικού μοντέλου του τρόπου διάδρασης με αυτό, με ξεκάθαρες υποδείξεις των διαθέσιμων λειτουργιών και καθοδήγηση ως προς τη σωστή εκτέλεσή τους [7]. Η ύπαρξη επιμορφωτικής ανατροφοδότησης επίσης θα βοηθήσει σε αυτό, επιτρέποντας στον χρήστη να μαθαίνει τον κατάλληλο τρόπο επικοινωνίας με το σύστημα, η σημαντικότητά της ωστόσο οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι βοηθά στην αντίληψη των λαθών σε προηγούμενες ενέργειες του

χρήστη, παρά την έλλειψη ορατότητας των χειρονομιών, και παρέχει υποδείξεις σχετικά με τους διαθέσιμους τρόπους επαναφοράς από καταστάσεις στις οποίες ο χρήστης μεταφέρεται ακούσια ή/και ασυνείδητα [7].

2.1.4 Σχετικές Εργασίες - Related Work

Μέθοδοι Αναγνώρισης Χειρονομιών

Η αξιοποίηση των χειρονομιών στην Επικοινωνία Ανθρώπου-Υπολογιστή προαπαιτεί την ύπαρξη των κατάλληλων μεθόδων μέσω των οποίων οι χειρονομίες θα μπορούν να γίνουν αντιληπτές από τον υπολογιστή [11]. Οι πρώτες προσπάθειες αναγνώρισης χειρονομιών έγιναν μέσω μηχανικών συσκευών με δυνατότητα μέτρησης της γωνίας των συνδέσμων των χεριών και της θέσης τους στον χώρο [11]. Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα αυτών των συστημάτων είναι οι διεπαφές που βασίζονται στη χρήση γαντιών, όπως αυτή των Silva, Dantas, Pantoja & Pereira [22], οι οποίες απαιτούν από τον χρήστη να φοράει ένα ειδικά διαμορφωμένο με αισθητήρες γάντι [11], [18], και οι διεπαφές που χρησιμοποιούν τα δεδομένα του επιταχυνσιόμετρου μιας συσκευής κινητού τηλεφώνου, όπως αυτή των Chanda, Mukherjee, Modak & Nath [12]. Εξαιτίας της απαίτησης εφαρμογής κουραστικών συσκευών και του φορτίου των αισθητήρων και καλωδίων που αυτές φέρουν για τη λήψη και αποστολή δεδομένων, η ευκολία και η φυσικότητα της αλληλεπίδρασης επηρεάζεται αρνητικά και λειτουργεί ως αποτρεπτικός παράγοντας στην καθημερινή χρήση τους [11], [18]. Μια εναλλακτική για την αντιμετώπιση των δυσκολιών της χρήσης γαντιών είναι η οπτική αναγνώριση ανέπαφων χωρικών (spatial/ mid-air/ unaugmented/ freehand/ non-haptic) χειρονομιών [11], [18], [19], καθώς δεν απαιτεί τη χρήση φορετού εξοπλισμού και προσφέρει μια μορφή αλληλεπίδρασης η οποία μειώνει στο ελάχιστο την παρέμβαση της τεχνολογίας στην πραγματοποίηση των ουσιαστικών διεργασιών της διεπαφής [19]. Στη διαθέσιμη βιβλιογραφία υπάρχει πλήθος διεπαφών οπτικής αναγνώρισης χειρονομιών η οποία πραγματοποιείται είτε με τη χρήση RGB καμερών: [23], [19], [24], [25], [4], [26], ή με τη χρήση IR καμερών, συμπεριλαμβανομένης και της συσκευής LeapMotion: [27], [20], [28], [4] [29], ενίοτε σε συνδυασμό αυτών με τη χρήση αντανάκλαστικών σημείων (retroreflective markers) [30], [21]. Ωστόσο, και στην περίπτωση χρήσης τεχνικών αναγνώρισης που βασίζονται στην όραση παρουσιάζονται προκλήσεις όπως ο διαχωρισμός του χεριού από τον περιβάλλοντα χώρο (φόντο), η επικάλυψη του χεριού από άλλα αντικείμενα ή μέρη του σώματος, μεταβολές στον φωτισμό, απότομες κινήσεις και άλλα αντικείμενα στο χρώμα του δέρματος [18]. Σύμφωνα με τους Shukla & Dwivedi [18], τόσο τα προβλήματα της φυσικότητας, όσο και οι δυσκολίες στην αναγνώριση των δύο προαναφερθέντων τεχνικών αναγνώρισης μπορούν να επιλυθούν με τη χρήση αισθητήρων βάθους, όπως η συσκευή Kinect που οι ίδιοι χρησιμοποιούν. Μια εναλλακτική που προσφέρει αντίστοιχη λειτουργικότητα αποτελούν οι αισθητήρες απόστασης όπως αυτοί που χρησιμοποιούνται από τους Mukherjee, Swethen, Pasha & Rawat [31], Balachandra [32], Basnet [33] και Hoang, Smith & Thomas [34]. Οι αισθητήρες αυτοί προσφέρουν χαμηλότερη ακρίβεια συγκριτικά με αισθητήρες βάθους, είναι όμως διαθέσιμοι σε πολύ χαμηλότερο κόστος, επιτρέποντας την αξιοποίησή τους σε low-cost διεπαφές.

Παραδείγματα Χειρονομιακών Διεπαφών

Μελετώντας τη διαθέσιμη βιβλιογραφία, παρατηρείται πως οι χειρονομίες χρησιμοποιούνται σε πλήθος εφαρμογών με διαφορετικές μεθόδους και για την προσπάθεια

κάλυψης διαφορετικών σκοπών. Συχνή είναι η χρήση των χειρονομιών για την αλληλεπίδραση με διεπαφές πολυμέσων, όπως το λειτουργικό πρωτότυπο των Freeman & Weissman [24] από το 1995 για τον απομακρυσμένο χειρισμό τηλεόρασης, το σύστημα απομακρυσμένης αλληλεπίδρασης με μεγάλες συστοιχίες οθονών (videowalls) των Nancel et al. [21] και η φυσική αλληλεπίδραση με μεγάλη οθόνη προβολής σε δημόσιο χώρο για πλοήγηση σε χάρτη και λήψη πληροφοριών σχετικά με το αστικό σύστημα συγκοινωνιών των Alisi, Del Bimbo & Valli [4]. Κοινό χαρακτηριστικό των παραπάνω διεπαφών είναι η χρήση καμερών (RGB ή IR) για την αναγνώριση στατικών ή δυναμικών mid-air χειρονομιών. Οι διεπαφές των Mukherjee et al. [31] και Basnet [33] δίνουν τη δυνατότητα ανέπαφου χειρισμού εφαρμογών αναπαραγωγής πολυμέσων μέσω δυναμικών χειρονομιών κάνοντας χρήση χαμηλού κόστους αισθητήρων απόστασης. Από τους Hürst & Van Wezel [30] και Hoang et al. [34] χρησιμοποιούνται χειρονομίες σε εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας για τη διάδραση με ψηφιακά τριδιάστατα αντικείμενα. Πιο συγκεκριμένα, από τους Hoang et al. [34] παρουσιάζεται πρωτοποριακή διεπαφή δημιουργίας και χειρισμού (μετακίνηση, περιστροφή, μεγέθυνση) ψηφιακών τριδιάστατων μοντέλων, των οποίων οι διαστάσεις καθορίζονται από τα αντίστοιχα φυσικά αντικείμενα με χρήση διαισθητικών χειρονομιών οι οποίες αναγνωρίζονται από ειδικά διαμορφωμένα γάντια με αισθητήρες απόστασης, αφής και κλίσης. Η διεπαφή των Hürst & Van Wezel [30] αποτελεί μέρος έρευνας για τη σύγκριση διαφορετικών τρόπων διάδρασης με ψηφιακά αντικείμενα, από τα αποτελέσματα της οποίας προκύπτει συνοπτικά πως η χρήση χειρονομιών κρίνεται μάλλον ακατάλληλη για τις περισσότερες εφαρμογές λόγω της φτωχής απόδοσης, συνιστάται ωστόσο, λόγω των θετικών σχολίων των συμμετεχόντων, για ψυχαγωγικές εφαρμογές στις οποίες η διασκέδαση και η ενασχόληση του χρήστη αποτελούν προτεραιότητα, με την ταχύτητα και την ακρίβεια να έχουν δευτερεύουσα σημασία. Διαφορετικό είναι το αποτέλεσμα της έρευνας των Shukla & Dwivedi [18], στην οποία παρουσιάζεται μέθοδος αναγνώρισης Mid-air στατικών χειρονομιών χρησιμοποιώντας Microsoft Kinect με ποσοστό σωστής κατηγοριοποίησης 100%.

Χειρονομιακές Διεπαφές Υποστήριξης Ηλικιωμένων Ατόμων και ΑμεΑ.

Θετική είναι η επίδραση της χρήσης χειρονομιών στην παροχή βοήθειας και υποστήριξης ηλικιωμένων ατόμων ή/και ατόμων με αναπηρία. Οι Zeng, Sun, & Wang [23] χρησιμοποιούν οπτικά αναγνωρίσιμες μέσω web κάμερας στατικές και δυναμικές Mid-air χειρονομίες για τον φυσικό και εργονομικό χειρισμό αναπηρικού αμαξιδίου με υψηλή ευκολία εκμάθησης, άνεση και διαισθητικότητα. Οι Silva et al. [22] δημιουργούν λειτουργικό πρωτότυπο παιχνιδιού ανεπτυγμένο στην Unity, ο χειρισμός του οποίου πραγματοποιείται μέσω δυναμικών χειρονομιών που αναγνωρίζονται από γάντι με χαμηλού κόστους αισθητήρες. Ο μηχανισμός, αν και λειτουργικός στην τρέχουσα μορφή του, έχει, σύμφωνα με τους Silva et al. [22], την προοπτική ενσωμάτωσής του σε εκπαιδευτικά βιντεοπαιχνίδια (serious videogames) εικονικής πραγματικότητας με σκοπό την παροχή βοήθειας στην αποκατάσταση ασθενών από εγκεφαλικό επεισόδιο. Οι Starnier, Auxier, Ashbrook & Gandy [20] κάνουν επίσης χρήση φορετού εξοπλισμού, όχι με τη μορφή γαντιού, αλλά με ένα μενταγιόν με ενσωματωμένη υπέρυθρη κάμερα. Η είσοδος της κάμερας χρησιμοποιείται σε εφαρμογή οικιακού αυτοματισμού που απευθύνεται κυρίως σε ηλικιωμένα άτομα, για τον χειρισμό του επιπέδου των φώτων, του θερμοστάτη, της μουσικής κλπ., μέσω αναγνώρισης Mid-air δυναμικών και στατικών χειρονομιών. Παρουσιάζεται επίσης η προοπτική χρήσης δεδομένων της

διεπαφής για ιατρική διάγνωση τρόμων (ακούσιων ρυθμικών κινήσεων των χεριών). Ο Starner, σε παλαιότερη δημοσίευσή του με τους Weaver & Pentland [25] χρησιμοποιεί ξανά κάμερα, αυτή τη φορά απλή web camera, την οποία τοποθετεί σε δύο διαθέσιμες διαμορφώσεις (desk-mounted ή head-mounted) για αναγνώριση και μετάφραση προτάσεων από Mid-Air δυναμικές χειρονομίες της Αμερικανικής Νοηματικής Γλώσσας (ASL) με μεγάλη ακρίβεια και σε πραγματικό χρόνο. Τέλος, η Balachandra [32] παρουσιάζει διεπαφή για τη βοήθεια ατόμων με κινητικά προβλήματα στον χειρισμό συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) μέσω χειρονομιών που αναγνωρίζονται από αισθητήρες απόστασης.

Εστιάζοντας στον τομέα του οικιακού αυτοματισμού, οι Starner et al. [20] παρατηρούν πως οι διαδεδομένες διεπαφές δεν είναι φιλικές προς την πλειονότητα των χρηστών, ωστόσο κάνουν σχεδόν αδύνατη τη χρήση τους από ηλικιωμένους ή άτομα με μειωμένες κινητικές δεξιότητες, μειωμένη κινητικότητα ή απώλεια όρασης. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι τέτοιου είδους διεπαφές απαιτούν τη χρήση δυσανάγνωστων και δύσκολων στον χειρισμό χειριστηρίων, δυσνόητων φορητών οθονών αφής, επιτοιχείων διεπαφών που απαιτούν τη φυσική μετακίνηση του χρήστη στο σημείο εγκατάστασής τους, ή την αναγνώριση ομιλίας η οποία προκαλεί ανεπιθύμητο θόρυβο, επηρεάζεται από άλλους πιθανούς ήχους αυξάνοντας την πιθανότητα λανθασμένων αναγνωρίσεων και τέλος δεν αποτελεί κομψή μορφή αλληλεπίδρασης καθώς απαιτεί τη διακοπή άλλων διεργασιών για την επικοινωνία με το σύστημα [20]. Αντίθετα, παρατηρούν πως οι χειρονομιακές διεπαφές δεν επηρεάζονται από τέτοιου είδους δυσλειτουργίες του ανθρώπινου σώματος, παρουσιάζοντας στοιχεία που δείχνουν πως ακόμα και σε περιπτώσεις εξαιρετικά μειωμένης κινητικής δεξιότητας λόγω εγκεφαλικής παράλυσης, οι ασθενείς συνεχίζουν να είναι σε θέση να πραγματοποιούν ικανοποιητικό αριθμό διακριτών χειρονομιών. Συνεπώς, καταλήγουν πως οι χειρονομιακές διεπαφές προσφέρουν τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης ακόμα και σε άτομα με εγκεφαλική παράλυση ή σκλήρυνση κατά πλάκας, ή καταστάσεις έκτακτης ανάγκης στις οποίες δεν είναι δυνατή η ομιλία [20].

Ένα ακόμα θετικό στοιχείο των χειρονομιακών διεπαφών, πέρα από την αναγνώριση χειρονομιών για τον σκοπό της αλληλεπίδρασης ενός χρήστη με ένα σύστημα, αποτελεί το γεγονός ότι έχουν την δυνατότητα ανάλυσης των χαρακτηριστικών των χειρονομιών για την εύρεση παθολογικών τρόμων (ακούσιων ρυθμικών κινήσεων των χεριών) οι οποίοι αποτελούν συχνό σύμπτωμα πολλών παθήσεων που πλήττουν ηλικιωμένα άτομα. Η παραπάνω λειτουργία έχει ήδη ενσωματωθεί στη λειτουργική διεπαφή των Starner et al. [20], με τις πληροφορίες της ανάλυσης να μπορούν στη συνέχεια να εξαχθούν από την εφαρμογή και να χρησιμοποιηθούν για ιατρική διάγνωση και θεραπεία.

Αξιοποίηση Δυνατότητας Ανέπαφης Αλληλεπίδρασης Χειρονομιακών Διεπαφών

Η χρήση χειρονομιών μπορεί να έχει ιδιαίτερα θετική επίδραση στην αλληλεπίδραση με διεπαφές που χρησιμοποιούνται σε αποστειρωμένα περιβάλλοντα, αξιοποιώντας τη δυνατότητα ανέπαφης αλληλεπίδρασης και μειώνοντας τον κίνδυνο μόλυνσης. Οι Pauchot, Di Tommaso, Lounis, Benassarou, Mathieu, Bernot & Aubry [27], New, Hasanbelliu & Aguilar [19] και Mewes, Saalfeld, Riabikin, Skalej & Hansen [28] παρουσιάζουν τρία πανομοιότυπα συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν είτε συσκευή LeapMotion ή απλή web camera για την αναγνώριση δυναμικών ή/και στατικών χειρονομιών και τη σύγχρονη, ανέπαφη και φυσική αλληλεπίδραση ενός χειρουργού με ιατρικό λογισμικό απεικόνισης τριδιάστατων μοντέλων αξονικής τομογραφίας κατά τη

διάρκεια επεμβάσεων. Για την αλληλεπίδραση με αυτά τα συστήματα, υπό άλλες συνθήκες, θα απαιτούνταν η χρήση πληκτρολογίου και ποντικιού.

Στο περιβάλλον ενός χειρουργείου η αποστείρωση και η συνολική χρονική διάρκεια αποτελούν κρίσιμες παραμέτρους για την προστασία του ασθενή [27]. Αυτές οι παράμετροι τίθενται σε κίνδυνο από την αλληλεπίδραση με έναν υπολογιστή είτε αυτή εξαρτάται από μη-αποστειρωμένα μέλη στα οποία έχει ανατεθεί ο χειρισμός του, είτε η αλληλεπίδραση γίνεται από τον ίδιο τον χειρουργό ακολουθούμενη κάθε φορά από την αλλαγή γαντιών [27]. Και οι δύο παραπάνω τεχνικές διακόπτουν τη ροή εργασίας και είναι επιρρεπείς στην αύξηση του χρόνου των χειρουργικών επεμβάσεων, της πιθανότητας μόλυνσης του ασθενή και του κόστους [27]. Για αυτόν τον λόγο, σύμφωνα με τους Pauchot et al. [27], συσκευές οι οποίες πραγματοποιούν αναγνώριση χειρονομιών και επιτρέπουν την αλληλεπίδραση με έναν υπολογιστή, χωρίς χρήση φορετού εξοπλισμού ή την ανάγκη φυσικής επαφής του χρήστη με οποιαδήποτε συσκευή, παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον στον τομέα της χειρουργικής. Αντίστοιχα, η δυνατότητα ανέπαφης αλληλεπίδρασης είναι ωφέλιμη και σε διεπαφές οι οποίες βρίσκονται σε δημόσιους ή κοινόχρηστους χώρους και που προορίζονται να χρησιμοποιηθούν από μεγάλο πλήθος διαφορετικών χρηστών.

Χειρονομιακές Διεπαφές σε Πολιτιστικές Εφαρμογές

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, από τα αποτελέσματα της έρευνας των Hürst & Van Wezel [30] προκύπτει πως η χρήση χειρονομιών συνιστάται για διεπαφές στις οποίες δίνεται προτεραιότητα στην ενίσχυση της ενασχόλησης και της ικανοποίησης του χρήστη. Μια κατηγορία τέτοιων διεπαφών είναι αυτές που συναντώνται σε πολιτιστικούς χώρους όπως τα μουσεία, σκοπός των οποίων είναι η μεταφορά γνώσεων μέσω ενεργής συμμετοχής των χρηστών. Οι Alisi et al. [4] χρησιμοποιούν ψηφιακή εκδοχή μεγάλης τοιχογραφίας στο μουσείο του Palazzo Medici Riccardi για την πλοήγηση με φυσικό τρόπο και τη δυνατότητα λήψης πληροφοριών με ηχητική μορφή μέσω υπόδειξης συγκεκριμένων χαρακτήρων που απεικονίζονται σε αυτή. Χρησιμοποιείται μια μεγάλη οθόνη προβολής στην οποία προβάλλεται η τοιχογραφία, με τις στατικές Mid-Air χειρονομίες να αναγνωρίζονται από ένα ζευγάρι καμερών. Οι χειρονομίες αναγνωρίζονται χωρίς χρήση φορετού ή άλλου είδους εξοπλισμού και δεν απαιτούν εκπαίδευση καθώς είναι όμοιες με αυτές που οι χρήστες θα πραγματοποιούσαν δείχνοντας ένα σημείο της φυσικής τοιχογραφίας κατά την πιθανή ερώτησή τους προς κάποιον ξεναγό προκειμένου να λάβουν πληροφορίες. Οι Kontorpanagou, Tsiplis & Komianos [26] παρουσιάζουν πλαίσιο εφαρμογής για χρήση από επισκέπτες σε μνημεία η οποία απαιτεί ως είσοδο την κάμερα κινητού τηλεφώνου ή κάσκας επαυξημένης πραγματικότητας. Μέσω αυτών πραγματοποιείται αναγνώριση του μνημείου ή της τοιχογραφίας και επιστρέφονται σχετικές πληροφορίες στον επισκέπτη. Σε μια από τις δυνατές παραλλαγές της εφαρμογής προτείνεται η χρήση χειρονομιών για την επισήμανση σημείων ενδιαφέροντος (χαρακτήρων, αντικειμένων, κειμένου κλπ.) στα εκθέματα, με καινοτόμο τρόπο που αποφεύγει την επικάλυψή τους από τα χέρια του χρήστη. Σε αντίστοιχο λειτουργικό πρωτότυπο εφαρμογής, οι Kyriakou & Hermon [29] συνδυάζουν τη χρήση φυσικής αλληλεπίδρασης με την επαυξημένη πραγματικότητα για εφαρμογές σχετικές με την πολιτιστική κληρονομιά. Πιο συγκεκριμένα, συνδυάζουν την κάμερα ενός κινητού τηλεφώνου τοποθετημένου σε κάσκα εικονικής πραγματικότητας και έναν αισθητήρα LeapMotion για την αναγνώριση Mid-air χειρονομιών και την αξιοποίησή τους στη φυσική αλληλεπίδραση με ψηφιακά εκθέματα τα οποία εμφανίζονται στην οθόνη της κινητής συσκευής επαυξάνοντας τον

φυσικό κόσμο.

Η χρήση χειρονομιακών διεπαφών στον χώρο ενός μουσείου δεν προσφέρει εξειδικευμένα πλεονεκτήματα, έρχεται όμως τόσο με όλα τα πλεονεκτήματα των χειρονομιακών διεπαφών (βλ. αντίστοιχη υπο-υποενότητα της υποενότητας 2.1.3), όσο με και τα γενικότερα πλεονεκτήματα των φυσικών διεπαφών (βλ. υποενότητα 2.1.2). Συνοπτικά, οι χειρονομιακές διεπαφές προσφέρουν τη δυνατότητα διαισθητικής αλληλεπίδρασης σε όλους τους επισκέπτες, ανεξάρτητα από την ηλικία και την εμπειρία τους σε χρήση αντίστοιχων διεπαφών, αυξάνοντας την ενεργή συμμετοχή τους και συνδυάζοντας την λήψη πληροφοριών πολιτιστικού περιεχομένου με την ικανοποίησή τους.

2.2 Διαδραστικά Ψηφιακά Μουσειακά Εκθέματα

Η εφαρμογή χειρονομιακών διεπαφών σε χώρους πολιτιστικής κληρονομιάς γίνεται συνήθως σε συνδυασμό με διαδραστικά ψηφιακά αντικείμενα/εκθέματα. Τα ψηφιακά αντικείμενα μπορούν να είναι είτε γραφικά που έχουν παραχθεί από υπολογιστή όπως διδιάστατα και τριδιάστατα αντικείμενα, μενού, παράθυρα κλπ., είτε ψηφιακές αναπαραστάσεις φυσικών αντικειμένων [11] όπως ψηφιοποιημένοι πίνακες ζωγραφικής, ηλεκτρονικά βιβλία και μοντέλα τριδιάστατων αντικειμένων όπως ένας αμφορέας. Ψηφιακά διαδραστικά εκθέματα συναντώνται συχνά σε επιστημονικές εκθέσεις και μουσεία, χωρίς ωστόσο να περιορίζονται σε αυτά καθώς μπορούν να εφαρμοστούν ακόμα και σε παραδοσιακά μουσεία πολιτιστικής κληρονομιάς [35].

Στη διαθέσιμη βιβλιογραφία παρατηρείται η τάση να χρησιμοποιούνται μηχανές δημιουργίας τριδιάστατων γραφικών και παιχνιδιών (game engines) όπως η Unreal Engine ¹ και η Unity ² για την ανάπτυξη διαδραστικών ψηφιακών εκθεμάτων και γενικότερα εφαρμογών πολιτιστικής κληρονομιάς [35], [26]. Οι game engines είναι ισχυρά εργαλεία για διαδραστική, σύγχρονη αλληλεπίδραση, κάνοντας δυνατή τη συνεχή ανατροφοδότηση μεταξύ χρήστη και εικονικού περιβάλλοντος [35].

2.2.1 Οφέλη Ψηφιακών Εκθεμάτων

Ένα πρόβλημα των φυσικών μουσείων είναι η περιορισμένη πρόσβαση των επισκεπτών σε εκθέματα λόγω της ευαίσθητης φύσης και της μοναδικότητάς τους, ή λόγω έλλειψης φυσικού χώρου για την έκθεση όλων των εκθεμάτων. Επιπλέον, στους επισκέπτες επιτρέπεται να αγγίζουν τα εκθέματα μόνο σε εξαιρετικά σπάνιες περιπτώσεις [29]. Μέσω της χρήσης ψηφιακών αντικειμένων μειώνεται το κόστος σε χρόνο και σε χρήματα για την απόκτηση πρόσβασης στο περιεχόμενο των εκθεμάτων, ενώ παράλληλα δίνεται η δυνατότητα παράκαμψης περιορισμών του πραγματικού κόσμου όπως η απαγόρευση της αφής, καλώντας πλέον τους χρήστες να αλληλεπιδράσουν με τα ψηφιακά εκθέματα.

2.2.2 Σύγκριση Μεθόδων Διάδρασης με Ψηφιακά Εκθέματα

Η χρήση του τρόπου χειρισμού συμβατικών γραφικών διεπαφών για την αλληλεπίδραση με ψηφιακά αντικείμενα δεν ενδείκνυται για πληθώρα λόγων. Η εμπειρία χρήσης απομακρύνεται από τον φυσικό κόσμο λόγω της ανάγκης χειρισμού μενού και κουμπιών

¹<https://www.unrealengine.com/en-US>

²<https://unity.com/>

και της απαίτησης άμεσης χρήσης εξοπλισμού όπως πληκτρολογίων και ποντικιών. Επίσης, η ίδια η χρήση περιφερειακών συσκευών όπως το μοντέλο ποντίκι-πληκτρολόγιο έχει κάποιους περιορισμούς, όπως η δυσκολία στη χρήση τους από ορισμένα ηλικιωμένα άτομα ή άτομα με αναπηρία, αλλά και περιορισμούς σχετικά με τη φυσική επαφή σε δημόσιους χώρους για λόγους υγιεινής.

Αντίθετα, η χρήση φυσικών/χειρονομαϊκών διεπαφών για τη διάδραση με ψηφιακά αντικείμενα συνοδεύεται από μια σειρά πλεονεκτημάτων. Αρχικά, εφαρμόζονται ενέργειες χειρισμού οι οποίες είναι ήδη γνωστές στους χρήστες (όπως το ξεφύλλισμα ενός βιβλίου και η μετακίνηση ενός φυσικού αντικειμένου στον χώρο), διευρύνοντας τον πληθυσμό στον οποίο απευθύνεται η διεπαφή, δεδομένου ότι η αλληλεπίδραση με αυτήν παύει να εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ηλικία και την εμπειρία χρήσης ηλεκτρονικών υπολογιστών. Επιπλέον, η αμεσότητα της φυσικής διάδρασης και η μείωση των επιπέδων μεταξύ του χρήστη και του περιεχομένου δίνουν την εντύπωση σε αυτόν πως αλληλεπιδρά με το ίδιο το ψηφιακό αντικείμενο. Οι Barneche-Naya & Hernández-Ibañez [35] επιβεβαιώνουν τα παραπάνω, αναφέροντας πως η χρήση φυσικής αλληλεπίδρασης με τέτοιου είδους εκθέματα συνηθίζεται για την αποφυγή σύνθετων μορφών αλληλεπίδρασης και την προσφορά στους χρήστες μιας περισσότερο διαισθητικής και άνετης λειτουργίας.

2.2.3 Οφέλη Διαδραστικότητας Ψηφιακών Εκθεμάτων

Σε έρευνα των Hornecker & Stifter [2] γίνεται η δυσάρεστη παρατήρηση πως οι επισκέπτες ενός μουσείου τείνουν να επικεντρώνουν το ενδιαφέρον τους σε εκθέματα με τα οποία νιώθουν οικία, αντί να εκθέτουν τον εαυτό τους σε νέα-διαφορετικά εκθέματα τα οποία έχουν περισσότερες πιθανότητες να τους προσφέρουν γνώσεις και εμπειρίες που δεν κατέχουν ήδη. Στα πλαίσια της έρευνας παρατήρησαν πως ηλικιωμένοι επισκέπτες απέφευγαν οτιδήποτε έμοιαζε με υπολογιστή και επικεντρώνονταν σχεδόν αποκλειστικά σε παραδοσιακά εκθέματα, ενώ το ακριβώς αντίθετο συνέβαινε με νέους επισκέπτες και παιδιά, οι οποίοι αφιέρωναν το μεγαλύτερο μέρος της επίσκεψής του σε ψηφιακά εκθέματα. Τα μόνα εκθέματα που κατάφεραν να προσελκύσουν επισκέπτες όλων των ειδών ήταν τα «hands-on» [2], δηλαδή παραδοσιακά φυσικά εκθέματα επαυξημένα με επιπλέον λειτουργίες με χρήση κάποιας μορφής υπολογιστή, η ύπαρξη του οποίου δεν ήταν προφανής αλλά προσεκτικά κρυμμένη. Σε αυτού του είδους τα εκθέματα, από τη μια οι ηλικιωμένοι επισκέπτες ξεπέρασαν το εμπόδιο αλληλεπίδρασης με έναν υπολογιστή [2], και από την άλλη, νέοι επισκέπτες έλαβαν την τεχνολογική πλευρά των εκθεμάτων ως αφορμή η οποία τους ώθησε να μάθουν για θέματα όπως η πολιτιστική κληρονομιά, ακόμα και αν αρχικά δεν παρουσίαζαν ενδιαφέρον για αυτά [29], [2]. Σύμφωνα με τους Hornecker & Stifter [2], αυτό αποδεικνύει τη χρησιμότητα και την καταλληλότητα στο μουσειακό περιβάλλον διαδραστικών συστημάτων που συνδυάζουν απτική αλληλεπίδραση και υπολογιστική επαύξηση, καθώς είναι αποτελεσματικά στο να απευθύνονται σε ευρύ φάσμα χρηστών και να διεγείρουν το ενδιαφέρον για καινούρια-άγνωστα θέματα.

Ένα ακόμα πλεονέκτημα των διαδραστικών εκθεμάτων είναι ότι συνδυάζουν γνώση με διασκέδαση, αυξάνοντας την οικειότητα και τον εντυπωσιασμό των χρηστών προς το περιεχόμενο των εκθεμάτων, μειώνοντας την αποξένωση της γνώσης, και διεγείροντας τη δημιουργικότητα και τη φαντασία τους [36]. Το πιο σημαντικό εύρημα της έρευνας των Mikalef, Giannakos, Chorianopoulos & Jaccheri [37], σύμφωνα με τους ίδιους,

είναι πως η χρήση διαδραστικότητας έχει ιδιαίτερα θετική επίδραση στην απόκτηση γνώσης, κάνοντας χρήσιμη την εισαγωγή της σε διεργασίες άτυπης μάθησης όπως αυτή που πραγματοποιείται σε ένα μουσείο. Αντίστοιχα και από τους Keil, Pujol, Rous-sou, Engelke, Schmitt, Bockholt & Eleftheratou [1] παρατηρείται ενδεχόμενη αύξηση της ενεργού συμμετοχής και της αποτελεσματικότητας στην επικοινωνία πληροφοριών και γνώσεων μέσω της χρήσης διαδραστικών εκθεμάτων πολιτιστικής κληρονομιάς. Οι Barneche-Naya & Hernández-Ibañez [35] συμπεραίνουν πως η εφαρμογή διαδραστικότητας είναι ένα πολύτιμο εργαλείο το οποίο βοηθάει τα μουσεία να πετύχουν τον πραγματικό τους στόχο που είναι η διατήρηση και η διάδοση της γνώσης.

Τέλος, η χρήση ψηφιακών διαδραστικών εκθεμάτων και διεπαφών, όπως παρατηρούν οι Mikalef et al. [37], δεν συνεπάγεται απαραίτητα την αρνητική επίδραση στο ενδιαφέρον προς τα φυσικά εκθέματα και γενικότερα το φυσικό περιβάλλον. Τα ψηφιακά εκθέματα δεν έχουν ως σκοπό την αντικατάσταση των φυσικών, αλλά την επαύξησή τους όπου αυτό είναι απαραίτητο και ωφέλιμο. Τα ψηφιακά διαδραστικά εκθέματα θα πρέπει να συνυπάρχουν με τα αντίστοιχα φυσικά και η προσοχή των επισκεπτών θα πρέπει να μοιράζεται μεταξύ αυτών.

2.2.4 Ψηφιακά Διαδραστικά Εκθέματα σε Μουσειακές Διεπαφές

Συνεχίζοντας τις αναφορές της προηγούμενης ενότητας σε χειρονομιακές διεπαφές που έχουν δημιουργηθεί για χρήση σε πολιτιστικούς χώρους, παρακάτω αναφέρονται διεπαφές οι οποίες χρησιμοποιούν διαδραστικά ψηφιακά εκθέματα. Με τον όρο «ψηφιακό αντικείμενο» ορίζονται μεταξύ άλλων οι ψηφιακές αναπαραστάσεις φυσικών αντικειμένων. Μια περίπτωση ψηφιακής αναπαράστασης ενός διδιάστατου αντικειμένου πραγματοποιείται στη φυσική διεπαφή των Alisi et al. [4], στην οποία μια μεγάλη τοιχογραφία που καλύπτει περιμετρικά ένα ολόκληρο δωμάτιο στο μουσείο του Palazzo Medici Riccardi έχει φωτογραφηθεί και επεξεργαστεί κατάλληλα, δημιουργώντας μια λεπτομερή ψηφιακή αναπαράσταση, σημαντικά στοιχεία της οποίας έχουν στη συνέχεια επαυξηθεί με επιπλέον πληροφορίες οι οποίες γίνονται διαθέσιμες στους επισκέπτες κατά την αλληλεπίδραση με αυτά. Αντίστοιχα, μια περίπτωση ψηφιακής αναπαράστασης ενός τριδιάστατου φυσικού αντικειμένου παρουσιάζεται από τους Stricker & Kettenbach [38], το σύστημα των οποίων προσφέρει τη δυνατότητα προβολής ψηφιακών μνημείων, επαυξάνοντας με αυτά σε πραγματικό χρόνο τα ερείπια των πραγματικών μνημείων στον φυσικό κόσμο. Το σύστημα αποτελείται από μια φορητή κάσκα επαυξημένης πραγματικότητας η οποία επιτρέπει στους επισκέπτες να βλέπουν την ψηφιακή ανοικοδόμηση των μνημείων χωρίς να τους αποσπά από τον φυσικό περιβάλλοντα χώρο. Μια διεπαφή που ξεφεύγει ακόμα περισσότερο από την ένα-προς-ένα ψηφιακή αναπαράσταση φυσικών αντικειμένων και εκμεταλλεύεται τις δυνατότητες των ψηφιακών αντικειμένων είναι αυτή των Papagiannakis, Schertenleib, O’Kennedy, Arevalo-Poizat, Magnenat-Thalmann, Stoddart & Thalmann [39]. Σε αυτήν πραγματοποιείται η δημιουργία τριδιάστατων ψηφιακών περιβαλλόντων από διδιάστατες φυσικές τοιχογραφίες και πίνακες, αναβιώνοντας σε πραγματικό χρόνο τη χλωρίδα και την πανίδα που απεικονίζονται σε αυτά. Το σύστημα βασίζεται στην είσοδο που λαμβάνει από κάμερα κάσκας επαυξημένης πραγματικότητας, την οποία επαυξάνει απρόσκοπτα και σε πραγματικό χρόνο με την ακριβή απόδοση ρεαλιστικών προσομοιώσεων ψηφιακών ανθρώπων και φυτών. Με αυτόν τον τρόπο, στον επισκέπτη του αρχαίου χώρου παρουσιάζεται ένα εμβυθιστικό και πρωτοποριακό διαδραστικό ταξίδι στο παρελθόν.

2.3 Χρησιμότητα Συστήματος

Σύμφωνα με τον Nielsen [40] η χρησιμότητα (usefulness) ενός συστήματος ορίζεται ως το ζήτημα του κατά πόσο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίτευξη του επιθυμητού στόχου, και μπορεί να αναλυθεί στην ωφελιμότητα (utility) και τη χρησιμότητα (usability) του συστήματος. Η ωφελιμότητα σχετίζεται με τον βαθμό στον οποίο υπάρχει στο σύστημα η απαραίτητη λειτουργικότητα μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η εκτέλεση όλων των απαραίτητων ενεργειών, ενώ η χρησιμότητα αφορά το ζήτημα του πόσο καλά οι χρήστες μπορούν να κάνουν χρήση αυτής της λειτουργικότητας. Από το ISO 9241-11:2018 [41] η χρησιμότητα ορίζεται ως «ο βαθμός στον οποίο ένα σύστημα, προϊόν ή υπηρεσία μπορεί να χρησιμοποιηθεί από συγκεκριμένους χρήστες για την επίτευξη συγκεκριμένων στόχων με αποτελεσματικότητα, αποδοτικότητα και ικανοποίηση, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες». Επίσης, σημειώνεται πως η χρησιμότητα δεν αποτελεί ιδιότητα ενός συστήματος, αλλά σχετίζεται με το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης με αυτό, και πως είναι μια πιο εμπεριστατωμένη έννοια από αυτήν που της αποδίδεται από την κοινή αντίληψη κατά την οποία η χρησιμότητα γίνεται κατανοητή ως «ευκολία χρήσης» ή «φιλικότητα προς τον χρήστη». Όπως αναφέρεται και από τον Nielsen [40], η χρησιμότητα μετράται συναρτήσει συγκεκριμένων χρηστών και συγκεκριμένων διεργασιών, και πως κάλλιστα το ίδιο σύστημα θα μπορούσε να χαρακτηριστεί με διαφορετική χρησιμότητα αν η χρήση του γινόταν για την εκτέλεση διαφορετικών διεργασιών από διαφορετικές ομάδες χρηστών. Σύμφωνα με τους Dybkjær και Bernsen [42], οι ίδιοι οι προγραμματιστές ενός συστήματος μπορούν να ανακαλύψουν πολλά προβλήματα στη χρησιμότητα του, ιδιαίτερα μέσω της χρήσης προτύπων χρησιμότητας, κριτηρίων αξιολόγησης και εργαλείων σχεδίασης. Το πρόβλημα που προκύπτει από την αξιολόγηση αποκλειστικά από τους προγραμματιστές είναι πως αυτοί γνωρίζουν πολύ καλά πως να αλληλεπιδράσουν με το σύστημα προκειμένου να αποφύγουν τη δημιουργία προβληματικών συνθηκών τις οποίες το σύστημα δεν μπορεί να διαχειριστεί. Για αυτόν τον λόγο συμπεραίνουν πως στην αξιολόγηση της χρησιμότητας θα πρέπει να συμμετέχουν και αντιπροσωπευτικοί χρήστες από το μέρος του πληθυσμού στο οποίο το σύστημα απευθύνεται.

Σύμφωνα με τους Federico [43] και Nielsen [44], [40] οι πέντε βασικές διαστάσεις που επηρεάζουν τη χρησιμότητα είναι η ευκολία εκμάθησης, η αποδοτικότητα, η ευκολία απομνημόνευσης, τα σφάλματα και η υποκειμενική ικανοποίηση των χρηστών.

2.3.1 Ευκολία Εκμάθησης

Η παράμετρος της ευκολίας εκμάθησης (Learnability) περιγράφει τον βαθμό στον οποίο οι χρήστες είναι σε θέση να εξοικειωθούν με το σύστημα με ευκολία [43]. Από τον Nielsen [40] χαρακτηρίζεται ως η πιο βασική αρχή της χρησιμότητας, δεδομένης της απαίτησης των περισσότερων συστημάτων να προσφέρουν εύκολη εκμάθηση, αλλά και καθώς σχετίζεται με την πρώτη επαφή των νέων χρηστών με το σύστημα. Η ευκολία εκμάθησης αφορά την εμπειρία αρχάριων χρηστών στο αρχικό στάδιο της γνωριμίας του τρόπου λειτουργίας του συστήματος. Συστήματα με υψηλή ευκολία εκμάθησης επιτρέπουν στους χρήστες να φτάσουν ένα ικανοποιητικό επίπεδο επάρκειας χρήσης σε σύντομο χρονικό διάστημα. Οι περισσότερες διεπαφές χρήστη ξεκινούν θεωρώντας πως οι χρήστες αρχικά δεν μπορούν να εκτελέσουν οποιαδήποτε διεργασία. Εξαίρεση σε αυτό αποτελούν τα λεγόμενα «walk-up-and-use» συστήματα, τα οποία προορίζεται να χρησιμοποιηθούν για μία μοναδική φορά συνεπώς απαιτείται να έχουν μηδενικό χρόνο

εκμάθησης, επιτρέποντας την επιτυχημένη και αποδοτική αλληλεπίδραση αρχάριων χρηστών από την πρώτη προσπάθεια χρήσης τους [40].

Για τον προσδιορισμό της ευκολίας εκμάθησης αρκεί η μέτρηση του χρόνου που απαιτείται προκειμένου χρήστες που δεν έχουν χρησιμοποιήσει ξανά το εξεταζόμενο σύστημα να φτάσουν σε κάποιο προκαθορισμένο επίπεδο επιδεξιότητας στη χρήση του. Προκειμένου η μέτρηση να είναι ορθή θα πρέπει οι χρήστες που θα επιλεγούν να αποτελούν αντιπροσωπευτικό δείγμα του επιδιωκόμενου πληθυσμού χρηστών στον οποίο απευθύνεται το σύστημα. Ο πιο διαδεδομένος τρόπος να εκφραστεί το επίπεδο επιδεξιότητας είναι με τη δήλωση πως οι χρήστες θα πρέπει να είναι σε θέση να ολοκληρώσουν κάποια συγκεκριμένη διεργασία με επιτυχία, ή εναλλακτικά, να ολοκληρώσουν ένα σύνολο από συγκεκριμένες διεργασίες σε ορισμένο ελάχιστο χρονικό διάστημα προκειμένου να θεωρηθεί πως γνωρίζουν να χρησιμοποιούν το σύστημα [40].

Η εκμάθηση ενός συστήματος θα πρέπει να είναι εύκολη προκειμένου οι χρήστες να μπορούν άμεσα να είναι παραγωγικοί με αυτό [40], ενώ προτεραιότητα θα πρέπει να δίνεται στην παράμετρο της ευκολίας εκμάθησης σε περιπτώσεις συστημάτων που χρησιμοποιούνται συνεχώς από νέους χρήστες [44].

2.3.2 Αποδοτικότητα — Efficiency

Η αποδοτικότητα σύμφωνα με το ISO 9241-11:2018 [41] ορίζεται από τους πόρους που χρησιμοποιούνται συναρτήσει του αποτελέσματος που επιτυγχάνεται, με τυπικούς πόρους να περιλαμβάνουν τον χρόνο, την ανθρώπινη προσπάθεια, το κόστος και τα υλικά που καταναλώνονται. Σύμφωνα με τον Nielsen [40] ο όρος αναφέρεται στο σταθερό επίπεδο απόδοσης έμπειρων χρηστών. Για ορισμένους χρήστες η απόκτηση του τελικού επιπέδου μέγιστης απόδοσης ενδέχεται να καθυστερεί και για άλλους η διαδικασία της εκμάθησης συνεχίζεται επ' αόριστον, ωστόσο, σύμφωνα με τους Carroll και Rosson [45] η απόδοση των περισσότερων χρηστών φαίνεται να σταθεροποιείται μόλις αυτοί μάθουν τις στοιχειώδεις λειτουργίες ενός συστήματος. Επίσης, σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό, για τη μέτρηση της αποδοτικότητας απαιτείται η πρόσβαση σε έμπειρους χρήστες. Ο Nielsen [40] αναφέρει τρεις περιπτώσεις κατά τις οποίες ένας χρήστης μπορεί να χαρακτηριστεί ως έμπειρος: i) Όταν ένας χρήστης έχει ήδη χρησιμοποιήσει ένα σύστημα για κάποιο χρονικό διάστημα ή/και θεωρεί ο ίδιος πως είναι έμπειρος, ii) με την ολοκλήρωση από έναν νέο χρήστη της χρήσης ενός αρχικά αγνώστου προς αυτόν συστήματος για συγκεκριμένο αριθμό ωρών, όταν αυτό του ζητηθεί από τους προγραμματιστές, και iii) με τη σταθεροποίηση του ρυθμού εκμάθησης νέων χρηστών μέσω της καταγραφής της απόδοσής τους σε περιπτώσεις διεπαφών όπως αυτή των Nielsen και Phillips [46] στις οποίες η ευκολία εκμάθησης δεν αποτελεί σημαντικό παράγοντα. Όταν κάποια από τις παραπάνω συνθήκες είναι αληθής τότε ένας χρήστης μπορεί να θεωρηθεί έμπειρος στη χρήση ενός συστήματος και να πραγματοποιηθεί μέτρηση της αποδοτικότητάς του σε αυτό.

Μια τυπική μέθοδος υπολογισμού της αποδοτικότητας γίνεται καθορίζοντας τον απαραίτητο βαθμό εμπειρογνωσίας με βάση τις ανάγκες του συστήματος, την ύπαρξη διαθέσιμου αντιπροσωπευτικού δείγματος χρηστών με την παραπάνω εμπειρογνωσία, και τη μέτρηση του χρόνου που απαιτείται για την εκτέλεση τυπικών δοκιμαστικών διεργασιών από τους εν λόγω χρήστες [40]. Εναλλακτικά, σύμφωνα με τον Federico [43], σε περιπτώσεις διεπαφών στις οποίες ο χρόνος δεν αποτελεί σημαντικό παράγοντα η αποδοτικότητα θα μπορούσε να προσδιοριστεί από τον αριθμό των ενεργειών που εκτε-

λούνται για την ολοκλήρωση των διεργασιών.

Ο Nielsen [40] συμπεραίνει πως ένα σύστημα θα πρέπει να είναι αποδοτικό στη χρήση του προκειμένου να επιτρέπει την επίτευξη υψηλής παραγωγικότητας μόλις ο χρήστης ολοκληρώσει την εκπαίδευσή του. Οι Hinrichs, Schmidt, Isenberg, Hancock και Carpendale [47] ωστόσο, αναφέρουν πως τα παραπάνω αφορούν συστήματα η χρήση των οποίων πρόκειται να είναι συχνή, με την αποδοτικότητα να αντιμετωπίζεται συνήθως ως ο πιο σημαντικός παράγοντας και την πιθανή έλλειψη εύκολης και γρήγορης εκμάθησης να μην αποτελεί εμπόδιο. Αντίθετα, σε walk-up-and-use διεπαφές στις οποίες υπάρχει η απαίτηση άμεσης χρήσης του συστήματος, καθώς η περίοδος διάδρασης με δημόσιες διεπαφές αυτού του είδους είναι συνήθως μικρή και μη επαναλαμβανόμενη, η διαισθητικότητα και η άμεση ευχρηστιά είναι περισσότερο σημαντικά. Συνεπώς, όπως αναφέρουν, τεχνικές διάδρασης οι οποίες είναι γρήγορες μετά την εκμάθησή τους, αλλά μη-οικείες στους περισσότερους χρήστες, απαιτώντας καθοδήγηση και μεγάλης διάρκειας εκπαίδευση, είναι ακατάλληλες και η χρήση τους θα ήταν άστοχη σε τέτοιου είδους διεπαφές.

2.3.3 Ευκολία Απομνημόνευσης — Memorability

Ο παράγοντας της απομνημόνευσης περιγράφει το μέρος των αποκτηθέντων από την αλληλεπίδραση με το σύστημα γνώσεων και ικανοτήτων, τις οποίες οι χρήστες διατηρούν ακόμα και μετά το πέρας διαστήματος έλλειψης αλληλεπίδρασης με αυτό [43]. Σε μεγάλο βαθμό, η παράμετρος της ευκολίας εκμάθησης και η παράμετρος της ευκολίας απομνημόνευσης ενός συστήματος συσχετίζονται, με βελτιώσεις στην αρχική ευκολία εκμάθησης να επηρεάζουν και την ικανότητα απομνημόνευσης των λειτουργιών του. Κατά κανόνα όμως, η χρησιμότητα της επιστροφής στη χρήση ενός συστήματος ενός περιστασιακού χρήστη διαφέρει από τη χρησιμότητα της πρώτης αλληλεπίδρασης με αυτό ενός αρχάριου χρήστη [40].

Η ευκολία απομνημόνευσης επηρεάζει κυρίως τους περιστασιακούς χρήστες ενός συστήματος. Περιστασιακοί χαρακτηρίζονται οι χρήστες οι οποίοι χρησιμοποιούν ένα σύστημα κατά διαστήματα, συνεπώς απέχουν από τους έμπειρους χρήστες οι οποίοι χρησιμοποιούν το σύστημα συχνά, και παράλληλα διαφέρουν από τους αρχάριους χρήστες καθώς διαθέτουν προηγούμενη εμπειρία χρήσης του συστήματος πάνω στην οποία μπορούν να βασίσουν την αλληλεπίδρασή τους χωρίς να χρειάζεται να μάθουν το σύστημα από την αρχή [40].

Υπάρχουν δύο τρόποι για τη μέτρηση της ικανότητας απομνημόνευσης που προσφέρει ένα σύστημα: την εκτέλεση δοκιμής του συστήματος με περιστασιακούς χρήστες οι οποίοι δεν έχουν αλληλεπιδράσει με το σύστημα για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και την καταγραφή του χρόνου που χρειάζονται για την εκτέλεση τυπικών διεργασιών, ή εναλλακτικά με την εκτέλεση δοκιμής μνήμης ζητώντας από τους χρήστες να περιγράψουν ή να ονοματίσουν εντολές που εκτελούν συγκεκριμένες διεργασίες, καταγράφοντας τον συνολικό αριθμό των σωστών απαντήσεων [40].

Η εύκολη απομνημόνευση της λειτουργίας ενός συστήματος είναι ωφέλιμη σε περιπτώσεις συστημάτων συμπληρωματικών της βασικής εργασίας των χρηστών και σε συστήματα που χρησιμοποιούνται περιστασιακά μόνο υπό συγκεκριμένες συνθήκες, ωφελεί όμως και κοινά συστήματα σε περιπτώσεις μη-προγραμματισμένης προσωρινής απουσίας αλληλεπίδρασης των χρηστών με αυτά [40]. Ένα σύστημα θα πρέπει να ε-

ίναι εύκολα απομνημονεύσιμο, έτσι ώστε να επιτρέπει σε περιστασιακούς χρήστες να επιστρέφουν σε αυτό μετά από περιόδους έλλειψης χρήσης του, χωρίς να απαιτείται η επανάληψη της εκμάθησης των λειτουργιών του [40]. Προτεραιότητα θα πρέπει να δίνεται σε αυτήν την παράμετρο σε περιπτώσεις συστημάτων η χρήση των οποίων προορίζεται, ή είναι πιθανό, να είναι σπάνια [44]. Δεδομένων των παραπάνω παρατηρήσεων και της συχνά προσωρινής και μη επαναλαμβανόμενης χρήσης των walk-up-and-use συστημάτων, ο παράγοντας της απομνημόνευσης δεν έχει σημαντική επίδραση στην χρησιμότητα μιας τέτοιας εφαρμογής.

2.3.4 Σφάλματα Χρήσης — Use Errors

Τυπικά ένα σφάλμα ορίζεται ως οποιαδήποτε ενέργεια δεν συμβάλλει στην επίτευξη του επιθυμητού στόχου, και η αναλογία σφαλμάτων του συστήματος υπολογίζεται από τη μέτρηση του αριθμού των εν λόγω ενεργειών που έχουν πραγματοποιηθεί από τους χρήστες κατά την εκτέλεση κάποιας συγκεκριμένης διεργασίας [40]. Στο ISO 9241-11:2018 [41] χρησιμοποιείται ο όρος «σφάλμα χρήσης» και ορίζεται ως η ενέργεια, ή η έλλειψη ενέργειας, από τον χρήστη κατά τη χρήση του συστήματος η οποία οδηγεί σε διαφορετικό από το επιδιωκόμενο από τον προγραμματιστή ή μη αναμενόμενο από τον χρήστη αποτέλεσμα. Σημειώνεται πως οι δυσλειτουργίες ενός διαδραστικού συστήματος που δημιουργούν μη αναμενόμενα αποτελέσματα δεν θεωρούνται σφάλματα χρήσης. Συνεπώς, τα σφάλματα που εξετάζονται κατά την αξιολόγηση της χρησιμότητας ενός συστήματος αφορούν μη-επιθυμητές καταστάσεις που προκύπτουν από λανθασμένες ενέργειες των χρηστών και που ευθύνονται σε λανθασμένη κατανόηση του τρόπου λειτουργίας του συστήματος. Για την αποφυγή ανάθεσης ευθύνης του σφάλματος στον ίδιον τον χρήστη, όταν γίνεται αναφορά στα εν λόγω σφάλματα προτιμάται η χρήση του όρου «σφάλμα χρήσης» έναντι των όρων «σφάλμα χρήστη» ή «ανθρώπινο σφάλμα» [41]. Αντίστοιχα και ο Norman [48] τάσσεται υπέρ της αποφυγής χρήσης του όρου «ανθρώπινο σφάλμα» καθώς όπως λέει αυτό που συνηθίζεται να αποκαλείται ανθρώπινο σφάλμα πρόκειται συχνά για κακή επικοινωνία ή αλληλεπίδραση και οφείλεται σε ελαττωματικό σχεδιασμό του συστήματος.

Ορισμένα σφάλματα διορθώνονται άμεσα από τον χρήστη και δεν έχουν άλλες επιπτώσεις εκτός από χρονική καθυστέρηση στην επίτευξη του στόχου. Η επίδραση των εν λόγω σφαλμάτων συνήθως συμπεριλαμβάνεται στη μέτρηση της αποδοτικότητας και συνεπώς δεν χρειάζεται η ξεχωριστή μέτρησή τους [40]. Άλλα σφάλματα είναι περισσότερο καταστροφικά, είτε γιατί δεν γίνονται αντιληπτά από τον χρήστη, οδηγώντας σε λανθασμένα αποτελέσματα, ή επειδή καταστρέφουν την εργασία του κάνοντας δύσκολη την ανάκτηση [40]. Σύμφωνα με τον Federico [43] για την ανάλυση των σφαλμάτων ενός συστήματος θα μπορούσαν να προσδιοριστούν οι παρακάτω όροι: «Αναλογία σφαλμάτων», δηλαδή η συχνότητα πραγματοποίησης σφαλμάτων, «Συγκέντρωση», πώς τα σφάλματα συγκεντρώνονται χρονικά, «Επανάληψη», πόσο αξιόπιστη είναι η διόρθωση των σφαλμάτων, και η εύρεση «Μοτίβων» σχετικά με τα σημεία στα οποία συμβαίνουν συχνότερα τα σφάλματα.

Ιδανικά, κατά τους Nielsen [40] και Federico [43], ένα σύστημα θα πρέπει να έχει χαμηλή αναλογία σφαλμάτων, έτσι ώστε οι χρήστες να πραγματοποιούν λιγότερα σφάλματα κατά τη διάρκεια χρήσης του συστήματος, και η ανάκτηση από αυτά να είναι ευκολότερη. Επιπλέον, θα πρέπει τα πιο καταστροφικά σφάλματα να καταγράφονται ξεχωριστά από τα λιγότερο σημαντικά και να καταβάλλεται ειδική προσπάθεια για την

ελαχιστοποίηση της πραγματοποίησής τους [40]. Για την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας εκτέλεσης εσφαλμένων ενεργειών από τους χρήστες, ο Norman [48] προτείνει τη χρήση επιδοχών (βλ. ενότητα: 2.4.2), σηματοδοτών (βλ. ενότητα: 2.4.2) και καλών χαρτογραφήσεων (βλ. ενότητα: 2.4.4) τα οποία καθοδηγούν τους χρήστες στην εκτέλεση των κατάλληλων ενεργειών. Επιπλέον, δεδομένου ότι η δημιουργία σφαλμάτων είναι αναπόφευκτη, ο σχεδιασμός θα πρέπει να επιτρέπει την εύκολη ανίχνευση και διόρθωση πιθανών σφαλμάτων, κάτι που μπορεί να επιτευχθεί μέσω καλής και καταννοητής ανατροφοδότησης (βλ. ενότητα: 2.4.1) σε συνδυασμό με την ύπαρξη απλού και ξεκάθਾਰου εννοιολογικού μοντέλου (βλ. ενότητα: 2.4.3) [48]. Όπως γράφει, όταν πραγματοποιείται ένα σφάλμα, αλλά ο χρήστης είναι σε θέση να αντιληφθεί τι συνέβη, σε ποια κατάσταση βρίσκεται το σύστημα, και ποιες θα ήταν οι κατάλληλες ενέργειες για την ανάκαμψη από αυτό, τότε μπορεί να εκτελέσει τις εργασίες του περισσότερο αποδοτικά [48].

2.3.5 Υποκειμενική Ικανοποίηση — Subjective Satisfaction

Η ικανοποίηση ορίζεται στο ISO 9241-11:2018 [41] ως ο βαθμός στον οποίο οι φυσικές, νοητικές και συναισθηματικές αντιδράσεις που προκύπτουν σε έναν χρήστη από τη χρήση ενός συστήματος βρίσκονται σε αντιστοιχία με τις ανάγκες και τις απαιτήσεις του. Σύμφωνα με τον Nielsen [40] η υποκειμενική ικανοποίηση αναφέρεται στο πόσο ευχάριστη είναι η χρήση του συστήματος και μπορεί να αποτελέσει ένα ιδιαίτερα σημαντικό χαρακτηριστικό για συστήματα η χρήση των οποίων γίνεται προαιρετικά σε μη-εργασιακό περιβάλλον. Σε τέτοιου είδους συστήματα η αξία της ψυχαγωγίας που προσφέρουν είναι περισσότερο σημαντική από την αποδοτικότητά τους, συνεπώς οι χρήστες που τα χρησιμοποιούν θα πρέπει να δέχονται μια διασκεδαστική και εμπλουτισμένη εμπειρία χρήσης, δεδομένου ότι αυτός είναι ο σκοπός της διάδρασής τους με αυτά.

Θεωρητικά, ορισμένες αντικειμενικές τεχνικές μέτρησης όπως το εγκεφαλογράφημα, η διαστολή της κόρης του ματιού, οι καρδιακοί παλμοί, η πίεση του αίματος κλπ. θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της ικανοποίησης που προσφέρει μια διεπαφή, ωστόσο οι εν λόγω τεχνικές επιβαρύνουν τους χρήστες με επιπλέον πίεση και φόβο, δημιουργώντας μη επιθυμητές συνθήκες κατά τη διεξαγωγή της δοκιμής, με αποτέλεσμα να κρίνονται ακατάλληλες [40]. Εναλλακτικά, η υποκειμενική ικανοποίηση μπορεί να μετρηθεί απευθύνοντας ερωτήσεις στους ίδιους του χρήστες ζητώντας την υποκειμενική άποψή τους, κάτι που μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με μορφή συνέντευξης ή με τη μορφή ερωτηματολογίου το οποίο οι χρήστες καλούνται να συμπληρώσουν μετά την ολοκλήρωση της δοκιμής του συστήματος. Με αυτόν τον τρόπο, οι μεμονωμένες απαντήσεις σε κάθε ερώτηση είναι υποκειμενικές, συνδυάζοντας όμως το σύνολο των απαντήσεων όλων των χρηστών προκύπτει μια αντικειμενική μέτρηση της ικανοποίησης που προσφέρει το σύστημα. Επιπλέον, λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι ο σκοπός μέτρησης της υποκειμενικής ικανοποίησης είναι η αξιολόγηση του κατά πόσο το σύστημα αρέσει στους χρήστες, και θεωρώντας δεδομένο πως οι χρήστες που έλαβαν μέρος στη δοκιμή αποτελούν αντιπροσωπευτικό δείγμα του πληθυσμού στον οποίο απευθύνεται το σύστημα, ο προσδιορισμός της ικανοποίησης από τις απαντήσεις των ίδιων των χρηστών θεωρείται η κατάλληλη επιλογή [40].

Τέλος, δεδομένης της υποκειμενικότητας που διέπει τα δεδομένα των απαντήσεων των χρηστών, είναι σημαντικό αυτά να προσαρμόζονται κατάλληλα προτού γίνει η αξιο-

λόγησή τους. Οι χρήστες συνήθως γνωρίζουν πως τα άτομα που τους απευθύνουν τις ερωτήσεις έχουν προσωπικό όφελος από το σύστημα που εξετάζεται και τείνουν να έχουν θετική στάση απέναντι σε αυτό, με εξαίρεση περιπτώσεις στις οποίες η εμπειρία χρήσης είναι ιδιαίτερα δυσάρεστη. Για την αντιστάθμιση αυτού του φαινομένου, ο Nielsen [40] προτείνει τη χρήση ερωτήσεων αντίστροφης πολικότητας, ενώ αναφέρει πως όταν υπάρχουν διαθέσιμες αξιολογήσεις από διαφορετικές εκδοχές του ίδιου συστήματος, είναι εφικτή η σύγκριση των δεδομένων συναρτήσει των άλλων προσεγγίσεων. Όταν η σύγκριση αφορά πολλαπλές εκδοχές, η υποκειμενική ικανοποίηση μπορεί επίσης να υπολογιστεί ζητώντας από τους χρήστες να επιλέξουν την εκδοχή που προτιμούν ή τον βαθμό στον οποίο θα διάλεγαν κάποια εκδοχή έναντι των άλλων [40].

2.4 Θεμελιώδεις Αρχές Διάδρασης

Η επιτυχία της διάδρασης με ένα σύστημα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ικανότητα αντίληψης της τρέχουσας κατάστασης του συστήματος, του μοντέλου και των κανόνων στους οποίους βασίζεται ο τρόπος λειτουργίας του, των λειτουργιών που είναι διαθέσιμες προς εκτέλεση, του κατάλληλου τρόπου με τον οποίο αυτές εκτελούνται κλπ. Σύμφωνα με τον Norman [48] η επιτυχημένη αντίληψη των παραπάνω είναι ικανή να ενισχύσει το αίσθημα του ελέγχου των χρηστών, το οποίο με τη σειρά του οδηγεί στην αύξηση της ικανοποίησης. Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται ορισμένες από τις θεμελιώδεις αρχές μέσω των οποίων είναι δυνατή η επίτευξη επιτυχημένης διάδρασης.

2.4.1 Ανατροφοδότηση

Η ανατροφοδότηση ορίζεται από τον Norman [48] ως η «επικοινωνία των αποτελεσμάτων μιας ενέργειας». Παρά τη μεγάλη σημασία της ανατροφοδότησης και το γεγονός ότι το ανθρώπινο νευρικό σύστημα είναι εξοπλισμένο με πληθώρα μηχανισμών ανατροφοδότησης, συμπεριλαμβανομένων αισθητήρων όρασης, ακοής, αφής κλπ., ο Norman παρατηρεί πως πολλά συστήματα φαίνεται να αγνοούν αυτόν τον παράγοντα. Όπως γράφει, η ανατροφοδότηση πρέπει να είναι άμεση καθώς η διαμεσολάβηση ακόμα και ελάχιστου χρόνου ανάμεσα σε μια ενέργεια χρήστη και την ανατροφοδότησή της από το σύστημα είναι ικανή να προκαλέσει σύγχυση, ενώ μεγάλη καθυστέρηση ενδέχεται να οδηγήσει τους χρήστες να σταματήσουν να χρησιμοποιούν το σύστημα, δίνοντας σε ορισμένες περιπτώσεις την ψευδαίσθηση πως αυτό έχει σταματήσει να λειτουργεί. Επίσης πρέπει να αποφεύγονται οι ακραίες καταστάσεις τόσο της φτωχής ανατροφοδότησης, η οποία αποσπά τη προσοχή και σε ορισμένες περιπτώσεις γίνεται εκνευριστική χωρίς να προσφέρει ουσιαστικές πληροφορίες, όσο και της υπερβολικά πλούσιας ανατροφοδότησης, η οποία προσφέρει εξίσου δυσάρεστη εμπειρία, με αποτέλεσμα οι χρήστες να την αγνοούν με τον κίνδυνο κρίσιμες πληροφορίες να είναι επιρρεπείς στο να χαθούν, και η οποία ενδέχεται να παρεμποδίζει την ομαλή εκτέλεση άλλων εξίσου σημαντικών λειτουργιών. Η ανατροφοδότηση, ιδανικά κατά τον Norman [48], πρέπει να σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι διακριτική προς τον χρήστη και παράλληλα να έχει την ικανότητα να του αποσπά τη προσοχή για την επικοινωνία κρίσιμων πληροφοριών όταν αυτό κρίνεται απαραίτητο.

Οι Dybkjær και Bernsen [42] τονίζουν επίσης τη σημασία ύπαρξης ισορροπίας ανάμεσα στην ελλειπή πληροφόρηση του χρήστη και την υπερπληροφόρησή του από την ανατροφοδότηση του συστήματος, ενώ συσχετίζουν με αυτό και τον παράγοντα της ικα-

νοποίησης, γράφοντας πως η επαρκής ανατροφοδότηση είναι απαραίτητη προκειμένου οι χρήστες να νιώθουν πως έχουν το σύστημα υπό έλεγχο κατά τη διάρκεια της αλληλεπίδρασης με αυτό. Η επίτευξη του παραπάνω έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της αυτοπεποίθησης του χρήστη και τη γνώση των ενεργειών του οι οποίες έχουν επιτυχώς κατανοηθεί από το σύστημα, καθώς και των λειτουργιών που εκτελούνται ανά πάσα στιγμή από αυτό. Αντίθετα, σε περιπτώσεις που το σύστημα παρέχει ελλείψεις, λανθασμένες ή υπερβολικά πολλές πληροφορίες υπάρχει ο κίνδυνος παραγωγής ανεπιθύμητων ενεργειών από τον χρήστη και επιπλέον η δημιουργία σύγχυσης, έλλειψης συγκέντρωσης και συμπερασματικά αρνητικής επιρροής στην ικανοποίησή του. Οι Dybkjær και Bernsen ορίζουν πως θα πρέπει να υπάρχει συνεργασία μεταξύ του συστήματος και του χρήστη προκειμένου να μεγιστοποιείται η πιθανότητα οι διεργασίες να εκτελούνται ομαλά και με αποτελεσματικότητα, καθώς μέσω του διαλόγου εξασφαλίζεται η εξάλειψη των ενδοιασμών και της αβεβαιότητας του χρήστη σχετικά με την τρέχουσα κατάσταση του συστήματος.

Εστιάζοντας στις χειρονομιακές διεπαφές, ο Norman [7] παρατηρεί πως αυτές στερούνται κρίσιμα στοιχεία που θεωρούνται ιδιαίτερα σημαντικά προκειμένου να υπάρξει επιτυχημένη αλληλεπίδραση. Όπως έχει αναφερθεί και στην ενότητα 2.1.3, η ευκολία ακούσιας εκτέλεσης λειτουργιών λόγω της έλλειψης ορατότητας και της ελεύθερης-αυθόρμητης φύσης των χειρονομιών, η έλλειψη ανακαλυψιμότητας του σωστού τρόπου εκτέλεσης τους, σε συνδυασμό με την ύπαρξη ελλιπούς ανατροφοδότησης από το σύστημα, στερούν τη δυνατότητα ανίχνευσης και διόρθωσης ενδεχόμενων λαθών των χρηστών, δημιουργούν σύγχυση και υποβαθμίζουν την εμπιστοσύνη τους προς το σύστημα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ο Norman [7] κρίνει απαραίτητη την ύπαρξη επιμορφωτικής ανατροφοδότησης, η οποία θα επιτρέπει στον χρήστη την εκμάθηση του κατάλληλου τρόπου επικοινωνίας με το σύστημα και την αντίληψη των λαθών των προηγούμενων ενεργειών του.

2.4.2 Επιδοχές και Σηματοδότες

Ο όρος επιδοχή (affordance) στον τομέα της επικοινωνίας ανθρώπου-υπολογιστή σύμφωνα με τον Norman [48] αναφέρεται στις λειτουργίες ενός συστήματος ή αντικειμένου που είναι δυνατόν να πραγματοποιηθούν από έναν χρήστη — π.χ. τα πλήκτρα ενός πληκτρολογίου επιδέχονται πάτημα. Ο Norman [48] εξηγεί πως ο όρος δεν πρόκειται για ιδιότητα του συστήματος, αλλά για σχέση μεταξύ ενός συστήματος και ενός χρήστη, καθώς προκειμένου να υπάρξει μια επιδοχή θα πρέπει οι δυνατότητες που προσφέρει ένα σύστημα και οι ικανότητες ενός χρήστη να συσχετίζονται. Δεδομένου του παραπάνω, ένα σύστημα είναι πιθανό να παρουσιάζει διαφορετικές επιδοχές με διαφορετικούς χρήστες όταν οι ικανότητές τους διαφέρουν.

Οι επιδοχές χωρίζονται σε φυσικές και αντιληπτές. Οι πρώτες μπορούν να είναι είτε αόρατες, είτε ορατές στους χρήστες, ενώ οι τελευταίες είναι πάντα αντιληπτές από αυτούς και υπάρχουν με σκοπό να γνωστοποιούν την ύπαρξη των πρώτων. Ο Norman [49] τονίζει πως οι επιδοχές και οι αντιληπτές επιδοχές είναι ανεξάρτητες έννοιες, με τις αντιληπτές επιδοχές να χρησιμοποιούνται ακόμα και όταν το σύστημα δεν υποστηρίζει τις αντίστοιχες φυσικές. Σύμφωνα με τον Norman [48], [49] οι αντιληπτές επιδοχές έχουν τη μεγαλύτερη σημασία στις γραφικές διεπαφές, αφενός γιατί είναι αυτές που κατά κύριο λόγο μπορούν να επεξεργαστούν κατά τον σχεδιασμό, και αφετέρου γιατί είναι αυτές που γίνονται αντιληπτές από τους χρήστες προσφέροντας σε αυτούς ενδείξεις

σχετικά με τις διαθέσιμες λειτουργίες του συστήματος και τον σωστό τρόπο εκτέλεσης αυτών. Επιπλέον, οι επιδοχές που δεν γίνονται αντιληπτές από τους χρήστες απαιτούν τη δημιουργία επισημάνσεων προκειμένου να γνωστοποιηθεί η ύπαρξή τους. Οι επισημάνσεις αυτές ορίζονται από τον Norman [48] ως σηματοδότες (signifiers).

Ο όρος σηματοδότης (signifier) αναφέρεται σε οποιοδήποτε δείκτη ενός συστήματος ο οποίος υποδεικνύει στους χρήστες τις ενέργειες που είναι διαθέσιμες και την επιθυμητή συμπεριφορά με στόχο τον σωστό τρόπο εκτέλεσής τους [48]. Ο ρόλος των σηματοδοτών είναι η επικοινωνία του σκοπού, της δομής και της λειτουργίας ενός συστήματος στους χρήστες που το χρησιμοποιούν [48]. Προκειμένου να είναι λειτουργικοί θα πρέπει να γίνονται αντιληπτοί από τους χρήστες [48], σε αντίθεση με τις επιδοχές οι οποίες μπορούν να είναι χρήσιμες ακόμα και όταν είναι κρυμμένες [49].

Οι ίδιες οι αντιληπτές επιδοχές μπορούν να λειτουργήσουν ως σηματοδότες, όχι όμως πάντα με την απαραίτητη σαφήνεια [48]. Ένας σηματοδότης μπορεί να έχει τη μορφή κειμένου ή γραφικών αναπαραστάσεων, αλλά μπορεί και η ίδια η συσκευή να θεωρηθεί σηματοδότης όταν οι αντιληπτές επιδοχές της είναι ξεκάθαρες [48].

Συνοπτικά, οι επιδοχές καθορίζουν το σύνολο των ενεργειών οι οποίες είναι εφικτό να πραγματοποιηθούν, ενώ οι σηματοδότες είναι ενδείξεις οι οποίες υποδεικνύουν στους χρήστες τον τρόπο με τον οποίο μπορούν να ανακαλύψουν αυτές τις δυνατότητες [48].

2.4.3 Εννοιολογικό Μοντέλο

Ένα εννοιολογικό μοντέλο (conceptual model) είναι μια επεξήγηση, συνήθως υπεραπλουστευμένη, η οποία προκύπτει από την προδιάθεση εύρεσης εξηγήσεων [48].

Οι άνθρωποι τείνουν να δημιουργούν στο μυαλό τους μοντέλα τα οποία αντιπροσωπεύουν την κατανόησή τους σχετικά με το πως κάτι λειτουργεί, κάτι που θεωρείται επιθυμητό όσο τα μοντέλα που αναπτύσσουν αιτιολογούν σωστά και με επιτυχία τα δεδομένα που αντιλαμβάνονται [48]. Τα εννοιολογικά μοντέλα μπορούν να είναι λεπτομερή και σύνθετα αλλά, ειδικά σε περιπτώσεις συστημάτων καθημερινής χρήσης, μπορούν να είναι απλοποιημένα με την προϋπόθεση πως καθοδηγούν τους χρήστες προς τη σωστή συμπεριφορά για την επίτευξη της εκάστοτε επιθυμητής κατάστασης [48].

Σε περιπτώσεις που δεν δίνεται επαρκής πληροφόρηση από το ίδιο το σύστημα, το εννοιολογικό μοντέλο κατασκευάζεται εμπειρικά, από αποσπασματικές ενδείξεις που λαμβάνονται τόσο από το ίδιο το σύστημα αλλά και από άλλους χρήστες και συχνά με τη λανθασμένη αντίληψη φανταστικών μηχανισμών και ενεργειών που στην πραγματικότητα δεν υπάρχουν [48]. Σε αυτές τις περιπτώσεις υπάρχει ο κίνδυνος το μοντέλο που προκύπτει να είναι λανθασμένο και να οδηγεί σε δυσκολίες στη χρήση του συστήματος. Λόγω του παραπάνω, ο Norman [48] τονίζει την ευθύνη παροχής των απαραίτητων πληροφοριών που θα αποτρέπουν παρανοήσεις σχετικά με τη λειτουργία του συστήματος και θα το κάνουν κατανοητό και λειτουργικό.

Το εννοιολογικό μοντέλο είναι ισχυρός επεξηγηματικός μηχανισμός, σημαντικός σε πληθώρα περιστάσεων και χαρακτηρίζεται από τον Norman [48] ως η σημαντικότερη από τις θεμελιώδεις αρχές της διάδρασης. Ο σχηματισμός ενός κατάλληλου εννοιολογικού μοντέλου και η εξασφάλιση πως όλα τα υπόλοιπα μέρη του συστήματος είναι συνεπή με αυτό θεωρείται η σημαντικότερη αλλά και δυσκολότερη διαδικασία η

οποία αποσκοπεί στον επιτυχημένο σχεδιασμό ενός συστήματος σύμφωνα με τον Norman [49]. Η σημαντικότητα των εννοιολογικών μοντέλων οφείλεται στην ικανότητά τους να επιτρέπουν στους χρήστες να κατανοούν τι συμβαίνει στο σύστημα, να διορθώνουν τυχόν σφάλματα, να προβλέπουν τις συνέπειες των ενεργειών τους και να επιλέγουν τις κατάλληλες ενέργειες σε περιπτώσεις που η συμπεριφορά του συστήματος δεν είναι η αναμενόμενη [48]. Αντίθετα, η απουσία καλού εννοιολογικού μοντέλου συνεπάγεται πως οι χρήστες χρησιμοποιούν το σύστημα χωρίς να αντιλαμβάνονται τις ενέργειές τους, χωρίς την ικανότητα πρόβλεψης των αντιδράσεων του συστήματος και χωρίς να είναι σε θέση να αντιμετωπίσουν οποιαδήποτε καινούρια κατάσταση [48].

2.4.4 Χαρτογράφηση

Η χαρτογράφηση (mapping) είναι τεχνικός όρος ο οποίος προέρχεται από τα μαθηματικά και με αυτόν εννοείται η σχέση μεταξύ των στοιχείων δύο διαφορετικών πεδίων [48]. Στο περιβάλλον της επικοινωνίας ανθρώπου-υπολογιστή ο όρος αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο κάθε μια από τις διαθέσιμες λειτουργίες ενός συστήματος αντιστοιχίζεται με την κατάλληλη ενέργεια εισόδου από τον χρήστη. Οι χαρτογραφήσεις μπορούν να κυμαίνονται από απόλυτα αυθαίρετες και άσχετες με τις λειτουργίες με τις οποίες συνδέονται, έως εντελώς φυσικές και προσεκτικά σχηματισμένες ώστε να υπακούουν σε κανόνες και συμβάσεις του φυσικού κόσμου σχετικά με τη λειτουργία που εκτελείται. [50].

Οι φυσικές χαρτογραφήσεις (natural mappings) είναι μια κατηγορία χαρτογραφήσεων στις οποίες η σχέση μεταξύ των στοιχείων χειρισμού και των αντίστοιχων λειτουργιών μιας διεπαφής που αυτά επηρεάζουν είναι λογική και προφανής [48], με αποτέλεσμα η σχέση αυτή να γίνεται υποσυνείδητα αντιληπτή και οι λειτουργίες να εκτελούνται διαισθητικά από τους χρήστες. Η βέλτιστη χαρτογράφηση των λειτουργιών ενός συστήματος για τις οποίες υπάρχει αντίστοιχη λειτουργία στον φυσικό κόσμο προκύπτει όταν η προγραμματισμένη ενέργεια χειρισμού του συστήματος ταιριάζει στον μεγαλύτερο δυνατό βαθμό με αυτή που θα πραγματοποιούνταν στον φυσικό κόσμο [50]. Προκειμένου ο τρόπος χειρισμού να γίνεται αντιληπτός και κατανοητός στους χρήστες σε περιπτώσεις που αυτό δεν είναι εφικτό, ή δεν υπάρχει αντίστοιχη λειτουργία στον φυσικό κόσμο, ο Steuer [50] προτείνει την χαρτογράφηση με χρήση μεταφορών ή εναλλακτικά τη χρήση χαρτογραφήσεων οι οποίες υπακούν σε πρότυπα, ακόμα και αν μοιάζουν αυθαίρετες, καθώς με αυτόν τον τρόπο διευκολύνεται η εκμάθηση αλλά και η απομνημόνευσή τους.

Η σημασία των καλών χαρτογραφήσεων οφείλεται στη δυνατότητά τους να προσφέρουν εύκολη εκμάθηση του τρόπου λειτουργίας του συστήματος κάνοντας τη σχέση μεταξύ των χειριστηρίων, των ενεργειών και του επιθυμητού αποτελέσματος κατανοητή [48]. Σύμφωνα με τον Norman [48] ένα σύστημα είναι εύκολο να χρησιμοποιηθεί όταν γίνεται αξιοποίηση φυσικών χαρτογραφήσεων και το σύνολο των πιθανών ενεργειών είναι ορατό. Μέσω της χρήσης φυσικών χαρτογραφήσεων είναι δυνατό να μειωθεί η ανάγκη για απομνημόνευση του τρόπου με τον οποίο χειρίζεται ένα σύστημα και να εξλειφθεί η ανάγκη χρήσης διαγραμμάτων, περιγραφών και οδηγιών [48]. Αντίθετα, η χρήση μη-φυσικών χαρτογραφήσεων απαιτεί μεγαλύτερη νοητική προσπάθεια για την κατανόηση της λειτουργίας του συστήματος και αυξάνει την πιθανότητα πραγματοποίησης λάθους [48]. Αναλυτικότερη προσέγγιση στον τρόπο με τον οποίο οι φυσικές χαρτογραφήσεις επηρεάζουν την ευκολία κατανόησης του τρόπου λειτουργίας ενός συστήματος αλλά και

την αποδοτικότητα αυτού γίνεται στις ενότητες 2.6.2 και 2.6.3 αντίστοιχα.

Ορισμένες φυσικές χαρτογραφήσεις βασίζονται σε διεθνή πρότυπα, όπως για παράδειγμα η κίνηση του χεριού προς τα επάνω σημαίνει «περισσότερο» και η αντίστοιχη κίνηση προς τα κάτω σημαίνει «λιγότερο» [48]. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται σε χαρτογραφήσεις οι οποίες δίνουν την αίσθηση πως είναι φυσικές, με αυτό να αληθεύει μόνο για ένα μέρος του πληθυσμού με συγκεκριμένη κουλτούρα. Όπως παρατηρεί ο Norman [48]: ό,τι είναι φυσικό για μια κουλτούρα με συγκεκριμένες παραδόσεις και κανόνες δεν είναι απαραίτητα φυσικό και για μια άλλη, συνεπώς, προκειμένου να υπάρχει σωστός σχεδιασμός απαιτείται να έχει προηγηθεί η κατανόηση του τρόπου συμπεριφοράς των χρηστών στους οποίους απευθύνεται η διεπαφή [48].

2.5 Βασικές Αρχές Εργονομίας και Στόχοι/Προϋποθέσεις Χειρονομιών

Σύμφωνα με τους Nielsen, Störring, Moeslund and Granum [51] υπάρχουν δύο τρόποι μέσω των οποίων επιλέγονται οι χειρονομίες οι οποίες χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία του χρήστη με το σύστημα. Ο πρώτος τρόπος στοχεύει στην ευκολότερη δυνατή αναγνώριση των χειρονομιών από τον αλγόριθμο αναγνώρισης, παραβλέποντας παράγοντες όπως η λογική αντιστοίχιση της λειτουργικότητας των χειρονομιών με τη σημασιολογική τους ερμηνεία. Είναι σχετικά εύκολο να υλοποιηθεί μια εφαρμογή με αυτόν τον τρόπο, εις βάρος όμως της διαισθητικότητας, της χρηστικότητας και της εργονομίας, ως αποτέλεσμα της άλογης απόδοσης λειτουργικότητας στις χειρονομίες αλλά και καθώς αυτές ενδέχεται να επιβαρύνουν τους χρήστες, ή να είναι αδύνατο σωματικά να υλοποιηθούν από αυτούς. Ο δεύτερος τρόπος προϋποθέτει την έρευνα των χρηστών που θα χρησιμοποιήσουν την διεπαφή και, σε αντίθεση με τον πρώτο τρόπο, απαιτεί οι χειρονομίες να είναι συμβατές με τις βασικές αρχές της χρηστικότητας. Αναλυτικότερα, όπως αναφέρουν οι Nielsen et al. [51] θα πρέπει να είναι εύκολες στην υλοποίηση και την απομνημόνευση, διαισθητικές, μεταφορικά και εικονικά λογικές ως προς την λειτουργικότητά τους, και εργονομικές ώστε να μη προκαλούν ανεπιθύμητη σωματική ένταση στους χρήστες.

Οι χειρονομίες που επιλέγονται να χρησιμοποιηθούν για την αλληλεπίδραση των χρηστών με το σύστημα θα πρέπει να προσφέρουν εύκολη εκμάθηση και καλή εργονομία, ενώ παράλληλα θα πρέπει να είναι συμβατές με τους περιορισμούς του συστήματος προκειμένου να μπορούν να αναγνωριστούν από αυτό με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια. Σύμφωνα με τους Stern, Wachs και Edan [52] οι χειρονομίες θα πρέπει να ικανοποιούν τους παρακάτω στόχους: (i) Να είναι διαισθητικές/ευκολονόητες και να ανταποκρίνονται στην έννοια που έχει αποδοθεί στη χειρονομία στον πραγματικό κόσμο. (ii) Να είναι εύκολο, σύμφωνα τις ανθρώπινες σωματικές δυνατότητες, να πραγματοποιηθούν, χωρίς να προκαλούν ανεπιθύμητη σωματική ένταση στον χρήστη. (iii) Να είναι εύκολα αναγνωρίσιμες και αρκετά διαφοροποιημένες μεταξύ τους ώστε το σύστημα αναγνώρισης να μπορεί να τις διακρίνει. (iv) Να είναι εύκολη η εκμάθησή τους. (v) Να είναι ευκολομνημόνευτες.

Επίσης οι Stern et al. [52] αναφέρουν ότι, με σεβασμό στην άνεση, θα πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερη φροντίδα στην επιλογή χειρονομιών ώστε να αποφεύγεται η μυική καταπόνηση και κόπωση. Εξειδικεύοντας σε αυτό, οι Nielsen et al. [51] συγκεντρώνουν τις βασικές αρχές της εργονομίας ως: (i) Την αποφυγή ακραίων θέσεων, (ii) την απο-

φυγή επαναλαμβανόμενων κινήσεων, (iii) τη χαλάρωση των μυών, (iv) την επιλογή των χαλαρών-ουδέτερων θέσεων να βρίσκονται στο μέσο μεταξύ των ακραίων θέσεων, (v) την αποφυγή της παραμονής σε στατικές θέσεις και τέλος (vi) την αποφυγή εσωτερικής και εξωτερικής άσκησης δύναμης σε συνδέσμους και τη διακοπή ροής των σωματικών υγρών.

Τέλος, σύμφωνα με τους Nielsen et al. [51] είναι σημαντικό οι χειρονομίες που επιλέγονται να είναι προσαρμοσμένες στις ανάγες και τον σκοπό της εκάστοτε διεπαφής, και του πληθυσμού των χρηστών στον οποίο απευθύνεται.

2.6 Ανάλυση Ποιοτικών Χαρακτηριστικών Διεπαφών Χρήστη

2.6.1 Συσχέτιση Διαισθητικότητας – Ευκολίας Εκμάθησης

Το σύστημα απευθύνεται σε πληθυσμό όλων των ηλικιακών ομάδων και δεν απαιτεί προηγούμενη εμπειρία και γνώσεις σε αντίστοιχες διεπαφές. Σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει άμεσα την ευκολία εκμάθησης ενός συστήματος είναι η διαισθητικότητα που προσφέρει. Οι Hurtienne, Weber και Blessing [53] ορίζουν τη «Διαισθητική χρήση» ως την υποσυνείδητη εφαρμογή προγενέστερης γνώσης η οποία οδηγεί σε αποτελεσματική αλληλεπίδραση με ένα αντικείμενο, ενώ οι Hurtienne και Blessing [54] τονίζουν τη σημασία της ύπαρξης διαισθητικότητας, ειδικά σε περιπτώσεις δυνητικής χρήσης από αρχάριους και όταν υπάρχει απαίτηση για υποστήριξη ποικιλόμορφων συνόλων χρηστών, περιπτώσεις στις οποίες δεν υπάρχει χρόνος ή θέληση για εκπαίδευση στον τρόπο λειτουργίας της διεπαφής. Προκειμένου να εξηγήσουν ποια γνώση μπορεί να εφαρμοστεί υποσυνείδητα, χωρίζουν τη γνώση σε ένα φάσμα διαφορετικών επιπέδων, ξεκινώντας με την έμφυτη στο κατώτερο από αυτά και καταλήγοντας στη γνώση του ανώτερου επιπέδου που αποκτάται από την εξειδίκευση σε κάποιο αντικείμενο. Όπως αναφέρουν, η «διαισθητική χρήση» μπορεί να παρατηρηθεί σε οποιοδήποτε επίπεδο γνώσης, με την προϋπόθεση ότι αυτή εφαρμόζεται υποσυνείδητα από τους χρήστες. Εξηγούν πως η γνώση μπορεί να εφαρμόζεται υποσυνείδητα από την αρχή — όπως συμβαίνει με τα αντανakλαστικά — ή να έχει εξελιχθεί στο να εφαρμόζεται υποσυνείδητα λόγω της συχνής έκθεσης και αντίδρασης σε ερεθίσματα του περιβάλλοντος: με άλλα λόγια όσο συχνότερα συνέβαινε η κωδικοποίηση και ανάκτηση της εν λόγω γνώσης στο παρελθόν, τόσο πιθανότερο είναι ότι η απομνημονευμένη γνώση θα εφαρμοστεί στο μέλλον χωρίς τη συνείδηση του χρήστη. Συμπεραίνουν έτσι πως όσο ψηλότερα βρίσκεται το επίπεδο στο φάσμα της γνώσης, τόσο μεγαλύτερος ο βαθμός της εξειδίκευσης και τόσο μικρότερος ο αριθμός των ενδεχόμενων χρηστών που κατέχουν τη γνώση αυτού του επιπέδου. Συνεπώς, γνώσεις από τα κατώτερα επίπεδα είναι πιθανότερο να χρησιμοποιηθούν διαισθητικά, αυξάνοντας τον αριθμό και την ετερογένεια των υποστηριζόμενων ομάδων χρηστών από τις οποίες το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά.

2.6.2 Συσχέτιση Φυσικότητας Χαρτογραφήσεων – Ευκολίας Αντίληψης Μοντέλου Διάδρασης

Ως αποτέλεσμα της «διαισθητικής χρήσης» χαρακτηρίζουν οι Hurtienne και Blessing [54] την υποσυνείδητη επεξεργασία των στοιχείων μιας διεπαφής χρήστη, η οποία επι-

βαρύνει λιγότερο τη λειτουργία γνωστικής επεξεργασίας του εγκεφάλου. Με αυτόν τον τρόπο, περισσότεροι νοητικοί πόροι είναι διαθέσιμοι για την επίλυση της κύριας διεργασίας, αντίθετα με τη σπατάλη χρόνου και νοητικής προσπάθειας στην εξακρίβωση του πως ένα τεχνολογικό αντικείμενο λειτουργεί. Αντίστοιχα οι Pietschmann και Ohler [55], αναφερόμενοι στη φυσική χαρτογράφηση (ενεργειών χρήστη - επιθυμητού αποτελέσματος), γράφουν πως αυτή αξιοποιεί υπάρχοντα νοητικά μοντέλα τα οποία έχουν προκύψει μέσω εμπειριών με τον φυσικό κόσμο. Ως αποτέλεσμα, η διάδραση απαιτεί χαμηλότερο νοητικό φορτίο, αποδεσμεύοντας νοητικούς πόρους οι οποίοι αξιοποιούνται στην επεξεργασία του πραγματικού περιεχομένου της διάδρασης. Στα ίδια πλαίσια κυμαίνονται και τα συμπεράσματα των Macaranas, Antle και Riecke [56], η έρευνα των οποίων στη χρήση ενός συστήματος με χρήση μη-κυριολεκτικής χαρτογράφησης έδειξε πως οι χρήστες δυσκολεύονταν να αντιληφθούν το μοντέλο της διάδρασης και ξόδευαν περισσότερο χρόνο προσπαθώντας να συνδέσουν τις κινήσεις τους με τις αντιδράσεις του συστήματος. Όπως σχολιάζουν, αυτό αποδεικνύει τη σπουδαιότητα των σαφών χαρτογραφήσεων στη διατήρηση της προσοχής των χρηστών στην εκπλήρωση της διεργασίας. Για αυτόν τον λόγο, προτείνουν την χρήση ένα-προς-ένα χωρικών συσχετισμών μεταξύ ενεργειών εισόδου και απορρεόντων αποτελεσμάτων συστήματος, γνωστοί και ως ισομορφικές χαρτογραφήσεις, για «walk up and play» διεπαφές οι οποίες απαιτούν άμεση χρήση και ελάχιστη εκπαίδευση. Συμπληρώνοντας τα παραπάνω, ο Smith [57] τονίζει την ανάγκη ύπαρξης ισορροπίας ανάμεσα στην «κυριολεξία» και τη «μαγεία» που περιγράφει τα χαρακτηριστικά μιας διεπαφής και την προσαρμογή του τρόπου λειτουργίας της κάθε διεπαφής σύμφωνα με τις γνώσεις των χρηστών που πρόκειται να τη χρησιμοποιήσουν. Όπως παρατήρησε από έρευνα που πραγματοποίησε για την αξιολόγηση της εφαρμογής ARK, χρήστες με εμπειρία στη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών αφιέρωναν περισσότερο χρόνο στην εκμάθηση των κυριολεκτικών χαρακτηριστικών της διεπαφής καθώς φαίνεται πως περίμεναν περισσότερη «μαγεία» από ότι η εφαρμογή προσέφερε. Από την άλλη μεριά, χρήστες χωρίς γνώσεις ηλεκτρονικών υπολογιστών περίμεναν ορισμένες φορές τη διεπαφή να είναι περισσότερο κυριολεκτική από ότι ήταν. Καταλήγει έτσι στο συμπέρασμα πως η χρήση καθαρά κυριολεκτικών χαρτογραφήσεων δεν αποτελεί πάντα σωστή τακτική, δεδομένου ότι ο κάθε χρήστης πριν χρησιμοποιήσει ένα σύστημα έχει συγκεκριμένες προσδοκίες οι οποίες θα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν στον σχεδιασμό.

2.6.3 Συσχέτιση Κυριολεξίας Χαρτογραφήσεων – Αποδοτικότητα

Επιπλέον, ο Smith [57] αναφέρει πως οι διαστάσεις μιας διεπαφής που είναι κυριολεκτικές είναι γενικά ευκολότερο να αναγνωριστούν από τους χρήστες, σε αντίθεση με τις μη-κυριολεκτικές που απαιτούν το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου εκπαίδευσης. Τα μη-κυριολεκτικά χαρακτηριστικά ωστόσο προσφέρουν τη δυνατότητα μείωσης της πολυπλοκότητας ή/και του χρόνου που απαιτείται για την εκτέλεση συγκεκριμένων διεργασιών, συμβάλλοντας έτσι στην αύξηση της αποδοτικότητας. Η έρευνα των Macaranas et al. [56], στους χρήστες της οποίας δεν υπήρξε οποιαδήποτε εξήγηση και εκπαίδευση, έδειξε μεταξύ άλλων πως οι μη-κυριολεκτικές (conventional) χαρτογραφήσεις απαιτούσαν κατά μέσο όρο τον περισσότερο χρόνο για την ολοκλήρωση των διεργασιών, κάτι που αποδόθηκε στον επιπλέον χρόνο που αφιέρωναν στην αρχή οι χρήστες για την κατανόηση του τρόπου λειτουργίας της διεπαφής. Αντίθετα, οι κυριολεκτικές (isomorphic) χαρτογραφήσεις είχαν τον μικρότερο μέσο χρόνο και συνεπώς την καλύτερη αποδοτι-

κότητα. Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, οι φυσικές χαρτογραφήσεις βοηθούν στη μείωση τόσο του απαιτούμενου χρόνου για την εξοικείωση νέων χρηστών όσο και των δεσμευμένων νοητικών πόρων που απαιτούνται για την κατανόηση τους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι χρήστες να είναι σε θέση να αλληλεπιδρούν με μεγάλη αποδοτικότητα νωρίτερα σε σύγκριση με μη-κυριολεκτικές εφαρμογές, κάτι που αναφέρεται από τον Smith [57] και επιβεβαιώνεται από τα αποτελέσματα της έρευνας των Macaranas et al. [56]. Ωστόσο και οι μη-κυριολεκτικές λειτουργίες μιας διεπαφής, μετά το πέρας της περιόδου εκπαίδευσης και εξοικείωσης έχουν την ικανότητα να προσφέρουν ακόμα μεγαλύτερη αποδοτικότητα μέσα από τη δυνατότητα μείωσης της πολυπλοκότητας ή/και του χρόνου που απαιτείται για την εκτέλεση των ιδίων διεργασιών, γεγονός που τις κάνει χρήσιμες σε εφαρμογές στις οποίες οι συνθήκες επιτρέπουν τη δέσμευση χρόνου για την εκπαίδευση των χρηστών.

2.6.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την Ικανοποίηση των Χρηστών

Ακόμα ένας παράγοντας είναι η ικανοποίηση των χρηστών. Η ανάλυση της συσχέτισης από τους Macaranas et al. [56] στα αποτελέσματα των ερωτηματολογίων SUS [58] και PCS αποκάλυψε πως η ικανοποίηση των χρηστών και η αντίληψή τους σχετικά με την ικανότητά τους να χειρίζονται αποδοτικά το σύστημα ήταν ισχυρά συνδεδεμένες. Με άλλα λόγια, οι χρήστες που θεωρούσαν πως είναι ικανοί στη χρήση του συστήματος ένιωθαν και ικανοποιημένοι. Εξίσου ισχυρή, όμως αρνητική, συσχέτιση παρατήρησαν συγκρίνοντας τα δεδομένα της αποτελεσματικότητας και της αποδοτικότητας των χρηστών με την αντίληψή που οι ίδιοι είχαν σχηματίσει σχετικά με την απόδοσή τους, αλλά και με το ποσοστό στο οποίο ο τρόπος λειτουργίας του συστήματος συμφωνούσε με τις προσδοκίες τους. Σε χαρτογραφήσεις που παρουσίασαν καλύτερη αποτελεσματικότητα οι χρήστες δήλωσαν πως ένιωθαν μη-ικανοποιημένοι από την εμπειρία τους με το σύστημα, ενώ σε χαρτογραφήσεις με χειρότερη αποτελεσματικότητα οι χρήστες ήταν σχετικά ικανοποιημένοι με την απόδοσή τους. Επίσης, μεμονωμένοι χρήστες με ενδείξεις διαισθητικής χρήσης του συστήματος — λόγω υποσυνείδητης κατανόησης του μοντέλου διάδρασης — δήλωσαν αδυναμία κάλυψης των προσδοκιών τους, παρά την καλή αποτελεσματικότητα τους στην ολοκλήρωση των διεργασιών. Αντίστοιχα, οι Norman και Nielsen [17] στη μελέτη καινοτόμων για την εποχή διεπαφών, παρατήρησαν πως η ελλιπής ή λανθασμένη κατανόηση του μοντέλου της διάδρασης οδηγούσε στην απώλεια της αίσθησης ελέγχου του συστήματος και είχε ως αποτέλεσμα η εμπειρία χρήσης να μοιάζει τυχαία και να δημιουργεί σύγχυση, καταστέλλοντας το ενδιαφέρον των χρηστών. Οι Macaranas et al. [56] εικάζουν πως τα παραπάνω οφείλονται στην αναντιστοιχία της υποσυνείδητης κατανόησης του συστήματος με τις συνειδητές προσδοκίες των χρηστών. Αναλυτικότερα, εξηγούν πως περιπτώσεις χαρτογραφήσεων που αντιπροσωπεύουν γνώση που χρησιμοποιείται διαισθητικά οδηγούν τους χρήστες να αλληλεπιδρούν υποσυνείδητα και αποδοτικά με το σύστημα, χωρίς όμως αυτοί να έχουν σχηματίσει σαφή συνειδητή αντίληψη του τρόπου λειτουργίας του. Σε αυτήν την περίπτωση είναι πιθανό οι συνειδητές προσδοκίες τους να μη συμφωνούν με την υποσυνείδητη κατανόησή τους, δημιουργώντας έτσι σύγχυση και κατά συνέπεια λιγότερο ευχάριστη εμπειρία χρήσης. Το αντίθετο συμβαίνει με την χρήση χαρτογραφήσεων οι οποίες αντιπροσωπεύουν γνώση, η χρήση της οποίας απαιτεί τη συνειδητή προσπάθεια του χρήστη, κάτι που έχει σαν αποτέλεσμα οι χρήστες να αφιερώνουν χρόνο στην εξερεύνηση του συστήματος προκειμένου να κατανοήσουν το μοντέλο της διάδρασης,

μειώνοντας την αποδοτικότητα, αποκτώντας όμως πληρέστερη αντίληψη και τελικά μεγαλύτερη ικανοποίηση.

2.6.5 Συμπεράσματα Ανάλυσης Ποιοτικών Χαρακτηριστικών

Συνοπτικά, από τη μελέτη της σχετικής με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά διεπαφών χρήστη βιβλιογραφίας προκύπτουν οι παρακάτω βασικές παρατηρήσεις:

Σημαντική χαρακτηρίζεται η χρήση χαρτογραφήσεων οι οποίες θα αξιοποιούν έννοιες από τα κατώτερα επίπεδα του φάσματος γνώσης, κυρίως από το αισθησιοκινητικό επίπεδο και το επίπεδο έμφυτης γνώσης, προκειμένου αφενός να καλύπτεται η ανάγκη υποστήριξης ενός ποικιλόμορφου εύρους χρηστών και αφετέρου η διάδραση με το σύστημα να είναι στο μεγαλύτερο βαθμό διαισθητική.

Χρήσιμη, στη πλειονότητα των περιπτώσεων, η χρήση φυσικών-κυριολεκτικών-σαφών χαρτογραφήσεων με στόχο τη μείωση απωλειών νοητικών πόρων, οι οποίοι υπό άλλες συνθήκες θα δεσμεύονταν για την κατανόηση της λειτουργίας της διεπαφής, και τη διατήρηση της προσοχής των χρηστών στην εκπλήρωση της βασικής λειτουργικότητας. Ιδιαίτερη προσοχή ωστόσο θα πρέπει να δίνεται στη μελέτη των υπάρχουσών γνώσεων και εμπειριών του τμήματος του πληθυσμού στο οποίο η διεπαφή απευθύνεται προκειμένου να υπάρχει συνέπεια με τις χαρτογραφήσεις που θα σχεδιαστούν για αυτήν.

Όσον αφορά την αποδοτικότητα: το είδος της εφαρμογής, η συχνότητα και ο συνολικός χρόνος χρήσης καθορίζουν την επιλογή αξιοποίησης κυριολεκτικών ή μη χαρτογραφήσεων. Όπως έχει αποδειχθεί, οι κυριολεκτικές χαρτογραφήσεις βοηθούν αρχάριους χρήστες στη γρήγορη προσαρμογή και αξιοποίηση των δυνατοτήτων της διεπαφής στο μέγιστο, λειτουργούν όμως περιοριστικά σε εφαρμογές με μεγάλη διάρκεια χρήσης όπου δίνεται προτεραιότητα στην αύξηση της αποδοτικότητας. Η χρήση μη-κυριολεκτικών χαρτογραφήσεων δεν ενδείκνυται σε διεπαφές που απαιτούν εύκολη και γρήγορη προσαρμογή των χρηστών, όταν όμως ο χρόνος εκμάθησης δεν αποτελεί εμπόδιο μπορούν, μέσω της αξιοποίησης καινοτόμων τεχνικών οι οποίες ξεφεύγουν από τους κανόνες και τους περιορισμούς του φυσικού κόσμου, να βοηθήσουν τους χρήστες να μεγιστοποιήσουν την αποδοτικότητά τους.

Τέλος, η παρατήρηση ισχυρής θετικής συσχέτισης μεταξύ της αντίληψης των χρηστών σχετικά με την ικανότητά τους να χειρίζονται αποδοτικά το σύστημα και της απόκτησης ικανοποιητικής εμπειρίας, καθώς και η αντίφαση μεταξύ αυτής και της αποδοτικότητας σημαίνει πως, σε περιπτώσεις διεπαφών στις οποίες η ικανοποίηση των χρηστών αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα, μεγαλύτερη έμφαση θα πρέπει να δίνεται στη διευκόλυνση σχηματισμού συνειδητής κατανόησης για το μοντέλο της διάδρασης από τους χρήστες, παρά στην αύξηση της μετρήσιμης αποδοτικότητας.

2.7 Αξιολόγηση

2.7.1 Χαρακτηριστικά και Μορφές Αξιολόγησης

Η αξιολόγηση ενός συστήματος σύμφωνα με τους Dybkjær και Bernsen [42], μπορεί να είναι ποσοτική, ποιοτική, υποκειμενική ή αντικειμενική. Η ποσοτική αξιολόγηση αποτελείται από την ποσοτικοποίηση κάποιας παραμέτρου μέσω ενός αριθμού ή ποσοστού

το οποίο επιτρέπει τη σύγκριση μεταξύ συστημάτων. Η ποιοτική αξιολόγηση πραγματοποιείται εκτιμώντας ή κρίνοντας κάποια παράμετρο κάνοντας χρήση προτύπων και κανόνων. Η υποκειμενική αξιολόγηση βασίζεται στην κρίση κάποιας παραμέτρου αναφορικά με τη γνώμη των χρηστών, ενώ αντίθετα, η αντικειμενική αξιολόγηση παράγει αξιολόγηση ανεξάρτητη των χρηστών. Ιδανικά, η αξιολόγηση θα πρέπει να βασίζεται σε ποσοτικά και αντικειμενικά δεδομένα χρησιμότητας τα οποία θα μπορούν να συγκριθούν αντικειμενικά με αντίστοιχα δεδομένα άλλων συστημάτων, ωστόσο, σύμφωνα με τους Dybkjær και Bernsen [42], πολλά ζητήματα χρησιμότητας είναι αδύνατο να υποβληθούν σε ποσοτικοποίηση και η αντικειμενική αξιολόγηση βάση προτύπων και κανόνων είναι ορισμένες φορές αθέβαιη ή ανύπαρκτη.

Από τους Dybkjær και Bernsen [42] διακρίνονται τρία είδη αξιολόγησης, κάθε ένα από τα οποία είναι χρήσιμο για την επίτευξη διαφορετικού σκοπού: Η «αξιολόγηση της καταλληλότητας» χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση του πόσο καλά ένα σύστημα ταιριάζει στον σκοπό και καλύπτει τις πραγματικές ανάγκες και απαιτήσεις των χρηστών. Η «διαγνωστική αξιολόγηση» στοχεύει στην ανίχνευση και ανάλυση σφαλμάτων στον σχεδιασμό και την υλοποίηση του συστήματος. Από τον Nielsen [40] η κατηγορία αυτή αναφέρεται ως «διαμορφωτική αξιολόγηση» και χρησιμοποιείται προκειμένου να βοηθήσει στη βελτίωση της διεπαφής ως μέρος ενός διαδραστικού σχεδιασμού με κύριο σκοπό τον καθορισμό των λεπτομερών στοιχείων που μπορούν να βελτιωθούν. Τέλος, η «αξιολόγηση της απόδοσης», ή «αθροιστική αξιολόγηση», είναι χρήσιμη στα τελευταία στάδια ανάπτυξης ενός συστήματος εστιάζοντας στην αξιολόγηση της συνολικής ποιότητας μιας διεπαφής μέσω της μέτρησης της απόδοσης ποσοτικών ή/και ποιοτικών παραμέτρων [42] & [40]. Χρησιμοποιείται σύμφωνα με τους Dybkjær και Bernsen [42] & Nielsen [40] για τη σύγκριση εναλλακτικών συστημάτων ή διαδοχικών εκδοχών του ίδιου συστήματος.

2.7.2 Σχεδιασμός Πλάνου Αξιολόγησης

Σύμφωνα με τον Nielsen [40], πριν την πραγματοποίηση της αξιολόγησης είναι σημαντικό να έχει οριστεί ένα πλάνο στο οποίο να αποσαφηνίζονται, μεταξύ άλλων, τα παρακάτω, σχετικά με την αξιολόγηση, ζητούμενα, ξεκινώντας με αυτό που επιφέρει τη μεγαλύτερη επίδραση σε αυτήν, τον σκοπό της αξιολόγησης. Ακολουθώντας, σχετικά με τις συνθήκες της διαδικασίας θα πρέπει να έχουν καθοριστεί: η κατάσταση του συστήματος και το απαιτούμενο υλοποιημένο λογισμικό ώστε να είναι δυνατή η πραγματοποίηση της αξιολόγησης, η ταχύτητα αντίδρασης του συστήματος και η φυσικότητα των αντιδράσεών του, οι διεργασίες που οι συμμετέχοντες θα καλούνται να υλοποιήσουν, τα δεδομένα που θα συλλέγονται από την αλληλεπίδραση των συμμετεχόντων και ο τρόπος με τον οποίο θα πραγματοποιείται η συλλογή και στη συνέχεια η επεξεργασία τους. Σχετικά με τους συμμετέχοντες θα πρέπει να έχουν καθοριστεί: τα χαρακτηριστικά των πληθυσμιακών ομάδων στις οποίες απευθύνεται το σύστημα και μέλη των οποίων θα κληθούν να συμμετάσχουν στη διαδικασία, ο ελάχιστος αριθμός συμμετεχόντων προκειμένου τα αποτελέσματα που θα προκύψουν να χαρακτηρίζονται από υψηλή στατιστική εγκυρότητα, το είδος και η ύπαρξη ή απουσία εκπαίδευσης των συμμετεχόντων πριν την αλληλεπίδραση με το σύστημα, ο επιτρεπτός βαθμός βοήθειας/υποστήριξης αυτών από τους ερευνητές κατά τη διάρκεια της διαδικασίας και ο αναμενόμενος συνολικός χρόνος της περιόδου αξιολόγησης για κάθε συμμετέχοντα. Τέλος, απαιτείται ο καθορισμός των κριτηρίων που θα χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό των απαραίτητων συνθηκών υπό τις οποίες μια διεργασία θα θεωρείται επιτυχώς και με ορθό τρόπο ολοκληρωμένη

και των κριτηρίων μέσω των οποίων θα καθορίζεται η επιτυχία της διεπαφής.

2.7.3 Εξαρτώμενες & Ανεξάρτητες Μεταβλητές

Για την εγκυρότητα της αξιολόγησης απαιτείται επίσης ο διαχωρισμός των παραγόντων κάθε συνθήκης σε αυτούς που τροποποιούνται, γνωστοί ως «ανεξάρτητες μεταβλητές», και σε αυτούς που μετριοούνται μετά το πείραμα, γνωστοί ως «εξαρτώμενες μεταβλητές». Οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι αυτές που προσδίδουν σε κάθε συνθήκη που εξετάζεται τα αντιπροσωπευτικά χαρακτηριστικά της, κάνοντάς την έτσι να διαφέρει από τις υπόλοιπες, ενώ οι εξαρτώμενες μεταβλητές είναι χρήσιμες μετά την ολοκλήρωση του πειράματος καθώς είναι αυτές που προσφέρουν μετρήσιμα δεδομένα καθορίζοντας το αποτέλεσμα της σύγκρισης. Για την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων είναι σημαντικό ο αριθμός των ανεξάρτητων μεταβλητών να διατηρείται χαμηλός και να περιορίζεται μόνο στους απαραίτητους παράγοντες, εξασφαλίζοντας όμοιες συνθήκες για όλες τις διαφορετικές εκδοχές που εξετάζονται, εξαλείφοντας με αυτόν τον τρόπο ανεπιθύμητους εξωτερικούς παράγοντες που θα μπορούσαν να μεταβάλλουν τα αποτελέσματα.

2.7.4 Μέγεθος Δείγματος: Στατιστικό Υπόβαθρο και Τρόπος Υπολογισμού

Η πραγματική τιμή (True Score) μιας παραμέτρου υπολογίζεται από τον μέσο όρο των τιμών ολόκληρου του πληθυσμού. Όταν είναι αδύνατη η μελέτη του συνόλου των ατόμων ενός πληθυσμού είναι αδύνατος και ο υπολογισμός της πραγματικής τιμής, μπορεί όμως να προκύψει μια εκτίμηση αυτής μελετώντας ένα δείγμα του πληθυσμού. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το απαιτούμενο μέγεθος του δείγματος χρηστών μιας έρευνας σύμφωνα με τον Israel [59] είναι, μεταξύ άλλων, τα επιθυμητά επίπεδα ακρίβειας και εμπιστοσύνης όσον αφορά τις προκύπτουσες εκτιμώμενες τιμές, και ο βαθμός μεταβλητότητας που θα παρατηρηθεί στα δεδομένα που εξετάζονται.

Αναλυτικότερα, το επίπεδο της ακρίβειας (Level of Precision) αναφέρεται στο περιθώριο σφάλματος (Margin of Error) ή διάστημα εμπιστοσύνης (Confidence Interval) το οποίο εκφράζεται ως το εύρος τιμών γύρω από τον μέσο όρο του δείγματος, στο οποίο εκτιμάται να βρίσκεται η πραγματική μέση τιμή του συνολικού πληθυσμού (π.χ. $\pm 5\%$ ή $\pm 5\text{seconds}$) [59]. Το επίπεδο εμπιστοσύνης (Level of Confidence) περιγράφει την αβεβαιότητα που σχετίζεται με τη χρήση ενός δείγματος για την εκτίμηση μιας παραμέτρου του πληθυσμού. Με την επαναλαμβανόμενη επιλογή διαφορετικών δειγμάτων ενός πληθυσμού και τον υπολογισμό διαφορετικού διαστήματος εμπιστοσύνης για κάθε δείγμα, μέρος των διαστημάτων εμπιστοσύνης που προκύπτουν έχουν τιμές μικρότερες ή μεγαλύτερες της πραγματικής τιμής και μέρος αυτών την περιέχουν [59]. Το επίπεδο εμπιστοσύνης ορίζεται ως το ποσοστό των διαστημάτων εμπιστοσύνης που περιέχουν την πραγματική τιμή [59]. Παραδείγματος χάριν, αν έχει επιλεγεί επίπεδο εμπιστοσύνης 95% και περιθώριο σφάλματος $\pm 5\%$, τότε η πραγματική τιμή θα ανήκει στο εύρος $\pm 5\%$ από τον μέσο όρο του 95% των δειγμάτων, ενώ από το υπόλοιπο 5% των δειγμάτων θα έχει προκύψει διάστημα εμπιστοσύνης το οποίο δεν θα περιέχει την πραγματική τιμή. Σημειώνεται πως, για σταθερό αριθμό δείγματος, όσο μικρότερο το επίπεδο εμπιστοσύνης τόσο πιο επισφαλής τα αποτελέσματα της έρευνας και όσο μεγαλύτερο το περιθώριο σφάλματος τόσο μικρότερη η ακρίβεια και κατά συνέπεια και η χρησιμότητα των αποτελεσμάτων. Ο βαθμός μεταβλητότητας (Degree of Variability) των

στοιχείων που εξετάζονται αναφέρεται στην κατανομή τους στον πληθυσμό [59]. Μικρός βαθμός διαφοροποίησης των τιμών των δεδομένων χαρακτηρίζει ομοιογενή δεδομένα [60]. Όσο λιγότερο μεταβλητός (περισσότερο ομοιογενής) είναι ένας πληθυσμός, τόσο μικρότερο μέγεθος δείγματος απαιτείται για την απόκτηση ενός συγκεκριμένου επιπέδου ακρίβειας [59].

Ο παρακάτω τύπος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό του ελάχιστου μεγέθους δείγματος που απαιτείται για την επίτευξη συγκεκριμένου επιθυμητού περιθωρίου σφάλματος σε συγκεκριμένο επίπεδο εμπιστοσύνης στην περίπτωση ποσοτικής μελέτης που χρησιμοποιεί συνεχείς (π.χ.: χρόνος ολοκλήρωσης) ή πολυτομικές (π.χ.: 7-point likert scale) μεταβλητές [61] & [59]:

$$n = \frac{z^2 \cdot \sigma^2}{e^2}$$

Όπου «n» είναι το ζητούμενο μέγεθος του δείγματος, «z» είναι η τυποποιημένη τιμή z-score, η οποία καθορίζεται από το επίπεδο εμπιστοσύνης, «e» είναι το επιθυμητό επίπεδο ακρίβειας το οποίο μετράται στην ίδια μονάδα μέτρησης με τις τιμές που εξετάζονται (π.χ. ± 5 seconds για τιμές χρόνου), και «σ» είναι η τυπική απόκλιση (standard deviation) — εναλλακτικά, «σ²» η διακύμανση (variance) — των τιμών της μεταβλητής που εξετάζεται στο σύνολο του πληθυσμού [59].

Το μειονέκτημα του παραπάνω τύπου είναι πως για τον υπολογισμό του μεγέθους του δείγματος απαιτείται η γνώση της διακύμανσης, ή τυπικής απόκλισης, του πληθυσμού η οποία συχνά δεν είναι γνωστή [59]. Στις περιπτώσεις αυτές, σύμφωνα με τους Holmes και Illowsky [61], είναι δυνατό με την πραγματοποίηση πιλοτικής δοκιμής του συστήματος να υπολογιστεί η τυπική απόκλιση για ένα δείγμα χρηστών και να χρησιμοποιηθεί προσεγγιστικά αυτή η τιμή στη θέση της τυπικής απόκλισης του πληθυσμού. Σε άλλες περιπτώσεις, η τιμή της τυπικής απόκλισης προηγούμενων ερευνών μπορεί να χρησιμοποιηθεί εφόσον υπάρχει διαθέσιμη [61].

Στην περίπτωση αδυναμίας προσέγγισης του μέσου χρόνου ολοκλήρωσης, είναι δυνατός ο υπολογισμός του απαραίτητου μεγέθους δείγματος ανεξάρτητα από αυτόν, εκφράζοντας το περιθώριο σφάλματος (επίπεδο ακρίβειας) και την τυπική απόκλιση ως ποσοστό του μέσου. Σημαντική είναι η χρήση του λόγου τυπικής απόκλισης προς τον αριθμητικό μέσο των μετρήσεων $CV = \frac{\sigma}{\mu} 100$ ή $cv = \frac{s}{\bar{x}} 100$, γνωστού ως συντελεστή μεταβλητότητας (coefficient of variation). Ο συντελεστής μεταβλητότητας εκφράζει την τυπική απόκλιση ως ποσοστό του μέσου των δεδομένων και, σε αντίθεση με την τυπική απόκλιση, επιτρέπει τη σύγκριση της μεταβλητότητας διαφορετικών ερευνών καθώς είναι ανεξάρτητος από το μέγεθος και τη μονάδα μέτρησης του μέσου όρου και της τυπικής απόκλισης των δεδομένων [60].

Παρακάτω ακολουθεί η διαδικασία ανάπτυξης του τύπου για τον υπολογισμό του μεγέθους δείγματος ανεξάρτητα από την τιμή του μέσου και της τυπικής απόκλισης. Ισχύει ότι ο τύπος υπολογισμού του μεγέθους δείγματος είναι:

$$n = \frac{z^2 \cdot \sigma^2}{e^2} \quad (2.1)$$

ο τύπος του συντελεστή μεταβλητότητας είναι:

$$cv = \frac{s}{\bar{x}} 100 \quad (2.2)$$

και επιλέγεται να εκφραστεί το περιθώριο σφάλματος ως ποσοστό ($p\%$) του μέσου, συνεπώς:

$$e = \frac{p}{100} \bar{x} \quad (2.3)$$

Λύνοντας τον τύπο του συντελεστή μεταβλητότητας 2.2 ως προς την τυπική απόκλιση του δείγματος έχουμε: $s = \frac{cv \cdot \bar{x}}{100}$. Για τις ανάγκες της δοκιμής θεωρείται πως η τυπική απόκλιση του δείγματος προσεγγίζει την τυπική απόκλιση του πληθυσμού $s \approx \sigma$ συνεπώς:

$$\sigma = \frac{cv \cdot \bar{x}}{100} \quad (2.4)$$

Ο τύπος υπολογισμού του μεγέθους δείγματος 2.1 μπορεί πλέον κάνοντας χρήση των 2.3 και 2.4 να τροποποιηθεί ως εξής:

$$n = \left(\frac{z \cdot cv}{p} \right)^2 \quad (2.5)$$

Όπου « n » είναι το ζητούμενο μέγεθος του δείγματος, « z » είναι η τυποποιημένη τιμή z -score, η οποία καθορίζεται από το επίπεδο εμπιστοσύνης, « cv » είναι ο συντελεστής μεταβλητότητας (ο οποίος εκφράζει την τυπική απόκλιση ως ποσοστό του μέσου) και p είναι το επιθυμητό επίπεδο ακρίβειας, επίσης εκφρασμένο ως ποσοστό του μέσου (π.χ. 5% του μέσου αντιστοιχεί σε $p=5$). Ο εν λόγω τύπος είναι ανεξάρτητος από την τιμή του μέσου και δεν απαιτεί τη γνώση της τιμής της τυπικής απόκλισης.

Κεφάλαιο 3

Σχεδιασμός και Ανάπτυξη Χειρονομιακής Διεπαφής Χειρισμού Ψηφιακών Αντικειμένων

Στόχος του συγκεκριμένου έργου είναι η δημιουργία και ο προγραμματισμός ενός συστήματος το οποίο θα πραγματοποιεί αναγνώριση χειρονομιών, με απώτερο σκοπό τη δημιουργία μιας φυσικής διεπαφής χειρισμού ψηφιακών αντικειμένων πολιτιστικού περιεχομένου, διευκολύνοντας την αλληλεπίδραση του χρήστη με αυτά και προσφέροντας καλύτερη εμπειρία διάδρασης. Για την επίτευξη ωστόσο των παραπάνω προέχει η εστίαση στην έρευνα και την ανάλυση απλών αναγνωρίσιμων κινήσεων για την κατανόησή τους, καθώς και στην εύρεση της κατάλληλης μεθόδου και του απαραίτητου εξοπλισμού για την αναγνώριση αυτών.

3.1 Παράθεση Χρησιμοποιηθέντος Εξοπλισμού

Από τη μελέτη αντίστοιχων εργασιών της σχετικής βιβλιογραφίας στην υποενότητα 2.1.4 προέκυψε πως η οπτική αναγνώριση ανέπαφων χωρικών χειρονομιών μέσω αισθητήρων απόστασης με χρήση υπερήχων (ultrasonic sensors) αποτελεί μια οικονομικά προσιτή επιλογή για διεπαφές χαμηλού κόστους. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στις εν λόγω εργασίες είναι οι Parallax PING)))¹ και HC-SR04², ενώ υπάρχει πληθώρα άλλων αντίστοιχων αισθητήρων απόστασης οι οποίοι λειτουργούν με πανομοιότυπο τρόπο και παρουσιάζουν μικρές διαφορές μεταξύ τους. Για τη λειτουργία των αισθητήρων αλλά και τη λήψη και επεξεργασία των αισθητήριων δεδομένων απαιτείται η σύνδεσή τους σε έναν μικροελεγκτή (microcontroller), με τις τέσσερις εργασίες που εξετάζονται στην βιβλιογραφία να χρησιμοποιούν διαφορετικά μοντέλα μικροελεγκτών της εταιρίας Arduino³. Τέλος, στην ενότητα 2.2 αναφέρεται πως για την ανάπτυξη διαδραστικών ψηφιακών πολιτιστικών εφαρμογών τείνουν να χρησιμοποιούνται μηχανές δημιουργίας τριδιάστατων γραφικών και παιχνιδιών (game engines) όπως η Unreal Engine⁴ και η

¹<https://www.parallax.com/product/ping-ultrasonic-distance-sensor/>

²<https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf>

³<https://www.arduino.cc/>

⁴<https://www.unrealengine.com/en-US/>

Unity⁵.

Για τον σκοπό της τρέχουσας εργασίας επιλέχθηκε η χρήση αισθητήρων HC-SR04 καθώς, παρά την ελαφρώς μεγαλύτερη πιθανότητα σφαλμάτων στην αναγνώριση αποστάσεων, το κόστος απόκτησης είναι περί τις 10 φορές μικρότερο αυτού των Parallax PING))) . Επίσης, επιλέχθηκε η χρήση ενός Arduino Uno R3⁶ καθώς πρόκειται για τον πλέον διαδεδομένο μικροελεγκτή σε τέτοιου είδους εφαρμογές, με μεγάλη κοινότητα υποστήριξης, χαμηλό κόστος απόκτησης, καλύπτοντας τις ανάγκες της εν λόγω εργασίας σε υπολογιστική ισχύ, μνήμη και αριθμό I/O Pins για τη σύνδεση όλων των απαραίτητων αισθητήρων. Ο προγραμματισμός του Arduino έγινε μέσω του λογισμικού ανοιχτού κώδικα Arduino IDE⁷ σε υπολογιστή με λειτουργικό σύστημα Windows 10 Pro, επεξεργαστή Intel[®] Core[™] i5-6500 @3.20GHz, κάρτα γραφικών NVIDIA GeForce GTX 960 και 8,00 GB RAM. Τα ψηφιακά μοντέλα αναπαράστασης φυσικών αντικειμένων που χρησιμοποιούνται στα πλαίσια της ανάπτυξης και της αξιολόγησης της διεπαφής έχουν δημιουργηθεί με τη χρήση του λογισμικού μοντελοποίησης Autodesk 3ds Max 2018⁸, ενώ η ίδια η διεπαφή μέσω της οποίας πραγματοποιείται η αλληλεπίδραση με αυτά τα μοντέλα έχει αναπτυχθεί στη Unity.

3.2 Δημιουργία Συστήματος Αναγνώρισης Χειρονομιών

3.2.1 Σχεδιασμός Χειρονομιών & Συστήματος Αναγνώρισης

Η πρώτη προσπάθεια υλοποίησης του παραπάνω στόχου πραγματοποιείται με τη χρήση δυο αισθητήρων απόστασης, η τοποθέτηση των οποίων γίνεται σε απόσταση περίπου 2cm ο ένας από τον άλλον και πάνω στην ίδια ευθεία ώστε οι εκπεμπόμενες δέσμες υπερήχων να είναι παράλληλες μεταξύ τους. Λαμβάνοντας υπ' όψιν τους περιορισμούς των αισθητήρων, ορίζεται ως αποδεκτή περιοχή πραγματοποίησης χειρονομιών η περιοχή με μέγιστη απόσταση 30cm από το σημείο που βρίσκονται οι αισθητήρες και προς τη κατεύθυνση που εκπέμπονται οι δέσμες αυτών. Στο σχήμα 3.1 απεικονίζεται το κύκλωμα του συστήματος αναγνώρισης αποτελούμενο από το Arduino Uno, τους δύο αισθητήρες HC-SR04 και τα επιπλέον απαραίτητα εξαρτήματα. Επιπλέον, οι εμβέλεις των δύο αισθητήρων απεικονίζονται με τις μπλε σκιαγραφημένες περιοχές, ενώ η περιοχή εντός της πράσινης διακεκομμένης γραμμής αντιπροσωπεύει την αποδεκτή περιοχή πραγματοποίησης χειρονομιών.

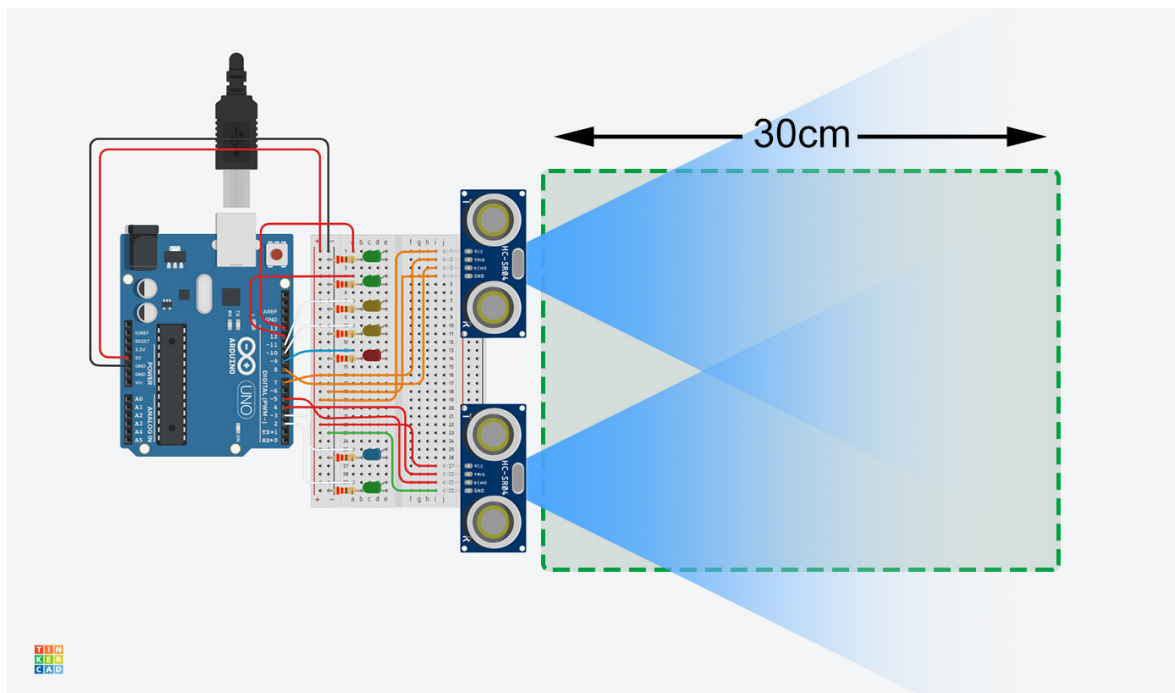
Οι χειρονομίες που θα χρησιμοποιηθούν αποτελούνται από ευθύγραμμες διακριτές κινήσεις (strokes) του ενός χεριού στον οριζόντιο άξονα, με κατεύθυνση προς τα αριστερά ή προς τα δεξιά, στην αποδεκτή περιοχή εμπρός από τους αισθητήρες όπως αυτή ορίστηκε παραπάνω. Για την καλύτερη αξιοποίηση των δυνατοτήτων των αισθητήρων, κατά την πραγματοποίηση των χειρονομιών απαιτείται η κάμψη της παλάμης του χεριού του χρήστη προς τα πίσω με τέτοιον τρόπο ώστε να σχηματίζει ορθή γωνία με τη δέσμη υπερήχων. Αυτό έχει ως σκοπό την αύξηση της επιφάνειας του χεριού στο μέγιστο, αυξάνοντας την πιθανότητα αντανάκλασης των υπερήχων και οδηγώντας τελικά σε

⁵<https://unity.com/>

⁶<https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>

⁷<https://www.arduino.cc/en/software>

⁸<https://www.autodesk.com/products/3ds-max/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>



Σχήμα 3.1: Σχεδιάγραμμα Κυκλώματος Arduino - Διάταξη με χρήση δύο παράλληλα τοποθετημένων αισθητήρων

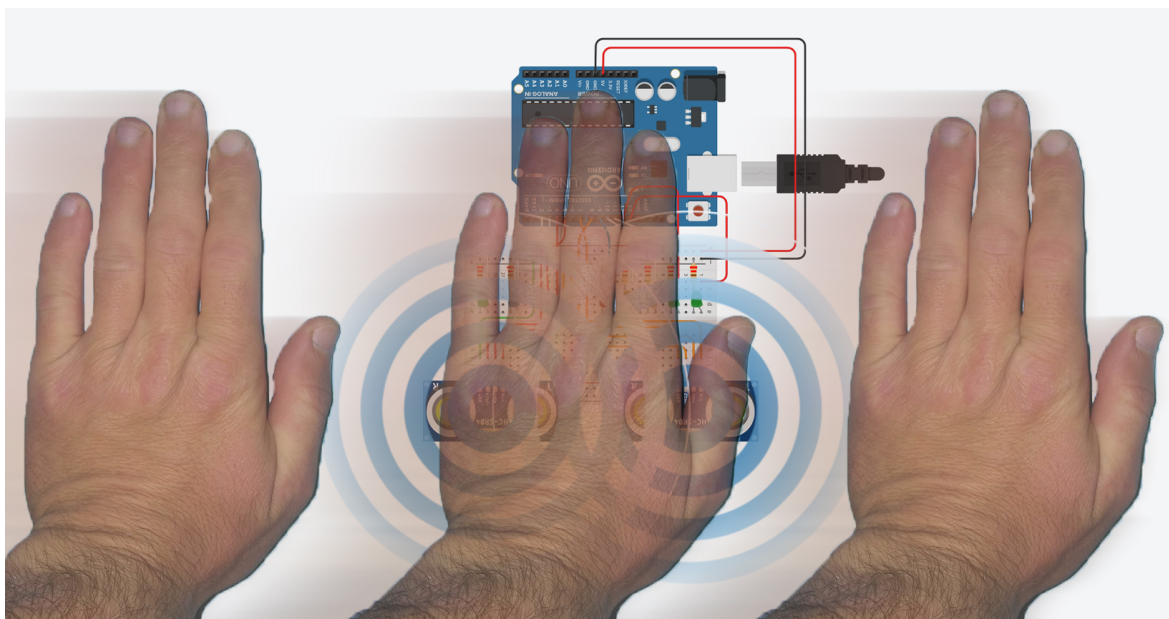
μεγαλύτερη πιθανότητα αναγνώρισης του χεριού από το σύστημα σε σχέση με οποιαδήποτε άλλη στάση καταλαμβάνει μικρότερη επιφάνεια. Στο σχήμα 3.2 απεικονίζονται τρία στιγμιότυπα μιας χειρονομίας στα οποία είναι ορατή η επιθυμητή στάση του χεριού. Οι δύο ακραίες θέσεις, ανάλογα με τη κατεύθυνση της χειρονομίας, λειτουργούν ως αρχικές ή τελικές θέσεις αντίστοιχα, ενώ η θέση στη μέση ανήκει στην αποδεκτή περιοχή όπου το χέρι βρίσκεται στην εμβέλεια των αισθητήρων και μπορεί να αναγνωριστεί από το σύστημα. Τέλος, επιθυμητό είναι η εκκίνηση και η ολοκλήρωση της κάθε χειρονομίας να πραγματοποιούνται έξω από την αποδεκτή περιοχή προκειμένου να αποφεύγονται λανθασμένες αναγνώρισεις κατά την αρχική μετακίνηση ή την επιστροφή του χεριού προς την αρχική θέση πριν ξεκινήσει μια νέα χειρονομία.

3.2.2 Ανάλυση Χειρονομιών

Ο προγραμματισμός ενός συστήματος αναγνώρισης χειρονομιών είναι αδύνατος, αν πρώτα ο ίδιος ο προγραμματιστής δεν έχει κατανοήσει πλήρως το σύνολο των επί μέρους κινήσεων που λαμβάνουν χώρα κατά την εκτέλεση μιας ολοκληρωμένης χειρονομίας. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την ανάλυση των σύνθετων κινήσεων σε μια σειρά από απλές και χρονικά εξαρτημένες καταστάσεις οι οποίες να είναι εύκολα αναγνωρίσιμες με τη χρήση απλών αισθητήρων απόστασης.

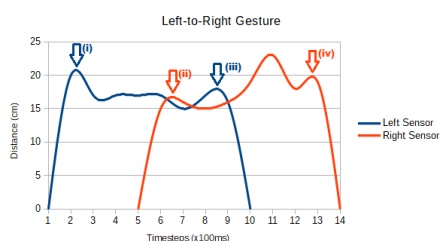
Δεδομένου ότι η αντίληψη σχετικά με την αναγνώριση χειρονομιών διαφέρει σε μεγάλο βαθμό μεταξύ ενός ανθρώπου που χρησιμοποιεί την όρασή του και ενός υπολογιστή — στη συγκεκριμένη περίπτωση arduino — με μοναδική συσκευή εισόδου ένα σύνολο από αισθητήρες απόστασης, είναι απαραίτητη η κατανόηση των δεδομένων εισόδου που ο υπολογιστής δέχεται και καλείται να επεξεργαστεί.

Η μέθοδος μέσω της οποίας γίνεται αυτό δυνατό είναι η παρακολούθηση των ακα-

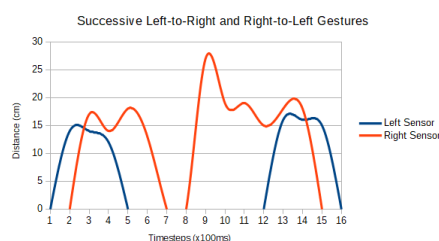


Σχήμα 3.2: Αναπαράσταση Χειρονομίας

τέργαστων αισθητήριων δεδομένων που λαμβάνει το arduino από τους αισθητήρες και η προσπάθεια εύρεσης πιθανών μοτίβων (patterns) που θα μπορούσαν να οδηγήσουν στην αναγνώριση των χειρονομιών. Πιο συγκεκριμένα, αυτό επιτυγχάνεται με την καταγραφή των δεδομένων απόστασης που οι αισθητήρες συλλέγουν και η παρακολούθηση αυτών ενώ πραγματοποιούνται επαναλαμβανόμενες χειρονομίες. Το Γράφημα 1 και το Γράφημα 2 στο Σχήμα 3.3 αποτελούν δύο παραδείγματα διαγραμμάτων που δημιουργήθηκαν με τη χρήση των δεδομένων απόστασης που κατέγραψαν οι αισθητήρες. Οι κατακόρυφοι άξονες των διαγραμμάτων εκφράζουν την αναγνωρισθείσα απόσταση σε εκατοστά (cm), οι οριζόντιοι άξονες εκφράζουν τον χρόνο σε χρονοβήματα (timesteps) κατά τα οποία πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός της κάθε απόστασης και οι μπλε και πορτοκαλί γραφικές παραστάσεις αναπαριστούν τη μεταβολή των αποστάσεων στον χρόνο όπως έχουν υπολογιστεί από τον αριστερό και τον δεξιό αισθητήρα απόστασης αντίστοιχα.



(α) Γράφημα 1



(β) Γράφημα 2

Σχήμα 3.3: Παραδείγματα Γραφημάτων Αναπαράστασης Αισθητήριων Δεδομένων

Στο Γράφημα 1 απεικονίζεται η μεταβολή της τιμής των αποστάσεων που επιστρέφουν οι δύο αισθητήρες κατά την πραγματοποίηση μιας χειρονομίας με φορά από αριστερά προς τα δεξιά. Είναι ορατό πως, καθώς το χέρι του χρήστη πραγματοποιεί τη χειρονομία, ανιχνεύεται πρώτα από τον αριστερό αισθητήρα και στη συνέχεια από τον δεξιό. Αναλυτικότερα, η σειρά των γεγονότων όπως αυτά έχουν σημειωθεί στο Γράφημα 1 ε-

ίναι: i) Έναρξη ανίχνευσης από τον αριστερό αισθητήρα, ii) Έναρξη ανίχνευσης από τον δεξιό αισθητήρα, iii) Λήξη ανίχνευσης από τον αριστερό αισθητήρα, iv) Λήξη ανίχνευσης από τον δεξιό αισθητήρα. Αντίστοιχα, στο Γράφημα 2 απεικονίζεται η μεταβολή της τιμής των αποστάσεων κατά την πραγματοποίηση δύο διαδοχικών χειρονομιών, η πρώτη με φορά από αριστερά προς τα δεξιά και η δεύτερη με φορά από δεξιά προς τα αριστερά.

Να σημειωθεί πως από τις τιμές που επιστρέφουν οι αισθητήρες, δεκτές γίνονται μόνο οι αποστάσεις που ανήκουν στην αποδεκτή περιοχή πραγματοποίησης χειρονομιών. Στις περιπτώσεις που η επιστρεφόμενη τιμή είναι μεγαλύτερη από 30cm, τότε γίνεται η μετατροπή της σε 0' ώστε στα διαγράμματα να φαίνονται αποκλειστικά οι τιμές που επηρεάζουν την αναγνώριση των χειρονομιών.

Παρατήρηση 1: Τόσο στο Γράφημα 1 όσο και στο Γράφημα 2, αυτό που παρατηρείται είναι ότι εφόσον είναι γνωστή η χρονική σειρά με την οποία το χέρι του χρήστη αναγνωρίζεται από τους αισθητήρες, είναι δυνατόν να προσδιοριστεί και η κατεύθυνση της χειρονομίας. Για παράδειγμα στο Γράφημα 1, που αφορά χειρονομία από αριστερά-προς-τα-δεξιά, το χέρι του χρήστη ανιχνεύεται πρώτα από τον αριστερό αισθητήρα και στη συνέχεια από τον δεξιό. Η αντίθετη σειρά εμφανίζεται σε χειρονομίες με φορά από δεξιά-προς-τα-αριστερά.

Παρατήρηση 2: Στο παράδειγμα του Γραφήματος 1 η έναρξη της ανίχνευσης από τον αριστερό αισθητήρα γίνεται στο 1^ο timestep, ενώ από τον δεξιό αισθητήρα γίνεται στο 5^ο timestep, συνεπώς, το χρονικό διάστημα για την μετακίνηση του χεριού από τον πρώτο αισθητήρα στον δεύτερο φαίνεται να διαρκεί περίπου 4 timesteps. Δεδομένου ότι η απόσταση μεταξύ των αισθητήρων παραμένει σταθερή, και υπολογίζοντας το χρονικό διάστημα που απαιτείται κάθε φορά για την κάλυψη αυτής της απόστασης από το χέρι του χρήστη, μπορεί να γίνει ένας άτυπος προσδιορισμός της μέσης ταχύτητας της χειρονομίας.

3.2.3 Μεθοδολογία Αναγνώρισης Χειρονομιών

Για την επίτευξη μεγαλύτερης ακρίβειας στην αναγνώριση των χειρονομιών είναι απαραίτητο να προσδιορίζονται από το σύστημα τόσο η κατεύθυνση, όσο και η ταχύτητα της κίνησης του χεριού του χρήστη. Με βάση τις δύο παρατηρήσεις στην ενότητα 3.2.2, προκειμένου να αναγνωριστεί μια χειρονομία αρκεί να πραγματοποιηθούν (να γίνουν αληθείς) ορισμένες καταστάσεις/συνθήκες σχετικές με τις αποστάσεις που υπολογίζονται από τους αισθητήρες, σε ένα αυστηρά ορισμένο χρονικό πλαίσιο. Για τη δημιουργία αυτού του χρονικού πλαισίου, σε κάθε κύκλο εκτέλεσης, γίνεται ο υπολογισμός ορισμένων timesteps. Πιο συγκεκριμένα, είναι απαραίτητος ο υπολογισμός των elapsed timesteps: i) Από την πρώτη χρονική στιγμή που ξεκίνησε η ανίχνευση από τον αριστερό αισθητήρα, ii) Από την πρώτη χρονική στιγμή που ξεκίνησε η ανίχνευση από τον δεξιό αισθητήρα, iii) Από την πρώτη χρονική στιγμή που σταμάτησε η ανίχνευση από τον αριστερό αισθητήρα, iv) Από την πρώτη χρονική στιγμή που σταμάτησε η ανίχνευση από τον δεξιό αισθητήρα.

Σημειώνεται ότι το κάθε ένα timestep αντιστοιχεί στην ολοκλήρωση ενός κύκλου εκτέλεσης, η διάρκεια του οποίου στη τρέχουσα μορφή του κώδικα ισούται με, κατά προσέγγιση, πενήντα χιλιοστά του δευτερολέπτου (50ms).

Σε κάθε κύκλο εκτέλεσης γίνεται η εναλλάξ ενεργοποίηση ενός από τους δύο αισθητήρες

και ο υπολογισμός μιας απόστασης. Η απόσταση αυτή έχει πάντα τιμή εκτός των προκαθορισμένων αποδεκτών ορίων με εξαίρεση το χρονικό διάστημα κατά το οποίο το χέρι του χρήστη βρίσκεται στην αποδεκτή περιοχή πραγματοποίησης χειρονομιών.

Κατά τη διάρκεια μιας χειρονομίας, το χέρι του χρήστη, καθώς μετακινείται, περνάει αρχικά από τον πρώτο αισθητήρα και η υπολογισθείσα απόστασή του παίρνει αποδεκτή τιμή. Καθώς το χέρι του χρήστη απομακρύνεται από την εμβέλεια του πρώτου αισθητήρα η απόσταση παύει να ανήκει στα αποδεκτά όρια. Από την πρώτη χρονική στιγμή αναγνώρισης μη-αποδεκτής τιμής από τον πρώτο αισθητήρα και μέσα στο χρονικό διάστημα των επόμενων τριών timesteps θα πρέπει το χέρι του χρήστη να έχει μεταφερθεί στην περιοχή εμβέλειας του δεύτερου αισθητήρα, ώστε και αυτός να υπολογίσει αποδεκτή απόσταση. Η επιτυχία πραγματοποίησης της παραπάνω διαδικασίας σημαίνει την επιτυχημένη αναγνώριση μιας χειρονομίας, η κατεύθυνση της οποίας προσδιορίζεται από τη σειρά αναγνώρισης του χεριού από τους αισθητήρες, ενώ η ταχύτητά της προκύπτει από το χρονικό διάστημα (σε elapsed timesteps) μεταξύ της πρώτης αναγνώρισης από τον πρώτο αισθητήρα και της πρώτης αναγνώρισης από τον δεύτερο αισθητήρα. Ένας συνδυασμός των δύο παραπάνω τιμών κατεύθυνσης-ταχύτητας παράγει την τιμή που αποστέλλεται από το Arduino στη Unity για την περιστροφή του μοντέλου. Αντίθετα, η αποτυχία αναγνώρισης αποδεκτής απόστασης από τον δεύτερο αισθητήρα στο διάστημα των τριών timesteps σημαίνει πως η χειρονομία είτε δεν ολοκληρώθηκε από τον χρήστη είτε απέτυχε να αναγνωριστεί από το σύστημα. Σε κάθε περίπτωση, οι πληροφορίες της μη-ολοκληρωμένης χειρονομίας διαγράφονται με το πέρας των τριών timesteps ώστε το σύστημα να είναι εκ νέου σε ετοιμότητα για την αναγνώριση νέων χειρονομιών.

Σημειώνεται πως στη συγκεκριμένη διάταξη του συστήματος η απόσταση μεταξύ των αισθητήρων είναι αρκετά μικρή ώστε η περιοχή εμβέλειας του ενός αισθητήρα να επικαλύπτει ένα μικρό μέρος της περιοχής εμβέλειας του άλλου. Λόγω αυτού, είναι πιθανό το ενδεχόμενο ο δεύτερος αισθητήρας να αναγνωρίσει το χέρι του χρήστη ενόσω αυτό αναγνωρίζεται ακόμη από τον πρώτο αισθητήρα. Σε αυτή την περίπτωση, η οποία έχει παρατηρηθεί ως και η πιο συχνή, η αναγνώριση της επιτυχημένης χειρονομίας είναι άμεση. Η αναμονή των τριών timesteps δεν έχει νόημα σε αυτή την περίπτωση, αλλά μόνο στις περιπτώσεις στις οποίες το χέρι του χρήστη εξέρχεται από την εμβέλεια του πρώτου αισθητήρα χωρίς να έχει αναγνωριστεί από τον δεύτερο.

Στο παράθεμα 3.1 παρατίθεται επεξήγηση του υπεύθυνου για τον προγραμματισμό του arduino αλγορίθμου σε μορφή ψευδοκώδικα.

```
1 Start() {
2     timestepsAL = 0; // Timesteps since the hand Arrived to Left sensor)
3     timestepsAR = 0; // Timesteps since the hand Arrived to Right sensor)
4     timestepsLL = 0; // Timesteps since the hand Left from Left sensor)
5     timestepsLR = 0; // Timesteps since the hand Left from Right sensor)
6 }
7
8 if(sensorSwitch == 0)
9     distL = calculateDistance(L_Sensor)
10    sensorSwitch = 1
11 else
12     distR = calculateDistance(R_Sensor)
13     sensorSwitch = 0
14
15 - - - - -
```

```

16
17 if(timestepsAL < 10)
18     timestepsAL++;
19
20 if(timestepsAR < 10)
21     timestepsAR++;
22
23 if(objectDetectedFromLeftSensorForTheFirstTime == true)
24     timestepsAL = 0
25     if(objectDetectedFromRightSensorInTheLast3Timesteps == true)
26         // Right-to-Left Gesture Recognized Successfully!
27         SendToUnity(timestepsAR)
28         timestepsAR = 0
29
30 if(objectDetectedFromRightSensorForTheFirstTime == true)
31     timestepsAR = 0
32     if(objectDetectedFromLeftSensorInTheLast3Timesteps == true)
33         // Left-to-Right Gesture Recognized Successfully!
34         timestepsAL += 10
35         SendToUnity(timestepsAL)
36         timestepsAL = 0

```

Listing 3.1: Ψευδοκώδικας Arduino

3.2.4 Μετατροπή των Παραμέτρων των Χειρονομιών σε Κίνηση Ψηφιακού Μοντέλου

Το βήμα που ακολουθεί την ολοκλήρωση της αναγνώρισης μιας χειρονομίας είναι η χρήση των δεδομένων που υπολογίστηκαν από αυτήν για την περιστροφή ενός τριδιάστατου μοντέλου γύρω από σταθερό κατακόρυφο άξονα (axis-fixed rotation) που διέρχεται από το κέντρο του, στο εικονικό περιβάλλον της Unity. Όπως αναφέρθηκε στην υποενότητα 3.2.3, ο προσδιορισμός της ταχύτητας και της κατεύθυνσης της χειρονομίας επιτυγχάνεται με τη χρήση ορισμένων timesteps, ενώ στο τέλος γίνεται ο υπολογισμός μιας τιμής που συνδυάζει πληροφορίες σχετικά με την κατεύθυνση και την ταχύτητα της χειρονομίας οι οποίες και αποστέλλονται στη Unity. Την περιστροφή του μοντέλου αναλαμβάνει εδώ ένα script το οποίο με κριτήριο την τιμή εισόδου καθορίζει την κατεύθυνση και τη γωνία στην οποία το μοντέλο θα περιστραφεί, καθώς και τη διάρκεια που θα διαρκέσει η περιστροφή.

Στο παράθεμα 3.2 παρατίθεται επεξήγηση του υπεύθυνου script για την περιστροφή του μοντέλου στο περιβάλλον της Unity σε μορφή ψευδοκώδικα.

```

1 directionSteps = GetFromArduino(timesteps)
2
3 AngleToRotate, RotationDuration, RotationDirection =
  CalculateDesiredValuesBasedOn(directionSteps)
4
5 if(RotationDirection == "RightToLeft")
6     for(RotationDuration)
7         RotateModelClockwise(AngleToRotate)
8
9 else if(RotationDirection == "LeftToRight")
10    for(RotationDuration)
11        RotateModelCounterclockwise(AngleToRotate)

```

Listing 3.2: Ψευδοκώδικας Περιστροφής Ψηφιακού Αντικειμένου στη Unity

3.2.5 Πρώτη Δοκιμή και Αξιολόγηση Συστήματος

Η πρώτη παρατήρηση που γίνεται κατά τη διάδραση με το σύστημα είναι πως ο προγραμματισμός του επιτρέπει τόσο την επιτυχημένη αναγνώριση χειρονομιών, όσο και τη σωστή ανάλυση των χαρακτηριστικών τους, μέσω των οποίων πραγματοποιείται η περιστροφή του εικονικού μοντέλου. Επιπλέον, η απλή φύση των χειρονομιών που αναγνωρίζονται διευκολύνει τη γρήγορη εκμάθηση και προσαρμογή στην πραγματοποίηση τους. Με έναν πιο προσεκτικό έλεγχο ωστόσο, γίνεται εμφανές πως από το σύστημα δεν απουσιάζουν τα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν αρνητικά τη διάδραση. Σε ένα μέρος των χειρονομιών που πραγματοποιούνται από τον χρήστη οι δύο αισθητήρες αποτυγχάνουν να προσδιορίσουν τη σωστή κατεύθυνση της κίνησης, ενώ επίσης ένα σημαντικό ποσοστό αυτών αποτυγχάνουν εντελώς να αναγνωριστούν. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω παρατηρήσεων το εικονικό αντικείμενο περιστρέφεται αντίθετα από τη φορά κατά την οποία ο χρήστης επιθυμεί ή παραμένει ακίνητο αντίστοιχα. Η εν λόγω συμπεριφορά αφορά δυσλειτουργία του συστήματος και δεν οφείλεται σε λανθασμένη ενέργεια από τον χρήστη, συνεπώς, σύμφωνα με τον ορισμό των «σφαλμάτων χρήσης», ο οποίος αναλύεται στην υποενότητα 2.3.4, δεν λαμβάνεται μεν υπ' όψιν στην αξιολόγηση της χρηστικότητας του συστήματος, δημιουργεί όμως μη επιθυμητές καταστάσεις οι οποίες θα προκαλούσαν σύγχυση στους χρήστες μειώνοντας την αποδοτικότητά τους. Επιπλέον, όσον αφορά την εμπειρία χρήσης, η οριζόντια τοποθέτηση των αισθητήρων και η σχετική γωνία μεταξύ τους στις 180°, απαιτεί την τοποθέτηση του χεριού του χρήστη σε θέση η οποία μετά από συνεχόμενη χρήση προκαλεί ανεπιθύμητη σωματική πίεση και πόνο.

Συνοψίζοντας, η πρώτη αυτή προσέγγιση έκανε δυνατή την επίτευξη της αλληλεπίδρασης με το μοντέλο με τη χρήση χειρονομιών, ωστόσο, η χαμηλή ακρίβεια αναγνώρισης και η κακή εργονομία επηρεάζουν αρνητικά τη διάδραση του χρήστη με το σύστημα, δυσχεραίνοντας την κατά τα άλλα ενδιαφέρουσα εμπειρία χρήσης.

3.3 Αύξηση Ακρίβειας Αναγνώρισης Συστήματος

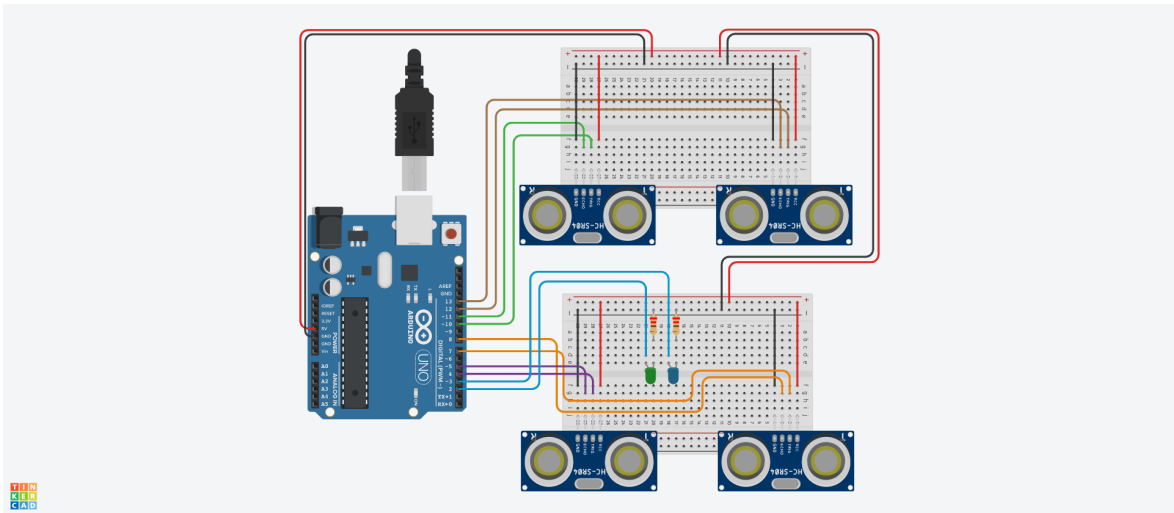
3.3.1 Προσδιορισμός προβλήματος

Όπως προέκυψε στην τελευταία ενότητα, απαιτούνται ενέργειες για τη βελτίωση της ποιότητας των αλληλεπιδράσεων του χρήστη με το σύστημα, με την πιο σημαντική να αποτελεί η εξασφάλιση μεγαλύτερης ακρίβειας με στόχο τη μείωση των σφαλμάτων κατά την αναγνώριση χειρονομιών.

Από την αλληλεπίδραση με το σύστημα έχει γίνει κατανοητό πως η περιοχή κάλυψης των αισθητήρων είναι αρκετά περιορισμένη, κάτι που ίσως αποτελεί περιορισμό των δυνατοτήτων του συστήματος και αιτία των αποτυχημένων αναγνωρίσεων. Η αύξηση της γωνίας ή/και της περιοχής κάλυψης ενδέχεται να οδηγήσουν σε περιορισμό των αποτυχημένων αναγνωρίσεων, τα χαρακτηριστικά ωστόσο των αισθητήρων HC-SR04 είναι προκαθορισμένα και δεν επιδέχονται προσαρμογές.

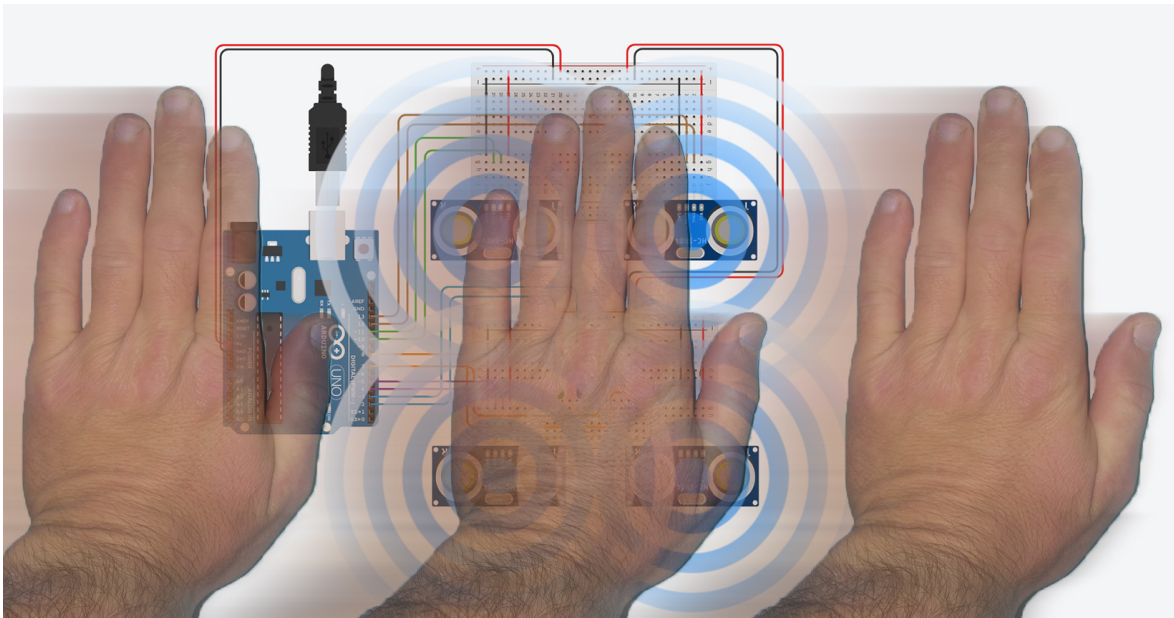
3.3.2 Επανασχεδιασμός Διαμόρφωσης Συστήματος

Η εναλλακτική διάταξη που υλοποιείται και εξετάζεται για τη βελτίωση της απόδοσης του συστήματος, όπως απεικονίζεται στο σχεδιάγραμμα του κυκλώματος στο Σχήμα



Σχήμα 3.4: Σχεδιάγραμμα Κυκλώματος Arduino - Διάταξη με χρήση τεσσάρων παράλληλα τοποθετημένων σε δύο επίπεδα αισθητήρων για την αύξηση της περιοχής κάλυψης

3.4, επιτυγχάνει την αύξηση της περιοχής κάλυψης με τη χρήση τεσσάρων αισθητήρων αντί των αρχικών δύο. Οι αισθητήρες χωρίζονται σε δύο ζεύγη τα οποία τοποθετούνται παράλληλα το ένα πάνω από το άλλο. Η χειρονομία που αναγνωρίζεται είναι, όπως απεικονίζεται στην αναπαράσταση του Σχήματος 3.5, ίδια με αυτή του προηγούμενου κεφαλαίου. Η διαφορά που παρατηρείται στο σχήμα αφορά την καλύτερη κάλυψη του χεριού, ως αποτέλεσμα της αύξησης της περιοχής κάλυψης από την προσθήκη των δύο νέων αισθητήρων. Ακολουθεί η αξιολόγηση της νέας διάταξης.



Σχήμα 3.5: Αναπαράσταση Χειρονομίας

3.3.3 Αξιολόγηση Νέας Μεθόδου

Ως μέτρο αξιολόγησης της ακρίβειας θα χρησιμοποιηθούν τα ποσοστά των λανθασμένα αναγνωρισμένων και των μη αναγνωρισμένων χειρονομιών. Για τον σκοπό αυτό γίνεται

η εξαγωγή των απαραίτητων στατιστικών δεδομένων με την πραγματοποίηση πενήντα χειρονομιών και στη συνέχεια τον υπολογισμό: i) του ποσοστού των χειρονομιών που απέτυχαν να αναγνωριστούν από το σύστημα, ii) του ποσοστού των χειρονομιών που αναγνωρίστηκαν λανθασμένα (λάθος κατεύθυνση) και τέλος iii) του ποσοστού των χειρονομιών που αναγνωρίστηκαν σωστά. Η παραπάνω διαδικασία εκτελείται τόσο στην προηγούμενη διαμόρφωση του arduino με τους δύο αισθητήρες, όσο και στη νέα διαμόρφωση με τους τέσσερις αισθητήρες για λόγους σύγκρισης.

	Αποτυχία Αναγνώρισης	Εσφαλμένη Αναγνώριση	Ορθή Αναγνώριση
Δύο Παράλληλοι Αισθητήρες	20%	16%	64%
Τέσσερις Παράλληλοι Αισθητήρες	8%	8%	84%

Table 3.1: Συχνότητες αποτυχημένης αναγνώρισης, επιτυχημένης αλλά εσφαλμένης αναγνώρισης και επιτυχημένης-ορθής αναγνώρισης χειρονομιών μεταξύ των δύο διατάξεων του συστήματος με χρήση δύο ή τεσσάρων παράλληλα τοποθετημένων αισθητήρων.

Τα δεδομένα όπως φαίνονται στον πίνακα 3.1 αποδεικνύουν την αύξηση της ακρίβειας αναγνώρισης ως αποτέλεσμα της προσθήκης των επιπλέον δύο αισθητήρων στο σύστημα και των απαιτούμενων συμπληρωματικών αλλαγών. Παρατηρείται η μείωση τόσο του ποσοστού των μη-αναγνωρισμένων χειρονομιών από 20% σε 8% και των λάθος αναγνωρισμένων χειρονομιών από 16% σε 8%, που οδηγούν στην αύξηση του ποσοστού των επιτυχημένων χειρονομιών από 64% σε 84%. Οι διαφορές αυτές, πέρα από τα στατιστικά, είναι αισθητές και κατά την αλληλεπίδραση με το σύστημα, κάνοντας την εμπειρία διάδρασης ευκολότερη και δίνοντας μεγαλύτερη αίσθηση ελέγχου.

3.4 Βελτίωση Εργονομίας

Ένα ακόμη πρόβλημα του συστήματος που σημειώθηκε στην προηγούμενη ενότητα αφορά την εμπειρία χρήσης του συστήματος και πιο συγκεκριμένα την εργονομία των κινήσεων που πραγματοποιούνται.

3.4.1 Αναγνώριση Εργονομικών Ελαττωμάτων Συστήματος

Στην τρέχουσα μορφή του συστήματος οι χειρονομίες έχουν επιλεγεί δίνοντας έμφαση στην ακρίβεια αναγνώρισης αυτών από το σύστημα προκειμένου να εξεταστούν οι δυνατότητες των αισθητήρων μέσω των οποίων συγκεντρώνονται τα δεδομένα που οδηγούν στην αναγνώριση. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται είναι οι HC-SR04 οι οποίοι προσφέρουν τη μέγιστη ακρίβεια στις μετρήσεις τους όταν το χέρι του χρήστη βρίσκεται τοποθετημένο κάθετα στην δέσμη που εκπέμπουν. Για την επίτευξη αυτού, οι χειρονομίες που αναγνωρίζονται έως τώρα από το σύστημα απαιτούν την τοποθέτηση του χεριού σε ακραία μη-φυσική στάση (Σχήμα 3.6) με αποτέλεσμα, όπως παρατηρήθηκε, η διάδραση με το σύστημα να δημιουργεί έναν συνδυασμό από δυσφορία, πόνο και κόπωση στην περιοχή του καρπού, ιδιαίτερα ύστερα από την πραγματοποίηση συνεχόμενων χειρονομιών. Το παραπάνω φαινόμενο έχει επίσης παρατηρηθεί για την ίδια χειρονομία

από τους Chen, Chu και Cheng [62] σε διεξαγωγή πειράματος με σκοπό την έρευνα των εργονομικών προβλημάτων των χωρικών, μη-απτικών χειρονομιών. Όπως αναφέρεται στα αποτελέσματα του πειράματος, η χειρονομία του «ανοίγματος της παλάμης και κάμψης της προς τα πίσω (hand dorsiflexion) ώστε η όψη της να είναι προς τα εμπρός, και η κίνηση του χεριού αριστερά-δεξιά φάνηκε να είναι η ευκολότερα αναγνωρίσιμη από τον αισθητήρα βάθους που χρησιμοποιούν. Ωστόσο, παρατηρήθηκε πως υπάρχει το ενδεχόμενο η κάμψη της παλάμης προς τα πίσω να προκαλεί δυσφορία ύστερα από παρατεταμένη έκθεση του χεριού σε αυτή την στάση». Η χειρονομία αναγνωρίστηκε ως αυτή με τη χειρότερη εργονομία από τις καθορισμένες-από-τους-χρήστες χειρονομίες που δοκιμάστηκαν στο πείραμα.



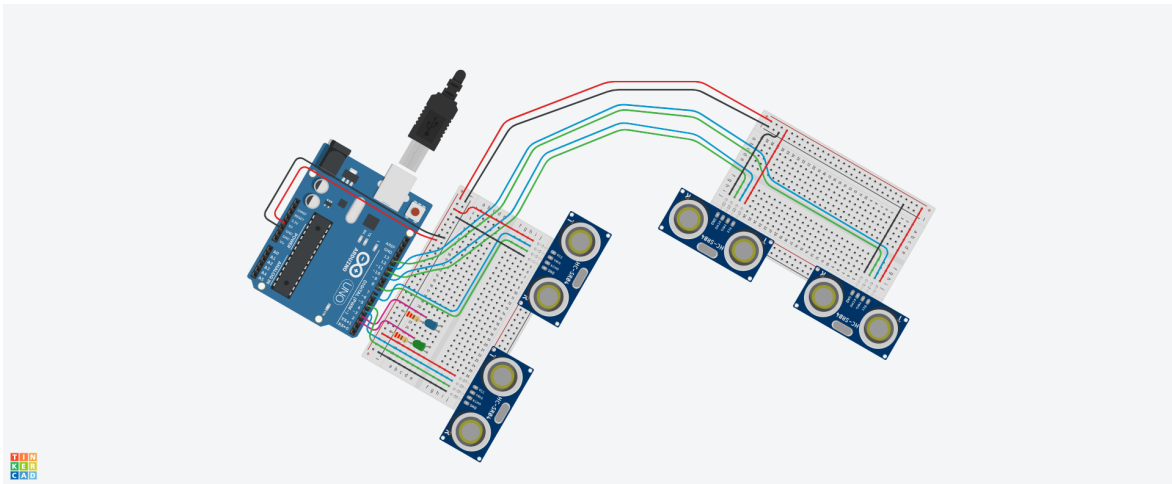
Σχήμα 3.6: Hand Dorsiflexion - Πλάγια Όψη

Συμπερασματικά, οι τρέχουσες χειρονομίες, τις οποίες το σύστημα έχει προγραμματιστεί να αναγνωρίζει, όπως αυτές παρουσιάζονται παρακάτω στο σχήμα 3.8, προσφέρουν τη μέγιστη ακρίβεια αναγνώρισης με βάση την τρέχουσα διάταξη των αισθητήρων, χωρίς ωστόσο να είναι αρκετά διαισθητικές, παραβλέποντας εντελώς τον τομέα της εργονομίας με αποτέλεσμα να κρίνονται ακατάλληλες. Λόγω της παραπάνω παρατήρησης απαιτείται η εύρεση νέων διαισθητικών χειρονομιών, η υλοποίηση των οποίων θα πρέπει να είναι εύκολη, η λειτουργικότητά τους να βασίζεται στη λειτουργικότητα που προσφέρουν όταν πραγματοποιούνται στον φυσικό κόσμο και το κυριότερο να είναι εργονομικές προκειμένου να εξαλειφθούν τα προβλήματα των προηγούμενων ενοτήτων. Παράλληλα με τα παραπάνω είναι επιθυμητό οι νέες χειρονομίες να μην προκαλέσουν σημαντική μείωση στην ακρίβεια αναγνώρισης. Λόγω της αδυναμίας αναγνώρισης διαφορετικού τύπου κινήσεων από τους αισθητήρες με την τρέχουσα διάταξη, χρήζει ο επανασχεδιασμός της έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια στην αναγνώριση σύμφωνα με τις νέες χειρονομίες.

3.4.2 Επανασχεδιασμός Χειρονομιών με Εργονομικά Πρότυπα

Υστερα από πειραματισμό με τις πιθανές νέες διατάξεις των αισθητήρων και λαμβάνοντας υπ' όψιν παράγοντες όπως η επιθυμητή ταχύτητα των χειρονομιών, η εμβέλεια των αισθητήρων και η διατήρηση της δυνατότητας απόκρυψης του συστήματος αναγνώρισης από τον χρήστη, αποφασίστηκε η τοποθέτηση των τεσσάρων αισθητήρων στο ίδιο επίπεδο, με τη σχετική γωνία μεταξύ των δύο αριστερών και των δύο δεξιών αισθητήρων στις 90°. Η νέα διάταξη απεικονίζεται στο σχήμα 3.7

Στο σχήμα 3.9 γίνεται η παρουσίαση των νέων, αναγνωρίσιμων από την προαναφερθείσα διάταξη, χειρονομιών οι οποίες θα πραγματοποιούνται διαγράφοντας ένα τόξο 90° με την παλάμη του χεριού εμπρός από τους αισθητήρες, αυξάνοντας την ομοιότητα με



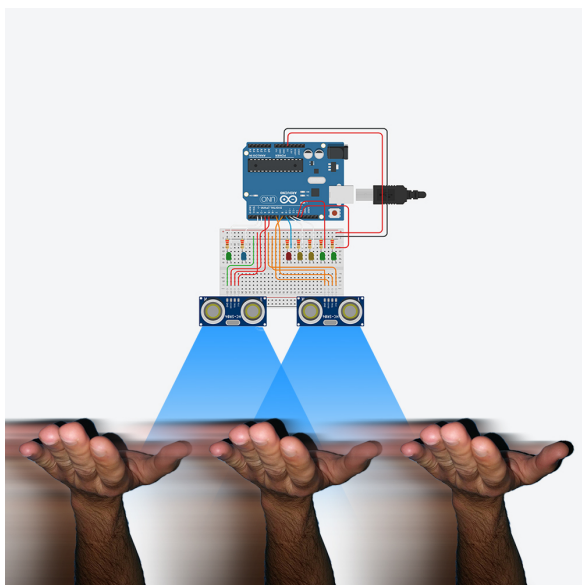
Σχήμα 3.7: Σχεδιάγραμμα Κυκλώματος Arduino - Διάταξη με χρήση τεσσάρων αισθητήρων τοποθετημένων σε γωνία 90° για αναγνώριση εργονομικών κινήσεων

τις αντίστοιχες χειρονομίες που πραγματοποιούνται για την περιστροφή πραγματικών αντικειμένων.

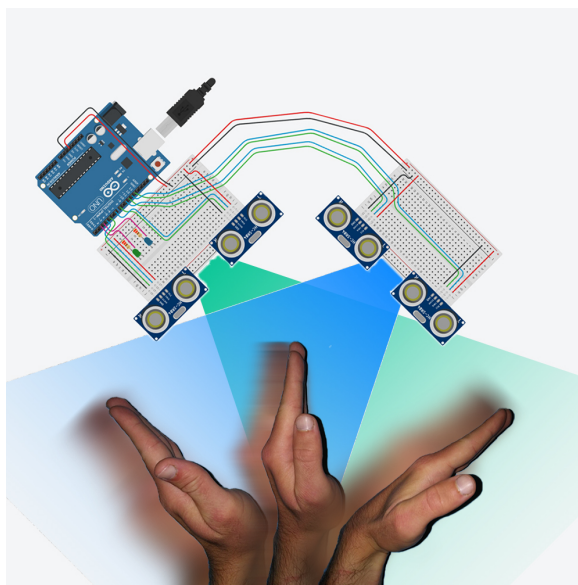
Σύμφωνα με τις απαιτήσεις που αναφέρθηκαν στην ενότητα 3.4 για την επίλυση της προηγούμενης ελαττωματικής σχεδίασης των χειρονομιών, αλλά και τις προϋποθέσεις σχεδίασης και τις βασικές αρχές της χρηστικότητας, εργονομίας, διαισθητικότητας και ευκολίας αναγνώρισης οι οποίες αναφέρονται στην ενότητα 2.5, γίνεται η αξιολόγηση των τελευταίων αλλαγών. Οι νέες χειρονομίες, σε αντίθεση με τις προηγούμενες, έχουν επιλεγεί με τέτοιον τρόπο ώστε οι ουδέτερες θέσεις τους να βρίσκονται στο μέσο μεταξύ ακραίων θέσεων και να μην απαιτούν την παραμονή σε στατικές θέσεις, βοηθώντας έτσι στην χαλάρωση των μυών, αποφεύγοντας εντελώς ακραίες θέσεις και την εξωτερική άσκηση δύναμης σε συνδέσμους. Οι παραπάνω παρατηρήσεις δείχνουν πως οι νέες χειρονομίες είναι σύμφωνες με τις βασικές αρχές της εργονομίας όπως αυτές αναφέρονται στην ενότητα 2.5. Στον τομέα της διαισθητικότητας προκύπτει πως οι νέες χειρονομίες, δεδομένου ότι βασίζονται στις κινήσεις περιστροφής απτών αντικειμένων στον πραγματικό κόσμο, σέβονται τα όρια των ανθρώπινων σωματικών ικανοτήτων με αποτέλεσμα να είναι περισσότερο φυσικές και διαισθητικές, κάνοντας ακόμα ευκολότερη την εκμάθησή και την απομνημόνευσή τους.

3.4.3 Αξιολόγηση Ακρίβειας Αναγνώρισης Εργονομικών Χειρονομιών

Για τον προσδιορισμό των αλλαγών στην ακρίβεια αναγνώρισης του συστήματος με τη χρήση των νέων χειρονομιών γίνεται εκ νέου εξαγωγή στατιστικών δεδομένων από την πραγματοποίηση εκατό χειρονομιών και τον υπολογισμό: i) του ποσοστού των χειρονομιών που απέτυχαν να αναγνωριστούν από το σύστημα, ii) του ποσοστού των χειρονομιών που αναγνωρίστηκαν λανθασμένα (λάθος κατεύθυνση) και τέλος iii) του ποσοστού των χειρονομιών που αναγνωρίστηκαν σωστά. Η παραπάνω διαδικασία εκτελείται για τη νέα διαμόρφωση του arduino με τους τέσσερις αισθητήρες σε γωνία 90° μεταξύ τους, ενώ παρατίθενται και τα στατιστικά από την προηγούμενη διαμόρφωση με τους τέσσερις παράλληλα-τοποθετημένους αισθητήρες για λόγους σύγκρισης.



Σχήμα 3.8: Παρουσίαση τρέχουσας μη-εργονομικής χειρονομίας - Κάτοψη



Σχήμα 3.9: Παρουσίαση νέας εργονομικής χειρονομίας - Κάτοψη

	Αποτυχία Αναγνώρισης	Εσφαλμένη Αναγνώριση	Ορθή Αναγνώριση
Τέσσερις Παράλληλοι Αισθητήρες	8%	8%	84%
Τέσσερις Κάθετοι Αισθητήρες	13%	1%	86%

Table 3.2: Συχνότητες αποτυχημένης αναγνώρισης, επιτυχημένης αλλά εσφαλμένης αναγνώρισης και επιτυχημένης-ορθής αναγνώρισης χειρονομιών μεταξύ των δύο διατάξεων του συστήματος με χρήση τεσσάρων αισθητήρων τοποθετημένων παράλληλα και κάθετα αντίστοιχα.

Όπως φαίνεται στον πίνακα 3.2, η νέα διαμόρφωση του συστήματος έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του ποσοστού των μη-αναγνωρισμένων χειρονομιών από 8% σε 13%, κάτι που οφείλεται στην αυξημένη πολυπλοκότητα των νέων κινήσεων και την περιορισμένη ικανότητα των αισθητήρων να αναγνωρίσουν αντικείμενα που δεν είναι κάθετα προς αυτούς. Ωστόσο, η τοποθέτηση των αισθητήρων σε γωνία έχει αυξήσει την περιοχή κάλυψης και έχει περιορίσει την επικάλυψη στο κέντρο. Αντίθετα, στις άκρες όπου εκτελείται η αρχική και η τελική θέση των χειρονομιών, οι οποίες παίζουν καθοριστικό ρόλο στον προσδιορισμό της κατεύθυνσης τους, δεν υπάρχει επικάλυψη, μειώνοντας στο ελάχιστο το ενδεχόμενο το χέρι του χρήστη να αναγνωριστεί από τους αριστερούς και τους δεξιούς αισθητήρες ταυτόχρονα. Ο συνδυασμός των παραπάνω οδηγεί σε μεγαλύτερη ακρίβεια στον προσδιορισμό της κατεύθυνσης κάτι που μπορεί να επιβεβαιωθεί από την μείωση του ποσοστού των λανθασμένα-αναγνωρισμένων χειρονομιών από 13% σε 1%. Συνολικά, με τη νέα διαμόρφωση, η απόδοση του συστήματος παραμένει στο ίδιο επίπεδο, με τη μικρή αύξηση του ποσοστού των έγκυρα-αναγνωρισμένων χειρονομιών στο 86%, έναντι του 84% της προηγούμενης διαμόρφωσης.

3.4.4 Συμπεράσματα Μεταβολών Υλικοτεχνικού Εξοπλισμού

Συγκρίνοντας την παλιά διάταξη με τη νέα, καθώς και τις αντίστοιχες χειρονομίες αυτών (σχήμα 3.8 & 3.9) παρατηρείται η ύπαρξη θετικών και αρνητικών χαρακτηριστικών και στις δύο περιπτώσεις. Πιο συγκεκριμένα, η παλιά διάταξη με την παράλληλη τοποθέτηση των αισθητήρων προσέφερε εύκολα αναγνωρίσιμες από το σύστημα χειρονομίες, ειδικά ύστερα από την τοποθέτηση των δύο επιπλέον αισθητήρων, λόγω της τοποθέτησης των χεριών σύμφωνα με τις ενδεδειγμένες για τους αισθητήρες αποστάσεις και γωνίες, αξιοποιώντας τις δυνατότητες τους με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Μειονέκτημα των εν λόγω χειρονομιών αποτέλεσε η έλλειψη διαισθητικότητας και η κακή εργονομία τους. Η νέα διαμόρφωση και οι νέες χειρονομίες προέκυψαν από την προσπάθεια εξάλειψης των παραπάνω προβλημάτων. Αρχικά επιλέχθηκαν οι χειρονομίες με κριτήριο τόσο τη συσχέτισή τους με αντίστοιχες κινήσεις στον πραγματικό κόσμο όσο και τις εργονομικές ιδιότητες των ανθρώπινων χεριών, ενώ στη συνέχεια ακολούθησε η έρευνα για τον πιο αποδοτικό σχεδιασμό της διάταξης του συστήματος με σκοπό την αναγνώριση των επιλεγμένων χειρονομιών. Με τη νέα διαμόρφωση έγινε δυνατή η επίτευξη μιας βελτιώμενης, ωστόσο όχι τέλει, εκδοχής του συστήματος στην οποία θυσιάζεται ένα μέρος της ευκολίας αναγνώρισης των χειρονομιών από το σύστημα, αυξάνοντας το ποσοστό των χειρονομιών οι οποίες αποτυγχάνουν να αναγνωριστούν, προς όφελος της εργονομίας και της διαισθητικότητας. Συνολικά, όπως αποδεικνύεται και από τον πίνακα 3.2, η αύξηση του ποσοστού των μη-αναγνωρισμένων χειρονομιών ισοσταθμίζεται με τη μείωση των λανθασμένα αναγνωρισμένων, διατηρώντας τη συνολική ακρίβεια αναγνώρισης στο ίδιο επίπεδο και αυξάνοντάς την κατά 2%. Επιπλέον, η διάδραση με το σύστημα παύει να προκαλεί πόνο και κόπωση λόγω της αναγνώρισης φιλικών προς τον χρήστη χειρονομιών, βελτιώνοντας την εμπειρία χρήσης. Η επίτευξη των παραπάνω θετικών αποτελεσμάτων έγινε κυρίως με τροποποιήσεις στο υλικο-τεχνικό μέρος του συστήματος, με τη βασική μεθοδολογία του λογισμικού αναγνώρισης των χειρονομιών να παραμένει ίδια. Συνεπώς, σε επόμενο βήμα η έρευνα καλείται να στραφεί προς τη βελτίωση αδυναμιών στον κώδικα του συστήματος.

3.5 Ενίσχυση Ανατροφοδότησης

3.5.1 Παρατηρήσεις Αδυναμιών Συστήματος

Από τη διάδραση με το σύστημα παρατηρήθηκε πως κάθε χειρονομία που εκτελείται χαρακτηρίζεται από ένα πλήθος παραγόντων όπως η ταχύτητα, η θέση και η κατεύθυνση του χεριού με τις τιμές αυτών να μεταβάλλονται καθ' όλη τη διάρκεια της χειρονομίας. Σε μια προσπάθεια να κρατηθεί σε χαμηλά επίπεδα η πολυπλοκότητα του συστήματος αναγνώρισης χειρονομιών είχε επιλεγεί να αποθηκεύονται μόνο δύο στιγμιότυπα της κίνησης, απορρίπτοντας έτσι όλες τις ενδιάμεσες διακυμάνσεις των παραπάνω παραγόντων. Από τα δύο αυτά στιγμιότυπα εξάγονταν τα δεδομένα που περιέγραφαν κατ' εκτίμηση την κίνηση. Τα μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου ήταν η φτωχή και διακριτή ανατροφοδότηση του συστήματος λόγω της έλλειψης συνέχειας, η αδυναμία επίτευξης ικανοποιητικής αντιστοίχισης των χειρονομιών του χρήστη με την περιστροφή του εικονικού αντικειμένου, η έλλειψη αμεσότητας στις αντιδράσεις του συστήματος σε κάθε αλλαγή της κατεύθυνσης ή της ταχύτητας της κάθε χειρονομίας, αλλά και η αδυναμία επίτευξης του στόχου για χαμηλή πολυπλοκότητα στον προγραμματισμό του μηχανισμού αναγνώρισης. Λόγω των παραπάνω, έγινε μια νέα προσπάθεια προγραμματισμού

του arduino, αυτή τη φορά συνδυάζοντας συνεχή παρακολούθηση και καταγραφή των χειρονομιών σε μια περισσότερο κατανοητή και λιγότερο πολύπλοκη μέθοδο.

3.5.2 Επαναπρογραμματισμός Συστήματος — Συνεχής Παρακολούθηση Θέσης

Βασικό ζητούμενο της νέας μεθοδολογίας είναι το σύστημα κάθε στιγμή να «γνωρίζει» την ακριβή θέση του χεριού αλλά και να κρατάει σύντομο ιστορικό από τις αμέσως προηγούμενες θέσεις, επιτρέποντας έτσι τον προσδιορισμό των μεταβολών της κατεύθυνσης και της ταχύτητας.

Με στόχο τα παραπάνω, ο επαναπρογραμματισμός του arduino είχε ως συνέπεια τη διαίρεση του κώδικα αναγνώρισης σε δύο νέα αρχεία. Το πρώτο αρχείο περιέχει τον κώδικα που εκτελείται από το arduino και αφορά τον προσδιορισμό της τρέχουσας θέσης του χεριού του χρήστη. Η υπόλοιπη διαδικασία εκτελείται στο περιβάλλον της Unity και αποτελείται από τη σύγκριση της τρέχουσας θέσης με τις χρονικά προηγούμενες, αποθηκευμένες στο σύστημα, θέσεις για τον προσδιορισμό της κατεύθυνσης και ταχύτητας της κίνησης και τη μετατροπή αυτών των δεδομένων στην περιστροφή του εικονικού αντικειμένου.

```
1 if(sensorSwitch == 0)
2   distLL = calculateDistance(LL_Sensor)
3   distLR = calculateDistance(LR_Sensor)
4   sensorSwitch = 1
5
6 else
7   distRL = calculateDistance(RL_Sensor)
8   distRR = calculateDistance(RR_Sensor)
9   sensorSwitch = 0
10
11 avgDistL = calculateAverageDistance(Left Breadboard)
12 avgDistR = calculateAverageDistance(Right Breadboard)
13
14 position = avgDistL - avgDistR
15
16 sendToUnity(position)
```

Listing 3.3: Ψευδοκώδικας Προσδιορισμού Θέσης Χεριού από Arduino

Πιο αναλυτικά, η διάταξη των αισθητήρων έχει παραμείνει ίδια με αυτήν της τελευταίας ενότητας όπως απεικονίζεται στο σχήμα 3.7. Υπάρχουν τέσσερις αισθητήρες χωρισμένοι σε δύο ζευγάρια. Οι αισθητήρες ενεργοποιούνται εναλλάξ ανά ζευγάρια και οι τιμές των αποστάσεων που υπολογίζουν αποθηκεύονται σε τέσσερις μεταβλητές. Ακολουθεί ο υπολογισμός δύο μέσων αποστάσεων, μια που προκύπτει από τις τιμές των δύο αριστερών αισθητήρων και μια από τις τιμές των δύο δεξιών. Η τελική τιμή της θέσης του χεριού προκύπτει αφαιρώντας την τιμή της δεξιάς μέσης απόστασης από την τιμή της αριστερής μέσης απόστασης. Η προκύπτουσα τελική τιμή της θέσης εκφράζει κατά προσέγγιση την απόσταση σε εκατοστά από την μεσοκάθετο του ευθυγράμμου τμήματος με άκρα τα δύο ζευγάρια των αισθητήρων, ενώ το πρόσημο της τιμής καθορίζει το αν η θέση βρίσκεται αριστερότερα ή δεξιότερα από την μεσοκάθετο.

```
1 currentPosition = getFromArduino(position)
2
3 if(isBetweenAcceptableBoundaries(currentPosition) == TRUE)
```

```

4 recentPositions[arrayIn] = currentPosition
5 averagePosition = calculateAverageValueOfAllCells(recentPositions[])
6 angleOfRotation = calculateRotationAngleBasedOn(maximumAngleOfRotation,
    currentPosition, averagePosition)
7
8 if(currentPosition < averagePosition)
9     rotateClockwise(AngleOfRotation)
10 else if(currentPosition > averagePosition)
11     rotateCounterClockwise(AngleToRotate)
12
13 else
14     deleteAllArraysValues(recentPositions)
15     if(lastCalculatedAngleOfRotation > 0)
16         angleOfRotation = calculateRotationAngleBasedOn(
            lastCalculatedAngleOfRotation)
17         decelerateObject(angleOfRotation)

```

Listing 3.4: Ψευδοκώδικας Προσδιορισμού Κατεύθυνσης & Ταχύτητας Περιστροφής Ψηφιακού Αντικειμένου στη Unity Βάσει Κατεύθυνσης & Ταχύτητας Χειρονομίας

Έχοντας προσδιορίσει την τρέχουσα θέση, σειρά έχει ο προσδιορισμός της κατεύθυνσης και της ταχύτητας της χειρονομίας με στόχο την εύρεση της επιθυμητής κατεύθυνσης και της γωνίας περιστροφής του εικονικού αντικειμένου. Η τιμή της τρέχουσας θέσης λαμβάνεται από τη Unity και αμέσως ελέγχεται αν ανήκει στο προκαθορισμένο αποδεκτό πεδίο τιμών ή αν βρίσκεται εκτός αυτού.

Στην πρώτη περίπτωση, η τιμή αποθηκεύεται σε έναν πίνακα, υπολογίζεται ο μέσος όρος όλων των αποθηκευμένων τιμών του πίνακα και ακολουθεί η σύγκριση του μέσου όρου των προηγούμενων θέσεων με την τρέχουσα θέση. Εδώ διακρίνονται τρεις περιπτώσεις: η μέση θέση να είναι i) ίση με την τρέχουσα, οπότε και το εικονικό αντικείμενο παραμένει ακίνητο, ή η τρέχουσα θέση να είναι ii) μεγαλύτερη ή iii) μικρότερη από την μέση τιμή του πίνακα, οπότε το εικονικό αντικείμενο περιστρέφεται αριστερόστροφα ή δεξιόστροφα αντίστοιχα. Αναλυτικότερα, το πρόσημο της διαφοράς μεταξύ της τρέχουσας θέσης και της μέσης τιμής του πίνακα καθορίζει την κατεύθυνση της περιστροφής, ενώ το μέγεθος της απόλυτης τιμής της καθορίζει ανάλογα το μέγεθος της γωνίας περιστροφής. Η μέθοδος αυτή επιλέχθηκε σε μια προσπάθεια να εξετάζεται η μεταβολή της θέσης του χεριού από τη σύγκριση της τρέχουσας θέσης, όχι με μια, αλλά από ένα σύνολο από αμέσως προηγούμενες χρονικές στιγμές, εξομαλύνοντας έτσι τυχόν ανεπιθύμητες αυξομειώσεις που θα οδηγούσαν στην άστατη κίνηση του εικονικού αντικειμένου. Επιπλέον, η γωνία περιστροφής υφίσταται κανονικοποίηση προκειμένου όλες οι πιθανές τιμές να ανήκουν σε ένα προκαθορισμένο εύρος, καθορίζοντας έτσι την τιμή της μέγιστης δυνατής γωνίας περιστροφής.

Στην περίπτωση που η τιμή της τρέχουσας θέσης βρίσκεται εκτός του αποδεκτού πεδίου τιμών, τότε αυτή παύει να επηρεάζει την περιστροφή του αντικειμένου. οι προηγούμενες αποθηκευμένες τιμές του πίνακα διαγράφονται και το αντικείμενο παραμένει ακίνητο εάν ήταν ακίνητο την αμέσως προηγούμενη στιγμή. Αν, αντίθετα, την αμέσως προηγούμενη στιγμή το αντικείμενο διέθετε γωνιακή ταχύτητα, η περιστροφή δεν θα ήταν φυσικό να σταματά απότομα, αγνοώντας φυσικές έννοιες όπως ο πρώτος νόμος του Νεύτωνα περί αδράνειας, ενώ αντίστοιχα δεν θα ήταν φυσικό να συνεχίζει με την ίδια γωνιακή ταχύτητα θεωρώντας πως δεν υπάρχει τριβή. Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα παραπάνω, έχει δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στον τρόπο με τον οποίο η λειτουργία του συστήματος προσομοιώνει την ύπαρξη τριβής στην περιστροφή του αντικειμένου. Ως α-

ποτέλεσμα, το αντικείμενο συνεχίζει να περιστρέφεται προς την ίδια κατεύθυνση με την ταχύτητά του να μειώνεται ομαλά, εκτελώντας επιβραδυνόμενη περιστροφή μέχρις ότου να ακινητοποιηθεί. Σημειώνεται πως σκόπιμα στο αποδεκτό πεδίο τιμών δεν ανήκουν οι τιμές -1 έως 1 καθώς η τοποθέτηση του χεριού στην μεσοκάθετο αποτελεί ουδέτερη θέση η οποία θα πρέπει να αγνοείται.

Τα παραπάνω υπάρχουν σε μορφή ψευδοκώδικα στα παραθέματα 3.3 και 3.4.

3.5.3 Εύρεση Βέλτιστης Παραμετροποίησης Συστήματος

Η τελική μορφή του κώδικα προέκυψε ύστερα από ένα σύνολο από δοκιμές και αλλαγές σε δύο παραμέτρους με στόχο την ικανοποιητική εξομάλυνση των τιμών που επηρεάζουν την κίνηση, προσφέροντας παράλληλα ακριβή και χωρίς καθυστερήσεις εικονική αναπαράσταση των χειρονομιών που εκτελούνται, δίνοντας στον χρήστη την ψευδαίσθηση πως αλληλεπιδρά με το ίδιο το σύστημα. Οι δύο αυτές παράμετροι είναι i) ο αριθμός των κελιών του πίνακα στον οποίο αποθηκεύονται οι πρόσφατα υπολογισμένες τιμές για τη θέση του χεριού (Array SIZE) και ii) η μέγιστη δυνατή γωνία περιστροφής, ή αλλιώς γωνιακή ταχύτητα (Max R.S.) εκφρασμένη σε μοίρες ανά timestep, στην οποία θα μπορούσε το εικονικό αντικείμενο να περιστραφεί σε κάθε καρέ. Προκειμένου να βρεθεί ο βέλτιστος συνδυασμός των δύο αυτών παραμέτρων έγιναν χρονομετρημένες δοκιμές σε ένα σύνολο από διαφορετικές τιμές, για κάθε μια από τις οποίες καταγράφηκαν επίσης σχόλια σχετικά με την εμπειρία της αλληλεπίδρασης. Οι παράγοντες της αλληλεπίδρασης που εξετάστηκαν σε κάθε πιθανό συνδυασμό των δύο παραπάνω παραμέτρων ήταν: i) η φυσικότητα της χαρτογράφησης, κατά πόσο δηλαδή η περιστροφή του εικονικού αντικειμένου ανταποκρινόταν στα χαρακτηριστικά της εκάστοτε χειρονομίας και έμοιαζε με τις αντίστοιχες αντιδράσεις που θα παρατηρούσαν από ένα απτό αντικείμενο, ii) η ακρίβεια περιστροφής, ο βαθμός δηλαδή της ευκολίας στην πραγματοποίηση λεπτομερών περιστροφών λίγων μοιρών του εικονικού αντικειμένου και iii) το πλήθος των χειρονομιών που απαιτούνταν για την περιστροφή του εικονικού αντικειμένου στον επιθυμητό προσανατολισμό, με την αποφυγή ύπαρξης μεγάλου αριθμού στην τελευταία να αποτελεί μια από τις βασικές αρχές της εργονομίας όπως αναφέρεται στην ενότητα 2.5.

Σύμφωνα με τη δοκιμή, τα αποτελέσματα της οποίας υπάρχουν στον πίνακα 3.3, στα μικρότερα μεγέθη πίνακα παρατηρήθηκε άμεση επιτάχυνση του αντικειμένου παράλληλα όμως με πολύ μικρή διάρκεια περιστροφής, με αποτέλεσμα να απαιτείται μεγάλος αριθμός χειρονομιών προκειμένου το αντικείμενο να περιστραφεί στην επιθυμητή γωνία. Αντίστοιχες παρατηρήσεις έγιναν στις περιπτώσεις μικρών τιμών της μέγιστης γωνιακής ταχύτητας, ευνοώντας την ακρίβεια λόγω της μειωμένης ευαισθησίας, κάνοντας όμως την αλληλεπίδραση κουραστική. Αντίθετα, όσο μεγαλύτερο ήταν το μέγεθος του πίνακα τόσο μεγαλύτερη ήταν η διάρκεια περιστροφής, υπήρχε όμως μεγάλη καθυστέρηση μέχρι η περιστροφή να αποκτήσει ταχύτητα ανάλογη με αυτή της κίνησης του χεριού. Αντίστοιχα, αυξάνοντας την τιμή της μέγιστης γωνιακής ταχύτητας περιστροφής αποδείχθηκε πως επηρεάζεται αντιστρόφως ανάλογα η ακρίβεια λόγω της υψηλής ευαισθησίας, κάνοντας δύσκολο τον χειρισμό στις πιο αργές κινήσεις. Μελετώντας τα παραπάνω και συγκρίνοντας την εμπειρία χρήσης κάθε ενός συνδυασμού, επιλέχθηκε ο συνδυασμός μέγιστης γωνιακής ταχύτητας 25°/timestep και για το μέγεθος του πίνακα τα 15 κελιά, ως ο περισσότερο αποδοτικός και αυτός που προσφέρει την περισσότερο ρεαλιστική εμπειρία χρήσης.

Max R.S.	Array SIZE	Μέσος Χρόνος	Σημειώσεις
25	10	00:09,79	Ουδέτερη/καλή αλληλεπίδραση.
25	02	00:20,32	Κουραστική, χρειάζεται πάρα πολλές χειρονομίες.
25	20	00:08,98	Μεγάλη καθυστέρηση έως την απόκτηση επιθυμητής ταχύτητας.
25	15	00:08,22	Καλή, αρκετά εύκολος χειρισμός.
55	15	00:11,24	Όχι καλή, μειωμένη ακρίβεια, πολύ γρήγορη περιστροφή.
10	15	00:13,95	Όχι καλή, αυξημένη ακρίβεια, πολύ μειωμένη ταχύτητα.

Πίνακας 3.3: Αποτελέσματα δοκιμής σχετικά με τους διαφορετικούς συνδυασμούς των τιμών της μέγιστης ταχύτητας περιστροφής (Max R.S.) και του μεγέθους του πίνακα (Array SIZE). Είκοσι γύροι εκτελέστηκαν για κάθε συνδυασμό, ακολουθούμενοι από τον υπολογισμό του μέσου απαιτούμενου χρόνου για την ολοκλήρωση του κάθε γύρου. Προσωπικές σημειώσεις έχουν επίσης προστεθεί οι οποίες περιγράφουν συνοπτικά την αλληλεπίδραση με τον κάθε συνδυασμό ως προς τη φυσικότητα της χαρτογράφησης, την ακρίβεια της περιστροφής και το απαιτούμενο πλήθος των χειρονομιών.

3.5.4 Επιπρόσθετη Χαρτογράφηση Αναγνώρισης Χειρονομιών

Με τον νέο προγραμματισμό του συστήματος επιτεύχθηκε αναλυτικότερη καταγραφή των μεταβολών των χειρονομιών και ως αποτέλεσμα ακριβέστερη ανατροφοδότηση προς τον χρήστη. Χρησιμοποιώντας τη βασική λειτουργικότητα της νέας προσέγγισης έγινε δυνατός ο σχεδιασμός μιας ακόμα χαρτογράφησης με εύκολη προγραμματιστική υλοποίηση και τη παροχή απλούστερης δυνατότητας εκμάθησης, δεδομένου ότι δεν απαιτείται η πραγματοποίηση σύνθετων χειρονομιών. Η χαρτογράφηση αυτή παρουσιάζεται ως εναλλακτική καθώς δεν παρουσιάζει ομοιότητες με χειρονομίες που χρησιμοποιούνται στον πραγματικό κόσμο για την περιστροφή απτών αντικειμένων, συνεπώς δεν θα συμφωνούσε με τις απαιτήσεις του συστήματος για φυσική διάδραση. Η νέα χαρτογράφηση μοιράζεται σχεδιαστικά στοιχεία από το περιβάλλον των γραφικών διεπαφών χρήστη και του κόσμου των βιντεοπαιχνιδιών, καθώς μιμείται την κίνηση σε έναν άξονα ενός αναλογικού μοχλού ή την λειτουργία ενός γραφικού στοιχείου ελέγχου, όπως μία γραμμή κύλισης χρησιμοποιείται για την πλοήγηση στο περιβάλλον μιας γραφικής διεπαφής.

Η λειτουργία της χαρτογράφησης μπορεί να περιγραφεί ως εξής: η κατεύθυνση της περιστροφής του εικονικού αντικειμένου καθορίζεται από την τρέχουσα θέση του χεριού του χρήστη σε σχέση με τη μεσοκάθετο του ευθυγράμμου τμήματος που ενώνει τα δύο ζεύγη αισθητήρων, την περιοχή δηλαδή στην οποία το χέρι του χρήστη απέχει ίση απόσταση από το αριστερό και το δεξί ζεύγος αισθητήρων. Στην περίπτωση που το χέρι βρίσκεται στην περιοχή αριστερά της μεσοκαθέτου, το εικονικό αντικείμενο περιστρέφεται δεξιόστροφα και στην αντίθετη περίπτωση περιστρέφεται αριστερόστροφα. Η ταχύτητα της περιστροφής είναι ανάλογη της τρέχουσας απόστασης του χεριού από την μεσοκάθετο, που σημαίνει πως η ταχύτητα περιστροφής αυξάνεται καθώς αυξάνεται η απόσταση του χεριού από την μεσοκάθετο. Στην περίπτωση μηδενισμού της απόστασης του χεριού από την μεσοκάθετο ή της διακοπής ανίχνευσης του από τους αισθητήρες, το αντικείμενο παύει να περιστρέφεται και παραμένει ακίνητο. Για καλύτερη οπτικοποίηση θα μπορούσε να περιγραφεί και ως εξής: Η κατεύθυνση προς την οποία

τοποθετείται το χέρι του χρήστη ορίζει την φορά προς την οποία ο χρήστης επιθυμεί να ασκηθεί δύναμη η οποία θα οδηγήσει το εικονικό αντικείμενο να περιστραφεί, ενώ η απόσταση από την μεσοκάθετο αντιπροσωπεύει το μέγεθος αυτής της δύναμης.

Διατηρώντας τα χαρακτηριστικά της ενότητας της προηγούμενης μεθοδολογίας, η περιστροφή του μοντέλου και η ανατροφοδότηση προς τον χρήστη είναι συνεχής και μεταβάλλεται για κάθε αλλαγή που ανιχνεύεται στη θέση του χεριού του χρήστη. Ο ψευδοκώδικας των λειτουργιών που εκτελούνται από το arduino για τον προσδιορισμό της θέσης του χεριού είναι ίδιος με αυτόν της προηγούμενης ενότητας: 3.3, ενώ ο ψευδοκώδικας για την περιστροφή του εικονικού αντικειμένου που περιγράφεται παραπάνω υπάρχει στην παράθεση 3.5.

```
1 currentPosition = GetFromArduino(position)
2
3 if(isBetweenAcceptableBoundaries(currentPosition) == TRUE)
4     rotationalSpeed = CalculateRotationalSpeedBasedOn(currentPosition)
5
6     if(currentPosition < 0)
7         RotateClockwise(rotationalSpeed)
8     else if(currentPosition > 0)
9         RotateCounterClockwise(rotationalSpeed)
```

Listing 3.5: Ψευδοκώδικας Προσδιορισμού Κατεύθυνσης & Ταχύτητας Περιστροφής Ψηφιακού Αντικειμένου στη Unity Βάσει Τρέχουσας Θέσης Χεριού

Η νέα χαρτογράφηση διαφέρει αρκετά από τις προηγούμενες χαρτογραφήσεις και φαίνεται να ταιριάζει περισσότερο σε διαφορετικές κατηγορίες εφαρμογών όπως η πλοήγηση σε ένα εικονικό περιβάλλον, και λιγότερο σε εφαρμογές χειρισμού εικονικών αντικειμένων. Λόγω αυτής της παρατήρησης, η χαρτογράφηση αυτής της ενότητας αντιμετωπίζεται ως ένας συμβιβασμός στην αδυναμία αντιστοίχισης των χειρονομιών με τον πραγματικό κόσμο, προσφέροντας ως αντάλλαγμα σημαντικές βελτιώσεις στους τομείς της πολυπλοκότητας και της απόδοσης. Αναλυτικότερα, η συνεχής φύση των χειρονομιών — και συμπερασματικά η συνεχής κίνηση του μοντέλου — σε αντίθεση με τη διακριτότητα των προηγούμενων χαρτογραφήσεων, στις οποίες ο χρήστης καλούνταν με την ολοκλήρωση της εκτέλεσης κάθε μιας χειρονομίας να επιστρέφει το χέρι του στην αρχική του θέση και να επαναλαμβάνει τη χειρονομία, εξουδετερώνει την απώλεια χρόνου για την επιστροφή του χεριού στην αρχική θέση και συνεπώς μειώνει τον απαιτούμενο αριθμό χειρονομιών που εκτελούνται προσφέροντας αυξημένη απόδοση και περισσότερο έλεγχο στην ταχύτητα περιστροφής. Επιπλέον, η αξιοποίηση προϋπαρχουσών γνώσεων από το πεδίο των γραφικών διεπαφών αντικαθιστά σε ένα βαθμό την ανάγκη φυσικότητας των χειρονομιών, καλύπτοντας τη γενικότερη ανάγκη για διαισθητικότητα και μειώνοντας έτσι το χάσμα με τις φυσικές χειρονομίες.

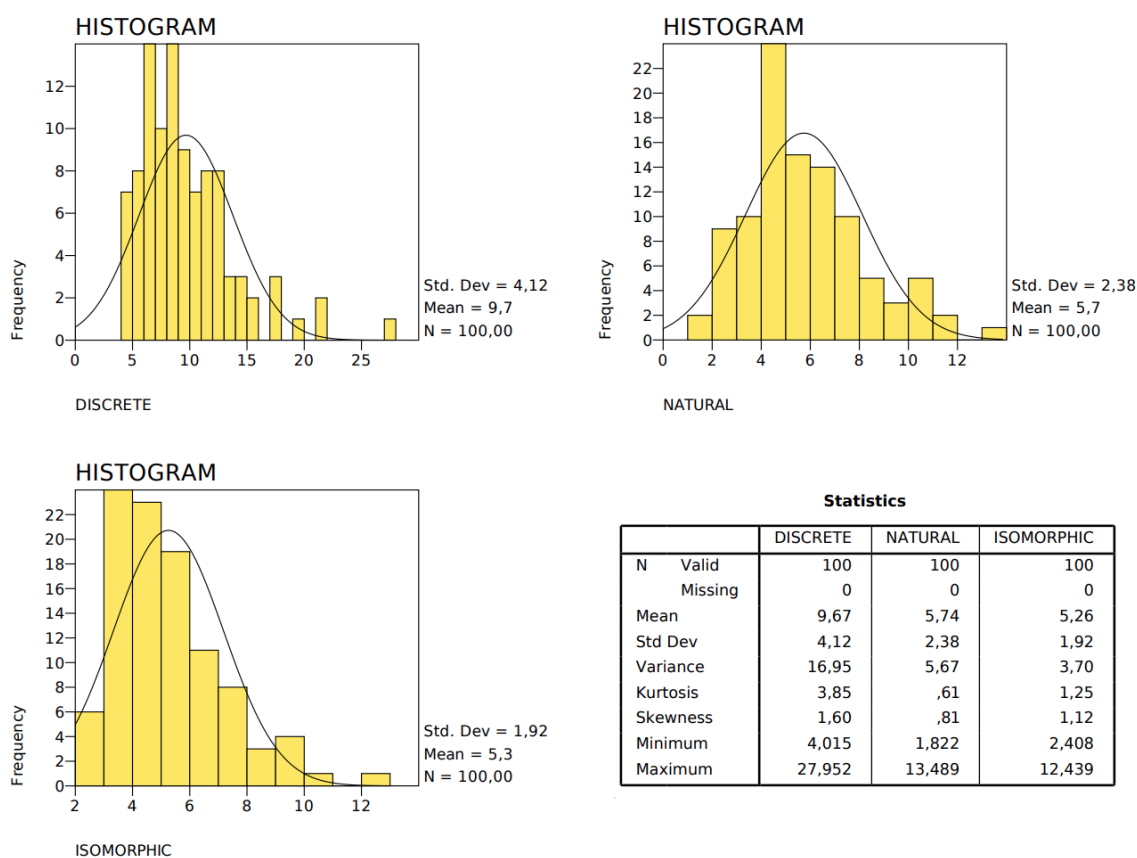
3.6 Αξιολόγηση Ποσοτικών και Ποιοτικών Χαρακτηριστικών των Χαρτογραφήσεων

Σε αυτήν την ενότητα πραγματοποιείται η σύγκριση των τριών τελευταίων χαρτογραφήσεων που προέκυψαν σε αυτό το κεφάλαιο με σκοπό την εύρεση αυτής που προσφέρει τη συνολικά καλύτερη εμπειρία χρήσης, καλύπτοντας παράλληλα σε ικανοποιητικό βαθμό τις απαιτήσεις του συστήματος.

3.6.1 Στατιστική Ανάλυση Απόδοσης

Έχοντας πετύχει ικανοποιητικό επίπεδο ακρίβειας αναγνώρισης χειρονομιών, η έρευνα πλέον μπορεί να στραφεί στη σύγκριση των διαφορετικών χαρτογραφήσεων του συστήματος που έχουν περιγραφεί στις προηγούμενες ενότητες, την εύρεση του βαθμού στον οποίο αυτές αποδίδουν σύμφωνα με τις ανάγκες του συστήματος και στην προετοιμασία για τον μελλοντικό προσδιορισμό της αποδοτικότητας. Η εκπόνηση μετρήσιμων στατιστικών δεδομένων για την πραγματοποίηση των παραπάνω ενεργειών απαιτεί τη δημιουργία νέας εφαρμογής αξιολόγησης η οποία θα είναι συμβατή με όλες τις υπάρχουσες χαρτογραφήσεις και δεν θα επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά ή τον μηχανισμό αναγνώρισης των εκάστοτε χειρονομιών. Δεδομένου ότι η αποδοτικότητα ενός συστήματος υπολογίζεται συνάρτηση των πόρων που χρησιμοποιούνται για την επίτευξη του αποτελέσματος, όπως αυτό έχει αναλυθεί στην υποενότητα 2.3.2, επιλέγεται η μέτρησή της να γίνεται με την καταγραφή του συνολικού χρόνου που απαιτείται για την ολοκλήρωση προκαθορισμένων διεργασιών. Η ανάπτυξη και ο τρόπος λειτουργίας της εφαρμογής παρουσιάζεται αναλυτικότερα στην επόμενη ενότητα: 4.2.

Σημειώνεται πως οι μετρήσεις της τρέχουσας υποενότητας δεν αφορούν επίσημη αξιολόγηση της αποδοτικότητας του συστήματος, καθώς σε αυτή τη περίπτωση θα απαιτούνταν η συμμετοχή αντιπροσωπευτικού τμήματος χρηστών, αλλά επικεντρώνονται στη σύγκριση των διαφορετικών χαρτογραφήσεων και τον προσδιορισμό της βέλτιστης προσδοκώμενης απόδοσης κάθε μιας από αυτές.



Σχήμα 3.10: Γραφήματα Κατανομής Συχνοτήτων και Στατιστικά Δεδομένα των χαρτογραφήσεων που εξετάζονται.

Για τον υπολογισμό της απόδοσης των δύο νέων χαρτογραφήσεων οι οποίες παρουσι-

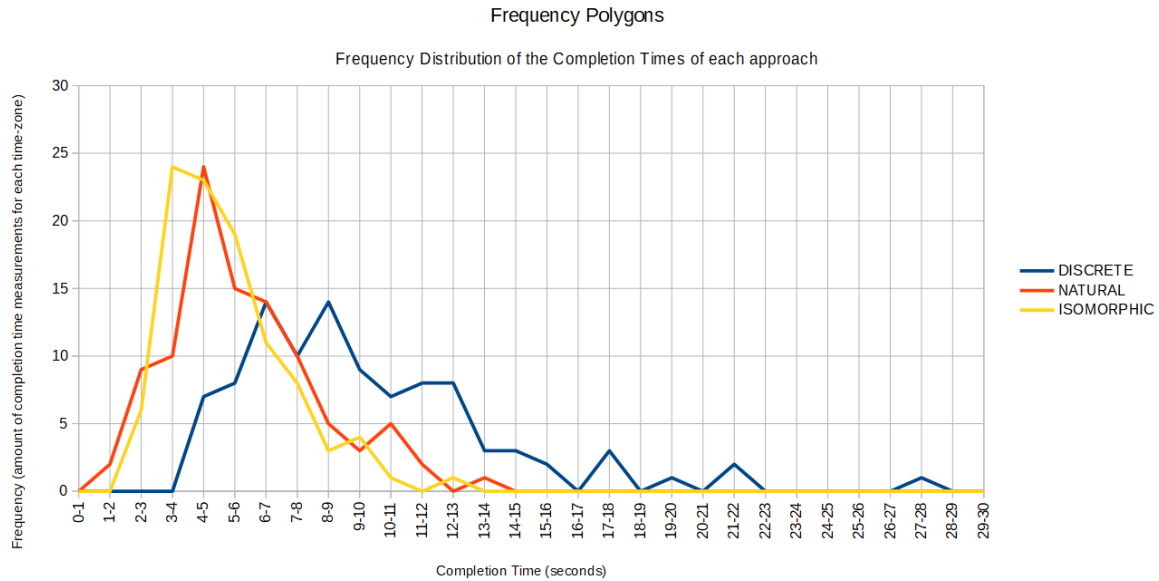
άστηκαν στις υποενότητες 3.5.2 & 3.5.4 και τη σύγκρισή τους με την απόδοση της παλαιότερης χαρτογράφησης 3.4.2 πραγματοποιήθηκε δοκιμή του συστήματος. Χρησιμοποιώντας τη νέα εφαρμογή εκτελέστηκαν στα πλαίσια της δοκιμής για κάθε μία από τις τρεις χαρτογραφήσεις εκατό χρονομετρημένες διεργασίες περιστροφής ενός εικονικού αντικειμένου μέσω αναγνώρισης χειρονομιών. Για την διευκόλυνση της διαδικασίας, σε κάθε μια από τις παραπάνω χαρτογραφήσεις έχει αποδοθεί μια κωδική ονομασία. Η χαρτογράφηση της υποενότητας 3.5.2 θα αναφέρεται ως **Φυσική** (Natural), δεδομένης της φυσικότητας των χειρονομιών που αναγνωρίζει. Η χαρτογράφηση της υποενότητας 3.5.4 θα αναφέρεται ως **Ισομορφική** (Isomorphic), δεδομένης της ισομορφικής χαρτογράφησης [56] μεταξύ των χειρονομιών εισόδου και των λειτουργιών του συστήματος. Τέλος, η παλαιότερη χαρτογράφηση της ενότητας 3.4.2 θα αναφέρεται ως **Διακριτή** (Discrete) λόγω της διακριτής ανατροφοδότησης που προσφέρει.

Οι καταγεγραμμένοι χρόνοι ολοκλήρωσης όλων των γύρων, αφού συλλέχθηκαν από την εφαρμογή, εισήχθησαν στην πλατφόρμα στατιστικής ανάλυσης PSPP⁹ μέσω της οποίας παρήχθησαν τα γραφήματα και ο πίνακας με τα στατιστικά δεδομένα του σχήματος 3.10. Κάθε ένα από τα ιστογράμματα του σχήματος περιγράφει δεδομένα μιας εκ των τριών χαρτογραφήσεων και απεικονίζει την κατανομή των συχνοτήτων των χρόνων ολοκλήρωσης των διεργασιών της. Δεδομένου ότι οι τιμές των χρόνων ολοκλήρωσης είναι συνεχείς, για την παραγωγή των ιστογραμμάτων ήταν απαραίτητη η ομαδοποίηση των χρόνων σε ομάδες και ο υπολογισμός του αριθμού των μετρήσεων που ανήκουν σε κάθε μια από αυτές. Οι παραπάνω διαδικασίες πραγματοποιήθηκαν αυτόματα από το PSPP. Οι τιμές του οριζόντιου άξονα κάθε ιστογράμματος εκφράζουν τον χρόνο ολοκλήρωσης κάθε διεργασίας σε δευτερόλεπτα (s) και είναι χωρισμένες σε ίσα διαστήματα πλάτους ενός δευτερολέπτου, κάθε ένα από τα οποία αντιπροσωπεύει μια ομάδα. Οι τιμές του κατακόρυφου άξονα εκφράζουν την συχνότητα, ή αλλιώς τον συνολικό αριθμό των καταγεγραμμένων χρόνων ολοκλήρωσης που ανήκουν σε κάθε μια ομάδα. Για παράδειγμα, στο γράφημα της ισομορφικής χαρτογράφησης η πρώτη από τα αριστερά στήλη αφορά την ομάδα στο διάστημα 2s έως 3s στο οποίο υπάρχουν 6 καταγεγραμμένοι χρόνοι. Για την καλύτερη οπτικοποίηση των δεδομένων, στα γραφήματα απεικονίζεται και η καμπύλη της κανονικής κατανομής.

Παρατηρώντας τα ιστογράμματα διακρίνεται πως οι τιμές της διακριτής χαρτογράφησης είναι περισσότερο διασκορπισμένες, σε αντίθεση με τις δύο άλλες χαρτογραφήσεις, οι τιμές των οποίων είναι περισσότερο συγκεντρωμένες κοντά στον μέσο. Επίσης, στο διάγραμμα της διακριτής χαρτογράφησης υπάρχουν περισσότερες μετρήσεις με χρόνο άνω των 10s συγκριτικά με τις δύο άλλες χαρτογραφήσεις. Τα παραπάνω διακρίνονται ευκολότερα στο σχήμα 3.11 στο οποίο απεικονίζονται ξανά οι κατανομές των συχνοτήτων των τριών χαρτογραφήσεων, αυτή τη φορά σε διάγραμμα με κοινούς άξονες.

Για τον προσδιορισμό της μεταβλητότητας των χρόνων ολοκλήρωσης των διεργασιών εξετάζονται οι τιμές των μέσων και των τυπικών αποκλίσεων για κάθε μια από τις τρεις χαρτογραφήσεις. Παρατηρώντας τα δεδομένα του πίνακα του σχήματος 3.10 φαίνεται πως από τους χρόνους ολοκλήρωσης της διακριτής χαρτογράφησης προκύπτει ο μεγαλύτερος μέσος (9,67s), ακολουθεί η φυσική χαρτογράφηση με αισθητά μικρότερο μέσο (5,74s) και τέλος η ισομορφική χαρτογράφηση με τον χαμηλότερο μέσο εκ των τριών χαρτογραφήσεων (5,26s). Αντίστοιχα και στις τιμές της τυπικής απόκλισης, οι χρόνοι της διακριτής χαρτογράφησης εμφανίζουν τη μεγαλύτερη τυπική απόκλιση (4,12s), με

⁹<https://www.gnu.org/software/pspp/>



Σχήμα 3.11: Γράφημα Κατανομής Συχνοτήτων των Χρόνων Ολοκλήρωσης όλων των Χαρτογραφήσεων.

τη φυσική (2.38s) και την ισομορφική (1.92s) χαρτογράφηση και να ακολουθούν με μικρή, ωστόσο αξιολογική, διαφορά.

Η τυπική απόκλιση αποτελεί δείκτη του βαθμού διασποράς των τιμών ενός συνόλου γύρω από τον αριθμητικό τους μέσο, με άλλα λόγια εκφράζει το πόσο μακριά βρίσκονται οι τιμές από την αντιπροσωπευτική τιμή του μέσου όρου. Όσο μικρότερη είναι η τιμή της τυπικής απόκλισης, τόσο πιο συγκεντρωμένοι γύρω από τον μέσο βρίσκονται οι καταγεγραμμένοι χρόνοι και τόσο μεγαλύτερη είναι η συνέπεια που διέπει τα δεδομένα. Αντίθετα, στην περίπτωση μεγαλύτερων τιμών τυπικής απόκλισης, οι καταγεγραμμένοι χρόνοι είναι περισσότερο διασκορπισμένοι και μοιάζουν περισσότερο τυχαίοι, κάνοντας τον μέσο λιγότερο αντιπροσωπευτικό αυτών.

Στόχος αυτής της δοκιμής είναι να βρεθεί η χαρτογράφηση που παρουσιάζει τον βέλτιστο συνδυασμό των παραμέτρων της αποδοτικότητας που εξετάζονται. Πιο συγκεκριμένα, επιθυμητή στη προκειμένη περίπτωση θεωρείται τόσο η ύπαρξη χαμηλού μέσου, ώστε οι χρόνοι ολοκλήρωσης να είναι γενικά χαμηλοί, όσο και χαμηλής τυπικής απόκλισης, ώστε όλες οι καταγεγραμμένες τιμές να βρίσκονται κοντά στον χαμηλό μέσο, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο την πιθανότητα να υπάρξουν περιπτώσεις με υπερβολικά υψηλό χρόνο ολοκλήρωσης.

Από τα αποτελέσματα ξεχωρίζει αρνητικά η διακριτή χαρτογράφηση, λόγω της ποσοτικά μικρής (κατά προσέγγιση 4s), αλλά αναλογικά αξιοσημείωτης διαφοράς στις τιμές των μέσων (κατά προσέγγιση 75% αύξηση στον χρόνο ολοκλήρωσης) σε σύγκριση με τις δύο άλλες χαρτογραφήσεις. Το παραπάνω σε συνδυασμό με την ύπαρξη μεγαλύτερης τιμής και στην τυπική απόκλιση σημαίνει πως οι χρόνοι ολοκλήρωσης της διακριτής χαρτογράφησης είναι υψηλότεροι σε σχέση με τις υπόλοιπες χαρτογραφήσεις και πως υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα ο χρόνος ολοκλήρωσης να έχει μεγάλη χρονική διαφορά από τον μέσο χρόνο, μειώνοντας έτσι τη συνέπεια. Η ισομορφική χαρτογράφηση είναι αυτή που προσφέρει τις βέλτιστες τιμές τυπικής απόκλισης και μέσου με αποτέλεσμα να προηγείται στον τομέα της απόδοσης, με τη φυσική χαρτογράφηση να ακολουθεί

με ελαφρώς χειρότερες αλλά εξίσου ικανοποιητικές τιμές.

3.6.2 Ποιοτική Ανάλυση

Εκτός των στατιστικών δεδομένων της απόδοσης των χαρτογραφήσεων, ιδιαίτερη σημασία έχουν και τα υποκειμενικά δεδομένα τα οποία χαρακτηρίζουν την αλληλεπίδραση με τις διαφορετικές χαρτογραφήσεις. Σε αυτή την ενότητα γίνεται η αξιολόγηση των τριών χαρτογραφήσεων σύμφωνα με τις παρατηρήσεις που προέκυψαν από τη μελέτη της βιβλιογραφίας στην ενότητα 2.6 και η προσαρμογή τους για την κάλυψη των αναγκών της εν λόγω διεπαφής.

Αξιολόγηση των Χαρτογραφήσεων Σύμφωνα με τις Απαιτήσεις του Συστήματος

Στόχος του συστήματος είναι η προσομοίωση συγκεκριμένων διεργασιών της φυσικής διάδρασης με απτά αντικείμενα μέσω της εικονικής διάδρασης με ένα ψηφιακό αντικείμενο, γεγονός που κάνει την ύπαρξη αναλογιών με τον φυσικό κόσμο σημαντική. Η χρήση του συστήματος προορίζεται να γίνει σε μουσεία και ειδικότερα σε περιπτώσεις στις οποίες η φυσική διάδραση με φυσικά εκθέματα είναι αδύνατη. Ο χρόνος που οι επισκέπτες αφιερώνουν για την αλληλεπίδραση με ένα μουσειακό έκθεμα είναι περιορισμένος και διαρκεί κατά μέσο όρο από μερικά δευτερόλεπτα έως λίγα λεπτά [63], [64]. Λόγω αυτού, υπάρχει υψηλή απαίτηση η κατανόηση του νοητικού μοντέλου της αλληλεπίδρασης του συστήματος να είναι η εύκολη ώστε οι χρήστες να μη σπαταλούν μεγάλο ποσοστό του διαθέσιμου χρόνου τους στη κατανόηση του συστήματος. Τέλος, οι χρήστες στους οποίους απευθύνεται δεν ανήκουν σε κάποιο προκαθορισμένο τμήμα του πληθυσμού με γνωστές εμπειρίες και γνώσεις, συνεπώς υπάρχει απαίτηση για υποστήριξη ποικιλόμορφων συνόλων χρηστών.

Η διακριτή χαρτογράφηση, λόγω της απλότητας και της έλλειψης σύνθετης λειτουργικότητας θα μπορούσε να χαρακτηριστεί συνολικά ως ουδέτερη στην ευκολία εκμάθησης. Στον τομέα της ομοιότητας με τον φυσικό κόσμο προσφέρει καλή αντιστοιχία της ταχύτητας των χειρονομιών με την ταχύτητα της περιστροφής, όμως η φτώχη και σε έτερο χρόνο ανατροφοδότηση προς τον χρήστη καθώς και η κακή αναλογία στη διάρκεια της περιστροφής την απομακρύνουν από την βέλτιστη εμπειρία χρήσης. Συνολικά, αποτελεί μια απλή λειτουργική εκδοχή του συστήματος η οποία φαίνεται πως δεν θα καταφέρει να ικανοποιήσει τους χρήστες λόγω της κακής ανατροφοδότησης και της κούρασης που προκαλεί λόγω της ανάγκης εκτέλεσης επαναλαμβανόμενων κινήσεων.

Η φυσική χαρτογράφηση έχει παρατηρηθεί πως λειτουργεί ιδιαίτερα καλά για μέτριας ταχύτητας χειρονομίες, ωστόσο υστερεί στη φυσική προσομοίωση της περιστροφής του ψηφιακού αντικειμένου για ιδιαίτερα γρήγορες ή αργές/λεπτομερείς χειρονομίες. Αυτό προκύπτει αφενός λόγω της παραμετροποίησης του συστήματος, η οποία έχει επιλεγεί με στόχο τη βέλτιστη λειτουργία σε μέτριας ταχύτητας χειρονομίες, και αφετέρου λόγω των περιορισμένων δυνατοτήτων των αισθητήρων, με την τελευταία να αποτελεί κοινό περιοριστικό παράγοντα όλων των χαρτογραφήσεων που εξετάζονται. Η αναγνώριση λεπτομερών χειρονομιών στη συγκεκριμένη χαρτογράφηση είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί με μεγάλη ακρίβεια με την τοποθέτηση του χεριού αριστερότερα ή δεξιότερα από το κέντρο της περιοχής αναγνώρισης, αξιοποιώντας τις βέλτιστες συνθήκες αναγνώρισης αυτών των περιοχών, δυνατότητα που δεν προσφέρεται στις υπόλοιπες χαρ-

τογραφήσεις. Συνεπώς, στον τομέα της ακρίβειας, η φυσική χαρτογράφηση υπερτερεί συγκριτικά με τις άλλες χαρτογραφήσεις, το πετυχαίνει όμως με μη φυσικό τρόπο τον οποίο δύσκολα θα ανακάλυπτε ένας νέος χρήστης. Αυτή η ανάγκη μικρής εκμάθησης και προσαρμογής στον τρόπο βέλτιστης εκτέλεσης των χειρονομιών ενδέχεται να δυσκολέψει περισσότερο από τις υπόλοιπες χαρτογραφήσεις τους χρήστες, ισοσταθμίζεται ωστόσο από την ύπαρξη άμεσης ανατροφοδότησης η οποία πρόκειται να βοηθήσει τους χρήστες να αποκτήσουν την απαραίτητη κατανόηση γρηγορότερα. Η αντιστοιχία με τον φυσικό κόσμο είναι καλή δεδομένου ότι αποτελεί εξέλιξη της διακριτής χαρτογράφησης, με τη διαφορά ότι πλέον η ανατροφοδότηση είναι συνεχής και σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον, τα δεδομένα εισόδου επεξεργάζονται κατάλληλα με στόχο την εύρεση της ιδανικής αναλογίας ανάμεσα στην αυξημένη απόδοση και την φυσικότητα των αντιδράσεων του συστήματος. Η άμεση ανατροφοδότηση, η ύπαρξη μεγάλης αντιστοιχίας με τον φυσικό κόσμο και η ικανότητα επιτυχούς αναγνώρισης ακόμα και λεπτομερών χειρονομιών προσδίδει την αίσθηση του ελέγχου αυξάνοντας την ικανοποίηση, ανοιχτό ωστόσο παραμένει το ενδεχόμενο η ανάμειξη του φυσικού τρόπου περιστροφής με την επιπλέον λειτουργικότητα να προκαλέσει σύγχυση στους χρήστες.

Στην ισομορφική χαρτογράφηση, η αντιστοίχιση των δεδομένων εισόδου με τα δεδομένα εξόδου δεν έχει βασιστεί σε κάποια αναλογία με τον φυσικό κόσμο, γεγονός που ίσως προκαλέσει σύγχυση και αδυναμία κάλυψης απαιτήσεων ιδιαίτερα σε χρήστες οι οποίοι δεν διαθέτουν εμπειρία σε αντίστοιχες διεπαφές, η έλλειψη ωστόσο της απαίτησης για πραγματοποίηση σύνθετων χειρονομιών βοηθάει τους χρήστες να αλληλεπιδρούν αποδοτικά από την πρώτη στιγμή. Η ομοιότητα με τον φυσικό κόσμο περιορίζεται στο ελάχιστο, αξιοποιούνται όμως στοιχεία από ευρέως διαδεδομένες γραφικές διεπαφές χρήστη, τα οποία για την πλειονότητα των χρηστών είναι εξίσου κατανοητά και η διάδραση με αυτά γίνεται σε μεγάλο βαθμό διαισθητικά. Εξαίρεση αποτελούν άτομα χωρίς εμπειρία χρήσης ηλεκτρονικών υπολογιστών τα οποία, αν και μειονότητα, αποτελούν μέρος του πληθυσμού στον οποίο απευθύνεται η διεπαφή. Θεωρητικά είναι η ευκολότερη στη χρήση χαρτογράφηση και αυτή με τη μεγαλύτερη απόδοση που βοηθάει αρχάριους χρήστες στη γρήγορη προσαρμογή τους. Ενδέχεται ωστόσο να δυσκολέψει άτομα χωρίς εμπειρία χρήσης γραφικών διεπαφών και προσφέρει, όπως και η φυσική χαρτογράφηση, περιορισμένη ακρίβεια σε λεπτομερείς, αργές, κινήσεις.

Συνοψίζοντας, η προσομοίωση του φυσικού κόσμου επιτυγχάνεται με μεγαλύτερη ακρίβεια από τη φυσική χαρτογράφηση λόγω της κυριολεκτικής χαρτογράφησης των ενεργειών εισόδου με τις αντίστοιχες για την αλληλεπίδραση με ένα από αντικείμενο, αλλά και λόγω της άμεσης και λεπτομερούς ανατροφοδότησης. Δεδομένης της χρήσης συχνότερα χρησιμοποιούμενων γνώσεων από το αισθησιοκινητικό επίπεδο του φάσματος γνώσης, σύμφωνα με τη θεωρία, η φυσική χαρτογράφηση έχει επίσης περισσότερες πιθανότητες να χρησιμοποιηθεί διαισθητικά από μεγαλύτερο μέρος των χρηστών, γεγονός που χρήζει περαιτέρω ελέγχου δεδομένης της αυξημένης πολυπλοκότητας της χαρτογράφησης σε σχέση με τις υπόλοιπες. Σε αντίθεση με τα συμπεράσματα της ανασκόπησης της βιβλιογραφίας, το νοητικό μοντέλο της ισομορφικής χαρτογράφησης θεωρείται απλούστερο και ενδέχεται να είναι αυτό που θα προσφέρει την ευκολότερη εκμάθηση. Τέλος, σύμφωνα με την ισχυρή συσχέτιση ανάμεσα στην ικανοποίηση των χρηστών και την αντίληψή τους σχετικά με την ικανότητά τους να χειρίζονται αποδοτικά το σύστημα, η ισομορφική χαρτογράφηση φαίνεται πως θα είναι περισσότερο ικανοποιητική προς στους χρήστες, χωρίς ωστόσο αυτό να είναι απόλυτο. Κατά τις δοκιμές του συστήματος παρατηρήθηκε πως προκαλούσε πλήξη, σε αντίθεση με τη φυσική χαρτο-

γράφηση η οποία, λόγω της ύπαρξης αναλογιών με τον φυσικό κόσμο και της απαίτησης μεγαλύτερης συμμετοχής από τον χρήστη, προσέφερε συνολικά την πιο ενδιαφέρουσα εμπειρία.

Γίνεται κατανοητό πως τα παραπάνω αποτελούν κυρίως υποθέσεις και προβλέψεις οι οποίες προέκυψαν από τη μελέτη σχετικής βιβλιογραφίας, μερικές πρόχειρες εργαστηριακές δοκιμές, και από την προσωπική αλληλεπίδραση με τις διαφορετικές χαρτογραφήσεις του συστήματος, και οι οποίες δεν μπορούν να χαρακτηριστούν ως συμπεράσματα αν δεν προηγηθεί η απόδειξή τους με την εκτέλεση δοκιμής και αξιολόγησης του συστήματος από αντιπροσωπευτικό δείγμα πραγματικών χρηστών.

3.7 Συμπεράσματα Βελτιωτικών Αλλαγών

Από τα πρώτα βήματα κατασκευής της διεπαφής παρατηρήθηκε πως η δυνατότητα αποτελεσματικής αναγνώρισης των χειρονομιών από το σύστημα και η διαισθητικότητα των χειρονομιών, όπως αυτή γίνεται αντιληπτή από τους χρήστες, ήταν δύο αντικρουόμενοι παράγοντες. Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάστηκε η μεγάλη προσπάθεια που συντελέστηκε με την πραγματοποίηση αλλαγών και παραμετροποιήσεων τόσο στο υλικό και την διάταξη αυτού, όσο και στο υπεύθυνο λογισμικό για την αναγνώριση και μετάφραση των χειρονομιών στην κίνηση του εικονικού αντικειμένου. Μέσω των αλλαγών αυτών επιτεύχθηκε η σταδιακή βελτίωση του συστήματος στους τομείς της απόδοσης αναγνώρισης, της εργονομίας, της ανατροφοδότησης προς τον χρήστη και της ευκολίας εκμάθησης των χειρονομιών.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα που παρατηρήθηκε στην αρχική μορφή του συστήματος ήταν η μεγάλη συχνότητα λανθασμένων και αποτυχημένων αναγνωρίσεων που έκαναν την αλληλεπίδραση κουραστική και δυσάρεστη λόγω της ανάγκης για επανάληψη των χειρονομιών έως ότου να αναγνωριστούν. Όπως διαπιστώθηκε, η αδυναμία αξιόπιστης αναγνώρισης οφειλόταν στη μικρή περιοχή κάλυψης, κάτι που εύκολα διορθώθηκε με τη προσθήκη δύο επιπλέον αισθητήρων. Ένα ακόμα πρόβλημα που αφορούσε την εμπειρία χρήσης ήταν η κακή εργονομία, σε αντίθεση όμως με το προηγούμενο πρόβλημα, η λύση εδώ απαιτούσε τη μελέτη για τον εκ νέου σχεδιασμό της διάταξης των αισθητήρων με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπεται η αναγνώριση πιο σύνθετων εργονομικών χειρονομιών, παρά τις περιορισμένες δυνατότητες των αισθητήρων.

Στη μεθοδολογία αναγνώρισης που εφαρμόστηκε στις αρχικές ενότητες η εξαγωγή των δεδομένων της κατεύθυνσης και της ταχύτητας πραγματοποιούνταν από δύο στιγμιότυπα κάθε χειρονομίας, δείγμα μη αντιπροσωπευτικό δεδομένων των διακυμάνσεων που συμβαίνουν καθ' όλη τη διάρκεια αυτών. Η ανατροφοδότηση προς τον χρήστη ήταν επίσης μη ικανοποιητική καθώς αποτελούσαν από μικρής διάρκειας διακριτές κινήσεις περιστροφής του εικονικού αντικειμένου, οι οποίες παρουσιάζονταν στον χρήστη σε έτερο χρόνο με την πραγματοποίηση των χειρονομιών του. Στις μεθοδολογίες της τελευταίας ενότητας ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών της κάθε χειρονομίας επιτεύχθηκε συνδυάζοντας δεδομένα από ένα σύνολο στιγμιότυπων τα οποία λαμβάνονταν ανά 50ms καθ' όλη τη διάρκεια αυτής και τα οποία αποθηκεύονταν στο σύστημα. Το σύστημα με αυτόν τον τρόπο κατάφερε να αναγνωρίζει τις μεταβολές στις χειρονομίες του χρήστη και ταυτόχρονα να τις απεικονίζει, δίνοντας του άμεση ανατροφοδότηση και τη δυνατότητα να εκτελεί σε πραγματικό χρόνο αξιολόγηση και προσαρμογή των κινήσεών του, προσφέροντας περισσότερο έλεγχο ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που απαιτούνται αργές και

λεπτομερείς κινήσεις. Η επεξεργασία των δεδομένων πολλών στιγμιοτύπων είχε επίσης ως αποτέλεσμα η εικονική αναπαράσταση της κίνησης να είναι πιο ομαλή καθώς ο υπολογισμός της μέσης τιμής λειτουργούσε ως φίλτρο, εξουδετερώνοντας ένα μεγάλο μέρος των εσφαλμένα υπολογισμένων τιμών απόστασης που ενδέχεται να συνέβαιναν σε κάποιες μετρήσεις από τους περιορισμένης ακρίβειας αισθητήρες.

Με την επεξεργασία των δυο παραμέτρων που εξετάστηκαν στην υποενότητα 3.5.3, το σύστημα θα μπορούσε εύκολα να προσαρμοστεί για διαφορετικές χρήσεις ώστε να προσφέρει τον βέλτιστο συνδυασμό ακρίβειας, αμεσότητας και διάρκειας περιστροφής δίνοντας προτεραιότητα στα επιθυμητά χαρακτηριστικά που καλύπτουν τις ανάγκες της εκάστοτε εφαρμογής. Για την τρέχουσα εφαρμογή το σύστημα έχει προγραμματιστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να προσφέρει τη μέγιστη δυνατή απόδοση και ευκολία χρήσης.

Τέλος, η χαρτογράφηση της υποενότητας 3.5.4 δεν προέκυψε από την ανάγκη βελτίωσης κάποιου αρνητικού χαρακτηριστικού της διάδρασης, αλλά από την παρατήρηση του συστήματος και την προσπάθεια αξιοποίησης των προηγούμενων γνώσεων του κεφαλαίου με βάση την τρέχουσα διάταξη. Ο τρόπος λειτουργίας της μεθοδολογίας που περιγράφεται στην ενότητα προσφέρει έναν εναλλακτικό τρόπο διάδρασης ο οποίος διαφέρει από τους προηγούμενους καθώς, όπως παρατηρήθηκε στην αξιολόγηση της ενότητας 3.6.1, προσφέρει ακόμα υψηλότερη αποδοτικότητα αναγνώρισης με την αντικατάσταση των σύνθετων χειρονομιών των προηγούμενων ενοτήτων από χειρονομίες απλούστερες και ευκολότερες στην εκμάθηση και την υλοποίηση. Ο μοναδικός συμβιβασμός γίνεται στη χαμηλή φυσικότητα των χειρονομιών, η οποία αποτελεί παράγοντα υψηλής σημασίας στη δημιουργία διεπαφών φυσικής διάδρασης, κάτι που θέτει την εν λόγω μεθοδολογία υπό εξέταση ως προς την καταλληλότητα.

Λαμβάνοντας υπόψιν το γεγονός ότι όλες οι παραπάνω παρατηρήσεις γίνονται είτε σε θεωρητικό επίπεδο, βασισμένες σε κανόνες και παρατηρήσεις άλλων ερευνών, είτε και στα υποκειμενικά κριτήρια αξιολόγησης από περιστασιακές άτυπες εργαστηριακές δοκιμές του συστήματος από ιδιαίτερα περιορισμένο αριθμό (1-2) χρηστών, ενδέχεται να παρατηρηθούν διαφορές στην αποδοτικότητα και στην αντίληψη για τη διάδραση με το σύστημα που θα σχηματίσουν οι νέοι χρήστες, οι οποίοι κατά πάσα πιθανότητα θα στερούνται προηγούμενων εμπειριών διάδρασης με αντίστοιχες διεπαφές.

Κεφάλαιο 4

Μεθοδολογία Αξιολόγησης Διεπαφής

Προκειμένου να εξασφαλιστεί η καλή λειτουργία του συστήματος είναι απαραίτητη η πραγματοποίηση ελέγχων χρησιμότητας καθ' όλη τη διάρκεια σχεδιασμού του. Μέσω αυτών των ελέγχων, όπως έχουν ήδη άτυπα πραγματοποιηθεί στις ενότητες: 3.2.5, 3.3.3, 3.4.3, 3.5.3, 3.6.1 και 3.6.2 είναι δυνατό να εξετάζεται η δυνατότητα του συστήματος να εκτελεί αποτελεσματικά τις λειτουργίες για τις οποίες έχει σχεδιαστεί, αλλά και η ανίχνευση ανεπιθύμητων χαρακτηριστικών που δεν συμφωνούν με τις βασικές αρχές της χρησιμότητας με σκοπό την ανατροφοδότησή τους στη σχεδίαση. Στις ενότητες που αναφέρθηκαν παραπάνω, η αξιολόγηση αφορούσε κυρίως τη μελέτη της αναλογίας σφαλμάτων και την εύρεση πιθανών τρόπων μείωσης αυτής, καθώς αυτό έδειχνε να είναι το πιο εμφανές πρόβλημα που περιόριζε τις δυνατότητες αναγνώρισης. Επίσης, έγινε προσπάθεια ο τρόπος αναγνώρισης των χειρονομιών να γίνει περισσότερο φιλικός προς τον χρήστη. Με τις αλλαγές που έγιναν τόσο στον σχεδιασμό του υλικοτεχνικού εξοπλισμού (hardware) αλλά και στον προγραμματισμό του τρόπου με τον οποίο πραγματοποιείται η αναγνώριση των χειρονομιών και η αντιστοίχησή τους στο εικονικό περιβάλλον, έχει παρατηρηθεί, σύμφωνα και με τις μετρήσεις των εννοιών που αναφέρθηκαν παραπάνω, μείωση στο ποσοστό των λανθασμένων και μη αναγνωρισμένων χειρονομιών σε ικανοποιητικό επίπεδο, ενώ παράλληλα έχει αυξηθεί η εργονομία και η διαισθητικότητα του συστήματος.

Όπως γίνεται κατανοητό, έως αυτό το σημείο τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει τόσο μέσω της ποιοτικής αξιολόγησης, είτε σε θεωρητικό επίπεδο, βασισμένα σε κανόνες και παρατηρήσεις άλλων ερευνών, είτε μέσω υποκειμενικών κριτηρίων αξιολόγησης από περιστασιακές άτυπες εργαστηριακές δοκιμές με ιδιαίτερα περιορισμένο αριθμό χρηστών, όσο και από την ποσοτική αξιολόγηση μέσω της σύγκρισης διαφορετικών παραμετροποιήσεων και τον προσδιορισμό της βέλτιστης αναμενόμενης απόδοσης κάθε μιας από αυτές, έχουν συντελέσει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη του συστήματος. Σημαντική έλλειψη όλων των εν λόγω αξιολογήσεων είναι η απουσία συμμετοχής αντιπροσωπευτικών χρηστών από το τμήμα του πληθυσμού στο οποίο απευθύνεται το σύστημα, η ανάγκη ύπαρξης της οποίας έχει επανειλημμένως αναφερθεί στο κεφάλαιο 2.

Προκειμένου να ελεγχθεί κατά πόσο οι βελτιώσεις που αναφέρονται παραπάνω είναι κοινά αποδεκτές από τους χρήστες και να αξιολογηθεί ο βαθμός στον οποίο το σύστημα ταιριάζει στον σκοπό και καλύπτει τις πραγματικές τους ανάγκες και απαιτήσεις, α-

παιτείται η ύπαρξη τόσο αντικειμενικών-μετρήσιμων όσο και υποκειμενικών-ποιοτικών δεδομένων αναφορικά με την απόδοση και την αντιληπτή τους ικανοποίηση. Τα δεδομένα αυτά θα προκύψουν από την πραγματοποίηση αξιολόγησης των δύο νεότερων χαρτογραφήσεων του συστήματος οι οποίες περιγράφονται στις ενότητες 3.5.2 και 3.5.4 με τη συμμετοχή αντιπροσωπευτικού αριθμού πραγματικών χρηστών. Σημειώνεται πως η χαρτογράφηση της ενότητας 3.4.2 ήταν επίσης προγραμματισμένο να συμπεριληφθεί στη διαδικασία της αξιολόγησης, ωστόσο τα αρνητικά αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης της υποενότητας 3.6.1, το γεγονός ότι δεν ξεχώρισε θετικά σε κάποιον τομέα της πιλοτικής ποιοτικής αξιολόγησης της υποενότητας 3.6.2, η ανάγκη διατήρησης χαμηλού συνολικού χρόνου αξιολόγησης για την αποφυγή κούρασης των συμμετεχόντων και η αδυναμία εύρεσης και επίλυσης δυσλειτουργιών του συστήματος οι οποίες προέκυψαν χωρίς να έχουν γίνει αλλαγές στο λογισμικό ή στο υλικό τμήμα της διεπαφής, οδήγησαν στον αποκλεισμό αυτής της χαρτογράφησης και την εκτέλεση της αξιολόγησης μόνο με τις δύο προαναφερθείσες χαρτογραφήσεις. Επίσης από τη διαδικασία της αξιολόγησης αποκλείονται προγενέστερες εκδοχές του συστήματος, που παρουσιάζονται σε προηγούμενες ενότητες, δεδομένων των σημαντικών ελλείψεων που τις διέπουν σε τομείς όπως η εργονομία και η αποδοτικότητα.

4.1 Πλάνο Αξιολόγησης

Όπως έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 2, σύμφωνα με τον Nielsen [40], πριν την πραγματοποίηση της αξιολόγησης είναι σημαντικό να έχει οριστεί ένα πλάνο στο οποίο να αποσαφηνίζονται τα σχετικά με την αξιολόγηση απαραίτητα ζητούμενα. Παρακάτω παρουσιάζεται το πλάνο της αξιολόγησης ξεκινώντας με τον παράγοντα που επιφέρει τη μεγαλύτερη επίδραση σε αυτήν, τον σκοπό της αξιολόγησης.

Σκοπός Αξιολόγησης

Η εν λόγω διαδικασία εστιάζει κυρίως στην αξιολόγηση της συνολικής ποιότητας του συστήματος, αποσκοπεί όμως και στη διάγνωση σφαλμάτων, την επισήμανση αδυναμιών και την πρόταση πιθανών ιδεών βελτιστοποίησης ως ένας μηχανισμός λήψης ανατροφοδότησης από τους χρήστες. Επιπλέον, η ανάλυση των μετρήσιμων δεδομένων για τις διαφορετικές χαρτογραφήσεις θα κάνει δυνατή τη μεταξύ τους σύγκριση και την εύρεση της βέλτιστης εξ αυτών με βάση τις προτιμήσεις των χρηστών.

Συλλογή δεδομένων - Εξαρτημένες και Ανεξάρτητες Μεταβλητές

Η αξιολόγηση χωρίζεται σε τέσσερις φάσεις ως εξής:

- **ΦΑΣΗ 1:** Συμπλήρωση δημογραφικών στοιχείων στο ερωτηματολόγιο.
- **ΦΑΣΗ 2:** Σύγκριση των χαρτογραφήσεων (Αλληλεπίδραση κάθε συμμετέχοντα με μια από τις δύο χαρτογραφήσεις και αξιολόγησή της στο ερωτηματολόγιο).
- **ΦΑΣΗ 3:** Ελεύθερη αλληλεπίδραση με λειτουργικό πρωτότυπο.
- **ΦΑΣΗ 4:** Συμπλήρωση ερωτηματολογίου (Συνολική αξιολόγηση συστήματος, αναφορά προβλημάτων, πρόταση βελτιστοποιήσεων κλπ.).

Κατά την πρώτη φάση της διαδικασίας θα δίνεται στους συμμετέχοντες ερωτηματολόγιο στο πρώτο μέρος του οποίου θα συμπληρώνουν τα δημογραφικά τους στοιχεία. Η δεύτε-

ρη φάση πρόκειται για δοκιμή μεταξύ των συμμετεχόντων (between-subjects), η οποία θα περιλαμβάνει την αλληλεπίδραση κάθε συμμετέχοντα με μια από τις δύο διαφορετικές εκδοχές του συστήματος. Κατά τη διάρκεια αυτής, από το ίδιο το σύστημα, θα καταγράφονται και θα αποθηκεύονται για κάθε χρήστη οι χρόνοι ολοκλήρωσης προκαθορισμένων διεργασιών, οι οποίοι πρόκειται να χρησιμοποιηθούν μετά το πέρας της δοκιμής για τον προσδιορισμό της αποδοτικότητας. Αμέσως μετά την ολοκλήρωση του συνόλου των χρονομετρημένων διεργασιών, οι χρήστες θα καλούνται να αξιολογήσουν την εμπειρία τους μέσω ενός —ειδικού για την εκάστοτε χαρτογράφηση— ερωτηματολογίου. Στην τρίτη φάση θα πραγματοποιείται ελεύθερη αλληλεπίδραση των συμμετεχόντων με λειτουργικό πρωτότυπο, κατά τη διάρκεια της οποίας δεν θα συλλέγονται δεδομένα, με εξαίρεση την περίπτωση λήψης ποιοτικών δεδομένων με μορφή σχολίων ή παρατηρήσεων από τους συμμετέχοντες τα οποία θα καταγράφονται. Στην τέταρτη και τελευταία φάση της αξιολόγησης θα υπάρχει ερωτηματολόγιο για τη συνολική αξιολόγηση του συστήματος, στο οποίο μεγαλύτερη έμφαση θα δίνεται στην αλληλεπίδραση με το λειτουργικό πρωτότυπο της τρίτης φάσης, και την επισήμανση σφαλμάτων, πιθανών βελτιστοποιήσεων κλπ.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, εξαρτώμενες μεταβλητές του συστήματος βασισμένες σε ποσοτικά αντικειμενικά δεδομένα αποτελούν η αποδοτικότητα και η αποτελεσματικότητα, οι οποίες θα υπολογιστούν από τον μέσο χρόνο ολοκλήρωσης των διεργασιών και από το ποσοστό των επιτυχημένα ολοκληρωμένων διεργασιών αντίστοιχα. Οι παράγοντες της χρηστικότητας με έμφαση τόσο στην ικανοποίηση των χρηστών όσο και την ευκολία εκμάθησης, τη διαισθητικότητα και την εργονομία των χειρονομιών επίσης αποτελούν εξαρτώμενες μεταβλητές, τα ποσοτικά και ποιοτικά υποκειμενικά δεδομένα των οποίων θα εξαχθούν από την ανάλυση των απαντήσεων των συμμετεχόντων στις αντίστοιχες ερωτήσεις του ερωτηματολογίου κατά τη δεύτερη και τέταρτη φάση της αξιολόγησης. Πρέπει επίσης να αναφερθεί πως ο κύριος παράγοντας που μεταβάλλεται (ανεξάρτητη μεταβλητή) μεταξύ των διαφορετικών εκδοχών του συστήματος είναι η χαρτογράφηση, η μεθοδολογία δηλαδή της αντιστοίχισης της κατεύθυνσης και της ταχύτητας της κάθε χειρονομίας στην κατεύθυνση και ταχύτητα της περιστροφής του εικονικού αντικειμένου. Τέλος, τα στοιχεία που παραμένουν κοινά μεταξύ των εκδοχών, γνωστά ως «σταθερές», είναι το είδος των χειρονομιών που αναγνωρίζονται (swipe gesture), ο χώρος στον οποίο πραγματοποιείται η εκτέλεση των χειρονομιών, ο υπεύθυνος για την καταγραφή της θέσης του χεριού υλικός εξοπλισμός και η διάταξη αυτού, το γραφικό περιβάλλον της διεπαφής, η ύπαρξη άμεσης ανατροφοδότησης, ο στόχος των διεργασιών που ανατίθενται στους χρήστες και η έλλειψη περιόδου προετοιμασίας για την κατανόηση των διαφορετικών εννοιολογικών μοντέλων των χαρτογραφήσεων πριν από την έναρξη της δοκιμής.

Περιγραφή των Προς Εκτέλεση Διεργασιών

Στη φάση σύγκρισης των διαφορετικών χαρτογραφήσεων, η διεργασία που θα ζητηθεί να υλοποιηθεί από τους συμμετέχοντες είναι η πραγματοποίηση κατάλληλων χειρονομιών για την περιστροφή του εικονικού αντικειμένου σε προκαθορισμένο προσανατολισμό. Στους συμμετέχοντες θα διευκρινίζεται πως θα πρέπει η κάθε μια από αυτές τις διεργασίες να ολοκληρώνεται στο συντομότερο δυνατό χρονικό διάστημα. Στη συνέχεια, στα πλαίσια της μελέτης πεδίου οι συμμετέχοντες θα καλούνται να αλληλεπιδράσουν ελεύθερα, με όποιον τρόπο και για όσο χρόνο αυτοί επιθυμούν με το λειτουργικό πρωτότυπο, έως το πέρας του χρονικού ορίου.

Κατάσταση Συστήματος και Απαιτούμενο Υλοποιημένο Λογισμικό

Το λογισμικό που θα πρέπει να υπάρχει υλοποιημένο για τη διεξαγωγή της αξιολόγησης αποτελείται από εφαρμογή η οποία θα περιλαμβάνει τη λειτουργικότητα των δύο χαρτογραφήσεων που εξετάζονται και τη δυνατότητα καταγραφής των χρόνων ολοκλήρωσης των διεργασιών για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας. Επίσης για τη μελέτη πεδίου θα πρέπει να υπάρχει υλοποιημένο λειτουργικό πρωτότυπο του συστήματος. Το σύστημα θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να αναγνωρίζει τις χειρονομίες των συμμετεχόντων, να επεξεργάζεται τα χαρακτηριστικά αυτών και να εμφανίζει ως ανατροφοδότηση την κατάλληλη περιστροφή ενός αντικειμένου σε ένα εικονικό περιβάλλον.

Ταχύτητα Αντίδρασης και Φυσικότητα Συστήματος

Στον τομέα των μουσείων και γενικότερα των δημόσιων χώρων με πληθώρα εκθεμάτων προς εξερεύνηση, περιορισμένο χρόνο και εθελούσια (μη-εξαναγκασμένη) χρήση, η χαμηλή δυσκολία της αρχικής αλληλεπίδρασης είναι απαραίτητη [2]. Πιο συγκεκριμένα, τα πρώτα δέκα δευτερόλεπτα είναι ιδιαίτερα καθοριστικά και απαιτείται να προσφέρουν κίνητρο στον επισκέπτη, καθώς από αυτήν την πρώτη εμπειρία καθορίζεται το αν αυτός θα συνεχίσει ή όχι να αλληλεπιδρά με το έκθεμα [2]. Επιπλέον, έρευνες έχουν δείξει πως η αλληλεπίδραση των επισκεπτών ενός μουσείου με τα εκθέματα αυτού διαρκεί κατά μέσο όρο από μερικές δεκάδες δευτερόλεπτα έως λίγα λεπτά. Σύμφωνα με την έρευνα του Beer [63], οι επισκέπτες αφιέρωσαν περισσότερο από 30 δευτερόλεπτα μόλις στο 36% των εκθεμάτων του μουσείου, ενώ αγνόησαν εντελώς το 43% αυτών. Αντίστοιχα, οι παρατηρήσεις της έρευνας των Cone και Kendall [64] δείχνουν πως σχεδόν καμία από τις οικογένειες δεν επισκέφθηκε όλα τα εκθέματα, αλλά ακόμα και αν το έκανε, δεδομένου του συνολικού χρόνου που αφιέρωσε στο μουσείο, ο μέσος χρόνος εμπρός από κάθε έκθεμα θα ήταν θεωρητικά μόλις 9.5 δευτερόλεπτα. Σε κάθε ένα από τα εκθέματα που επέλεξαν να επισκεφθούν, οι οικογένειες αφιέρωσαν κατά μέσο όρο 30 δευτερόλεπτα [64]. Σε αντίστοιχα χρονικά πλαίσια θα πρέπει να κυμαίνεται και η αλληλεπίδραση με το ψηφιακό αντικείμενο. Ιδανικά, η διαδικασία της περιστροφής θα πρέπει να διαρκεί αντίστοιχο χρόνο με αυτόν που θα απαιτούνταν για την περιστροφή αντίστοιχων φυσικών αντικειμένων, και σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να ξεφεύγει από τα όρια της καλής εργονομίας προκαλώντας πρήξη ή κούραση στους χρήστες του συστήματος.

Χαρακτηριστικά Συμμετεχόντων

Οι επισκέπτες ενός μουσείου χαρακτηρίζονται για την ποικιλομορφία τους σε παράγοντες όπως η ηλικία, η ύπαρξη εμπειρίας στη χρήση φυσικών διεπαφών κλπ. Αντίστοιχα με την ποικιλομορφία των επισκεπτών ενός μουσείου, και προκειμένου να μελετηθεί ο τρόπος και ο βαθμός στον οποίο οι παράγοντες αυτοί επηρεάζουν τη διάδραση, οι συμμετέχοντες στη διαδικασία της αξιολόγησης δεν θα πρέπει να ανήκουν σε συγκεκριμένες ομοιογενείς πληθυσμιακές ομάδες ή να έχουν συγκεκριμένα δημογραφικά χαρακτηριστικά.

Ελάχιστο Μέγεθος Δείγματος

Προκειμένου να υπάρξει εκπροσώπηση όσο το δυνατόν περισσότερων πληθυσμιακών ομάδων για την κάλυψη της ανάγκης ύπαρξης ποικιλομορφίας στους συμμετέχοντες, αλλά και προκειμένου τα αποτελέσματα που θα προκύψουν να χαρακτηρίζονται από

υψηλή στατιστική εγκυρότητα, απαιτείται ο αριθμός των συμμετεχόντων να ξεπερνά κάποια ελάχιστη τιμή. Για τον υπολογισμό του κατάλληλου αριθμού συμμετεχόντων απαιτείται η γνώση χαρακτηριστικών του πληθυσμού όπως η μεταβλητότητα και ο μέσος όρος τα οποία μπορούν να προκύψουν είτε από πιλοτική δοκιμή του συστήματος ή από προηγούμενες αντίστοιχες έρευνες.

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας έχει υλοποιηθεί πιλοτική δοκιμή των τριών χαρτογραφήσεων του συστήματος, τα αποτελέσματα της οποίας υπάρχουν στην εικόνα 3.10. Μεγαλύτερος βαθμός μεταβλητότητας σε αναλογία με τον μέσο όρο των μετρήσεων έχει παρατηρηθεί στη διακριτή χαρτογράφηση με συντελεστή μεταβλητότητας $cv=42.6$, ακολουθούμενη από τη φυσική χαρτογράφηση με $cv=41.5$ και τέλος την ισομορφική χαρτογράφηση με τη μικρότερη μεταβλητότητα $cv=36.5$. Αυτές οι τιμές ωστόσο δεν είναι αντιπροσωπευτικές του πληθυσμού και δεν θα ήταν αποδεκτή η χρήση τους για τον υπολογισμό του μεγέθους του δείγματος καθώς η εν λόγω δοκιμή εκτελέστηκε από μόλις έναν χρήστη και πιο συγκεκριμένα τον προγραμματιστή του συστήματος.

Στην έρευνα των Mewes, Saalfeld, Riabikin, Skalej και Hansen [28] παρουσιάζεται ένα σύστημα το οποίο επιτρέπει άμεση και φυσική αλληλεπίδραση με έναν ιατρό κατά τη διάρκεια επεμβάσεων με τη χρήση μιας ελεγχόμενης μέσω χειρονομιών οθόνης. Η αναγνώριση και η κατηγοριοποίηση των χειρονομιών επιτυγχάνεται από έναν αισθητήρα *leap motion*. Μια εκ των χειρονομιών που έχουν προταθεί από τους Mewes et al. [28] είναι η κίνηση ολίσθησης (*swipe gesture*) στον κατακόρυφο ή οριζόντιο άξονα για τη διακριτή περιστροφή 3D αντικειμένων. Δεδομένου ότι η συγκεκριμένη χειρονομία φέρει ομοιότητες με τις χειρονομίες της τρέχουσας εργασίας και αντιστοιχίζεται στον έλεγχο παραπλήσιας λειτουργίας (περιστροφή 3D αντικειμένων), κρίνεται κατάλληλη η χρήση των στοιχείων μεταβλητότητάς της όσον αφορά τον χρόνο ολοκλήρωσης. Επιπλέον, το σύστημα των Mewes et al. [28] έχει αξιολογηθεί σε μελέτη αποτελούμενη από 12 συμμετέχοντες κάνοντας τα αποτελέσματα περισσότερο αντιπροσωπευτικά του πληθυσμού έναντι του ενός συμμετέχοντα της πιλοτικής δοκιμής της τρέχουσας εργασίας. Ο μέσος χρόνος ολοκλήρωσης των διεργασιών περιστροφής με τη χρήση της προαναφερθείσας χειρονομίας ήταν 72 δευτερόλεπτα και η τυπική απόκλιση 49 δευτερόλεπτα, συνεπώς ο συντελεστής μεταβλητότητας ισούται με 68.1. Παρατηρείται πως ο συντελεστής μεταβλητότητας που υπολογίζεται από τα δεδομένα της έρευνας των Mewes et al. [28] είναι μεγαλύτερος από αυτούς της τρέχουσας εργασίας ($max\ cv=44.4$) αλλά και άλλων παραπλήσιων ερευνών που κάνουν χρήση χειρονομιών όπως αυτή των Barneche-Naya και Hernández-Ibañez [35] ($max\ cv=56.9$). Αυτό σημαίνει ότι για τον υπολογισμό του μεγέθους του δείγματος λαμβάνεται υπ' όψιν ο μεγαλύτερος βαθμός μεταβλητότητας από αυτούς που υπάρχουν διαθέσιμοι ως μια προσπάθεια προετοιμασίας για το δυσμενέστερο σενάριο.

Στην πιλοτική δοκιμή των τριών χαρτογραφήσεων του συστήματος έχουν επίσης καταγραφεί οι μέσοι χρόνοι ολοκλήρωσης οι οποίοι, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.10, κυμαίνονται μεταξύ 5,3 και 9,7 δευτερολέπτων, τιμές πολύ μικρότερες από τις αναμενόμενες μέσες τιμές αν λάβει κανείς υπ' όψιν την έλλειψη εμπειρίας των πραγματικών χρηστών οι οποίοι θα χρησιμοποιήσουν το σύστημα για πρώτη φορά. Λόγω της έλλειψης περαιτέρω δεδομένων είναι αδύνατη η προσέγγιση του μέσου χρόνου ολοκλήρωσης, συνεπώς χρήζει ο καθορισμός του απαραίτητου μεγέθους δείγματος ανεξάρτητα από αυτόν, κάτι που μπορεί να επιτευχθεί εκφράζοντας το περιθώριο σφάλματος (επίπεδο ακρίβειας)

και την τυπική απόκλιση ως ποσοστό του μέσου και κάνοντας χρήση του τύπου :

$$n = \left(\frac{z \cdot cv}{p} \right)^2$$

ο οποίος, όπως έχει περιγραφεί στην ενότητα 2.7.4, είναι ανεξάρτητος από την τιμή του μέσου και δεν απαιτεί τη γνώση της τιμής της τυπικής απόκλισης.

Γνωρίζοντας πλέον τον κατάλληλο τύπο, μένει ο καθορισμός των επιθυμητών επιπέδων ακρίβειας και εμπιστοσύνης. Αρχικά, επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, καθώς προσφέρει αρκετά χαμηλό ρίσκο σχετικά με την αξιοπιστία των δεδομένων και είναι αυτό που συνήθως χρησιμοποιείται σε ακαδημαϊκές έρευνες [65]. Ιδανικά, για την επίτευξη υψηλής ακρίβειας προτείνεται η χρήση περιθωρίου σφάλματος το οποίο δεν υπερβαίνει το 15-20% του μέσου, καθώς σε αντίθετη περίπτωση το μεγάλο πλάτος του διαστήματος εμπιστοσύνης ενδέχεται να μειώνει σημαντικά τη χρησιμότητά του. Ο συνδυασμός του ωστόσο με επίπεδο εμπιστοσύνης 95% απαιτεί την ύπαρξη απαγορευτικά μεγάλου πλήθους συμμετεχόντων για τη συγκεκριμένη έρευνα. Λαμβάνοντας υπ' όψιν τις απαιτήσεις και τους διαθέσιμους πόρους της έρευνας, ένας εφικτός εναλλακτικός συνδυασμός είναι αυτός που χρησιμοποιεί επίπεδο εμπιστοσύνης 95% και περιθώριο σφάλματος $\pm 30\%$ του μέσου.

Εφαρμόζοντας τον τύπο $n = \left(\frac{z \cdot cv}{p} \right)^2$ με $z=1.96$ (για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%), $cv=68.1$ (όπως υπολογίστηκε από τα δεδομένα της έρευνας των Mewes et al. [28]) και $p=30$ (για περιθώριο σφάλματος 30% του μέσου), υπολογίζεται πως $n=19.7954$. Στρογγυλοποιώντας το αποτέλεσμα προς τα επάνω, προκύπτει πως το απαιτούμενο ελάχιστο μέγεθος δείγματος προκειμένου να επιτευχθεί επίπεδο ακρίβειας 30% και επίπεδο εμπιστοσύνης 95% είναι είκοσι (20) συμμετέχοντες.

Χρόνος Αξιολόγησης

Ο συνολικός χρόνος της περιόδου αξιολόγησης για κάθε συμμετέχοντα υπολογίζεται να διαρκέσει κατά προσέγγιση είκοσι δύο (22) λεπτά ως εξής: Τρία (3) λεπτά για τη συμπλήρωση των δημογραφικών στοιχείων στο ερωτηματολόγιο. Επτά (7 λεπτά) για την αλληλεπίδραση με το σύστημα και την απάντηση των γραπτών και προφορικών ερωτήσεων στο αντίστοιχο post-task ερωτηματολόγιο. Ενάμισι (1.5) λεπτό για την ελεύθερη αλληλεπίδραση με το λειτουργικό πρωτότυπο, πέντε (5) λεπτά για την απάντηση των γραπτών και δύομισι (2.5) λεπτά για την απάντηση των προφορικών ερωτήσεων του post-test ερωτηματολογίου. Τέλος προστίθενται στον συνολικό χρόνο τρία (3) επιπλέον λεπτά για τον χρόνο που θα χαθεί μεταξύ των φάσεων της αξιολόγησης.

Εκπαίδευση Συμμετεχόντων και Υποστήριξη από Ερευνητές

Δεδομένου ότι το σύστημα ανήκει στην κατηγορία walk-up-and-use συστημάτων, και προκειμένου να καταστεί δυνατή η αξιολόγηση της ευκολίας εκμάθησης του τρόπου λειτουργίας του υπό πραγματικές συνθήκες, δεν θα υπάρχει υποστήριξη και εκπαίδευση των συμμετεχόντων, αλλά ούτε και ελεύθερος χρόνος πριν από τη διαδικασία της αξιολόγησης ώστε οι ίδιοι να αλληλεπιδράσουν με το σύστημα για να κατανοήσουν τη λειτουργία του. Αντίστοιχα και οι πειραματιστές θα απαγορεύεται να παρέχουν βοήθεια στους συμμετέχοντες κατά τη διάρκεια της δοκιμής σε ζητήματα που αφορούν τον σωστό τρόπο διάδρασης με το σύστημα. Προκειμένου να αποφευχθούν φαινόμενα αλληλοβοήθειας μεταξύ νέων και παλιότερων συμμετεχόντων, στον χώρο στον οποίο

θα συντελείται η δοκιμή θα βρίσκεται ανά πάσα στιγμή μόνο ένας συμμετέχων και οι πειραματιστές.

Κριτήρια Ολοκλήρωσης και Επιτυχίας Διεργασιών

Κάθε μια από τις διεργασίες θα ολοκληρώνεται μόλις το εικονικό αντικείμενο, αφού περιστραφεί κατάλληλα από τον συμμετέχοντα, ακινητοποιηθεί στον προκαθορισμένο προσανατολισμό. Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, τόσο η αλληλεπίδραση με μουσειακά εκθέματα όσο και η πλήρης περιστροφή φυσικών αντικειμένων τείνει να διαρκεί μερικά μόλις δευτερόλεπτα. Η μεγάλης διάρκειας συνεχής επανάληψη χειρονομιών δε, επηρεάζει αρνητικά την εργονομία προκαλώντας ανεπιθύμητη σωματική κούραση και πόνο. Λαμβάνοντας υπό όψιν τα παραπάνω, επιτυχημένη θα θεωρείται κάθε διεργασία η οποία ολοκληρώνεται σε λιγότερο από τριάντα (30) δευτερόλεπτα.

Κριτήρια Επιτυχίας Διεπαφής

Προκειμένου να χαρακτηριστεί ως επιτυχής κάποια από τις χαρτογραφήσεις, και κατά συνέπεια στο σύνολό της η διεπαφή, θα πρέπει να μην έχει υπάρξει για αυτήν αναφορά μείζονος σημασίας ζητημάτων χρησικότητας ή εργονομίας, ο μέσος χρόνος ολοκλήρωσης των διεργασιών της να μην ξεπερνά τα τριάντα (30) δευτερόλεπτα, η αποτελεσματικότητά της να ξεπερνά το 90% (τουλάχιστον το 90% των διεργασιών να είναι επιτυχώς ολοκληρωμένες) και η ικανοποίηση των χρηστών να έχει λάβει μέση βαθμολογία άνω των 4 μονάδων στην κλίμακα 5-point likert scale της αντίστοιχης ερώτησης του ερωτηματολογίου. Σε περίπτωση κάλυψης των παραπάνω κριτηρίων και από τις δύο εξεταζόμενες χαρτογραφήσεις, θα επιλεγεί ως βέλτιστη αυτή με την μεγαλύτερη συνολική βαθμολογία στους παράγοντες της ικανοποίησης και της ευκολίας εκμάθησης, δεδομένης της μεγαλύτερης ανάγκης κάλυψης αυτών σε διεπαφές τύπου walk-up-and-use.

4.2 Εφαρμογή Αξιολόγησης

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, ο σκοπός της αξιολόγησης του συστήματος περιλαμβάνει μεταξύ άλλων τη σύγκριση των διαφορετικών χαρτογραφήσεων βάση των μετρήσιμων δεδομένων που θα προκύψουν από την αλληλεπίδραση των συμμετεχόντων. Μέρος της σύγκρισης των διαφορετικών συνθηκών βασίζεται στα δεδομένα της αποδοτικότητας, από τα οποία καθορίζεται και η επιτυχία της ολοκλήρωσης των διεργασιών της αξιολόγησης. Σύμφωνα με τον ορισμό που δίνεται από τον Federico [43], η αποδοτικότητα ενός συστήματος αναγνώρισης χειρονομιών καθορίζεται από τον απαιτούμενο χρόνο για την ολοκλήρωση κάποιας διαδικασίας. Εναλλακτικά, σε περιπτώσεις που ο χρόνος δεν αποτελεί σημαντικό παράγοντα, η αποδοτικότητα μπορεί να συσχετιστεί με τον αριθμό ενεργειών που απαιτείται να πραγματοποιηθούν προκειμένου να ολοκληρωθεί η διαδικασία.

Σε γενικότερο πλαίσιο, όπως έχει αναφερθεί και στην ενότητα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης 2.3.2, σύμφωνα με το ISO 9241-11:2018 [41] η έννοια της αποδοτικότητας καθορίζεται από τους ανθρώπινους πόρους που καταναλώνονται (χρόνος, ανθρώπινη προσπάθεια) συναρτήσει του αποτελέσματος που επιτυγχάνεται. Φαινομενικά, στο σύστημα που εξετάζεται, λόγω της απουσίας σύνθετης λειτουργικότητας, θα ήταν εύκολος ο προσδιορισμός της αποδοτικότητας λαμβάνοντας υπόψιν τη μοναδική λειτουργία

του συστήματος που είναι η αναγνώριση χειρονομιών για τον χειρισμό εικονικών αντικειμένων. Η μόνη ενέργεια που λειτουργεί ως είσοδος στο σύστημα και απαιτεί ανθρώπινη προσπάθεια είναι οι χειρονομίες των χρηστών, συνεπώς, η αποδοτικότητα θα μπορούσε να προσδιοριστεί από τον αριθμό των επαναλαμβανόμενων χειρονομιών για την περιστροφή ενός αντικειμένου σε προκαθορισμένη θέση. Δεδομένων όμως των διαφορετικών τύπων χειρονομιών που αναγνωρίζονται από κάθε χαρτογράφηση κάτι τέτοιο κρίνεται αδύνατο καθώς τα δεδομένα που θα προέκυπταν δεν θα ήταν συγκρίσιμα.

Γίνεται κατανοητό πως η αποδοτικότητα του συστήματος θα πρέπει να προσδιοριστεί συναρτήσει του χρόνου. Επιλέγεται, όπως και στις έρευνες των Barneche-Naya και Hernández-Ibañez [35] και Macaranas et al. [56], η αποδοτικότητα να υπολογίζεται μέσω του μέσου χρόνου που απαιτείται για την ολοκλήρωση συγκεκριμένων διεργασιών τις οποίες οι συμμετέχοντες στην αξιολόγηση θα καλούνται να ολοκληρώσουν για κάθε μια από τις διαφορετικές χαρτογραφήσεις του συστήματος. Επιπλέον, η αποτελεσματικότητα από τους Barneche-Naya και Hernández-Ibañez [35] υπολογίζεται, μεταξύ άλλων, συναρτήσει της αναλογίας ολοκλήρωσης των διεργασιών και αντίστοιχα από τους Macaranas et al. [56] υπολογίζεται συναρτήσει του αριθμού διεργασιών οι οποίες εκτελέστηκαν σωστά από τους συμμετέχοντες. Στο πλάνο της αξιολόγησης στην ενότητα 4.1 έχει οριστεί πως μια διεργασία προκειμένου να θεωρηθεί επιτυχημένη θα πρέπει να έχει ολοκληρωθεί σε λιγότερο από τριάντα (30) δευτερόλεπτα. Λαμβάνοντας τα παραπάνω υπ' όψιν, η αποτελεσματικότητα ορίζεται ως το ποσοστό των επιτυχημένα ολοκληρωμένων διεργασιών κάθε χαρτογράφησης του συστήματος, των οποίων δηλαδή ο χρόνος ολοκλήρωσης ήταν μικρότερος από τριάντα (30) δευτερόλεπτα.

Στις επόμενες υποενότητες περιγράφεται η ανάπτυξη της εφαρμογής μέσω της οποίας θα γίνει δυνατή η εκτέλεση της αξιολόγησης του συστήματος από πραγματικούς χρήστες και η λήψη των δεδομένων αποτελεσματικότητας και αποδοτικότητας.

4.2.1 Μεθοδολογία Ανάπτυξης Εφαρμογής

Από τα πρώτα στάδια της εργασίας έχει αναπτυχθεί εφαρμογή στο περιβάλλον της Unity η οποία αποτελεί πρώιμο λειτουργικό πρωτότυπο της διεπαφής το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο της λειτουργικότητάς της. Η ανατροφοδότηση από τη χρήση της εφαρμογής εξετάστηκε επανειλημμένα ως προς την λειτουργία της και υπέστη τις απαραίτητες αλλαγές και διορθώσεις συμβάλλοντας στην ανάπτυξη του συστήματος, καταλήγοντας στις δύο διαφορετικά παραμετροποιημένες εκδοχές για τις δύο χαρτογραφήσεις που εξετάζονται σε αυτό το κεφάλαιο.

Οι δύο εκδοχές αποτελούσαν ανεξάρτητα στιγμιότυπα της εφαρμογής, παρέχοντας όμως την ίδια λειτουργικότητα περιστροφής εικονικών αντικειμένων. Για τις ανάγκες της αξιολόγησης τα δύο αυτά στιγμιότυπα μεταφέρθηκαν σε μια κοινή εφαρμογή. Απαιτήθηκε επίσης ο καθορισμός διεργασιών αντιπροσωπευτικών της βασικής λειτουργικότητας του συστήματος που είναι η αναγνώριση χειρονομιών για την περιστροφή ενός εικονικού μοντέλου, τις οποίες οι συμμετέχοντες θα καλούνται να ολοκληρώσουν κατά τη διαδικασία της δοκιμής του συστήματος, και η προσθήκη του κατάλληλου μηχανισμού καταγραφής των χρόνων ολοκλήρωσης αυτών των διεργασιών για τον προσδιορισμό της αποδοτικότητας των συμμετεχόντων.

Αναλυτικότερα, όλη η υπάρχουσα λειτουργικότητα μεταφέρθηκε στη νέα εφαρμογή και έγινε προσβάσιμη μέσω ενός κεντρικού μενού (βλέπε εικόνα 4.1) το οποίο επέτρεψε

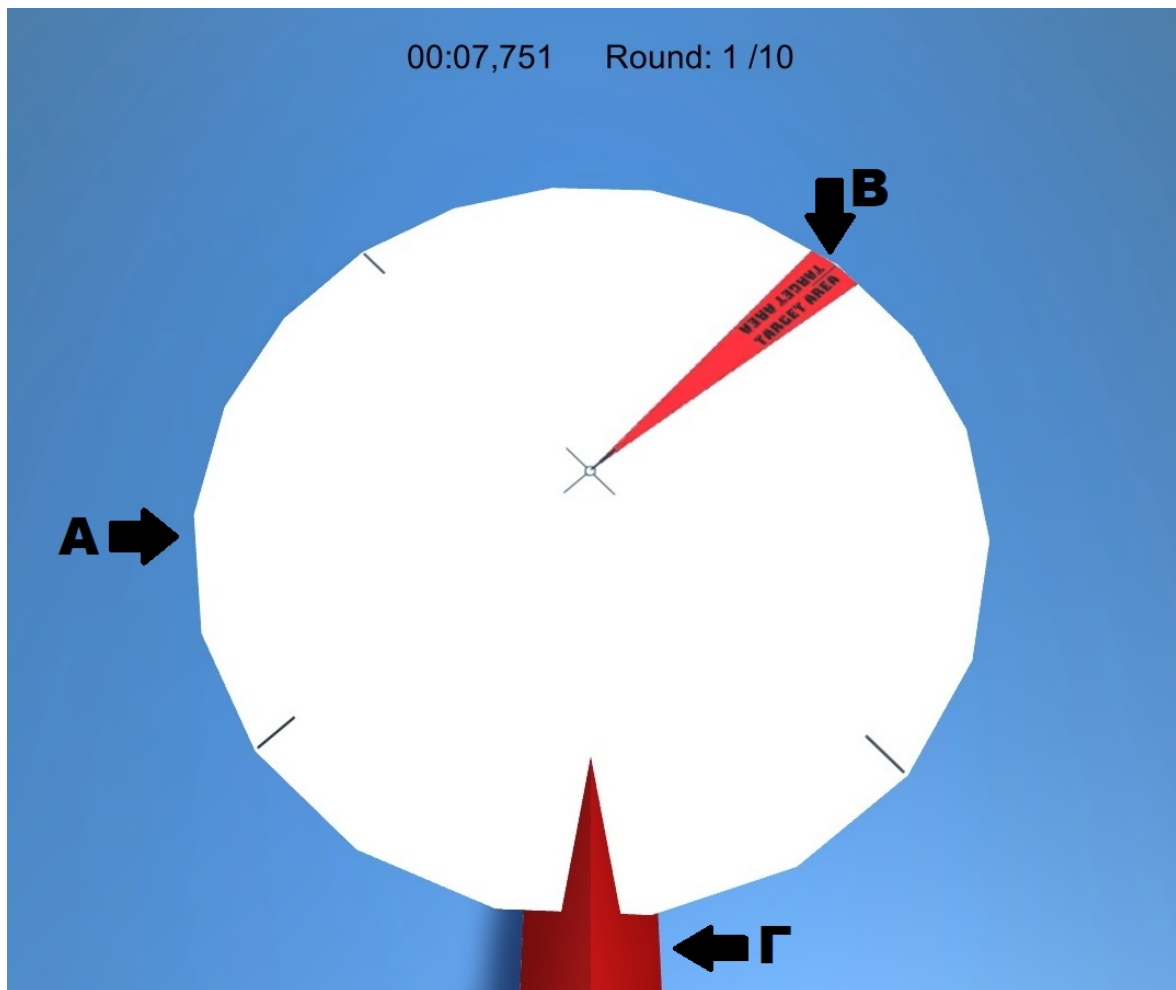


Σχήμα 4.1: Κεντρικό Μενού Νέας Εφαρμογής

την πλοήγηση από και προς το περιβάλλον των χρονομετρημένων διεργασιών των χαρτογραφήσεων που εξετάζονται: Natural & Isomorphic, αλλά και των αντίστοιχων για κάθε χαρτογράφηση μελετών πεδίου: Field Study (Natural) & Field Study (Isomorphic). Στο γραφικό περιβάλλον των χρονομετρημένων διεργασιών κάθε χαρτογράφησης είναι ορατά στον χρήστη δύο εικονικά αντικείμενα. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.2, το κύριο αντικείμενο (Α) είναι ένας δίσκος στον οποίο έχει σημειωθεί ως «TARGET AREA» η επιφάνεια ενός κυκλικού τομέα γωνίας 10° (Β). Το δεύτερο αντικείμενο είναι ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο, τοποθετημένο με τέτοιο τρόπο ώστε να συμβολίζει ένα βέλος (Γ) το οποίο στοχεύει σε ένα συγκεκριμένο σημείο του δίσκου. Ο δίσκος είναι το μόνο αντικείμενο που παρέχει τη δυνατότητα χειρισμού στον χρήστη του συστήματος, με αυτόν να περιορίζεται στην οριζόντια περιστροφή του γύρω από τον κατακόρυφο κεντρικό άξονά του. Αντίθετα με τον δίσκο, στο βέλος δεν υπάρχει η δυνατότητα περιστροφής, με αποτέλεσμα να παραμένει πάντα σταθερό. Επιπλέον, στο πάνω μέρος της διεπαφής υπάρχει ένας μετρητής ο οποίος εμφανίζει τον αριθμό του τρέχοντος γύρου και ένα χρονόμετρο το οποίο μετρά τον χρόνο που έχει παρέλθει (elapsed time) από την εκκίνηση του γύρου.

4.2.2 Περιγραφή Τρόπου Λειτουργίας Εφαρμογής

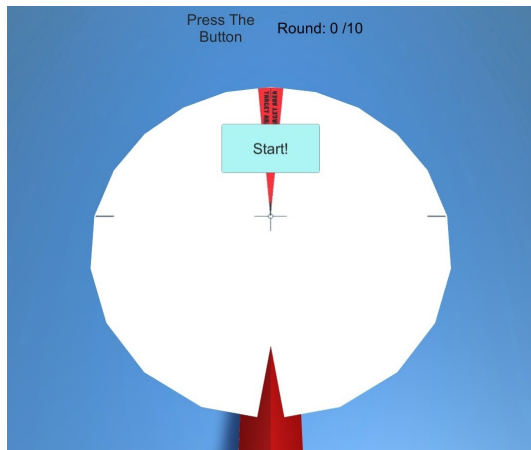
Με την επιλογή μίας εκ των δύο χαρτογραφήσεων από το κεντρικό μενού ο χρήστης μεταφέρεται στο περιβάλλον της αντίστοιχης εκδοχής στο οποίο καλείται να πατήσει το κουμπί «Start!» για να εκκινήσει έναν νέο γύρο (Εικόνα 4.3 - Στιγμιότυπο Α). Με το πάτημα του κουμπιού, το εικονικό αντικείμενο του δίσκου περιστρέφεται αυτόματα σε έναν τυχαίο αρχικό προσανατολισμό, ο μετρητής του γύρου ενημερώνεται και στο χρονόμετρο εμφανίζεται μια αντίστροφη μέτρηση (READY - SET - GO!) προκειμένου ο συμμετέχων να προετοιμαστεί για την εκκίνηση του γύρου (Εικόνα 4.3 - Στιγμιότυπο Β). Αμέσως μετά την εκκίνηση (Εικόνα 4.4 - Στιγμιότυπο Γ), ο χρήστης με την πραγματοποίηση χειρωνακικών έχει τη δυνατότητα να περιστρέψει αριστερόστροφα ή δεξιόστροφα



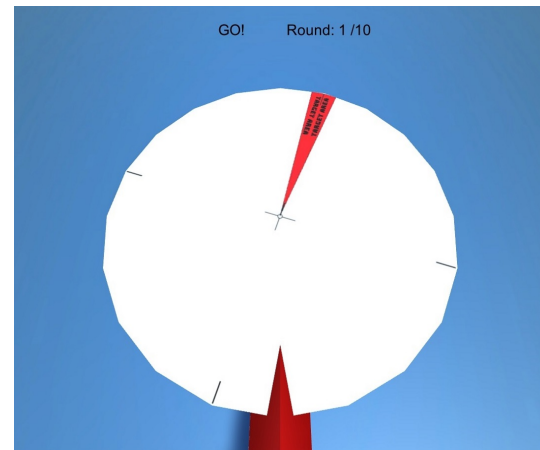
Σχήμα 4.2: Γραφικό Περιβάλλον Χρονομετρημένων Διεργασιών Νέας Εφαρμογής. (Α): Δίσκος, (Β): Κυκλικός Τομέας 10°, (Γ): Βέλος.

τον δίσκο ενώ το χρονόμετρο τον ενημερώνει για τον χρόνο που έχει παρέλθει από την εκκίνηση του γύρου. Η επιθυμητή τελική κατάσταση επιτυγχάνεται μόλις ο δίσκος, αφού πρώτα περιστραφεί κατάλληλα, ακινητοποιηθεί σε συγκεκριμένο προσανατολισμό ώστε η άκρη από το βέλος να βρίσκεται στη σημειωμένη περιοχή 10° που υπάρχει στην επιφάνειά του, ολοκληρώνοντας με αυτόν τον τρόπο τον τρέχων γύρο (Εικόνα 4.4 - Στιγμιότυπο Δ). Με την επίτευξη του παραπάνω, το χρονόμετρο σταματά να μετρά και εμφανίζει τον χρόνο ολοκλήρωσης του γύρου. Επίσης, ο δίσκος παύει να περιστρέφεται από τις χειρονομίες του συμμετέχοντα, ο οποίος πλέον μπορεί πατώντας στο κουμπί «Start Next Round» να επανεκκινήσει το περιβάλλον της εφαρμογής ξεκινώντας έναν νέο γύρο με τον δίσκο να περιστρέφεται ξανά σε τυχαίο αρχικό προσανατολισμό και τον συμμετέχοντα να καλείται να επαναλάβει την ίδια διαδικασία με στόχο την εκ νέου επίτευξη της επιθυμητής κατάστασης.

Τα χρονικά διαστήματα που μεσολαβούν από την εκκίνηση κάθε νέου γύρου έως και τη στιγμή της ολοκλήρωσής του καταγράφονται και αποθηκεύονται σε εξωτερικό αρχείο για μελλοντική ανάλυση και εξαγωγή των δεδομένων της αποδοτικότητας και της αποτελεσματικότητας. Η δοκιμή του συστήματος αποτελείται από την ολοκλήρωση τριών γύρων για κάθε συμμετέχοντα. Η παραπάνω διαδικασία καταφέρει να αξιολογήσει τόσο την ταχύτητα με βάση την οποία οι χρήστες θα μπορούσαν να περιστρέψουν ένα

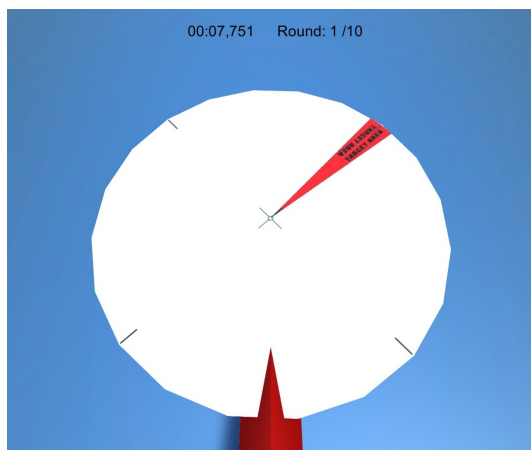


(α) Στιγμιότυπο Α

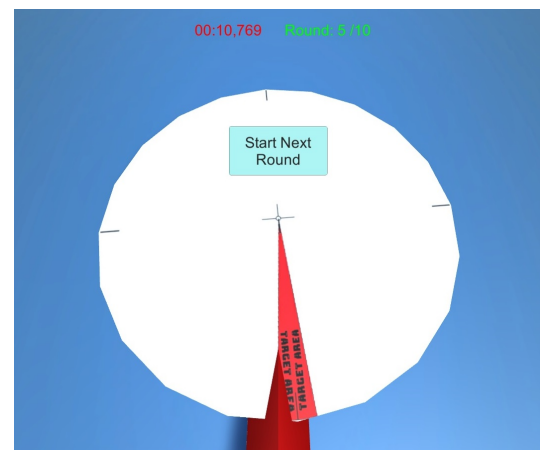


(β) Στιγμιότυπο Β

Σχήμα 4.3: Στιγμιότυπα της διεπαφής πριν (Α) και κατά (Β) την εκκίνηση νέου γύρου.



(α) Στιγμιότυπο Γ



(β) Στιγμιότυπο Δ

Σχήμα 4.4: Στιγμιότυπα της διεπαφής κατά την εκτέλεση (Γ) και μετά την ολοκλήρωση (Δ) του γύρου.

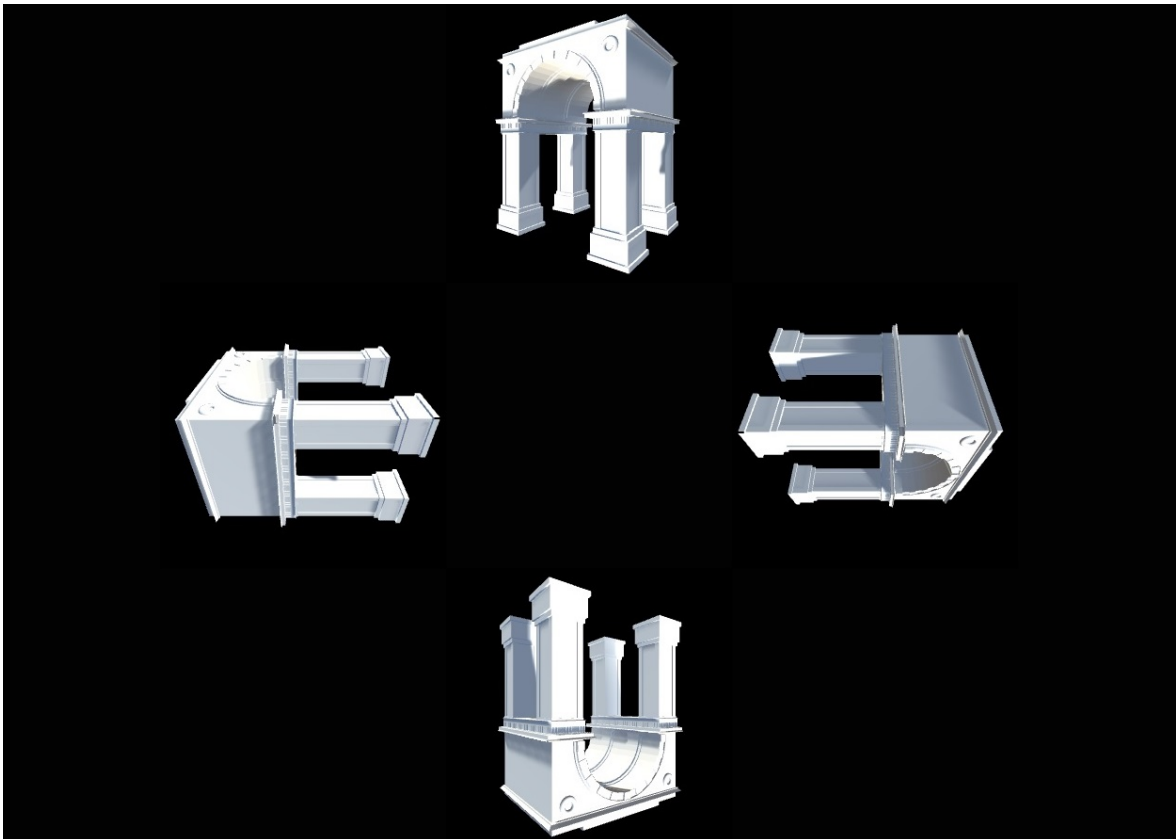
αντικείμενο στον επιθυμητό για αυτούς προσανατολισμό, όσο και την ακρίβεια προκειμένου η περιστροφή να σταματήσει ακριβώς στον επιθυμητό προσανατολισμό.

4.3 Μελέτη Πεδίου

Με την ολοκλήρωση των διεργασιών που έχουν ανατεθεί κατά τη διαδικασία της πειραματικής δοκιμής της δεύτερης φάσης της αξιολόγησης, θα υπάρχει στη διάθεση των συμμετεχόντων λειτουργικό πρωτότυπο του συστήματος για την υλοποίηση μελέτης πεδίου. Η χαρτογράφηση του λειτουργικού πρωτοτύπου θα είναι ίδια με αυτή που ο κάθε συμμετέχων χρησιμοποίησε στη δεύτερη φάση της αξιολόγησης. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.1, στο κεντρικό μενού της εφαρμογής υπάρχουν δύο διαφορετικά κουμπιά για την εύκολη επιλογή του λειτουργικού πρωτοτύπου με την επιθυμητή χαρτογράφηση. Πέρα από τη διαφορετική χαρτογράφηση, τα δύο λειτουργικά πρωτότυπα είναι απολύτως όμοια, τόσο εμφανισιακά, όσο και λειτουργικά.

Κατά τη διάρκεια της μελέτης πεδίου, οι συμμετέχοντες θα μπορούν πραγματοποιώντας

χειρονομίες να αλληλεπιδράσουν ελεύθερα με το σύστημα, χωρίς να τους ανατίθενται προκαθορισμένες διεργασίες προς εκτέλεση, ενώ σημαντική αλλαγή στον τομέα της εμπειρίας διάδρασης θα αποτελεί η αντικατάσταση της οθόνης του υπολογιστή ως συσκευής εξόδου/ανατροφοδότησης από ένα ολόγραμμα. Η εμφάνιση του εν λόγω ολογράμματος θα επιτυγχάνεται μέσω της μεθόδου οφθαλμαπάτης «Pepper's Ghost» με τη χρήση μιας οριζόντια τοποθετημένης οθόνης και μιας ολογραμματικής πυραμίδας κατασκευασμένης από διάφανο πλαστικό. Η τοποθέτηση της πυραμίδας πάνω στην οριζόντια οθόνη θα οδηγεί το εικονικό αντικείμενο που απεικονίζεται σε αυτήν (Εικόνα 4.5) να αντανakλάται στα διάφανα τοιχώματα της πυραμίδας, δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο την ψευδαίσθηση του ολογράμματος (Εικόνα 4.6) στους συμμετέχοντες.



Σχήμα 4.5: Οι τέσσερις πλευρές της ολογραμματικής προβολής με τη χρήση της τεχνικής Pepper's Ghost όπως απεικονίζονται στην οθόνη.

Κατά τη χρήση του πρωτοτύπου δεν υπάρχει προγραμματισμένη συλλογή δεδομένων από τους συμμετέχοντες, ωστόσο θα πραγματοποιείται άμεση παρατήρηση της αλληλεπίδρασής τους για εντοπισμό σφαλμάτων χρηστικότητας στη σχεδίαση, καθώς επίσης θα καταγράφεται και οποιαδήποτε ανατροφοδότηση από αυτούς με μορφή σχολίων, παρατηρήσεων ή προτάσεων. Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας θα ακολουθεί η συλλογή και η μελέτη της ανατροφοδότησης από αυτούς μέσω των ερωτήσεων/απαντήσεων του ερωτηματολογίου.

Στόχος της διαδικασίας είναι η κατανόηση των ενδεχόμενων μελλοντικών χρηστών και των πιθανών ιδιαιτεροτήτων και αναγκών που ενδέχεται να διαθέτουν και η απόκτηση γνώσεων σχετικά με τον φυσικό τρόπο με τον οποίο αυτοί αλληλεπιδρούν με το σύστημα για την εκτέλεση διεργασιών κάτω από—εν—μέρη—ρεαλιστικές συνθήκες. Επίσης, από την πλευρά της αξιολόγησης, η ελεύθερη ενασχόληση των συμμετεχόντων με το



Σχήμα 4.6: Ολογραμματική προβολή εκθέματος με τη χρήση της τεχνικής Pepper's Ghost όπως απεικονίζεται στην ολογραμματική πυραμίδα.

πρωτότυπο στοχεύει στην ανάδειξη περαιτέρω προβλημάτων του συστήματος, τα οποία ενδεχομένως δεν εντόπισαν λόγω πίεσης κατά τη διάρκεια του πειράματος, αλλά και η υποκειμενική εκπόνηση απόψεων και ενδιαφέροντος για την εμπειρία διάδρασης με το ολοκληρωμένο σύστημα, όπως αυτό ενδεχομένως να υπήρχε εγκατεστημένο στον χώρο ενός μουσείου.

4.4 Ερωτηματολόγιο

4.4.1 Δημογραφικά Στοιχεία

Η πρώτη ενότητα του ερωτηματολογίου περιέχει ερωτήσεις για τη συλλογή των δημογραφικών χαρακτηριστικών των συμμετεχόντων. Οι δημογραφικές ερωτήσεις αφορούν το υπόβαθρο των συμμετεχόντων της έρευνας και είναι χρήσιμες στην ανάλυση των αποτελεσμάτων αυτής καθώς βοηθούν στην οπτικοποίηση των συμμετεχόντων. Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο, σύμφωνα με τον Ozok [66], παίζουν σε έρευνες σχετικές με τον κλάδο της επικοινωνίας ανθρώπου-υπολογιστή καθώς οι περισσότερες μεταβλητές που σχετίζονται με αυτές τις έρευνες είναι εξαρτημένες από παράγοντες οι οποίοι επηρεάζονται από τα χαρακτηριστικά του πληθυσμού-στόχου. Κατά συνέπεια, από τις δημογραφικές ερωτήσεις μπορούν να εξαχθούν τα απαραίτητα δεδομένα για τον καθορισμό των στοιχείων του πληθυσμού από τον οποίο έχει πραγματοποιηθεί η δειγματοληψία και έχουν προκύψει τα συμπεράσματα της έρευνας [66]. Τονίζεται παράλληλα η κρισιμότητα παροχής ανωνυμίας σε έρευνες επικοινωνίας ανθρώπου-υπολογιστή για την αποφυγή καταστάσεων στις οποίες οι συμμετέχοντες ενδέχεται να νιώθουν πως παραβιάζονται τα δικαιώματα απορρήτου τους [66]. Στην παρούσα έρευνα για τη σύνδεση των μετρήσιμων δεδομένων από τη μέτρηση των χρόνων ολοκλήρωσης των διεργασιών και των απαντήσεων του ερωτηματολογίου απαιτείται η απόδοση μιας μοναδικής τιμής σε κάθε συμμετέχοντα. Για την επίτευξη αυτού, και προκειμένου να διατηρηθεί η ανωνυμία, σε κάθε συμμετέχοντα θα αντιστοιχίζεται ένας μοναδικός κωδικός της μορφής «P00-X» αντί του ονόματος του.

Οι βασικές δημογραφικές ερωτήσεις στις περισσότερες έρευνες αφορούν την ηλικία, το φύλο, την εκπαίδευση και την απασχόληση των συμμετεχόντων [66]. Για τους σκοπούς της συγκεκριμένης έρευνας το φύλο, το επίπεδο εκπαίδευσης και η απασχόληση δεν

έχουν ιδιαίτερη σημασία συνεπώς οι αντίστοιχες ερωτήσεις παραλείπονται. Επιπρόσθετων των παραπάνω, οι δημογραφικές έρευνες μπορούν να περιλαμβάνουν γενικές ερωτήσεις σχετικά με τις καθημερινές ασχολίες των συμμετεχόντων, προσαρμοσμένες κάθε φορά στον τύπο των πληροφοριών που απαιτούνται για την υπό εξέταση έρευνα [66]. Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενες ενότητες, ο πληθυσμός-στόχος στον οποίο απευθύνεται το σύστημα είναι οι μουσειακοί επισκέπτες. Ο εν λόγω πληθυσμός χαρακτηρίζεται από μεγάλη ποικιλομορφία σε παράγοντες όπως η ηλικία, η εκπαίδευση και η εμπειρία με ψηφιακές διεπαφές και εικονικά περιβάλλοντα [35]. Ειδικά αναφορικά με την τελευταία, οι Barneche-Naya και Hernández-Ibañez [35], αναφέρουν πως η ύπαρξη εμπειρίας σε 3D βιντεοπαιχνίδια, όπως έχει αποδειχθεί από έρευνες [67], [68], έχει θετική επίδραση στην ικανότητα πραγματοποίησης διεργασιών πλοήγησης και αλληλεπίδρασης μέσα σε έναν εικονικό κόσμο. Για την ανάλυση της απόδοσης των συμμετεχόντων κατά την αλληλεπίδραση με το σύστημα συναρτήσε του βαθμού υπάρχουσας εμπειρίας τους με άλλες παρόμοιες διεπαφές έχουν προστεθεί δύο ερωτήσεις, μια για τον καθορισμό του επιπέδου υπάρχουσας εμπειρίας στη φυσική αλληλεπίδραση μέσω χειρονομιών ή κινήσεων του σώματος για τον χειρισμό βιντεοπαιχνιδιών ή άλλων φυσικών διεπαφών, και μια για το επίπεδο υπάρχουσας εμπειρίας στην πλοήγηση σε τριδιάστατα εικονικά περιβάλλοντα ή τον χειρισμό τριδιάστατων εικονικών αντικειμένων κατά τη χρήση τριδιάστατων βιντεοπαιχνιδιών ή άλλων διεπαφών.

4.4.2 Post-Task Ερωτηματολόγιο

Η δεύτερη φάση της αξιολόγησης αποτελείται από την εκτέλεση προκαθορισμένων χρονομετρημένων διεργασιών για την αλληλεπίδραση των συμμετεχόντων με τις διαφορετικές χαρτογραφήσεις και τη λήψη δεδομένων για τη σύγκριση και αξιολόγησή τους. Όπως έχει αναφερθεί στην ενότητα 4.2.2, από την ίδια την εφαρμογή καταγράφονται και αποθηκεύονται σε εξωτερικό αρχείο τα χρονικά διαστήματα που μεσολαβούν από την εκκίνηση κάθε νέου γύρου έως και τη στιγμή της ολοκλήρωσής του, με σκοπό τη μελλοντική ανάλυση και εξαγωγή δεδομένων αποδοτικότητας και αποτελεσματικότητας. Επιπλέον, στην αξιολόγηση των χρονομετρημένων διεργασιών είναι αφιερωμένη και η δεύτερη ενότητα του ερωτηματολογίου, η οποία αποτελείται από δύο υποενότητες, μια για κάθε χαρτογράφηση που εξετάζεται. Κάθε συμμετέχων, ολοκληρώνοντας τις διεργασίες της χαρτογράφησης που του έχει ανατεθεί, συμπληρώνει και την αντίστοιχη υποενότητα του ερωτηματολογίου η οποία ανήκει στην κατηγορία post-task ερωτηματολογίων.

Τα post-task ερωτηματολόγια συμπληρώνονται αμέσως μετά την ολοκλήρωση μιας διεργασίας και αποτυπώνουν τις εντυπώσεις των συμμετεχόντων σχετικά με αυτήν. Ο ρόλος αυτών των ερωτηματολογίων είναι η καταγραφή του τρόπου με τον οποίο οι συμμετέχοντες αντιλαμβάνονται την αλληλεπίδραση τους με το σύστημα και είναι χρήσιμα καθώς λαμβάνουν δεδομένα για διαφορετικές διεργασίες του ίδιου συστήματος επιτρέποντας τη σύγκριση τους. Επιπλέον, το γεγονός ότι συμπληρώνονται αμέσως μετά την ολοκλήρωση της κάθε διεργασίας συμβάλει στην πιο ξεκάθαρη και αυθόρμητη αξιολόγηση της εμπειρίας των συμμετεχόντων, πρώτου αυτοί επηρεαστούν από μεταγενέστερες διεργασίες. Δεδομένου όμως ότι τα δεδομένα που συλλέγονται από αυτά είναι κυρίως μετρήσιμα και όχι ποιοτικά, δεν είναι σε θέση να προσφέρουν ξεκάθαρα διαγνωστικά στοιχεία σχετικά με τα αίτια ενδεχόμενης προβληματικής αλληλεπίδρασης των συμμετεχόντων ή προτάσεις για την επίλυση και βελτίωση αυτής.

Για τις περισσότερες έρευνες προτείνεται η χρήση απλών και όσο το δυνατόν λιγότερων ερωτήσεων, με το περιεχόμενο των ερωτήσεων να καθορίζεται από την εκάστοτε έρευνα. Για τις ανάγκες της τρέχουσας εργασίας έχουν επιλεγεί επτά συνολικά ερωτήσεις, πέντε από τις οποίες θα απαντηθούν από τους ίδιους τους συμμετέχοντες με χρήση του ερωτηματολογίου, και δύο τις οποίες θα κληθούν να απαντήσουν προφορικά με τα δεδομένα αυτών να καταγράφονται από τους ερευνητές σε ξεχωριστό ερωτηματολόγιο. Η τελική μορφή των ερωτήσεων έχει προκύψει από την προσαρμογή παρόμοιων ερωτήσεων από ερωτηματολόγια των Rauschenberger, Schrepp, Pérez Cota, Olschner και Thomaschewski [69], Witmer και Singer [70], Macaranas et al. [56], αλλά και άλλων ανεπίσημων πηγών.

Οι πέντε ερωτήσεις του ερωτηματολογίου καλούν τους συμμετέχοντες να χαρακτηρίσουν την χαρτογράφηση συναρτήσει της ικανοποίησης που τους προσέφερε και της δυσκολίας κατανόησης του τρόπου λειτουργίας της, να αναφέρουν την ταχύτητα με την οποία κατάφεραν να προσαρμοστούν σε αυτήν, τον βαθμό στον οποίο νιώθουν ικανοί στην χρήση της και τον βαθμό στον οποίο ο μηχανισμός ελέγχου τους αποσπούσε την προσοχή από την εκτέλεση της εφαρμογής.

Στη συνέχεια, ζητείται από τους συμμετέχοντες η προαιρετική παροχή συνοπτικής προφορικής εξήγησης της βαθμολογίας που έδωσαν στην εμπειρία τους με το σύστημα στην αντίστοιχη ερώτηση του ερωτηματολογίου. Από τις απαντήσεις των συμμετεχόντων λαμβάνονται γνώσεις σχετικά με τα στοιχεία της εμπειρίας τους που επηρέασαν στον μεγαλύτερο βαθμό —θετικά ή αρνητικά— την ικανοποίησή τους, η οποία αποτελεί ιδιαίτερα σημαντικό παράγοντα σε αυτή τη διεπαφή. Τέλος, οι συμμετέχοντες θα καλούνται να περιγράψουν προφορικά τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος, απαντώντας στην ερώτηση: «Αν έπρεπε να μάθεις σε κάποιον πως να χρησιμοποιήσει το σύστημα, τι θα του έλεγες;». Η παραπάνω ερώτηση έχει προηγουμένως χρησιμοποιηθεί στην έρευνα των Macaranas et al. [56], με τις απαντήσεις αρχικά θα αναλύονται για τη λήψη δεδομένων σχετικά με τον βαθμό στον οποίο οι συμμετέχοντες συνειδητά κατανοούν τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος. Ο καθορισμός του βαθμού κατανόησης θα γίνεται μέσω της σύγκρισης των εξηγήσεων και περιγραφών των απαντήσεων των συμμετεχόντων με τον πραγματικό τρόπο λειτουργίας του συστήματος. Ο συνδυασμός δεδομένων ορθής συνειδητής κατανόησης από αυτήν την ερώτηση και δεδομένων υψηλής αποδοτικότητας και αποτελεσματικότητας θα μπορεί να ερμηνευθεί ως αυξημένη ικανότητα των συμμετεχόντων να περιγράφουν λεκτικά και να χειρίζονται σωματικά το σύστημα, γεγονός που σύμφωνα με τους Macaranas et al. [56] συνεπάγεται εστίαση της συνειδητής προσοχής στην εκτέλεση των διεργασιών. Οι απαντήσεις της προφορικής ερώτησης των Macaranas et al. στη συνέχεια θα αναλύονται ξανά για τη λήψη δεδομένων σχετικά με την ύπαρξη ή απουσία υποσυνείδητων κινήσεων ολόκληρου του σώματος ή μερών αυτού στην προσπάθεια εξήγησης του τρόπου λειτουργίας του συστήματος από τους συμμετέχοντες, και τον βαθμό αντιστοιχίας των εν λόγω κινήσεων με το πραγματικό νοητικό μοντέλο του συστήματος. Η ύπαρξη τέτοιων υποσυνείδητων εκφράσεων από τους συμμετέχοντες, ακόμα και σε περιπτώσεις που οι ίδιοι αδυνατούν ή δυσκολεύονται να εξηγήσουν λεκτικά τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί το σύστημα, σύμφωνα με τους Macaranas et al. [56] συνεπάγεται υποσυνείδητη κατανόηση.

Το σύνολο των παραπάνω ερωτήσεων έχει επιλεγεί με σκοπό τη λήψη δεδομένων σχετικά με τους παράγοντες της χρηστικότητας που επηρεάζουν στον μεγαλύτερο βαθμό τη διεπαφή: την ευκολία εκμάθησης, την υποκειμενική ικανοποίηση των συμμετεχόντων και την κατανομή της προσοχής τους. Από τις σχετικές με την ευκολία εκμάθησης

ερωτήσεις θα αξιολογηθεί η δυνατότητα χρήσης του συστήματος ως walk-up-and-use διεπαφή. Ενδιαφέρον επίσης θα έχει η σύγκριση των δεδομένων των ερωτήσεων σχετικά με την αντιληπτή ικανότητα χειρισμού και της υποκειμενικής ικανοποίησης, των δεδομένων διαισθητικής χρήσης και κατανόησης από τις προφορικές απαντήσεις, αλλά και των μετρήσιμων δεδομένων αποδοτικότητας και αποτελεσματικότητας, καθώς όπως έχει αποδειχθεί από προηγούμενες έρευνες των Macaranas et al. [56], Norman και Nielsen [17], Pietschmann και Ohler [55], Hurtienne, Weber και Blessing [53] (βλέπε ενότητα 2.6 για περισσότερες πληροφορίες) υπάρχει συσχέτιση μεταξύ αυτών.

4.4.3 Post-Test Ερωτηματολόγιο

Η τρίτη φάση της αξιολόγησης, όπως περιγράφεται στην ενότητα 4.3, αποτελείται από την ελεύθερη αλληλεπίδραση των συμμετεχόντων με λειτουργικό πρωτότυπο του συστήματος και λειτουργεί ως μελέτη πεδίου. Τέλος, η τέταρτη και τελευταία φάση της αξιολόγησης έχει τον ρόλο της συνολικής αξιολόγησης του συστήματος, της αναφοράς προβλημάτων και της πρότασης βελτιστοποιήσεων. Οι διαδικασίες αυτές επιτυγχάνονται μέσω της τρίτης ενότητας του ερωτηματολογίου η οποία ανήκει στην κατηγορία post-test ερωτηματολογίων. Τα post-test ερωτηματολόγια συμπληρώνονται στο τέλος της διαδικασίας αξιολόγησης όταν οι συμμετέχοντες έχουν ολοκληρώσει την εκτέλεση όλων των επί μέρους διεργασιών που αφορούν το σύστημα. Ο ρόλος τους είναι η καταγραφή στοιχείων και μετρήσεων σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο οι συμμετέχοντες αντιλαμβάνονται τη χρησιμότητα του συστήματος και γενικότερα των συνολικών εντυπώσεων που καταφέρνουν να συγκρατήσουν από τη συνολική εμπειρία τους με αυτό.

Η εξάρτηση της χρησιμότητας από το γενικότερο πλαίσιο του συστήματος (συνθήκες χρήσης, χαρακτηριστικά συμμετεχόντων κλπ.) συνεπάγεται μεγάλη δυσκολία στη σύγκριση του βαθμού χρησιμότητας ανάμεσα σε διαφορετικά συστήματα ή διαφορετικές εκδοχές του ίδιου συστήματος [58], με την τελευταία να αποτελεί ένα από τα ζητούμενα αυτής της αξιολόγησης. Μια περιοχή της χρησιμότητας που επιδέχεται την πραγματοποίηση γενικευμένων αξιολογήσεων της, οι οποίες θα επέτρεπαν τη σύγκριση μεταξύ διαφορετικών συστημάτων, είναι η υποκειμενική αξιολόγηση της χρησιμότητας [58].

Το γεγονός αυτό αξιοποιεί το System Usability Scale (SUS), το οποίο είναι ένα απλό ερωτηματολόγιο, κατασκευασμένο από τον Brooke [58] το 1986, αποτελούμενο από δέκα likert-scale ερωτήσεις οι οποίες προσφέρουν καθολική και υποκειμενική αξιολόγηση, καλύπτοντας ποικιλία παραγόντων της χρησιμότητας όπως η ανάγκη για υποστήριξη, η πολυπλοκότητα και η ικανοποίηση. Η καλή συσχέτιση των αποτελεσμάτων του με άλλα αντίστοιχα υποκειμενικά ερωτηματολόγια αποδεικνύει πως αποτελεί ένα αξιόπιστο και ισχυρό εργαλείο αξιολόγησης χρησιμότητας, ενώ η υποκειμενική του φύση κάνει δυνατή τη σύγκριση μεταξύ συστημάτων [58]. Η χρήση του SUS γίνεται αμέσως μετά από την αλληλεπίδραση των χρηστών με το εξεταζόμενο σύστημα, συλλέγοντας τις αυθόρμητες απόψεις τους. Για την επίτευξη αυτού, είναι επιθυμητό σύμφωνα με τον Brooke [58] η επιλογή της απάντησης σε κάθε ερώτηση να γίνεται άμεσα, ενώ για την περίπτωση που κάποια απάντηση είναι δύσκολο ή απαιτεί πολύ χρόνο για να απαντηθεί προτείνει τη σημείωση της μεσαίας επιλογής από την κλίμακα.

Από την ανάλυση των απαντήσεων των συμμετεχόντων υπολογίζεται ένας αριθμός στο εύρος από 0 έως 100 ο οποίος αντιπροσωπεύει μια σύνθετη μέτρηση/βαθμολογία της συνολικής χρησιμότητας του συστήματος [58]. Ο ρόλος του SUS δεν είναι η διαγνω-

στική αξιολόγηση καθώς δεν διαθέτει τη δυνατότητα ανάδειξης συγκεκριμένων σφαλμάτων. Αντίθετα, η προκύπτουσα βαθμολογία από το ερωτηματολόγιο λειτουργεί ως ένδειξη σχετικά με τη συνολική αξιολόγηση της ποιότητας του συστήματος και της καταλληλότητάς του για χρήση, μέσω των οποίων στη συνέχεια μπορεί να εξεταστεί η ενδεχόμενη ανάγκη επανεξέτασης του σχεδιασμού και διόρθωσης πιθανών σφαλμάτων. Η μέση βαθμολογία που έχει προκύψει από την αξιολόγηση 500 συστημάτων με το ερωτηματολόγιο SUS είναι 68, συνεπώς οποιοδήποτε σύστημα με βαθμολογία άνω του 68 μπορεί να θεωρηθεί στον τομέα της χρηστικότητας καλύτερο από τον μέσο όρο και αντίστοιχα για βαθμολογία κάτω του 68 χειρότερο του μέσου όρου.

Πέρα από το SUS, και για τη λήψη διαγνωστικών δεδομένων σχετικά με πιθανά σφάλματα στον σχεδιασμό της διεπαφής, έχουν προστεθεί σε αυτή την ενότητα του ερωτηματολογίου δύο επιπλέον ερωτήσεις:

Η πρώτη ερώτηση αφορά την εργονομία και καλεί τους συμμετέχοντες να δηλώσουν οποιαδήποτε ανεπιθύμητη σωματική κατάσταση όπως πόνο, κούραση, κακή στάση των χεριών κλπ. ένωσαν κατά την αλληλεπίδραση με το σύστημα. Από τις απαντήσεις των συμμετεχόντων θα είναι δυνατός ο καθορισμός του βαθμού στον οποίο οι επιλεγμένες χειρονομίες είναι σύμφωνες με τα εργονομικά πρότυπα που αναφέρονται από τους Stern et al. [52] και Nielsen et al. [51] στην ενότητα 2.5.

Προκειμένου η αλληλεπίδραση με το ψηφιακό αντικείμενο να μπορεί να θεωρηθεί άξια αντικατάστασης αυτής με το φυσικό αντικείμενο θα πρέπει να διατηρεί ορισμένα από τα χαρακτηριστικά της τελευταίας όπως την ικανότητα λεπτομερούς περιμετρικής παρατήρησης του αντικειμένου. Αυτό εξετάζει η δεύτερη ερώτηση η οποία στοχεύει στη λήψη δεδομένων σχετικά με τον βαθμό και τη λεπτομέρεια με την οποία οι συμμετέχοντες μπορούσαν να εξετάσουν περιμετρικά το ψηφιακό αντικείμενο περιστρέφοντάς το κατά την αλληλεπίδρασή τους με το λειτουργικό πρωτότυπο. Σε αντίθεση με την πλειονότητα των προηγούμενων ερωτήσεων οι οποίες σχετίζονταν άμεσα με την αξιολόγηση της χρηστικότητας του συστήματος, δηλαδή του βαθμού στον οποίο το σύστημα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί από τους συμμετέχοντες με αποτελεσματικότητα, αποδοτικότητα και ικανοποίηση [41], η τελευταία ερώτηση εξετάζει την ωφελιμότητα αυτού, δηλαδή τον βαθμό στον οποίο υπήρχε υλοποιημένη στο σύστημα η απαραίτητη λειτουργικότητα μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η εκτέλεση όλων των απαραίτητων ενεργειών για την επίτευξη του επιθυμητού στόχου [40].

Για τη λήψη επιπλέον ποιοτικών δεδομένων αναφορικά με το σύνολο του συστήματος, πέραν των σχολίων κατά τη χρήση των χρονομετρημένων διεργασιών και του λειτουργικού πρωτοτύπου τα οποία, εφόσον υπάρξουν, θα καταγράφονται, ακολουθεί σύντομη συνέντευξη τριών ερωτήσεων με τους συμμετέχοντες. Από την πρώτη ερώτηση οι συμμετέχοντες καλούνται να αναφέρουν τον βαθμό στον οποίο η διεπαφή λειτουργήσε όπως περίμεναν, απαντώντας στην ερώτηση: «Ήταν η συμπεριφορά της διεπαφής σύμφωνη με τις προσδοκίες σου;». Από την ανάλυση των απαντήσεων κάθε συμμετέχοντα θα εξάγεται αρχικά ως ποσοτικό δεδομένο ο βαθμός συμφωνίας της λειτουργίας της διεπαφής με τις προσδοκίες του και στη συνέχεια ως ποιοτικό δεδομένο οποιοδήποτε σημαντικό σχόλιο το οποίο θα εξηγήει την εκάστοτε επιλογή του. Στη συνέχεια, εάν ο συμμετέχοντας έχει δηλώσει αδυναμία κάλυψης των προσδοκιών του, θα καλείται να περιγράψει τους τρόπους με τους οποίους συνέβη αυτό, καθορίζοντας τα προβληματικά για αυτόν μέρη της εφαρμογής, απαντώντας στην ερώτηση: «Αν όχι, με ποιον τρόπο δεν καλύφθηκαν οι προσδοκίες σου;», και τέλος να αναφέρει τις αλλαγές που θα θελούσε

ωφέλιμες, απαντώντας στην ερώτηση «Αν όχι, τι αλλαγές θα έκανες;».

Οι πρώτες δύο από τις παραπάνω ερωτήσεις έχουν προηγουμένως χρησιμοποιηθεί σε έρευνα των Macaranas, Antle και Riecke [56]. Από την ανάλυση των απαντήσεων, οι Macaranas et al. μπόρεσαν να κατανοήσουν τις προσδοκίες των συμμετεχόντων, εάν αυτές καλύφθηκαν από τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος, και αν όχι, τα σημεία στα οποία υπήρξε ασυμφωνία. Γνωρίζοντας πλέον τις προσδοκίες των συμμετεχόντων και τον βαθμό κάλυψης αυτών, η τρίτη και τελευταία ερώτηση προστέθηκε για να συμπληρώσει τις δύο προηγούμενες, προτρέποντας τους συμμετέχοντες να προτείνουν πιθανές αλλαγές που θα ήθελαν να πραγματοποιηθούν, είτε για την καλύτερη κάλυψη των προσδοκιών τους ή για τη γενικότερη βελτίωση του συστήματος.

Κεφάλαιο 5

Αποτελέσματα Αξιολόγησης

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα της αξιολόγησης του συστήματος, η οποία πραγματοποιήθηκε μέσω δοκιμών με πραγματικούς χρήστες. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων επιδιώκει στον προσδιορισμό της χρηστικότητας και της ευχρηστίας των δύο διαφορετικών χαρτογραφήσεων αλλά και της συνολικής εμπειρίας των χρηστών, καθώς και στην εξέταση προβληματικών καταστάσεων που αναδείχθηκαν κατά τη διάρκεια των δοκιμών και χρήζουν περαιτέρω βελτίωσης.

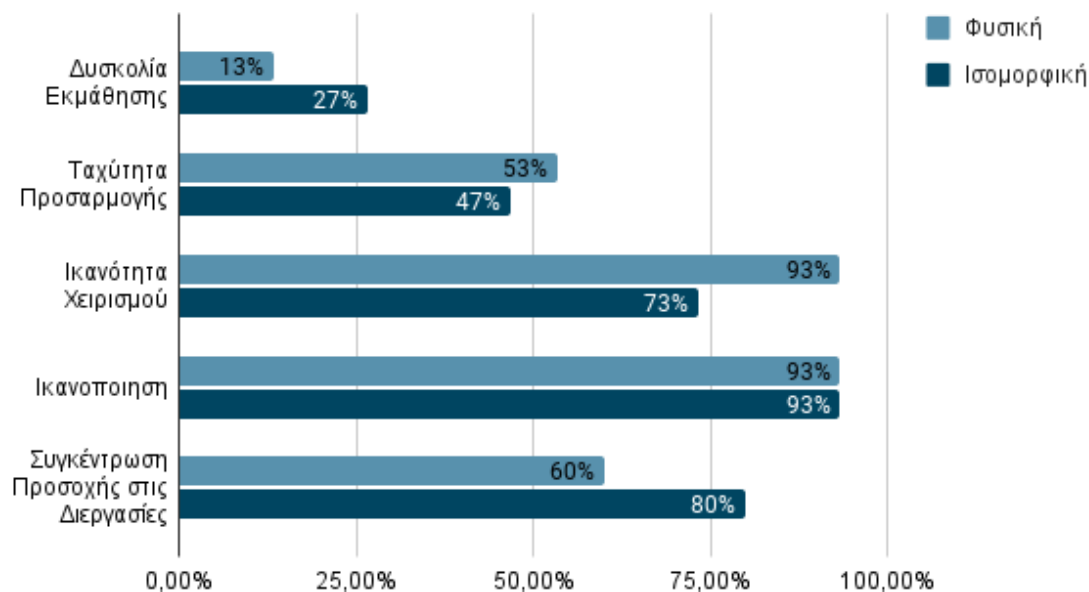
Στην αξιολόγηση συμμετείχαν έξι συμμετέχοντες, οι οποίοι κατατάσσονται σε τρεις διαφορετικές ηλικιακές ομάδες: δύο άτομα ηλικίας 16-30 ετών, δύο άτομα 45-60 ετών και δύο άτομα άνω των 61 ετών. Από αυτούς, ο ένας δήλωσε μεγάλη προϋπάρχουσα εμπειρία στη χρήση φυσικών εφαρμογών ή βιντεοπαιχνιδιών, ο χειρισμός των οποίων γίνεται με χρήση χειρονομιών ή άλλων κινήσεων του σώματος, δύο συμμετέχοντες δήλωσαν λίγη ή μέτρια εμπειρία και οι υπόλοιποι τρεις συμμετέχοντες πλήρη έλλειψη εμπειρίας. Αντίστοιχες ήταν και οι απαντήσεις για την ύπαρξη εμπειρίας στην πλοήγηση σε τρισδιάστατα περιβάλλοντα ή τον χειρισμό τρισδιάστατων ψηφιακών αντικειμένων κατά τη χρήση βιντεοπαιχνιδιών ή άλλων διεπαφών, με έναν συμμετέχοντα να δηλώνει μεγάλη εμπειρία, δύο συμμετέχοντες μικρή ή μέτρια εμπειρία και τρεις συμμετέχοντες έλλειψη εμπειρίας.

5.0.1 Ανάλυση Υποκειμενικών Δεδομένων Χρηστικότητας

Στο σχήμα 5.1 παρουσιάζονται τα υποκειμενικά δεδομένα που αφορούν τη σύγκριση της χρηστικότητας των δύο χαρτογραφήσεων που εξετάζονται στην παρούσα μελέτη. Η συλλογή αυτών των δεδομένων είχε ως στόχο την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι συμμετέχοντες αντιλαμβάνονται τη χρηστικότητα κάθε χαρτογράφησης.

Αρχικά, παρατηρείται πως η ικανοποίηση που δήλωσαν οι συμμετέχοντες ήταν υψηλή και ακριβώς ίση και για τις δύο χαρτογραφήσεις. Η υψηλή βαθμολογία της ικανοποίησης των συμμετεχόντων είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς ήταν ίσως ο κυριότερος παράγοντας που θα έκρινε την επιτυχία της διεπαφής, ωστόσο, είναι πιθανό οι συμμετέχοντες να βαθμολόγησαν τις χαρτογραφήσεις με υψηλότερους βαθμούς από ό,τι πραγματικά πίστευαν πως άξιζαν. Αυτή η υπόθεση στηρίζεται στο γεγονός ότι τα δεδομένα αυτά είναι υποκειμενικά και οι συμμετέχοντες μπορεί να επηρεάστηκαν συναισθηματικά, βαθμολογώντας, συνειδητά ή υποσυνείδητα, τις χαρτογραφήσεις με τρόπο που να μην αντικατοπτρίζει την πραγματική τους εμπειρία. Αυτό ισχύει τόσο για τον

Υποκειμενικά Δεδομένα Αξιολόγησης Χαρτογραφήσεων



Σχήμα 5.1: Γράφημα Σύγκρισης Υποκειμενικών Δεδομένων Χρηστικότητας.

παράγοντα της ικανοποίησης, όσο και για τους υπόλοιπους παράγοντες που εξετάζονται παρακάτω.

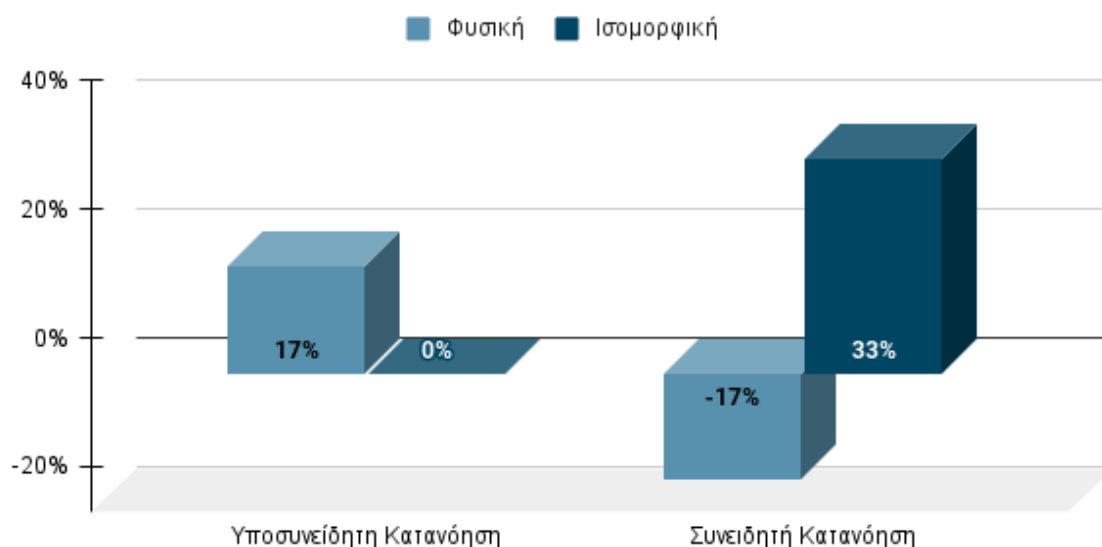
Στη δυσκολία εκμάθησης, την ταχύτητα προσαρμογής και την ικανότητα χειρισμού είχε μικρό πλεονέκτημα η φυσική χαρτογράφηση, κάτι που μπορεί ενδεχομένως να αποδοθεί στη φυσικότητα των κινήσεων και στην οικειότητα των συμμετεχόντων με αυτές. Αντίθετα, η προσοχή των συμμετεχόντων ήταν περισσότερο συγκεντρωμένη στις διεργασίες με την ισομορφική χαρτογράφηση, και άρα η χρήση της ήταν σε μεγαλύτερο βαθμό διαισθητική, παρά τη θεωρητικά μικρότερη φυσικότητα της. Στη φυσική χαρτογράφηση ένα μεγάλο μέρος της προσοχής των συμμετεχόντων αφιερωνόταν στην εύρεση του σωστού τρόπου χειρισμού της διεπαφής. Αυτή η παρατήρηση υποδηλώνει πως παρά την θεωρητικά μεγαλύτερη φυσικότητα και οικειότητα της, η φυσική χαρτογράφηση απαιτεί περισσότερη εστίαση της συνειδητής προσπάθειας στους μηχανισμούς της, αποσπώντας έτσι την προσοχή από το περιεχόμενο, ενώ παράλληλα μπορεί να μειώνει την ικανοποίηση, ακόμα και αν αυτό δεν αντανακλάται στα συγκεκριμένα δεδομένα.

5.0.2 Ανάλυση Συνειδητής και Υποσυνειδητής Κατανόησης

Το ερωτηματολόγιο περιλάμβανε την ερώτηση: «Αν έπρεπε να μάθεις σε κάποιον πώς να χρησιμοποιεί το σύστημα, τι θα του έλεγες;», την οποία οι συμμετέχοντες καλούνταν να απαντήσουν προφορικά. Οι απαντήσεις τους προσέφεραν δεδομένα για τα πραγματικά επίπεδα τόσο της συνειδητής όσο και της υποσυνειδητής κατανόησης που είχαν αποκτήσει. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 5.2, η μεγαλύτερη υποσυνειδητή κατανόηση συναντάται στη φυσική χαρτογράφηση και η μεγαλύτερη συνειδητή κατανόηση στην ισομορφική χαρτογράφηση, κάτι που επιβεβαιώνει τις αρχικές υποθέσεις περί συσχέτισης της φυσικότητας και της διαισθητικής χρήσης. Ωστόσο, ένα αρνητικό εύρημα είναι ότι το ποσοστό ορθής κατανόησης είναι μικρό σε όλες τις περιπτώσεις, υποδεικνύοντας

Κατανόηση Τρόπου Λειτουργίας Χαρτογραφήσεων

<0%: Λανθασμένη Κατανόηση , >0%: Ορθή Κατανόηση



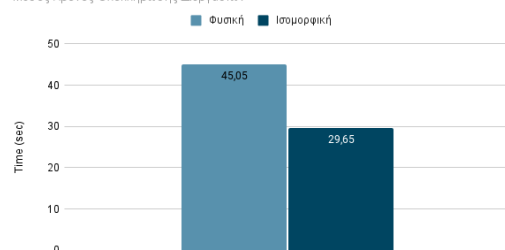
Σχήμα 5.2: Γράφημα Σύγκρισης Δεδομένων Συνειδητής και Υποσυνείδητης Κατανόησης.

ότι οι συμμετέχοντες στην πλειονότητά τους δεν είχαν αντιληφθεί καλά τον τρόπο λειτουργίας της διεπαφής, με χαμηλότερο σημείο τη συνειδητή κατανόηση της φυσικής χαρτογράφησης η οποία δεν ήταν απλώς χαμηλή, αλλά και ελαφρώς εσφαλμένη. Η περιορισμένη ορθή κατανόηση που παρατηρείται, ιδιαίτερα στην περίπτωση της φυσικής χαρτογράφησης, αναδεικνύει την ανάγκη για βελτιώσεις στις χαρτογραφήσεις, προκειμένου να διευκολυνθεί η σωστή κατανόηση της λειτουργίας τους και να γίνει πιο αποτελεσματική και ευχάριστη η χρήση του συστήματος.

5.0.3 Ανάλυση Αποδοτικότητας και Αποτελεσματικότητας

Αποδοτικότητα Χαρτογραφήσεων

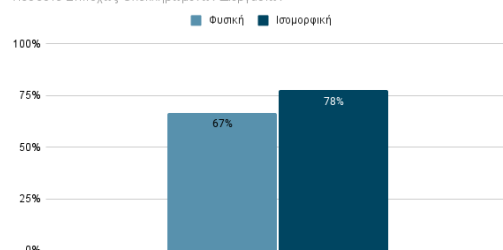
Μέσος χρόνος Ολοκλήρωσης Διεργασιών



(α') Αποδοτικότητα

Αποτελεσματικότητα Χαρτογραφήσεων

Ποσοστό Επιτυχώς Ολοκληρωμένων Διεργασιών



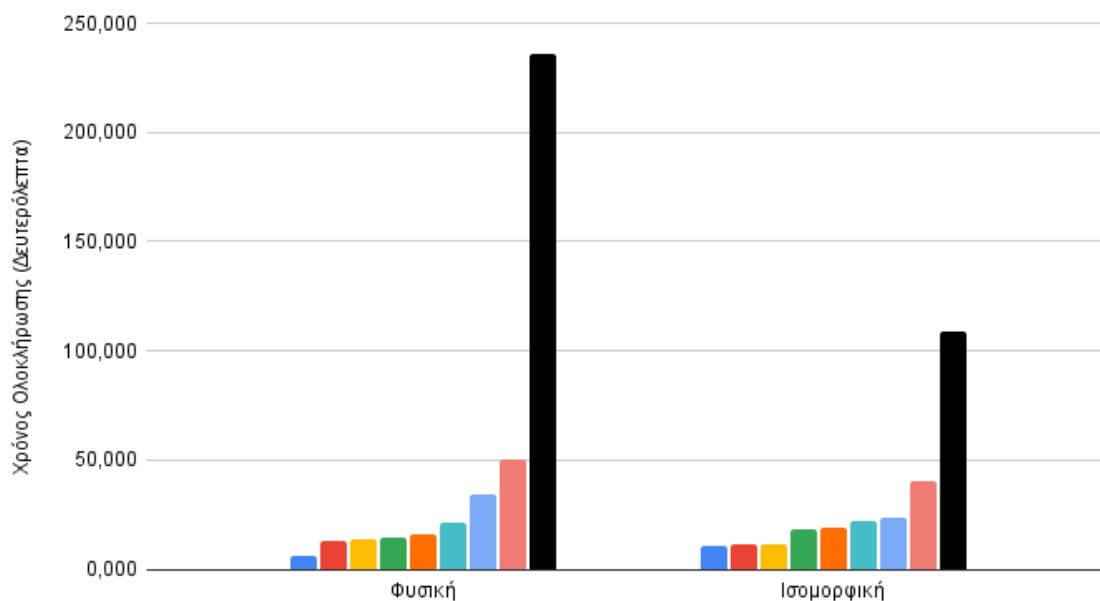
(β') Αποτελεσματικότητα

Σχήμα 5.3: Γραφήματα Σύγκρισης Δεδομένων Αποδοτικότητας και Αποτελεσματικότητας.

Σύμφωνα με τα κριτήρια επιτυχίας της διεπαφής που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, προκειμένου μια χαρτογράφηση να χαρακτηριστεί επιτυχής, ο μέσος

χρόνος ολοκλήρωσης των διεργασιών θα πρέπει να μην υπερβαίνει τα 30 δευτερόλεπτα και η αποτελεσματικότητά της να ξεπερνά το 90% (τουλάχιστον το 90% των διεργασιών να είναι επιτυχώς ολοκληρωμένες). Από την ανάλυση των δεδομένων που υπάρχουν στα δύο διαγράμματα του Σχήματος 5.3, προκύπτει ότι η φυσική χαρτογράφηση, με μέσο χρόνο ολοκλήρωσης 45.05 δευτερόλεπτα και ποσοστό επιτυχίας 67%, δεν πληροί αυτά τα κριτήρια. Αντίστοιχα, η ισομορφική χαρτογράφηση, με μέσο χρόνο 29.65 δευτερόλεπτα και 78% αποτελεσματικότητα, προσεγγίζει μεν τα απαιτούμενα επίπεδα, αλλά ούτε αυτή καταφέρει να επιτύχει το 90% στην αποτελεσματικότητα.

Ταξινομημένες Τιμές Χρόνων Ολοκλήρωσης



Σχήμα 5.4: Γράφημα Ταξινομημένων Χρόνων Ολοκλήρωσης.

Αξίζει να σημειωθεί πως, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.4, στους χρόνους ολοκλήρωσης και των δύο χαρτογραφήσεων υπάρχουν δύο χρόνοι (απεικονίζονται με τις δύο μαύρες στήλες) οι οποίοι είναι δυσανάλογα μεγαλύτεροι από τους αμέσως μικρότερους (η διαφορά του μεγαλύτερου από τον δεύτερο μεγαλύτερο φτάνει το 369% στη φυσική χαρτογράφηση και το 167% στην ισομορφική). Αν θεωρήσουμε αυτούς τους δύο χρόνους ως έκτοπες τιμές και δεν τους λάβουμε υπόψιν στον υπολογισμό της αποδοτικότητας και της αποτελεσματικότητας, τότε αυτές βελτιώνονται σημαντικά. Πιο συγκεκριμένα, για τη φυσική χαρτογράφηση, ο μέσος χρόνος ολοκλήρωσης γίνεται 23 δευτερόλεπτα με 75% αποτελεσματικότητα, ενώ για την ισομορφική χαρτογράφηση ο μέσος χρόνος μειώνεται στα 19 δευτερόλεπτα με 88% αποτελεσματικότητα. Ακόμα και με αυτή τη σημαντική βελτίωση ωστόσο, καμία από τις δύο χαρτογραφήσεις δεν επιτυγχάνει την επιθυμητή αποτελεσματικότητα.

5.0.4 Πρόβλήματα Διάδρασης

Κατά τη διάρκεια της αξιολόγησης της διεπαφής, παρατηρήθηκαν και αναφέρθηκαν ορισμένα προβλήματα που επηρέασαν αρνητικά τη διάδραση των συμμετεχόντων. Αρχικά υπήρξαν αναφορές εργονομικών προβλημάτων από δύο από τους τρεις συμμετέχο-

ντες που χρησιμοποίησαν τη φυσική χαρτογράφηση. Πιο συγκεκριμένα αναφέρθηκε σε μικρό βαθμό κούραση στη περιοχή των χεριών και ενόχληση λόγω της ανάγκης συνεχούς πραγματοποίησης επαναλαμβανόμενων κινήσεων. Αξίζει να σημειωθεί πως και οι δύο συμμετέχοντες ανέφεραν αυτά τα προβλήματα μόνο κατά την απάντηση της αντίστοιχης ερώτησης στο ερωτηματολόγιο, χωρίς να αναφέρουν κάτι κατά τη διάρκεια χρήσης του συστήματος. Από τους χρήστες της ισομορφικής χαρτογράφησης δεν αναφέρθηκαν αντίστοιχα προβλήματα.

Πέρα από τα εργονομικά ζητήματα, παρατηρήθηκε πλήθος προβλημάτων σχετικά με τις χειρονομίες. Η χρήση χειρονομιών ως τρόπος διάδρασης στη πλειονότητα των χρηστών προκάλεσε ενδιαφέρον, το οποίο συνοδεύτηκε όμως από μεγάλη σύγχυση λόγω της ασάφειας και των διαφορετικών αντιλήψεων των συμμετεχόντων για τον σωστό τρόπο χειρισμού. Σημαντικές παρατηρήσεις περιλάμβαναν κινήσεις σε λάθος άξονα, όπου οι χρήστες διέγραφαν κινήσεις εμπρός-πίσω ή κυκλικές αντί για αριστερά-δεξιά, καθώς και κινήσεις με ένα δάχτυλο που οι αισθητήρες δεν μπορούσαν να αναγνωρίσουν. Επιπλέον, παρατηρήθηκαν κινήσεις με τα χέρια εκτός της εμβέλειας των αισθητήρων, είτε πίσω από αυτούς, είτε πολύ κοντά ή πολύ μακριά. Τέλος, πολύ αργές κινήσεις ή πλήρης ακινητοποίηση των χεριών οι οποίες ήταν επίσης αδύνατο να αναγνωριστούν με αποτέλεσμα να δυσχεραίνουν τη διαδικασία αλληλεπίδρασης. Οι προβληματικές αυτές καταστάσεις παρατηρήθηκαν κατά τη διάδραση με το σύστημα, από τη σύγχυση που προκαλούσε η αποτυχημένη προσπάθεια εύρεσης του σωστού τρόπου χειρισμού από τους συμμετέχοντες, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις η έλλειψη ικανοποίησης από τον μηχανισμό χειρισμού αναφέρθηκε ως πρόβλημα και από τους ίδιους. Ορισμένες αναφορές συνοδεύτηκαν από προτάσεις βελτιστοποίησης με τη χρήση διαφορετικών αισθητήρων για πιο λεπτομερή αναγνώριση, καθώς και την προσθήκη λειτουργικότητας για πιο ολοκληρωμένο χειρισμό, όπως κινήσεις και στον κατακόρυφο άξονα. Παρά όλα αυτά, η πλειονότητα των συμμετεχόντων δήλωσε μεγάλη κάλυψη των προσδοκιών τους και υψηλή ικανοποίηση.

Κεφάλαιο 6

Συμπεράσματα

Στα πλαίσια αυτής της Πτυχιακής Εργασίας εξετάστηκε η ανάπτυξη χαμηλού κόστους χειρονομιακής διεπαφής για τη φυσική αλληλεπίδραση με ολογραμματικές προβολές ψηφιακών εκθεμάτων, με σκοπό τη χρήση της σε ένα μουσείο ή άλλον πολιτιστικό χώρο.

Αρχικά πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική ανασκόπηση στην οποία εξετάστηκαν παράγοντες σχετικοί με τις θεμελιώδεις αρχές της αλληλεπίδρασης, την εργονομία, τη χρηστικότητα και την αξιολόγηση ενός συστήματος, ενώ επίσης έγινε έρευνα για τον διαθέσιμο εξοπλισμό που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί. Οι γνώσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της πρώτης μορφής της διεπαφής, η οποία, αν και έκανε δυνατή την αλληλεπίδραση με το μοντέλο μέσω χειρονομιών, παρουσίαζε προβλήματα λόγω χαμηλής ακρίβειας αναγνώρισης, καθώς και κακής εργονομίας και ανατροφοδότησης, δυσχεραίνοντας την κατά τα άλλα ενδιαφέρουσα εμπειρία χρήσης. Στη συνέχεια παρουσιάστηκε η μεγάλη προσπάθεια που συντελέστηκε με την πραγματοποίηση αλλαγών και παραμετροποιήσεων τόσο στο υλικό και την διάταξη αυτού, όσο και στο υπεύθυνο λογισμικό για την αναγνώριση και μετάφραση των χειρονομιών στην κίνηση του εικονικού αντικειμένου. Μέσω των αλλαγών αυτών επιτεύχθηκε η σταδιακή βελτίωση του συστήματος στους τομείς της απόδοσης αναγνώρισης, της εργονομίας, της ανατροφοδότησης προς τον χρήστη και της ευκολίας εκμάθησης των χειρονομιών. Σε αυτό το στάδιο κρίθηκε απαραίτητη η αξιολόγηση της διεπαφής από πραγματικούς χρήστες για τη λήψη ανατροφοδότησης σχετικά με τη χρηστικότητα και τη καταλληλότητα της διεπαφής, την επισήμανση αδυναμιών και προβληματικών καταστάσεων και την πρόταση πιθανών ιδεών βελτιστοποίησης.

Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης ήταν σε γενικές γραμμές θετικά, αλλά όχι ικανοποιητικά. Οι περισσότεροι από τους συμμετέχοντες βρήκαν ενδιαφέρουσα και διασκεδαστική τη διεπαφή λόγω της χειρονομιακής φύσης της, αναδείχθηκαν ωστόσο και πολλά προβλήματα όπως η χαμηλή συνειδητή και υποσυνείδητη κατανόηση του σωστού τρόπου λειτουργίας του συστήματος, η χαμηλή αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα, ενώ αναφέρθηκαν και εργονομικά ζητήματα. Οι προβληματικές αυτές καταστάσεις δημιούργησαν μεγάλη σύγχυση στους συμμετέχοντες και επηρέασαν αρνητικά την κατά τα άλλα ευχάριστη εμπειρία διάδρασης.

Αντίστοιχα, και τα αποτελέσματα σχετικά με τη καταλληλότητα των δύο χαρτογραφήσεων δεν ήταν τα επιθυμητά, καθώς ούτε η φυσική χαρτογράφηση, ούτε η ισομορφική

κατάφεραν να καλύψουν τα κριτήρια που είχαν τεθεί. Αυτό καθιστά τις δύο χαρτογραφίες, αλλά και συνολικά την διεπαφή, ακατάλληλες για χρήση σε κάποιον δημόσιο πολιτιστικό χώρο στην τρέχουσα μορφή τους, παρά τις δηλώσεις υψηλής ικανοποίησης και κάλυψης προσδοκιών από τους συμμετέχοντες.

Ωστόσο, με κατάλληλες αλλαγές και βελτιστοποιήσεις, υπάρχει προοπτική κάλυψης αυτών των κριτηρίων. Πιο συγκεκριμένα, η υποβοήθηση των χρηστών μέσω οπτικών ενδείξεων που θα παρουσιάζουν τον ορθό τρόπο εκτέλεσης χειρονομιών θα μπορούσε να διευκολύνει την κατανόηση του τρόπου λειτουργίας της διεπαφής, μειώνοντας σημαντικά τον χρόνο προσαρμογής και εξαλείφοντας τη σύγχυση που προκαλούσαν οι λανθασμένες αντιλήψεις. Επιπλέον, η αναγνώριση περισσότερων χειρονομιών για την εκτέλεση επιπρόσθετων λειτουργιών θα μπορούσε να ενισχύσει τον έλεγχο που έχουν οι χρήστες στον χειρισμό του εικονικού αντικειμένου, προσφέροντας μια πιο ολοκληρωμένη φυσική εμπειρία χρήσης.

Η ανάπτυξη μιας χειρονομιακής διεπαφής χαμηλού κόστους για την αλληλεπίδραση με ολογραμματικές προβολές ψηφιακών εκθεμάτων αποτελεί ένα σημαντικό βήμα προς την προσιτή ψηφιακή επαύξηση των διαδραστικών μουσείων και πολιτιστικών χώρων. Η αποτυχία της συγκεκριμένης διεπαφής να ικανοποιήσει τα κριτήρια που είχαν τεθεί τονίζει τις προκλήσεις και τις δυσκολίες του σχεδιασμού διεπαφών, δεν αναιρεί όμως το γεγονός ότι με προσεκτική προσέγγιση, ακόμα και μια απλή διεπαφή χαμηλού κόστους μπορεί να είναι λειτουργική και διασκεδαστική. Αποδεικνύεται με αυτόν τον τρόπο πως δεν απαιτείται η χρήση ακριβού και περίπλοκου εξοπλισμού για να ενισχυθεί η εμπειρία και η συμμετοχή των επισκεπτών και να γίνει ο πολιτισμός πιο προσιτός και ελκυστικός για όλους.

Bibliography

- [1] J. Keil, L. Pujol, M. Roussou, T. Engelke, M. Schmitt, U. Bockholt, and S. Eleftheratou, "A digital look at physical museum exhibits: Designing personalized stories with handheld augmented reality in museums," in *2013 Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage)*, vol. 2. IEEE, 2013, pp. 685–688.
- [2] E. Hornecker and M. Stifter, "Learning from interactive museum installations about interaction design for public settings," in *Proceedings of the 18th Australia conference on computer-human interaction: design: activities, Artefacts and Environments*, 2006, pp. 135–142.
- [3] D. Petrelli, L. Ciolfi, D. Van Dijk, E. Hornecker, E. Not, and A. Schmidt, "Integrating material and digital: a new way for cultural heritage," *interactions*, vol. 20, no. 4, pp. 58–63, 2013.
- [4] T. M. Alisi, A. Del Bimbo, and A. Valli, "Natural interfaces to enhance visitors' experiences," *IEEE MultiMedia*, vol. 12, no. 3, pp. 80–85, 2005.
- [5] B. Hookway, *Interface*. MIT Press, 2014.
- [6] E. Borba and M. K. Zuffo, "Natural to the human interactions with digital interfaces: a new perspective to understand the virtual experiences," in *Proceedings of the IAMCR Conference*, 2016, pp. 312–317.
- [7] D. A. Norman, "Natural user interfaces are not natural," *interactions*, vol. 17, no. 3, pp. 6–10, 2010.
- [8] R. Francese, I. Passero, and G. Tortora, "Wiimote and kinect: gestural user interfaces add a natural third dimension to HCI," in *Proceedings of the international working conference on advanced visual interfaces*, 2012, pp. 116–123.
- [9] Merriam-Webster, "Gesture." [Online]. Available: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/gesture>
- [10] G. D. Μπαμπινιώτης, *Λεξικό της νέας ελληνικής γλώσσας με σχόλια για τη σωστή χρήση των λέξεων: ερμηνευτικό, ετυμολογικό, ορθογραφικό, συνωνύμων, αντιθέτων, κυρίων ονομάτων, επιστημονικών όρων, ακρωνυμίων*. Κέντρο Λεξικολογίας, 2002.
- [11] V. I. Pavlovic, R. Sharma, and T. S. Huang, "Visual interpretation of hand gestures for human-computer interaction: A review," *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, vol. 19, no. 7, pp. 677–695, 1997.

- [12] P. Chanda, P. Mukherjee, S. Modak, and A. Nath, "Gesture controlled robot using arduino and android," *International Journal*, vol. 6, no. 6, 2016.
- [13] A. S. Pollick and F. B. De Waal, "Ape gestures and language evolution," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 104, no. 19, pp. 8184–8189, 2007.
- [14] J. M. Iverson and S. Goldin-Meadow, "Why people gesture when they speak," *Nature*, vol. 396, no. 6708, pp. 228–228, 1998.
- [15] B. A. Myers, "A brief history of human-computer interaction technology," *interactions*, vol. 5, no. 2, pp. 44–54, 1998.
- [16] M. W. Krueger, T. Gionfriddo, and K. Hinrichsen, "Videoplace—an artificial reality," in *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, 1985, pp. 35–40.
- [17] D. A. Norman and J. Nielsen, "Gestural interfaces: a step backward in usability," *interactions*, vol. 17, no. 5, pp. 46–49, 2010.
- [18] J. Shukla and A. Dwivedi, "A method for hand gesture recognition," in *2014 Fourth International Conference on Communication Systems and Network Technologies*. IEEE, 2014, pp. 919–923.
- [19] J. R. New, E. Hasanbelliu, and M. Aguilar, "Facilitating user interaction with complex systems via hand gesture recognition," in *Proceedings of the 2003 Southeastern ACM Conference, Savannah, GA*, 2003.
- [20] T. Starner, J. Auxier, D. Ashbrook, and M. Gandy, "The gesture pendant: A self-illuminating, wearable, infrared computer vision system for home automation control and medical monitoring," in *Digest of Papers. Fourth International Symposium on Wearable Computers*. IEEE, 2000, pp. 87–94.
- [21] M. Nancel, J. Wagner, E. Pietriga, O. Chapuis, and W. Mackay, "Mid-air pan-and-zoom on wall-sized displays," in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2011, pp. 177–186.
- [22] L. Silva, R. Dantas, A. Pantoja, and A. Pereira, "Development of a low cost dataglove based on arduino for virtual reality applications," in *2013 IEEE International conference on computational intelligence and virtual environments for measurement systems and applications (CIVEMSA)*. IEEE, 2013, pp. 55–59.
- [23] J. Zeng, Y. Sun, and F. Wang, "A natural hand gesture system for intelligent human-computer interaction and medical assistance," in *2012 Third Global Congress on Intelligent Systems*. IEEE, 2012, pp. 382–385.
- [24] W. T. Freeman and C. D. Weissman, "Television control by hand gestures," in *Proc. of Intl. Workshop on Automatic Face and Gesture Recognition*, 1995, pp. 179–183.
- [25] T. Starner, J. Weaver, and A. Pentland, "Real-time american sign language recognition using desk and wearable computer based video," *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, vol. 20, no. 12, pp. 1371–1375, 1998.

- [26] K. Kontopanagou, A. Tsipis, and V. Komianos, "A framework for exploring churches/monuments/museums of byzantine cultural influence exploiting immersive technologies in real-time networked environments," *Technologies*, vol. 9, no. 3, p. 57, 2021.
- [27] J. Pauchot, L. Di Tommaso, A. Lounis, M. Benassarou, P. Mathieu, D. Bernot, and S. Aubry, "Leap motion gesture control with carestream software in the operating room to control imaging: Installation guide and discussion," *Surgical innovation*, vol. 22, no. 6, pp. 615–620, 2015.
- [28] A. Mewes, P. Saalfeld, O. Riabikin, M. Skalej, and C. Hansen, "A gesture-controlled projection display for ct-guided interventions," *International journal of computer assisted radiology and surgery*, vol. 11, no. 1, pp. 157–164, 2016.
- [29] P. Kyriakou and S. Hermon, "Can i touch this? using natural interaction in a museum augmented reality system," *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, vol. 12, p. e00088, 2019.
- [30] W. Hürst and C. Van Wezel, "Gesture-based interaction via finger tracking for mobile augmented reality," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 62, pp. 233–258, 2013.
- [31] R. Mukherjee, P. Swethen, R. Pasha, and S. S. Rawat, "Hand gesture controlled laptop using arduino," *IJMTE International Journal of Management Technology and Engineering ISSN No: 2249-7455*, vol. 8, p. 1037–1043, 2018. [Online]. Available: <https://www.ijamtes.org/VOL-8-ISSUE-10-2018/>
- [32] N. Balachandra, "Gesture recognition using proximity sensors with mojo," Ph.D. dissertation, San Diego State University, 2016.
- [33] S. Basnet, "Interaction with images using hand gestures," 2016.
- [34] T. N. Hoang, R. T. Smith, and B. H. Thomas, "Ultrasonic glove input device for distance-based interactions," in *2013 23rd International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT)*. IEEE, 2013, pp. 46–53.
- [35] V. Barneche-Naya and L. A. Hernández-Ibañez, "A comparative study on user gestural inputs for navigation in nui-based 3d virtual environments," *Universal Access in the Information Society*, vol. 20, no. 3, pp. 513–529, 2021.
- [36] Y. Luo, "On the information application of multimedia technology in museum," in *2020 5th International Conference on Communication, Image and Signal Processing (CCISP)*. IEEE, 2020, pp. 299–303.
- [37] K. Mikalef, M. N. Giannakos, K. Chorianopoulos, and L. Jaccheri, "Does informal learning benefit from interactivity? the effect of trial and error on knowledge acquisition during a museum visit," *International Journal of Mobile Learning and Organisation 11*, vol. 7, no. 2, pp. 158–175, 2013.
- [38] D. Stricker and T. Kettenbach, "Real-time and markerless vision-based tracking for outdoor augmented reality applications," in *Proceedings IEEE and ACM international symposium on augmented reality*. IEEE, 2001, pp. 189–190.
- [39] G. Papagiannakis, S. Schertenleib, B. O’Kennedy, M. Arevalo-Poizat, N. Magnenat-Thalmann, A. Stoddart, and D. Thalmann, "Mixing virtual and

real scenes in the site of ancient pompeii,” *Computer animation and virtual worlds*, vol. 16, no. 1, pp. 11–24, 2005.

- [40] J. Nielsen, *Usability engineering*. Morgan Kaufmann, 1994.
- [41] “ISO 9241-11:2018(en). Ergonomics of human-system interaction — Part 11: Usability: Definitions and concepts,” International Organization for Standardization, Geneva, CH, Standard, Mar. 2018.
- [42] L. Dybkjær and N. O. Bernsen, “Usability evaluation in spoken language dialogue systems,” in *Proceedings of the ACL 2001 Workshop on Evaluation Methodologies for Language and Dialogue Systems*, 2001.
- [43] M. Federico, “Usability evaluation of a spoken data-entry interface,” in *Proceedings IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems*, vol. 1. IEEE, 1999, pp. 726–731.
- [44] J. Nielsen, “The usability engineering life cycle,” *Computer*, vol. 25, no. 3, pp. 12–22, 1992.
- [45] J. M. Carroll and M. B. Rosson, “Paradox of the active user,” 1987.
- [46] J. Nielsen and V. L. Phillips, “Estimating the relative usability of two interfaces: heuristic, formal, and empirical methods compared,” in *Proceedings of the INTERACT’93 and CHI’93 conference on Human factors in computing systems*, 1993, pp. 214–221.
- [47] U. Hinrichs, H. Schmidt, T. Isenberg, M. S. Hancock, and S. Carpendale, “Bubbletype: Enabling text entry within a walk-up tabletop installation,” 2008.
- [48] D. Norman, *The design of everyday things: Revised and expanded edition*. Basic books, 2013.
- [49] —, “Affordance, conventions, and design,” *interactions*, vol. 6, no. 3, pp. 38–43, 1999.
- [50] J. Steuer, “Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence,” *Journal of communication*, vol. 42, no. 4, pp. 73–93, 1992.
- [51] M. Nielsen, M. Störring, T. B. Moeslund, and E. Granum, “A procedure for developing intuitive and ergonomic gesture interfaces for hci,” in *International gesture workshop*. Springer, 2003, pp. 409–420.
- [52] H. I. Stern, J. P. Wachs, and Y. Edan, “Designing hand gesture vocabularies for natural interaction by combining psycho-physiological and recognition factors,” *International Journal of Semantic Computing*, vol. 2, no. 01, pp. 137–160, 2008.
- [53] J. Hurtienne, K. Weber, and L. Blessing, “Prior experience and intuitive use: image schemas in user centred design,” in *Designing inclusive futures*. Springer, 2008, pp. 107–116.
- [54] J. Hurtienne, L. Blessing *et al.*, “Design for intuitive use-testing image schema theory for user interface design,” in *DS 42: Proceedings of ICED 2007, the 16th International Conference on Engineering Design, Paris, France, 28.-31.07. 2007*, 2007, pp. 829–830.

- [55] D. Pietschmann and P. Ohler, "Spatial mapping of physical and virtual spaces as an extension of natural mapping: Relevance for interaction design and user experience," in *International Conference on Virtual, Augmented and Mixed Reality*. Springer, 2015, pp. 49–59.
- [56] A. Macaranas, A. N. Antle, and B. E. Riecke, "What is intuitive interaction? balancing users' performance and satisfaction with natural user interfaces," *Interacting with Computers*, vol. 27, no. 3, pp. 357–370, 2015.
- [57] R. B. Smith, "Experiences with the alternate reality kit: an example of the tension between literalism and magic," *ACM SIGCHI Bulletin*, vol. 17, no. SI, pp. 61–67, 1986.
- [58] J. Brooke *et al.*, "Sus-a quick and dirty usability scale," *Usability evaluation in industry*, vol. 189, no. 194, pp. 4–7, 1996.
- [59] G. D. Israel, "Determining sample size," 1992.
- [60] Τσίμπος, Κ., Γεωργακώδης, Ρ., "Περιγραφική & διερευνητική στατιστική. Ανάλυση δεδομένων. Μονοδιάστατη Ανάλυση (Τόμος Α')." *Σταμπούλη, Αθήνα*, 1999.
- [61] A. Holmes and B. Illowsky, "[etextbook] introductory business statistics," 2017.
- [62] L.-C. Chen, P.-Y. Chu, and Y.-M. Cheng, "Exploring the ergonomic issues of user-defined mid-air gestures for interactive product exhibition," in *International Conference on Distributed, Ambient, and Pervasive Interactions*. Springer, 2016, pp. 180–190.
- [63] V. Beer, "Great expectations: do museums know what visitors are doing?" *Curator: The Museum Journal*, vol. 30, no. 3, pp. 206–215, 1987.
- [64] C. A. Cone and K. Kendall, "Space, time, and family interaction: Visitor behavior at the science museum of minnesota," *Curator: The Museum Journal*, vol. 21, no. 3, pp. 245–258, 1978.
- [65] J. F. Hair, W. C. Black, B. J. Babin, R. E. Anderson, and R. Tatham, "Multivariate data analysis . uppsaddle river," 2006.
- [66] A. A. Ozok, "Survey design and implementation in hci," in *The human-computer interaction handbook*. CRC Press, 2007, pp. 1177–1196.
- [67] S. Burigat and L. Chittaro, "Navigation in 3d virtual environments: Effects of user experience and location-pointing navigation aids," *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 65, no. 11, pp. 945–958, 2007.
- [68] S. P. Smith and S. Du'Mont, "Measuring the effect of gaming experience on virtual environment navigation tasks," in *2009 IEEE symposium on 3D user interfaces*. IEEE, 2009, pp. 3–10.
- [69] M. Rauschenberger, M. Schrepp, M. Pérez Cota, S. Olschner, and J. Thomaschewski, "Efficient measurement of the user experience of interactive products. how to use the user experience questionnaire (ueq). example: Spanish language version," 2013.
- [70] B. G. Witmer and M. J. Singer, "Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire," *Presence*, vol. 7, no. 3, pp. 225–240, 1998.