

Ατομική Διπλωματική Εργασία

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΑΦΗΣ ΓΙΑ ΠΕΡΙΗΓΗΣΗ ΣΤΑ ΤΕΙΧΗ ΤΗΣ
ΛΕΥΚΩΣΙΑΣ**

Μελίνος Αβερκίου

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ



ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Μάιος 2009

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Ανάπτυξη ολοκληρωμένου συστήματος πολλαπλής αφής για περιήγηση στα τείχη
της Λευκωσίας**

Μελίνος Αβερκίου

Επιβλέπων Καθηγητής

Γιώργος Χρυσάνθου

Η Ατομική Διπλωματική Εργασία υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των
απαιτήσεων απόκτησης του πτυχίου Πληροφορικής του Τμήματος Πληροφορικής του
Πανεπιστημίου Κύπρου

Μάιος 2009

Ευχαριστίες

Φτάνοντας στο τέλος μια πολύ μακρινής πορείας, θα ήταν παράλειψη μου να μην ευχαριστήσω μερικούς από τους συνοδοιπόρους μου. Αναφέρομαι στα άτομα εκείνα που συνέβαλαν με τον ένα ή τον άλλο τρόπο στην ολοκλήρωση του δύσκολου έργου που ανέλαβα πριν από σχεδόν ένα χρόνο. Πρώτο από όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή μου Δρ. Γιώργο Χρυσάνθου για την ευκαιρία που μου έδωσε να δουλέψω σε αυτή την εργασία καθώς και για την μεγάλη βοήθεια και καθοδήγηση που μου πρόσφερε σε όλη της την διάρκεια.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τους υπόλοιπους συνεργάτες στο Εργαστήριο Γραφικών και Υπερμέσων, τον Τότη και την Δέσποινα για την πολύτιμη βοήθεια και υποστήριξη που μου πρόσφεραν.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω ορισμένους συμφοιτητές μου αλλά και συνάδελφους από άλλα εργαστήρια, το Σάββα, τη Γιώτα, τους δύο Κωνσταντίνους, το Γιώργο, το Μάριο, για τη βοήθεια και συμπαράσταση τους, καθώς και την προθυμία τους να βοηθήσουν στην αξιολόγηση ευχρηστίας του τελικού συστήματος ως αξιολογητές.

Τέλος θα ήθελα να εκφράσω τις βαθιές μου ευχαριστίες στην οικογένεια μου, τα αδέρφια και τους γονείς μου, ιδιαίτερα στον πατέρα μου για τη βοήθεια του σε διάφορα κατασκευαστικά προβλήματα που αντιμετώπισα, καθώς επίσης και στη μητέρα μου για την ηθική και ψυχολογική υποστήριξη που μου πρόσφερε τους τελευταίους δέκα μήνες.

Περίληψη

Το θέμα με το οποίο ασχολείται η παρούσα διπλωματική εργασία είναι οι οθόνες πολλαπλής αφής και οι πρακτικές εφαρμογές τους. Οι οθόνες πολλαπλής αφής επιτρέπουν στους χρήστες τους να χρησιμοποιούν ταυτόχρονα περισσότερα από ένα δάχτυλα ή και χέρια για να χειρίζονται και να αλληλεπιδρούν με γραφικές διεπιφάνειες. Αυτή η δυνατότητα φυσιολογικά ανοίγει καινούργιους δρόμους για το σχεδιασμό και κατασκευή νέων διεπιφανειών χρήστη και νέων τεχνικών αλληλεπίδρασης του ανθρώπου με τον υπολογιστή.

Πιο συγκεκριμένα, στόχος της διπλωματικής εργασίας ήταν η κατασκευή ενός ολοκληρωμένου συστήματος πολλαπλής αφής για το Λεβέντειο Μουσείο στη Λευκωσία. Το σύστημα αποτελείται από μια οθόνη πολλαπλής αφής υπό τη μορφή τραπεζιού, καθώς και μια εφαρμογή η οποία επιτρέπει την αλληλεπίδραση των χρηστών με ένα τρισδιάστατο μοντέλο των τειχών της πόλης της Λευκωσίας. Οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να βλέπουν ένα τρισδιάστατο μοντέλο το οποίο αποτελεί πιστή αναπαράσταση των τειχών και της ευρύτερης περιοχής της Λευκωσίας στην επιφάνεια του τραπεζιού. Η επιφάνεια του τραπεζιού είναι μια οθόνη οπίσθιας προβολής με δυνατότητα ανίχνευσης πολλαπλών σημείων αφής, κάτι που επιτρέπει στους χρήστες να χρησιμοποιήσουν τα δάχτυλα τους για να μετακινούνται και να εστιάζουν σε διαφορετικά σημεία των τειχών, ενώ ταυτόχρονα μπορούν να μετακινούνται σε διαφορετικές χρονολογικές περιόδους και να παρατηρούν τις αλλαγές στα τείχη της Λευκωσίας με την πάροδο του χρόνου. Το σύστημα θα τοποθετηθεί στο Λεβέντειο Μουσείο για να προσφέρει στους επισκέπτες του μια περιδιάβαση στα τείχη της Λευκωσίας κατά τη διάρκεια των αιώνων.

Η επιτυχής ολοκλήρωση του πιο πάνω συστήματος απαιτούσε την κατασκευή του απαραίτητου υλικού και λογισμικού για την αλληλεπίδραση με τα τείχη της Λευκωσίας σε πραγματικό χρόνο. Επομένως το όλο εγχείρημα χωρίστηκε σε δύο φάσεις:

1. Φάση σχεδιασμού, υλοποίησης και ελέγχου λειτουργίας του απαραίτητου υλικού.
2. Φάση σχεδιασμού, υλοποίησης και ελέγχου ευχρηστίας του απαραίτητου λογισμικού.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή	1
1.1 Γενικά	1
1.2 Τεχνολογία Πολλαπλής Αφής	2
1.3 Γραφικά Υπολογιστών και Πολιτιστική Κληρονομιά	4
1.4 Περιγραφή Εργασίας	5
1.5 Σκοπός και Κίνητρα της Διπλωματικής Εργασίας	5
1.6 Δομή Αναφοράς	6
Κεφάλαιο 2 Θεωρητικό Υπόβαθρο	8
2.1 Γενικά	8
2.2 Τεχνολογίες Πολλαπλής Αφής	8
2.2.1 Sensor Based Τεχνολογίες	9
2.2.1.1 Capacitive	9
2.2.1.2 Resistive	9
2.2.2 Computer Vision Τεχνολογίες	9
2.2.2.1 Frustrated Total Internal Reflection (FTIR)	10
2.2.2.2 Diffused Illumination (DI)	12
2.2.2.3 Laser Light Plane (LLP)	15
2.2.2.4 Diffused Surface Illumination (DSI)	16
2.2.2.5 LED Laser Light Plane (LED-LP)	17
2.2.3 Σύγκριση Τεχνολογιών Computer Vision	18
2.3 Λογισμικό	21
2.3.1 Λογισμικό Πολλαπλής Αφής	21
2.3.1.1 Trackers	22
2.3.1.2 Clients	24
2.3.2 Λογισμικό Γραφικών	25
2.3.2.1 Panda3D	26
2.4 Υλικό	26
2.4.1 Συμβατή Επιφάνεια (Compliant Surface)	26
2.4.2 Projector	28
2.4.2.1 Φωτεινότητα	28
2.4.2.2 Απόσταση	29

2.4.2.3	Aspect Ratio	29
2.4.3	Κάμερα	29
2.4.3.1	Ρυθμός Λήψης Εικόνων (Frame rate)	30
2.4.3.2	Ανάλυση (Resolution)	30
2.4.3.3	Υπέρυθρο και Ορατό Φίλτρο	30
2.4.3.4	Πεδίο όρασης (Field of View).....	31
2.4.4	Πηγή Υπέρυθρου Φωτός	32
2.4.4.1	Υπέρυθρα Laser.....	33
2.4.4.2	Υπέρυθρα LEDs	33
2.4.4.3	Μήκος κύματος	34
2.4.4.4	Ένταση Φωτός.....	34
2.4.4.5	Γωνία	34
Κεφάλαιο 3	Προηγούμενη Εργασία	36
3.1	Γενικά	36
3.2	Προηγούμενη Εργασία σε Τεχνολογίες Πολλαπλής Αφής	36
3.3	Τεχνολογίες Πολλαπλής Αφής σε Μουσειακούς Χώρους	51
Κεφάλαιο 4	Ανάλυση Απαιτήσεων.....	54
4.1	Γενικά	54
4.2	Προσδιορισμός Στόχου	54
4.3	Προσδιορισμός Τυπικών Χρηστών	55
4.3.1	Πρωτεύοντες χρήστες.....	55
4.3.2	Δευτερεύοντες χρήστες.....	55
4.4	Περιβαλλοντικές και Τεχνικές Παράμετροι	55
4.5	Λειτουργικές Απαιτήσεις.....	56
4.5.1	Λειτουργικές απαιτήσεις υλικού	57
4.5.2	Λειτουργικές απαιτήσεις λογισμικού	57
4.6	Μη Λειτουργικές Απαιτήσεις – Περιορισμοί	57
4.6.1	Κόστος Ανάπτυξης	58
4.6.2	Χρόνος Ανάπτυξης	58
4.6.3	Περιβάλλον ανάπτυξης λογισμικού.....	58
4.6.4	Επίδοση συστήματος	59
4.6.5	Ρεαλισμός	59
4.6.6	Αξιοπιστία	59
4.6.7	Ευρωστία	60

4.6.8	Ορθότητα	60
4.6.9	Ευελιξία – Συντήρηση	60
4.6.10	Ευχρηστία	60
Κεφάλαιο 5	Σχεδιασμός.....	62
5.1	Γενικά	62
5.2	Σχεδιασμός Υλικού	63
5.2.1	Τραπέζι	64
5.2.2	Επιφάνεια αφής και προβολής.....	66
5.2.2.1	Επιφάνεια αφής για τη μέθοδο FTIR	66
5.2.2.2	Επιφάνειας αφής για τη μέθοδο Rear DI.....	67
5.2.3	Κάμερα	68
5.2.4	Projector.....	71
5.2.5	LEDs	74
5.2.5.1	LEDs για τη μέθοδο FTIR.....	75
5.2.5.2	LEDs για τη μέθοδο Rear DI.....	78
5.3	Σχεδιασμός Λογισμικού.....	81
5.3.1	Αρχιτεκτονική Συστήματος	81
5.3.2	Ροή Δεδομένων.....	82
5.3.3	Rapid Prototype	83
Κεφάλαιο 6	Υλοποίηση	85
6.1	Γενικά	85
6.2	Υλοποίηση Υλικού	86
6.2.1	Τραπέζι	86
6.2.2	Επιφάνεια αφής και προβολής.....	87
6.2.2.1	Επιφάνεια αφής για τη μέθοδο FTIR	88
6.2.2.2	Επιφάνεια αφής για τη μέθοδο Rear DI	92
6.2.3	Κάμερα	93
6.2.4	Projector.....	95
6.2.5	LEDs	98
6.2.5.1	LEDs για τη μέθοδο FTIR.....	99
6.2.5.2	LEDs για τη μέθοδο Rear DI.....	101
6.3	Υλοποίηση Λογισμικού	104
6.4	Γενικά Προβλήματα κατά την Υλοποίηση.....	110
Κεφάλαιο 7	Έλεγχος	111

7.1	Γενικά	111
7.2	Προβλήματα που βρέθηκαν στη φάση της υλοποίησης	112
7.3	Έλεγχος αποτελεσμάτων μεθόδου FTIR	115
7.4	Έλεγχος αποτελεσμάτων μεθόδου Rear DI	117
7.5	Έλεγχος ευχρηστίας.....	119
7.5.1	Πρώτη Αξιολόγηση Ευχρηστίας	120
7.5.2	Δεύτερη Αξιολόγηση Ευχρηστίας	121
Κεφάλαιο 8	Συμπεράσματα	126
8.1	Γενικά Συμπεράσματα	126
8.2	Μελλοντική Εργασία	128
8.3	Επίλογος.....	131
Βιβλιογραφία		133
Παράρτημα Α		A-1

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1	Γενικά	1
1.2	Τεχνολογία Πολλαπλής Αφής	2
1.3	Γραφικά Υπολογιστών και Πολιτιστική Κληρονομιά	4
1.4	Περιγραφή Εργασίας	5
1.5	Κίνητρα	5
1.6	Δομή Αναφοράς	6

1.1 Γενικά

Η αλματώδης πρόοδος της τεχνολογίας κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, έχει φέρει επανάσταση σε ότι αφορά τις δυνατότητες των ηλεκτρονικών υπολογιστών και μας έχει οδηγήσει σε μια νέα εποχή, όπου η παραδοσιακή έννοια του υπολογιστή γραφείου αντικαθίσταται από έννοιες όπως ο διάχυτος υπολογισμός και τα συστήματα ευαίσθητα στο περιβάλλον. Φυσιολογικά πλέον οι υπολογιστές αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της καθημερινότητας μας και ενσωματώνονται όλο και περισσότερο στα απλά αντικείμενα καθημερινής χρήσης, γεγονός που τους καθιστά όλο και πιο ‘αόρατους’ προς αυτούς που τους χρησιμοποιούν. Αυτή η εξέλιξη αναμφίβολα δημιουργεί νέες τάσεις όσον αφορά τους τρόπους αλληλεπίδρασης του ανθρώπου με τον υπολογιστή σε αυτό το νέο περιβάλλον και μας αναγκάζει να αναζητήσουμε καινούργιους πιο φυσικούς τρόπους επικοινωνίας του ανθρώπου με τον υπολογιστή.

Στα πλαίσια της έρευνας για καινούργιες τεχνικές αλληλεπίδρασης με τον υπολογιστή έχουν γνωρίσει μεγάλη ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια και οι τεχνολογίες πολλαπλής αφής, που δίνουν τη δυνατότητα στον χρήστη να έχει μια πιο φυσική επαφή με τον υπολογιστή σε περισσότερα από ένα σημεία ταυτόχρονα. Η άνθιση αυτών των τεχνολογιών έχει φέρει επανάσταση στο πεδίο της αλληλεπίδρασης ανθρώπου υπολογιστή και έχει δημιουργήσει καινούργιες έννοιες όπως το surface ή tangible computing. Μέσω της έρευνας που διεξάγεται παγκοσμίως στον τομέα αυτό έχουμε

φτάσει σε σημείο να μπορούμε να κατασκευάσουμε συσκευές που να χρησιμοποιούν τέτοια τεχνολογία, χωρίς εξεζητημένο εξοπλισμό και χωρίς το κόστος να είναι απαγορευτικό. Η έρευνα και ανάπτυξη τέτοιων τεχνολογιών πολλαπλής αφής αποτέλεσε και τον βασικό πυλώνα της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Από την άλλη, σημαντικό τμήμα της εργασίας αυτής αποτέλεσε και η έρευνα και ανάπτυξη στο πεδίο των γραφικών υπολογιστών. Τα γραφικά υπολογιστών είναι από τις πιο ερευνημένες περιοχές της επιστήμης της πληροφορικής αλλά συνάμα και από τις περιοχές με τη μεγαλύτερη πρόοδο τις τελευταίες δεκαετίες. Ξεκίνησαν από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα με τις πρώτες οθόνες υπολογιστών και για πολλά χρόνια μεγάλη προσπάθεια γινόταν για την καλυτέρευση της οπτικής ποιότητας και της ταχύτητας με την οποία παράγει εικόνες ένας υπολογιστής. Πολλά έχουν αλλάξει όμως από τότε, αφού σήμερα έχουμε φτάσει στο σημείο να μπορούμε να δημιουργήσουμε φωτορεαλιστικές εικόνες που να μη ξεχωρίζουν από την πραγματικότητα, σε πραγματικό μάλιστα χρόνο. Επομένως με τέτοιες δυνατότητες τόσο σε υλικό όσο και λογισμικό, μπορούμε πλέον να ασχοληθούμε με πιο συγκεκριμένες εφαρμογές των γραφικών, όπως για παράδειγμα η πολιτιστική κληρονομιά και η διατήρηση της ιστορίας μας. Μια τέτοια εφαρμογή είναι αυτή που έχει αναπτυχθεί για λογαριασμό του Λεβέντειου Μουσείου στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, σε συνδυασμό βέβαια με μια οθόνη πολλαπλής αφής.

1.2 Τεχνολογία Πολλαπλής Αφής

Με τον όρο τεχνολογία πολλαπλής αφής αναφερόμαστε σε μια ευρεία περιοχή από συσκευές και λογισμικό τα οποία επιτρέπουν την ανίχνευση πολλαπλών ταυτόχρονων σημείων επαφής ενός αντικειμένου με μια επιφάνεια και επομένως την αλληλεπίδραση ενός ή και περισσότερων ατόμων με ένα υπολογιστικό σύστημα με χρήση περισσότερων από ένα δάχτυλα, σε αντίθεση με την παραδοσιακή τεχνολογία απλής αφής η οποία επιτρέπει την ανίχνευση ενός μόνο σημείου επαφής ανά πάσα στιγμή. Η τεχνολογία πολλαπλής αφής δεν περιορίζεται στην ανίχνευση σημείων επαφής δαχτύλων με μια οθόνη αλλά το αντικείμενο σε αυτή την περίπτωση μπορεί να είναι οτιδήποτε από κάποιο ανθρώπινο δάχτυλο μέχρι και κάποιο stylus (στυλό) ή ακόμα και φυσικά αντικείμενα, ενώ από την άλλη η επιφάνεια μπορεί να είναι και πάλι οτιδήποτε από μια οθόνη μέχρι και κάποια ειδική επιφάνεια όπως το touchpad που υπάρχει σε

συσκευές όπως ο φορητός υπολογιστής. Στο περιβάλλον ενός μουσείου, η χρήση της τεχνολογίας αυτής σε διαδραστικά μουσειακά εκθέματα έχει την προοπτική να επιφέρει θεμελιώδεις αλλαγές στον τρόπο που αλληλεπιδρούν οι επισκέπτες ενός μουσείου με εκθέματα που χρησιμοποιούν υπολογιστές. Μέσα από τη χρήση φυσικών χειρονομιών, οι επισκέπτες απαλλάσσονται από την ανάγκη να μάθουν να χρησιμοποιούν πολύπλοκα γραφικά εργαλεία και μπορούν να συγκεντρωθούν στις πληροφορίες που παρέχει το έκθεμα. Το γεγονός αυτό δίνει τη δυνατότητα στο έκθεμα να προσφέρει γνώση, ψυχαγωγία και ευχαρίστηση στον επισκέπτη και να συμβάλει με το δικό του τρόπο στην διατήρηση και προώθηση της πολιτιστικής κληρονομιάς η οποία διαφυλάσσεται από ένα μουσείο.

Μέχρι σήμερα, όταν αλληλεπιδρούσαμε με ένα κλασικό υπολογιστή, χρησιμοποιούσαμε παραδοσιακές συσκευές αλληλεπίδρασης όπως το ποντίκι και το πληκτρολόγιο. Τα αποτελέσματα αυτής της αλληλεπίδρασης εμφανίζονταν σε άλλη μια παραδοσιακή συσκευή αλληλεπίδρασης, την οθόνη. Τα λειτουργικά συστήματα περιορίζονταν σε αυτές τις συσκευές και πρόσφεραν στους χρήστες τους τη δυνατότητα ενός μόνο σημείου επαφής με τη διεπιφάνεια των εφαρμογών που χρησιμοποιούσαν. Το πιο πάνω σενάριο είναι αποφασισμένη να καταργήσει η τεχνολογία πολλαπλής αφής. Με την εισαγωγή της πολλαπλής αφής ως τρόπου αλληλεπίδρασης με τον υπολογιστή, μια νέα μορφή αλληλεπίδρασης έχει εμφανιστεί. Η πολλαπλή αφή συνδυάζει την τεχνολογία απεικόνισης (π.χ. projector) με αισθητήρες ικανούς να ανιχνεύουν πολλαπλά σημεία επαφής. Μέσω αυτής της δυνατότητας αναμένεται ότι θα μπορούν οι χρήστες να αλληλεπιδρούν με τον υπολογιστή με πιο φυσικό τρόπο.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, το κύριο σημείο έρευνας είναι οι οθόνες πολλαπλής αφής και οι πρακτικές εφαρμογές τους. Ίσως το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των οθονών πολλαπλής αφής έναντι των παραδοσιακών συσκευών αλληλεπίδρασης με τον υπολογιστή είναι η υποστήριξη που παρέχουν για πολλαπλούς χρήστες. Επειδή επιτρέπουν σε πολλαπλούς χρήστες να ελέγχουν την ίδια διεπιφάνεια χρήστη ταυτόχρονα, η προοπτική που παρέχουν για ανάπτυξη εφαρμογών συνεργασίας και ομαδικής εργασίας είναι πολύ μεγάλη. Πιο συγκεκριμένα, η επιδίωξη μας σε αυτό το τμήμα της διπλωματικής εργασίας ήταν να δοκιμαστούν διαφορετικές τεχνικές ανίχνευσης πολλαπλής αφής και να κατασκευαστεί τελικά μια οθόνη πολλαπλής αφής που θα χρησιμοποιείται από τους επισκέπτες του Λεβέντειου Μουσείου. Η κατασκευή

αυτής της οθόνης αποτέλεσε και τη μεγαλύτερη πρόκληση κατά τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας, γιατί δεν υπήρχε καμιά προηγούμενη εμπειρία στον τομέα αυτό και απαιτούσε το συνδυασμό ενός μεγάλου φάσματος γνωστικών περιοχών για την επιτυχή ολοκλήρωση της.

1.3 Γραφικά Υπολογιστών και Πολιτιστική Κληρονομιά

Όσο περνούν τα χρόνια, τόσο αυξάνεται η σημασία της διατήρησης της πολιτιστικής μας κληρονομιάς. Η λέξη πολιτιστική κληρονομιά χρησιμοποιείται σε πολλές περιπτώσεις και με πολλές διαφορετικές σημασίες. Ουσιαστικά η λέξη αυτή μπορεί να συμπεριλαμβάνει αρχαιολογικούς χώρους, κτίρια, πόλεις ή κομμάτια πόλεων, καλές τέχνες, βιβλιοθήκες, χειροτεχνήματα, ήθη, έθιμα ή ακόμα και μόδα [6].

Οι τεχνολογικές εξελίξεις της τελευταίας δεκαετίας, ιδιαίτερα η άνθιση του διαδικτύου αλλά και η ανάπτυξη των γραφικών υπολογιστών κάνουν την πολιτιστική κληρονομιά μια από τις πιο σημαντικές περιοχές εφαρμογής για την επιστήμη της Πληροφορικής γενικά αλλά βεβαίως και για τα γραφικά υπολογιστών ιδιαίτερα.

Στην παρούσα εργασία, ο στόχος όσον αφορά την πολιτιστική κληρονομιά και τα γραφικά υπολογιστών, ήταν η διατήρηση και παρουσίαση ως ένα είδος εκθέματος στο Λεβέντειο μουσείο, των τειχών που περιβάλλουν την παλιά πόλη της Λευκωσίας. Επομένως με τον όρο πολιτιστική κληρονομιά σε αυτή την εργασία αναφερόμαστε σύμφωνα και με τα όσα έχω πει πιο πάνω- σε αρχαιολογικούς χώρους και σε κομμάτια πόλεων.

Ως γνωστόν, η πόλη της Λευκωσίας υπάρχει από αρχαιοτάτων χρόνων και από αυτήν έχουν περάσει διάφορες δυναστείες κατακτητών, κάθε μια από τις οποίες θεώρησε σκόπιμο όπως οχυρώσει την πόλη. Έτσι, αρχίζοντας από ένα ρωμαϊκό κάστρο το οποίο δεν διασώζεται σήμερα παρά μόνο ως απεικόνιση σε αρχαία νομίσματα, η οχύρωση της πόλης προχώρησε σε ένα κάστρο από την Βυζαντινή περίοδο, έπειτα στα Λουζινιανά τείχη τα οποία κτίστηκαν την περίοδο της δυναστείας των Λουζινιάν και κατέληξε στα Βενετικά τείχη τα οποία κτίστηκαν επί Βενετοκρατίας και διασώζονται μέχρι και σήμερα. Η επιδίωξη μας επομένως σε αυτό το τμήμα της διπλωματικής εργασίας ήταν να δημιουργηθεί μια εφαρμογή η οποία κάνοντας χρήση υψηλής ποιότητας

τρισδιάστατων μοντέλων θα παρουσίαζε τις διάφορες φάσεις από τις οποίες πέρασαν τα τείχη της Λευκωσίας και θα έδινε στον επισκέπτη τη δυνατότητα να περιηγηθεί στα τείχη κάθε περιόδου σαν να ήταν πραγματικά παρών.

1.4 Περιγραφή Εργασίας

Ο στόχος της παρούσας εργασίας ήταν διπλός. Από τη μια ήταν η κατασκευή του υλικού και από την άλλη η κατασκευή του λογισμικού για ένα ολοκληρωμένο σύστημα πολλαπλής αφής για περιήγηση στα τείχη της Λευκωσίας.

Επομένως πρώτα υλοποιήθηκε το απαραίτητο υλικό, δηλαδή το τραπέζι πολλαπλής αφής ούτως ώστε να υπάρχει το υλικό για να μπορεί να ελεγχθεί στη συνέχεια το λογισμικό. Κατά τη διάρκεια της υλοποίησης του απαραίτητου υλικού, η οποία ήταν και η πιο χρονοβόρα περίοδος στη διπλωματική εργασία, κρίθηκε σκόπιμο να δοκιμαστούν δύο διαφορετικές τεχνικές ανίχνευσης πολλαπλής αφής, η FTIR και η Rear DI, ούτως ώστε να συγκριθούν και να επιλεγεί η πιο κατάλληλη για την περίπτωση μας, λαμβάνοντας υπόψη τις λειτουργικές απαιτήσεις.

Στη συνέχεια υλοποιήθηκε το απαραίτητο λογισμικό, δηλαδή η εφαρμογή με την περιήγηση στα τείχη. Για κάθε μια από αυτές τις δύο φάσεις ακολουθήθηκε μια διαδικασία ανάπτυξης υπολογιστικών συστημάτων τύπου καταρράκτη, αποτελούμενη από καταγραφή απαιτήσεων, λεπτομερή σχεδιασμό, υλοποίηση και έλεγχο ή και βελτίωση του τελικού αποτελέσματος.

1.5 Σκοπός και Κίνητρα της Διπλωματικής Εργασίας

Όπως έχω προαναφέρει, ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας ήταν η κατασκευή ενός ολοκληρωμένου συστήματος πολλαπλής αφής για το Λεβέντειο Μουσείο στη Λευκωσία. Εδώ πρέπει να αναφερθεί όμως ότι η αρχική ιδέα για το σύστημα που θα αναπτυσσόταν για το Λεβέντειο Μουσείο ήταν κάπως διαφορετική. Σύμφωνα με την αρχική ιδέα, θα κατασκευαζόταν ένα τραπέζι στο οποίο θα προβαλλόταν με εμπρόσθια προβολή η εφαρμογή της περιήγησης στα τείχη της Λευκωσίας. Οι επισκέπτες τότε θα είχαν τη δυνατότητα να αλληλεπιδράσουν με την εφαρμογή μέσω κάποιου είδους trackball το οποίο θα υπήρχε στο τραπέζι εκτός της εικόνας. Αν και η αρχική ιδέα μου

είχε φανεί ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα, αποφάσισα να αντιπροτείνω την ιδέα της κατασκευής ενός συστήματος πολλαπλής αφής, το οποίο αν και πιο μεγαλεπήβολο ως στόχος, εντούτοις θα ήταν πιο πρωτοποριακό και καινοτομικό για τα κυπριακά δεδομένα. Επίσης θα ήταν μια πρώτης τάξεως ευκαιρία για εμένα να αναλάβω και να φέρω εις πέρας ένα σημαντικό και πολύπλοκο έργο που να συνδυάζει τα δύο ερευνητικά πεδία που με ενδιαφέρουν, δηλαδή τα γραφικά υπολογιστών και την αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή.

Μέσα από αυτή την εργασία είχα την ευκαιρία να καλλιεργήσω πολλές από τις απαραίτητες ικανότητες για ένα απόφοιτο της επιστήμης της πληροφορικής στις μέρες μας και είχα την ευκαιρία να βιώσω από πρώτο χέρι τη διαδικασία έρευνας και ανάπτυξης ενός καινοτομικού ολοκληρωμένου υπολογιστικού συστήματος, από την ανάπτυξη του υλικού μέχρι και τον έλεγχο του λογισμικού, με όλα τα εμπόδια και δυσκολίες που συνεπάγεται αυτή.

Επιπλέον στόχος ήταν το τελικό προϊόν να είναι όσο πιο λειτουργικό, εύχρηστο και ευχάριστο για τον τελικό χρήστη, ενώ και η ποιότητα της γραφικής απεικόνισης να είναι όσο πιο ρεαλιστική γίνεται. Γενικά έθεσα τον πήχη ψηλά από την αρχή της εργασίας και προσπάθησα να λύσω όσο καλύτερα γινόταν τις πολλές δυσκολίες που αναπόφευκτα εμφανίστηκαν σε διάφορα σημεία της εργασίας αυτής.

1.6 Δομή Αναφοράς

Η παρούσα αναφορά περιγράφει με λεπτομέρεια τη διαδικασία της έρευνας και της ανάπτυξης του ολοκληρωμένου συστήματος πολλαπλής αφής για το Λεβέντειο Μουσείο. Το υπόλοιπο της αναφοράς θα ακολουθήσει την ακόλουθη δομή.

Στο 2^ο Κεφάλαιο θα γίνει μια προσπάθεια να παρουσιαστεί όλο το θεωρητικό υπόβαθρο το οποίο πρέπει να κατέχει κάποιος για να κατανοήσει την τεχνολογία που έχει χρησιμοποιηθεί καθώς και την ειδική ορολογία που θα πρέπει να γνωρίζει. Η παρουσίαση θα καλύψει τόσο το υλικό όσο και το λογισμικό το οποίο μελετήθηκε για τους σκοπούς της εργασίας αυτής.

Στο 3^ο Κεφάλαιο θα γίνει μια ανασκόπηση της προηγούμενης εργασίας η οποία είναι σχετική με την παρούσα διπλωματική εργασία. Συγκεκριμένα θα αναφερθεί η

προηγούμενη εργασία σε σχέση με τις τεχνολογίες πολλαπλής αφής και τις εφαρμογές τους σε μουσειακούς χώρους.

Στο 4^ο Κεφάλαιο θα παρουσιαστούν οι απαιτήσεις του παρόντος συστήματος. Οι απαιτήσεις θα καλύπτουν τόσο το υλικό όσο και το λογισμικό.

Στο 5^ο Κεφάλαιο θα παρουσιαστεί ο λεπτομερής σχεδιασμός του παρόντος συστήματος. Όπως και προηγουμένως ο σχεδιασμός θα καλύπτει τόσο το υλικό όσο και το λογισμικό. Ειδικά για το υλικό θα παρουσιαστεί ο σχεδιασμός όσον αφορά την πρώτη και τη δεύτερη τεχνική ανίχνευσης πολλαπλής αφής που δοκιμάστηκε.

Στο 6^ο Κεφάλαιο θα παρουσιαστεί η διαδικασία υλοποίησης του παρόντος συστήματος, όσο αφορά το υλικό αλλά και όσο αφορά το λογισμικό. Ειδικά για το υλικό θα παρουσιαστεί η υλοποίηση για την πρώτη και τη δεύτερη τεχνική ανίχνευσης πολλαπλής αφής που δοκιμάστηκε.

Στο 7^ο Κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα από τον έλεγχο του συστήματος σε επίπεδο υλικού αλλά και λογισμικού. Εδώ θα παρουσιαστούν και οι διαφορές στα αποτελέσματα με τη χρήση των δυο διαφορετικών τεχνικών ανίχνευσης πολλαπλής αφής που υλοποιήθηκαν, καθώς και τα αποτελέσματα από τον έλεγχο ευχρηστίας του συστήματος.

Στο 8^ο Κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα συμπεράσματα στα οποία έχω καταλήξει με το πέρας αυτής της διπλωματικής εργασίας και οι προοπτικές για μελλοντική εργασία επί του θέματος των τεχνολογιών πολλαπλής αφής.

Κεφάλαιο 2

Θεωρητικό Υπόβαθρο

2.1	Γενικά	8
2.2	Τεχνολογίες Πολλαπλής Αφής	8
2.3	Λογισμικό	21
2.4	Υλικό	26

2.1 Γενικά

Σε αυτό το κεφάλαιο θα επιχειρήσω να παραθέσω μια περιεκτική αναφορά που θα καλύπτει όλες τις πτυχές της τεχνολογίας που έχει χρησιμοποιηθεί στη διπλωματική εργασία. Η αναφορά θα καλύπτει βασικές έννοιες αλλά και ειδική ορολογία που αφορά τόσο το υλικό όσο και το λογισμικό που έχει χρησιμοποιηθεί στην υλοποίηση του συστήματος πολλαπλής αφής. Η αναφορά αυτή θα βοηθήσει τον αναγνώστη να κατανοήσει καλύτερα το περιεχόμενο των επόμενων κεφαλαίων της αναφοράς, τις διάφορες δοκιμές που έγιναν και τις διάφορες σχεδιαστικές αποφάσεις που πάρθηκαν κατά τη διάρκεια του όλου έργου.

Θα αρχίσω με μια εισαγωγή στις διάφορες τεχνολογίες πολλαπλής αφής που χρησιμοποιούνται σήμερα. Στη συνέχεια θα παραθέσω το υπάρχον λογισμικό που υπάρχει για συστήματα πολλαπλής αφής, αρχίζοντας από το χαμηλότερο επίπεδο της αναγνώρισης αφής μέχρι το ψηλότερο επίπεδο των εφαρμογών γραφικών. Το κεφάλαιο θα κλείσει με μια αναφορά στο υλικό που απαιτείται για ένα σύστημα πολλαπλής αφής.

2.2 Τεχνολογίες Πολλαπλής Αφής

Γενικά υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες που επιτρέπουν την ανίχνευση δαχτύλων πάνω σε μια οθόνη πολλαπλής αφής. Χονδρικά μπορούν να διαχωριστούν [21] σε Sensor Based τεχνολογίες και σε Computer Vision τεχνολογίες.

2.2.1 Sensor Based Τεχνολογίες

Οι sensor based τεχνολογίες χρησιμοποιούν κάποιου είδους αισθητήρα για την ανίχνευση των σημείων αφής. Ο αισθητήρας ουσιαστικά βασίζεται σε ηλεκτρικό φορτίο και δίνει ως είσοδο στο σύστημα ένα ή περισσότερα σημεία επαφής ανάλογα με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται. Έτσι μπορούμε να διαχωρίσουμε τις sensor based τεχνολογίες σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Capacitive
- Resistive

2.2.1.1 Capacitive

Οι οθόνες πολλαπλής αφής που χρησιμοποιούν πυκνωτές ονομάζονται capacitive. Αυτές οι οθόνες καλύπτονται με ένα ειδικά το οποίο συνεχώς δημιουργεί ένα ηλεκτρικό πεδίο και δημιουργεί ένα capacitance. Όταν το ανθρώπινο σώμα και πιο συγκεκριμένα τα ανθρώπινα δάχτυλα τα οποία έχουν το δικό τους capacitance έρθουν σε επαφή με αυτό το υλικό, διακόπτουν το πεδίο και η τοποθεσία της επαφής καταγράφεται ως ένα σημείο αφής. Αυτή η τεχνολογία μπορεί να λειτουργήσει μόνο με την ανθρώπινη αφή και όχι με γάντια ή ειδικά στυλό, μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί για πολλαπλή αφή. Ένα σημαντικό παράδειγμα συστήματος που χρησιμοποιεί τέτοια τεχνολογία είναι το DiamondTouch [13,14] από τα Mitsubishi Research Labs. Ίσως το πιο διάσημο παράδειγμα αυτής της τεχνολογίας όμως είναι το iPhone της Apple [3].

2.2.1.2 Resistive

Η τεχνολογία resistive από την άλλη είναι η πιο κοινά χρησιμοποιημένη τεχνολογία οθόνης αφής σήμερα. Μια οθόνη αφής resistive αποτελείται από πολλαπλά λεπτά στρώματα τα οποία όταν πιεστούν σε κάποιο σημείο ενώνονται μέσω ενός ηλεκτρικού κυκλώματος και το σημείο αυτό καταγράφεται ως ένα σημείο αφής. Το πρόβλημα με αυτή την τεχνολογία είναι ότι δεν υποστηρίζει τη δυνατότητα πολλαπλής αφής.

2.2.2 Computer Vision Τεχνολογίες

Οι τεχνολογίες μηχανικής όρασης χρησιμοποιούν οπτικές τεχνικές, δηλαδή κάποιου είδους επεξεργασία εικόνας (βίντεο) που λαμβάνεται από κάμερες για την αναγνώριση των σημείων αφής. Συστήματα που χρησιμοποιούν τέτοιες τεχνολογίες είναι το

Microsoft Surface [30] και τα πρωτότυπα που κατασκευάστηκαν από τον Jeff Han [19,20]. Αυτού του είδους οι τεχνολογίες κάνουν χρήση της υπέρυθρης ζώνης του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος άρα ανιχνεύουν στην ουσία υπέρυθρο φως.

Όσον αφορά τις Computer Vision τεχνολογίες, ανάλογα με τον τρόπο της ανίχνευσης, διακρίνουμε πέντε παρόμοιες μεθόδους που βασίζονται όλες στη ανίχνευση υπέρυθρου φωτός σύμφωνα με το [34]:

- Frustrated Total Internal Reflection (FTIR)
- Diffused Illumination (DI)
- Laser Light Plane (LLP)
- Diffused Surface Illumination (DSI)
- LED Light Plane (LED-LP)

Πιο κάτω θα εξηγήσω με λεπτομέρεια τις μεθόδους αυτές και στη συνέχεια θα ακολουθήσει μια σύγκριση με τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της κάθε μιας.

2.2.2.1 Frustrated Total Internal Reflection (FTIR)

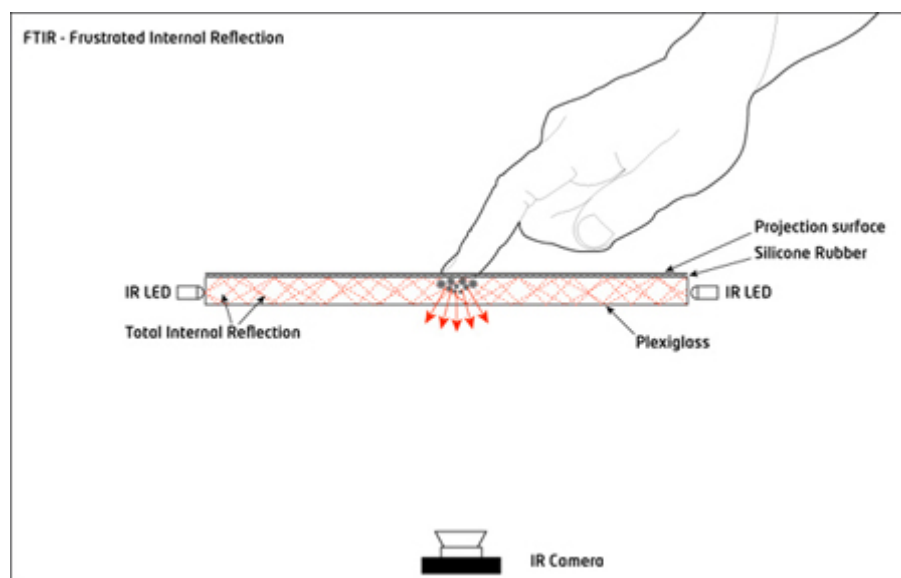
Ο όρος αυτός αναφέρεται στη μέθοδο που αναπτύχθηκε από τον Jeff Han το 2005 [19] και οφείλει το όνομα της στο πολύ γνωστό φυσικό φαινόμενο της πλήρους εσωτερικής ανάκλασης πάνω στο οποίο βασίζεται.

Η πλήρης εσωτερική ανάκλαση αναφέρεται σε μια κατάσταση που υπάρχει σε συγκεκριμένα υλικά όταν το φως εισέρχεται σε αυτά από ένα άλλο υλικό με υψηλότερο δείκτη ανάκλασης, με γωνία πρόσπτωσης μεγαλύτερη από μια συγκεκριμένη γωνία. Η συγκεκριμένη γωνία στην οποία συμβαίνει το φαινόμενο αυτό εξαρτάται από τους δείκτες ανάκλασης και των δύο υλικών και είναι γνωστή ως κρίσιμη γωνία, ενώ μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας το νόμο του Snell. Όταν συμβεί αυτό, δεν υπάρχει καθόλου διάθλαση στο υλικό και η ακτίνα φωτός ανακλάται πλήρως.

Η μέθοδος του Han εκμεταλλεύεται αυτό το φαινόμενο για να πλημμυρίσει το εσωτερικό μιας επιφάνειας από ακρυλικό πλαστικό με υπέρυθρο φως και να παγιδεύσει το φως μέσα στο πλαστικό. Όπως βλέπουμε και στο Σχήμα 2.1, εκπέμπουμε υπέρυθρο φως μέσα σε μια επιφάνεια από ακρυλικό πλαστικό τοποθετώντας πολλά υπέρυθρα

LEDs στις άκρες του ακρυλικού. Το υπέρυθρο φως που εκπέμπεται παγιδεύεται μέσα στο πλαστικό λόγω του φαινομένου της ολικής εσωτερικής ανάκλασης.

Όταν ο χρήστης έρθει σε επαφή με την επιφάνεια του πλαστικού, οι ακτίνες του υπέρυθρου φωτός διαταράσσονται (frustrated) αφού μπορούν πλέον να περάσουν διαμέσου του υλικού που έχει έρθει σε επαφή με την επιφάνεια (συνήθως το δέρμα των δαχτύλων) και έτσι η ανάκλαση δεν είναι πλέον ολική σε αυτό το σημείο. Επομένως το υπέρυθρο φως δραπετεύει από το ακρυλικό σε αυτό το σημείο προς τα κάτω, όπου ανιχνεύεται από μια κάμερα της οποίας έχει αφαιρεθεί το υπέρυθρο φίλτρο και της έχει τοποθετηθεί ένα ζωνοδιαβατό φίλτρο για να βλέπει μόνο το υπέρυθρο φάσμα που μας ενδιαφέρει. Έτσι αποκαλύπτεται το σημείο της επαφής.



Σχήμα 2.1 Διάγραμμα της μεθόδου FTIR

Στη μέθοδο αυτή απαιτείται ένα στρώμα σιλικόνης ως συμβατή επιφάνεια (compliant surface) που τοποθετείται πάνω από το πλαστικό όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.1, για να βελτιώσει την ευαισθησία της οθόνης στο άγγιγμα και το σύρσιμο. Η χρήση του στρώματος σιλικόνης είναι απαραίτητη αφού όταν αγγίζουμε απλό ακρυλικό πλαστικό πρέπει να πιέσουμε αρκετά δυνατά ή να έχουμε βρεγμένα δαχτύλα για να ενεργοποιήσουμε το φαινόμενο διατάραξης της ολικής εσωτερικής ανάκλασης. Έτσι με τη χρήση του στρώματος σιλικόνης, η ευαισθησία της οθόνης αυξάνεται.

Στο Σχήμα 2.2 βλέπουμε την αρχική εικόνα που παίρνουμε από την υπέρυθρη κάμερα με τη χρήση της μεθόδου FTIR. Όπως φαίνεται, στα σημεία επαφής των δαχτύλων

δημιουργούνται άσπρες φωτεινές τελείες (blobs) που φανερώνουν το υπέρυθρο φως που έχει δραπετεύσει από το ακρυλικό. Αυτές οι άσπρες φωτεινές τελείες φανερώνουν και τα σημεία επαφής με το ακρυλικό.



Σχήμα 2.2 Εικόνα από την κάμερα για τη μέθοδο FTIR

2.2.2.2 Diffused Illumination (DI)

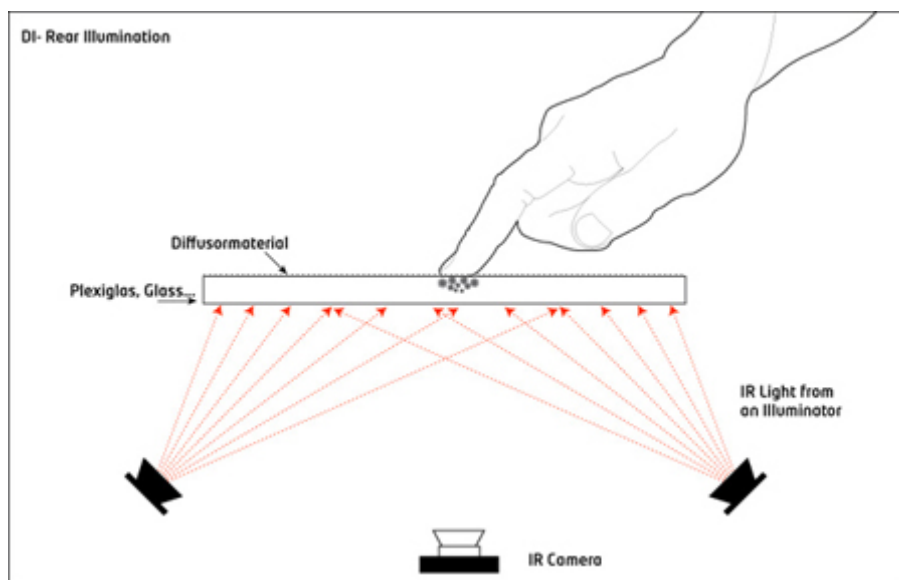
Η μέθοδος του διαχεόμενου φωτισμού χρησιμοποιείται σε δύο βασικές μορφές, όμως και οι δύο μορφές χρησιμοποιούν τις ίδιες αρχές.

Rear Diffused Illumination (Rear DI)

Στη μέθοδο του οπίσθιου διαχεόμενου φωτισμού, φωτίζουμε την οθόνη πολλαπλής αφής με υπέρυθρο φως κάτω από αυτήν, όπως βλέπουμε στο Σχήμα 2.3. Ένα διαχυτικό υλικό τοποθετείται στην πάνω ή την κάτω πλευρά της επιφάνειας αφής. Όταν ένα αντικείμενο αγγίζει την επιφάνεια, αντανακλά περισσότερο φως από ότι το διαχυτικό υλικό και τα αντικείμενα στο φόντο. Αυτό το έξτρα φως ανιχνεύεται από μια υπέρυθη κάμερα όμοια με αυτή που χρησιμοποιείται στην μέθοδο του FTIR και αποκαλύπτει τα σημεία επαφής του αντικειμένου με την επιφάνεια. Ανάλογα με το διαχυτικό υλικό η μέθοδος αυτή μπορεί να ανιχνεύσει και αντικείμενα που αιωρούνται λίγο πάνω από την επιφάνεια αφής.

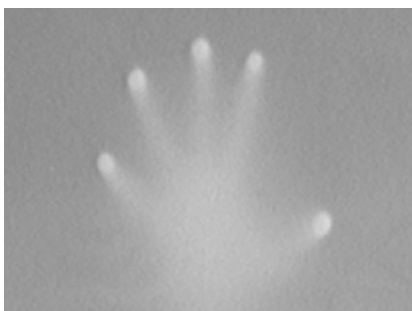
Ανάλογα με το μέγεθος της οθόνης αφής και την υλοποίηση της μεθόδου Rear DI, μπορεί να είναι αρκετά δύσκολο να επιτύχουμε ομοιόμορφη κατανομή του υπέρυθρου φωτός σε όλη την επιφάνεια της οθόνης αφής. Αυτό συμβαίνει γιατί ανάλογα με τη θέση των φωτεινών πηγών, ορισμένες περιοχές φωτίζονται ικανοποιητικά και άρα το άγγιγμα εκεί ανιχνεύεται εύκολα, ενώ άλλες περιοχές είναι σκοτεινές, έτσι αναγκαστικά πρέπει κάποιος να πιέσει περισσότερο για να ανιχνευτεί το άγγιγμα του. Σε περίπτωση

που εμφανιστούν τέτοια προβλήματα η πρώτη προσέγγιση είναι η βελτίωση του υλικού, δηλαδή των φωτεινών πηγών, της τοποθέτησης τους, του είδους του διαχυτικού υλικού κτλ. Μια εναλλακτική προσέγγιση υπάρχει σε επίπεδο λογισμικού, όπου το λογισμικό ανίχνευσης σημείων επαφής μπορεί να εφαρμόσει τα φίλτρα επεξεργασίας της εικόνας από την κάμερα με διαφορετική ένταση σε διαφορετικά σημεία της εικόνας.



Σχήμα 2.3 Διάγραμμα της μεθόδου Rear DI

Στο Σχήμα 2.4 βλέπουμε την αρχική εικόνα που παίρνουμε από την υπέρυθρη κάμερα με τη χρήση της μεθόδου Rear DI. Όπως φαίνεται, στα σημεία επαφής των δαχτύλων δημιουργούνται άσπρες φωτεινές τελείες (blobs) που φανερώνουν το υπέρυθρο φως που έχει δραπετεύσει από το ακρυλικό. Αυτές οι άσπρες φωτεινές τελείες φανερώνουν και τα σημεία επαφής με το ακρυλικό. Παρατηρήστε εδώ ότι η φωτεινότητα των blobs δεν είναι τόσο μεγάλη όσο με την μέθοδο FTIR, κάτι που διορθώνεται με κατάλληλη επεξεργασία της εικόνας.

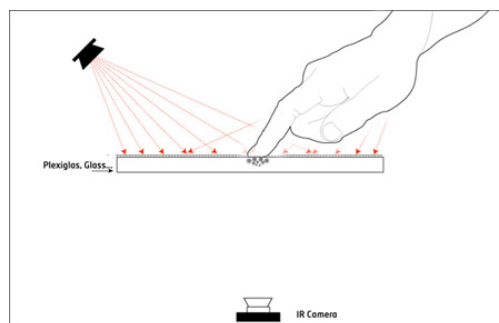


Σχήμα 2.4 Εικόνα από την κάμερα για τη μέθοδο Rear DI

Front Diffused Illumination (Front DI)

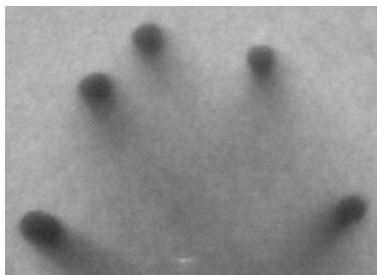
Στη μέθοδο του εμπρόσθιου διαχεόμενου φωτισμού φωτίζουμε την οθόνη πολλαπλής αφής με υπέρυθρο φως πάνω από αυτήν (συνήθως υπέρυθρο φως από το περιβάλλον) όπως βλέπουμε στο Σχήμα 2.5. Ένα διαχυτικό υλικό τοποθετείται στην πάνω ή την κάτω πλευρά της επιφάνειας αφής. Όταν ένα αντικείμενο αγγίζει την επιφάνεια, δημιουργείται μια σκιά στο σημείο επαφής του αντικειμένου. Αυτή η σκιά ανιχνεύεται από μια υπέρυθρη κάμερα και αποκαλύπτει τα σημεία επαφής του αντικειμένου με την επιφάνεια.

Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για μικρές επιφάνειες αφής και σε περιπτώσεις όπου απαιτείται γρήγορη πρωτοτυποποίηση και δοκιμή ενός συστήματος πολλαπλής αφής. Ωστόσο δεν συνίσταται για ολοκληρωμένα συστήματα αφού δεν είναι πολύ εύρωστη και εξαρτάται πολύ από τις συνθήκες φωτισμού του περιβάλλοντος.



Σχήμα 2.5 Διάγραμμα της μεθόδου Front DI

Στο Σχήμα 2.6 βλέπουμε την αρχική εικόνα που παίρνουμε από την υπέρυθρη κάμερα με τη χρήση της μεθόδου Front DI. Όπως φαίνεται, στα σημεία επαφής των δαχτύλων δημιουργούνται σκιές που φανερώνουν τα σημεία επαφής με το ακρυλικό. Η διαφορά με τις προηγούμενες μεθόδους είναι ότι χρειάζεται διαφορετικού είδους επεξεργασία της εικόνας αφού αντί για φωτεινές άσπρες τελείες έχουμε σκιές.



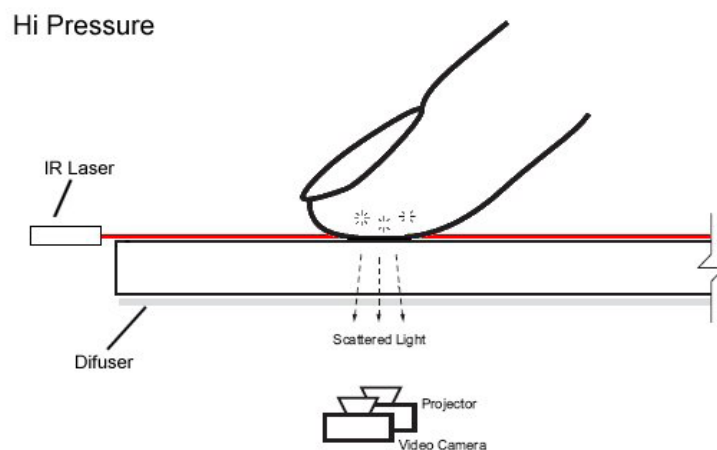
Σχήμα 2.6 Εικόνα από την κάμερα για τη μέθοδο Front DI

2.2.2.3 Laser Light Plane (LLP)

Στη μέθοδο αυτή εκπέμπουμε υπέρυθρο φως από ένα laser ακριβώς πάνω από την επιφάνεια αφής, όπως βλέπουμε στο Σχήμα 2.7. Το επίπεδο του υπέρυθρου φωτός έχει πάχος περίπου 1mm και είναι τοποθετημένο ακριβώς πάνω από την επιφάνεια, έτσι ώστε μόλις το αγγίξει ένα δάχτυλο, το υπέρυθρο φως αντανακλάται προς τα κάτω και ανιχνεύεται από μια υπέρυθρη κάμερα. Έτσι αποκαλύπτεται το σημείο της επαφής.

Λόγω του ότι το laser εκπέμπει μία ευθεία ακτίνα φωτός, χρειάζεται να τοποθετεί ένας ειδικός φακός μπροστά από το laser που διαχέει το φως και μετατρέπει την ακτίνα φωτός σε επίπεδο φωτός. Επιπλέον, η μέθοδος αυτή συνήθως χρειάζεται από 2 μέχρι 4 laser τοποθετημένα στις γωνίες της επιφάνειας αφής ώστε να αποκλείονται φαινόμενα απόκρυψης (occlusion) όπου ένα δάχτυλο διακόπτει την ακτίνα του laser και καταγράφεται ως σημείο αφής ενώ το άλλο δάχτυλο που βρίσκεται από πίσω του κρύβεται επειδή δεν φτάνει φως σε αυτό.

Η μέθοδος αυτή χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή αφού τα υπέρυθρα laser μπορούν να προκαλέσουν βλάβες στα μάτια αν η ακτίνα τους στραφεί κατευθείαν στο ανθρώπινο μάτι.



Σχήμα 2.7 Διάγραμμα της μεθόδου LLP

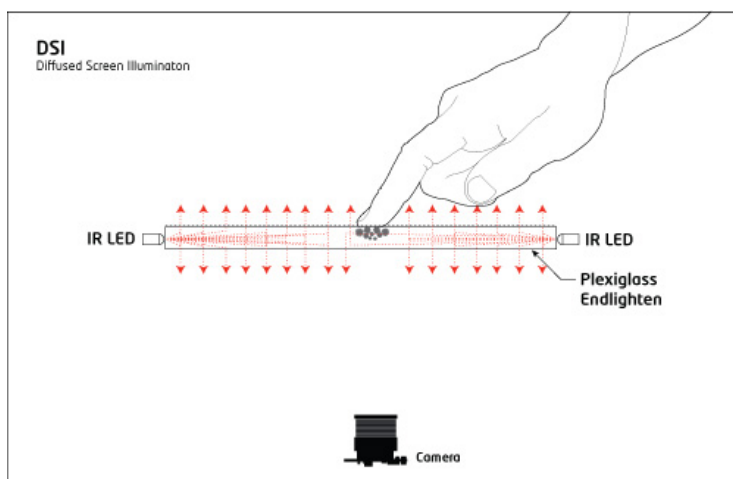
Στο Σχήμα 2.8 βλέπουμε την αρχική εικόνα που παίρνουμε από την υπέρυθρη κάμερα με τη χρήση της μεθόδου LLP. Όπως φαίνεται, στα σημεία επαφής των δαχτύλων δημιουργούνται άσπρες φωτεινές τελείες (blobs) που φανερώνουν το υπέρυθρο φως που έχει δραπετεύσει από το ακρυλικό. Αυτές οι άσπρες φωτεινές τελείες φανερώνουν και τα σημεία επαφής με το ακρυλικό.



Σχήμα 2.8 Εικόνα από την κάμερα για τη μέθοδο LLP

2.2.2.4 Diffused Surface Illumination (DSI)

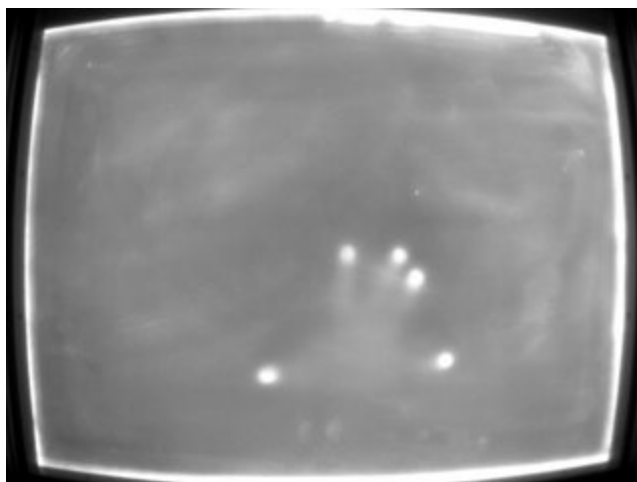
Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούμε ένα ειδικό είδος ακρυλικού που διανέμει ομοιόμορφα το υπέρυθρο φως μέσα στην επιφάνεια αφής, όπως βλέπουμε στο Σχήμα 2.9. Ουσιαστικά η μέθοδος αυτή είναι ακριβώς όμοια με τη μέθοδο FTIR, αφού χρησιμοποιεί τα υπέρυθρα LEDs στις άκρες του πλαστικού, χωρίς όμως να χρειάζεται τη συμβατή επιφάνεια από σιλικόνη. Αυτό οφείλεται στο ότι το ειδικό ακρυλικό χρησιμοποιεί μικρά σωματίδια μέσα σε αυτό, που ενεργούν σαν εκατομμύρια μικροί καθρέφτες και διανέμουν το υπέρυθρο φως ομοιόμορφα μέσα στην επιφάνεια, έτσι δεν υπάρχει ανάγκη για συμβατή επιφάνεια. Το αποτέλεσμα είναι παρόμοιο με τη μέθοδο Rear DI, χωρίς όμως προβλήματα με την κατανομή του φωτισμού.



Σχήμα 2.9 Διάγραμμα της μεθόδου DSI

Στο Σχήμα 2.10 βλέπουμε την αρχική εικόνα που παίρνουμε από την υπέρυθρη κάμερα με τη χρήση της μεθόδου DSI. Όπως φαίνεται, στα σημεία επαφής των δαχτύλων

δημιουργούνται άσπρες φωτεινές τελείες (blobs) που φανερώνουν το υπέρυθρο φως που έχει δραπετεύσει από το ακρυλικό. Αυτές οι άσπρες φωτεινές τελείες φανερώνουν και τα σημεία επαφής με το ακρυλικό. Η εικόνα μοιάζει περισσότερο με την εικόνα που παίρνουμε στη μέθοδο Rear DI.



Σχήμα 2.10 Εικόνα από την κάμερα για τη μέθοδο DSI

2.2.2.5 LED Laser Light Plane (LED-LP)

Η μέθοδος αυτή είναι ακριβώς η ίδια με την μέθοδο LLP με τη διαφορά ότι το laser το οποίο εγκυμονεί κινδύνους όπως έχω αναφέρει και προηγουμένως αντικαθίσταται από LEDs τα οποία τοποθετούνται ελάχιστα χιλιοστά πάνω από το ακρυλικό πλαστικό, με τον ίδιο τρόπο που θα τοποθετούνταν στο πλάι του πλαστικού στη μέθοδο FTIR.



Σχήμα 2.11 Διάγραμμα της μεθόδου LED-LP

Η μέθοδος αυτή συνίσταται μόνο όταν χρησιμοποιείται μια οθόνη LCD ως οθόνη πολλαπλής αφής, αφού υπάρχουν καλύτερες μέθοδοι όπως η Rear DI, οι οποίες όμως δεν λειτουργούν με οθόνες LCD αλλά μόνο με οθόνες οπίσθιας προβολής που χρησιμοποιούν projector.

2.2.3 Σύγκριση Τεχνολογιών Computer Vision

Οι πιο πάνω τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται ευρύτατα για την κατασκευή οθόνων πολλαπλής αφής έχουν όλες τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τους. Μια φυσιολογική απορία που μπορεί να έχει δημιουργηθεί στον αναγνώστη είναι ποια είναι η καλύτερη τεχνική. Δυστυχώς δεν υπάρχει απλή απάντηση σε αυτή την ερώτηση. Η απάντηση δεν έχει να κάνει με το ποια είναι η καλύτερη τεχνική αλλά με το ποια είναι η καλύτερη τεχνική για την συγκεκριμένη περίπτωση, λαμβάνοντας υπόψη δηλαδή τις λειτουργικές απαιτήσεις του συστήματος το οποίο πρόκειται να κατασκευαστεί.

Για παράδειγμα, αν το σύστημα χρειάζεται να αναγνωρίζει και ειδικούς χαρακτήρες πάνω σε αντικείμενα ή να ανιχνεύει αντικείμενα που υπερίπτανται της οθόνης αφής, τότε η μόνη λύση είναι η Rear DI. Αν το σύστημα χρειάζεται απλά εύρωστη και αξιόπιστη αναγνώριση αγγιγμάτων τότε η τεχνική FTIR είναι μια καλή επιλογή. Πιο κάτω παραθέτω μερικούς πίνακες σύγκρισης των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων της κάθε μεθόδου.

ΜΕΘΟΔΟΣ FTIR	
ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
Δεν απαιτείται η χρήση κλειστού κουτιού για την επιφάνεια αφής	Απαιτείται συγκόλληση πολλών LEDs
Τα blobs έχουν μεγάλη αντίθεση από το φόντο της εικόνας και άρα ανιχνεύονται πιο εύκολα	Απαιτεί κατάλληλη συμβατή επιφάνεια για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί, κάτι που είναι δύσκολο να κατασκευαστεί
Επιτρέπει ανίχνευση πίεσης	Δεν αναγνωρίζει αντικείμενα ή ειδικούς χαρακτήρες
Με κατάλληλη συμβατή επιφάνεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμα και με κάτι μικρό όπως ένα στυλό	Δεν μπορεί να εφαρμοστεί με άλλη επιφάνεια εκτός από ακρυλικό πλαστικό (π.χ. με γυαλί)

Πίνακας 2.1 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα μεθόδου FTIR

ΜΕΘΟΔΟΣ Rear DI	
ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
Δεν απαιτείται η χρήση συμβατής επιφάνειας για την επιφάνεια αφής	Δύσκολο να επιτευχθεί ομοιόμορφος φωτισμός
Μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε διαφανές υλικό για την επιφάνεια αφής, όπως γυαλί	Τα blobs έχουν μικρότερη αντίθεση από το φόντο και άρα είναι δυσκολότερο να ανιχνευτούν
Δεν απαιτεί πλαίσιο από LEDs	Υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα ανίχνευσης λανθασμένων σημείων επαφής
Απλή η υλοποίηση της	Απαιτείται η χρήση κλειστού κουτιού για την επιφάνεια αφής
Μπορεί να ανιχνεύσει αντικείμενα, δάχτυλα, ειδικούς χαρακτήρες και αντικείμενα που υπερίπτανται	

Πίνακας 2.2 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα μεθόδου Rear DI

ΜΕΘΟΔΟΣ Front DI	
ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
Δεν απαιτείται η χρήση συμβατής επιφάνειας για την επιφάνεια αφής	Δεν μπορεί να ανιχνεύσει αντικείμενα και ειδικούς χαρακτήρες
Μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε διαφανές υλικό για την επιφάνεια αφής, όπως γυαλί	Δύσκολο να επιτευχθεί ομοιόμορφος φωτισμός
Δεν απαιτεί πλαίσιο από LEDs	Υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα ανίχνευσης λανθασμένων σημείων επαφής
Η πιο απλή υλοποίηση από όλες τις μεθόδους	Δεν είναι τόσο αξιόπιστη αφού βασίζεται πολύ στις συνθήκες φωτισμού του περιβάλλοντος
Μπορεί να ανιχνεύσει δάχτυλα και αντικείμενα που υπερίπτανται	
Δεν απαιτείται η χρήση κλειστού κουτιού για την επιφάνεια αφής	

Πίνακας 2.3 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα μεθόδου Front DI

ΜΕΘΟΔΟΣ LLP	
ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
Δεν απαιτείται η χρήση συμβατής επιφάνειας για την επιφάνεια αφής	Δεν μπορεί να ανιχνεύσει αντικείμενα και ειδικούς χαρακτήρες
Μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε διαφανές υλικό για την επιφάνεια αφής, όπως γυαλί	Δεν μπορεί να ανιχνεύσει πίεση αφού η ένταση του φωτός δεν αλλάζει με την πίεση
Δεν απαιτεί πλαίσιο από LEDs	Μπορεί να αντιμετωπίσει προβλήματα απόκρυψης (occlusion) αν χρησιμοποιεί μόνο ένα ή δύο lasers
Πολύ απλή η υλοποίηση της	
Μπορεί να έχει λιγότερο κόστος κατασκευής από τις άλλες μεθόδους	
Δεν απαιτείται η χρήση κλειστού κουτιού για την επιφάνεια αφής	

Πίνακας 2.4 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα μεθόδου LLP

ΜΕΘΟΔΟΣ DSI	
ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
Δεν απαιτείται η χρήση συμβατής επιφάνειας για την επιφάνεια αφής	Το πλαστικό Endlighten κοστίζει περισσότερο από ένα απλό πλαστικό
Μπορεί εύκολα να μετατραπεί σε FTIR ή DI	Τα blobs έχουν μικρότερη αντίθεση από το φόντο σε σχέση με τη μέθοδο FTIR και άρα είναι δυσκολότερο να ανιχνευτούν
Μπορεί να ανιχνεύσει πίεση	
Δεν υπάρχουν hotspots από το projector πάνω στην επιφάνεια του πλαστικού	
Ομοιόμορφος φωτισμός σε όλα τα σημεία της επιφάνειας	
Δεν απαιτείται η χρήση κλειστού κουτιού για την επιφάνεια αφής	

Πίνακας 2.5 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα μεθόδου DSI

ΜΕΘΟΔΟΣ LED-LP	
ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
Δεν απαιτείται η χρήση συμβατής επιφάνειας για την επιφάνεια αφής	Δεν μπορεί να ανιχνεύσει αντικείμενα και ειδικούς χαρακτήρες
Μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε διαφανές υλικό για την επιφάνεια αφής, όπως γυαλί	Δεν μπορεί να ανιχνεύσει πίεση αφού η ένταση του φωτός δεν αλλάζει με την πίεση
Δεν αντιμετωπίζει τον κίνδυνο από τη χρήση laser όπως η μέθοδος LLP	Δύσκολη η τοποθέτηση των LEDs ακριβώς πάνω από την επιφάνεια αφής
Δεν απαιτείται η χρήση κλειστού κουτιού για την επιφάνεια αφής	Λόγω του κωνικού και όχι επίπεδου σχήματος των ακτίνων φωτός που εκπέμπουν τα LEDs, ανιχνεύονται και αντικείμενα πολύ πιο πάνω από την επιφάνεια αφής, άρα πρέπει να καλύπτουν τα LEDs με κάποιο τρόπο

Πίνακας 2.6 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα μεθόδου LED-LP

Όλες οι πιο πάνω μέθοδοι έχουν τα θετικά και τα αρνητικά τους όπως φαίνεται, που σχετίζονται κυρίως με την επεκτασιμότητα τους για μεγάλες οθόνες, το κόστος του εξοπλισμού που απαιτούν, την ευκολία υλοποίησης, την φωτεινότητα των blobs, και τις συνθήκες φωτισμού κάτω από τις οποίες μπορούν να χρησιμοποιούνται. Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα θετικά και αρνητικά κάθε μεθόδου, αποφάσισα όπως δοκιμάσω τις μεθόδους FTIR και Rear DI για τη δημιουργία του συστήματος πολλαπλής αφής.

2.3 Λογισμικό

2.3.1 Λογισμικό Πολλαπλής Αφής

Η ανίχνευση πολλαπλών σημείων επαφής ακολουθεί το μοντέλο πελάτη – εξυπηρετητή (client – server), όπου ένας εξυπηρετητής καταγράφει τα σημεία επαφής και τα μεταδίδει στον πελάτη ο οποίος τα επεξεργάζεται και τα χρησιμοποιεί. Ο εξυπηρετητής είναι λογισμικό το οποίο λαμβάνει την ακατέργαστη εικόνα από την υπέρυθρη κάμερα, εφαρμόζει πάνω της ορισμένα φίλτρα επεξεργασίας εικόνας και τελικά αποφασίζει σε ποια σημεία υπάρχει επαφή. Στη συνέχεια μεταδίδει τις συντεταγμένες αυτών των σημείων μαζί με κάποια άλλα σημαντικά στοιχεία σε ένα socket. Στην άλλη πλευρά του

socket το λογισμικό πελάτης λαμβάνει τα στοιχεία κάθε σημείου και τα χρησιμοποιεί για να πυροδοτήσει ορισμένα events, με τον ίδιο τρόπο που κάποιο λειτουργικό σύστημα πυροδοτεί events όταν για παράδειγμα κινηθεί το mouse ή όταν πατηθεί ένα κουμπί του πληκτρολογίου. Σε εφαρμογές πολλαπλής αφής, υπάρχουν τρία θεμελιώδη και απλά events τα οποία πυροδοτούνται όταν ανιχνευτεί επαφή με την επιφάνεια αφής. Αυτά είναι το Touch Down, το Touch Up και το Touch Move. Τα ονόματα των events είναι αυτοεπεξηγηματικά, να αναφέρω όμως ότι το Touch Up πυροδοτείται όταν ανιχνευτεί ένα καινούργιο σημείο επαφής, το Touch Down πυροδοτείται όταν εξαφανιστεί ένα υπάρχον σημείο αφής και το Touch Move πυροδοτείται όταν ένα σημείο αφής μετακινηθεί σε σχέση με την προηγούμενη του θέση.

Το γεγονός ότι η ανίχνευση πολλαπλών σημείων επαφής χρησιμοποιεί έννοιες από τα δίκτυα υπολογιστών, κάνει την ανάγκη για ένα κοινό πρωτόκολλο μετάδοσης των πληροφοριών για κάθε σημείο επαφής επιτακτική. Το πρωτόκολλο που προτάθηκε πριν μερικά χρόνια και το οποίο χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα από τις πιο διαδεδομένες βιβλιοθήκες ανίχνευσης σημείων αφής είναι το TUIO [24].

2.3.1.1 Trackers

Μέχρι πρόσφατα, οι επιλογές σε διαθέσιμο λογισμικό για ανίχνευση πολλαπλών σημείων επαφής ήταν σχετικά περιορισμένες, ανάλογα και με το λειτουργικό σύστημα. Η κατάσταση έχει αλλάξει αρκετά τον τελευταίο χρόνο κατά τον οποίο γινόταν και η ανάπτυξη του συστήματος για το Λεβέντειο Μουσείο. Οι παλαιότεροι trackers ήταν το Touchlib για περιβάλλον Windows και Linux, το Touché και το BBTouch για OS-X και το Reactivision που είναι cross-platform και υποστηρίζει ανίχνευση ειδικών συμβόλων (fiducials). Ο νεότερος tracker που κυκλοφόρησε το 2009 είναι το tBeta, μια βελτιωμένη έκδοση του Touchlib με καλύτερο tracking, βελτιωμένη διεπιφάνεια χρήσης και περισσότερες επιλογές. Πιο κάτω θα αναφέρω ορισμένα στοιχεία για κάθε ένα από τους διαθέσιμους trackers.

BBTouch

Το BBTouch είναι ένα open source περιβάλλον ανίχνευσης σημείων επαφής για το λειτουργικό σύστημα OS-X. Είναι γραμμένο σε γλώσσα Cocoa και η άδεια χρήσης του είναι GPL. Περισσότερες πληροφορίες για το BBTouch μπορεί να βρει κάποιος εδώ [4].

Bespoke Multi-Touch Framework

Το Bespoke Multi-Touch Framework είναι ένα επεκτάσιμο πλαίσιο εργασίας με πλούσια χαρακτηριστικά για την ανάπτυξη διεπιφανειών πολλαπλής αφής. Είναι γραμμένο σε C# και είναι open source με άδεια BSD. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί με οποιαδήποτε computer vision τεχνολογία πολλαπλής αφής. Περισσότερες πληροφορίες για το Bespoke μπορεί να βρει κάποιος εδώ [7].

reactTIVision

Το reactTIVision είναι ένα open source, cross-platform πλαίσιο εργασίας για computer vision και χρησιμοποιείται για τη γρήγορη και εύρωστη ανίχνευση ειδικών συμβόλων τοποθετημένων σε φυσικά αντικείμενα καθώς και πολλαπλών σημείων αφής. Σχεδιάστηκε κυρίως ως μια εργαλειοθήκη για τη γρήγορη ανάπτυξη απτών διεπιφανειών χρήστη και διαδραστικών επιφανειών πολλαπλής αφής. Είναι γραμμένο σε C++ και open source κάτω από την άδεια GPL. Περισσότερες πληροφορίες για το reactTIVision μπορεί να βρει κάποιος εδώ [42].

tBeta

Το tBeta (The Beta) είναι ένας open source και cross-platform tracker για ανίχνευση πολλαπλής αφής. Παίρνει ως είσοδο το βίντεο από την κάμερα και δίνει ως έξοδο τα σημεία επαφής καθώς και events όπως Touch Down, Touch Up και Touch Moved. Το tBeta μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορες κάμερες, υποστηρίζει όλες τις computer vision τεχνολογίες πολλαπλής αφής και μπορεί να συνδεθεί ως εξυπηρετητής σε πολλές εφαρμογές που ακολουθούν το πρωτόκολλο TUIO. Είναι γραμμένο σε C++ και ο κώδικας του θα κυκλοφορήσει σύντομα. Δεδομένων των πολλών δυνατοτήτων και της ευκολίας στη χρήση του συγκεκριμένου tracker, επιλέγηκε ως ο tracker για το τελικό σύστημα πολλαπλής αφής που υλοποίησα. Περισσότερες πληροφορίες για το tBeta μπορεί να βρει κάποιος εδώ [46].

Touché

Το Touché είναι ένα δωρεάν, open-source περιβάλλον ανίχνευσης επαφής για computer vision τεχνολογίες. Γράφτηκε για το λειτουργικό σύστημα OS-X και χρησιμοποιεί πολλές από τις τεχνολογίες του λειτουργικού αυτού όπως το QuickTime, Core Animation, Core Image και το πλαίσιο εργασίας Accelerate. Επίσης χρησιμοποιεί υψηλής ποιότητας βιβλιοθήκες όπως το libdc1394 και το OpenCV. Είναι γραμμένο σε

Cocoa και κυκλοφορεί με άδεια LGPLv3. Περισσότερες πληροφορίες για το Touché μπορεί να βρει κάποιος εδώ [48].

Touchlib

Το Touchlib είναι μια βιβλιοθήκη για τη δημιουργία διαδραστικών επιφανειών πολλαπλής αφής. Δουλεύει με τον ίδιο τρόπο όπως το tBeta αφού είναι στην ουσία η προηγούμενη έκδοση του. Είναι γραμμένο σε C++ και είναι open source με άδεια χρήσης BSD. Ο tracker αυτός χρησιμοποιήθηκε στα πρώτα στάδια της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Περισσότερες πληροφορίες για το Touchlib μπορεί να βρει κάποιος εδώ [49].

2.3.1.2 Clients

Το διαθέσιμο λογισμικό για λήψη των σημείων επαφής από τον εξυπηρετητή και πυροδότηση των κατάλληλων events για χρήση από τον κώδικα της εφαρμογής πολλαπλής αφής συμπεριλαμβάνει αρκετά διαφορετικά πλαίσια εργασίας και βιβλιοθήκες που βασίζονται σε διαφορετικές γλώσσες προγραμματισμού. Πιο κάτω παραθέτω μερικά από τα πιο σημαντικά πλαίσια εργασίας.

Grafiti

Το Grafiti προκύπτει από τα αρχικά Gesture Recognition mAnagement Framework for Interactive Tabletop Interfaces. Είναι ένα cross-platform επεκτάσιμο πλαίσιο εργασίας κτισμένο πάνω σε ένα TUIO client και υποστηρίζει την ανάπτυξη διεπιφανειών αναγνώρισης χειρονομιών (gestures). Είναι γραμμένο σε C# και είναι open source με άδεια χρήσης GPLv3. Περισσότερες πληροφορίες για το Grafiti μπορεί να βρει κάποιος εδώ [18].

PyMT

Το PyMT είναι ένα python module για την ανάπτυξη εφαρμογών πολλαπλής αφής σε OpenGL, βασισμένο στο pyglet. Ο σκοπός του είναι να επιτρέπει τον γρήγορο και εύκολο σχεδιασμό διεπιφανειών και την γρήγορη πρωτοτυποποίηση. Είναι γραμμένο σε Python και είναι open source με άδεια χρήσης GPLv3. Το PyMT ήταν ένα από τα clients που δοκιμάστηκαν κατά την κατασκευή της εφαρμογής για την περιήγηση στα τείχη της Λευκωσίας. Περισσότερες πληροφορίες για το PyMT μπορεί να βρει κάποιος εδώ [41].

TouchPy

Το TouchPy είναι ένα ελαφρύ πλαίσιο εργασίας για πολλαπλή αφή σε Python, το οποίο δεν συνδέεται με καμιά συγκεκριμένη εργαλειοθήκη για GUI. Είναι πολύ απλό στη χρήση και είναι το πιο ευπροσάρμοστο πλαίσιο εργασίας για πολλαπλή αφή σε Python. Είναι γραμμένο σε Python και είναι open source με άδεια χρήσης GPL. Η απλότητα στη χρήση και η ευελιξία του TouchPy ήταν οι λόγοι που με ώθησαν να το επιλέξω ως τον κατάλληλο client για να χρησιμοποιηθεί στην εφαρμογή περιήγησης στα τείχη της Λευκωσίας. Περισσότερες πληροφορίες για το TouchPy μπορεί να βρει κάποιος εδώ [50].

2DCur

Το 2DCur είναι ένα έργο για την πυροδότηση events μέσα από τη λήψη πακέτων TUIO 2DCur. Είναι γραμμένο σε Python και είναι open source με άδεια χρήσης GPLv3. Περισσότερες πληροφορίες για το 2DCur μπορεί να βρει κάποιος εδώ [1].

2.3.2 Λογισμικό Γραφικών

Όπως έχω προαναφέρει και στο Κεφάλαιο 1, το σύστημα πολλαπλής αφής για το Λεβέντειο Μουσείο δεν θα ήταν ολοκληρωμένο χωρίς την ανάπτυξη της κατάλληλης εφαρμογής για ρεαλιστική απεικόνιση και αλληλεπίδραση με τα τρισδιάστατα μοντέλα των τειχών της Λευκωσίας.

Στις μέρες μας ευτυχώς υπάρχουν πολλά πλαίσια εργασίας για ανάπτυξη ποιοτικών εφαρμογών τρισδιάστατων γραφικών, τα οποία αφαιρούν την αχρείαστη πολυπλοκότητα των low – level βιβλιοθηκών γραφικών OpenGL και DirectX και επιτρέπουν στον προγραμματιστή να ασχοληθεί με την λογική της εφαρμογής του διασφαλίζοντας ρεαλιστική απεικόνιση σε πραγματικό χρόνο.

Τα πιο δημοφιλή πλαίσια εργασίας είναι τα game engines, τα rendering engines και οι γράφοι σκηνής. Τα game engines χρησιμοποιούνται για ανάπτυξη ολοκληρωμένων παιχνιδιών και επομένως περιλαμβάνουν και βιβλιοθήκες ήχου, εισόδου κτλ. Από την άλλη, τα rendering engines και οι γράφοι σκηνής προσφέρουν μόνο δυνατότητες απεικόνισης.

2.3.2.1 Panda3D

Για τις ανάγκες της εφαρμογής για το Λεβέντειο Μουσείο, μελέτησα το δημοφιλές game engine Panda3D [36] και κατέληξα στη χρησιμοποίησή του για την τελική εφαρμογή.

Το Panda3D είναι μια πλήρης μηχανή παιχνιδιών γραμμένη σε C++, κάτι που την κάνει ιδιαίτερα γρήγορη στην απεικόνιση. Οι εφαρμογές σε Panda3D ωστόσο γράφονται εξολοκλήρου σε Python, με ελάχιστες εξαιρέσεις, κάτι που κάνει το Panda3D πολύ εύκολο και γρήγορο στη χρήση, αφού η Python είναι μια απλή και δυνατή γλώσσα προγραμματισμού.

Το Panda3D δημιουργήθηκε από την Disney και για αρκετά χρόνια χρησιμοποιόταν αποκλειστικά για εφαρμογές δικών της παιχνιδιών. Στη συνέχεια όμως η ανάπτυξη και η συντήρηση του συνεχίστηκε από το Πανεπιστήμιο Carnegie Mellon στις Ηνωμένες Πολιτείες και έγινε πλέον open source λογισμικό.

Το Panda3D αποκαλύπτει όλες τις δυνατότητες του υλικού και υποστηρίζει αυτόματη δημιουργία shaders, collision detection, φόρτωση μοντέλων, αναπαραγωγή ήχου και βίντεο, παρακολούθηση της απόδοσης της εφαρμογής και εργαλεία αποσφαλμάτωσης. Επίσης είναι εύκολο στην εγκατάσταση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις πιο απλές μέχρι και για τις πιο προχωρημένες εφαρμογές αφού υποστηρίζει την γλώσσα Cg για shaders. Το σημαντικότερο είναι ότι είναι ένα ώριμο, δοκιμασμένο, ολοκληρωμένο και εύρωστο σύστημα με μια μεγάλη κοινότητα χρηστών πρόθυμων να βοηθήσουν και να συνεργαστούν.

2.4 Υλικό

Στο υποκεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσω μερικά σημαντικά στοιχεία για τα βασικότερα τμήματα του υλικού που χρειάζεται για μια οθόνη πολλαπλής αφής.

2.4.1 Συμβατή Επιφάνεια (Compliant Surface)

Η συμβατή επιφάνεια τοποθετείται πάνω από το ακρυλικό και χρησιμοποιείται μόνο για συστήματα που χρησιμοποιούν τη μέθοδο FTIR. Αυτή η επιφάνεια πρέπει να

αποτελείται από υλικό που έχει ψηλότερο δείκτη ανάκλασης από το ακρυλικό και που θα ‘δένει’ καλά με το ακρυλικό κάτω από πίεση ώστε να προκαλεί το φαινόμενο FTIR, ενώ θα υποχωρεί αμέσως όταν αφαιρεθεί η πίεση. Η συμβατή επιφάνεια μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και ως επιφάνεια προβολής για την εικόνα από τον projector. Το κύριο πλεονέκτημα από τη χρήση της είναι ότι βελτιώνει την επαφή των δάχτυλων του χρήστη με το ακρυλικό και έτσι δίνει πιο εύρωστη ανίχνευση σημείων επαφής, ιδιαίτερα όταν ο χρήστης μετακινεί τα δάχτυλα του πάνω στην επιφάνεια.

Υπάρχει αρκετός πειραματισμός για την ανεύρεση της τέλει συμβατής επιφάνειας. Δυστυχώς δεν υπάρχει κάποια εύκολη μέθοδος που να δίνει ιδανικά αποτελέσματα, αλλά συνήθως εξαρτάται από τη διαδικασία παραγωγής, το υλικό της επιφάνειας και το ακρυλικό.

Δημοφιλή υλικά που χρησιμοποιούνται για παραγωγή συμβατής επιφάνειας είναι το Sorta Clear 40 καθώς και άλλα παρόμοια λάστιχα από σιλικόνη, η σιλικόνη τύπου RTV και υφάσματα όπως το SulkySolvly.

Η αρχική μέθοδος παραγωγής συμβατής επιφάνειας περιλάμβανε την επάλειψη του ακρυλικού με σιλικόνη όπως η Sorta Clear 40 και μετά την τοποθέτηση της επιφάνειας προβολής πάνω από την σιλικόνη μόλις αυτή στέγνωε. Παρά τα πολύ καλά αποτελέσματα που έδινε, ο κίνδυνος με αυτή τη μέθοδο ήταν ότι αν κάτι πήγαινε στραβά κατά την επάλειψη του ακρυλικού με την σιλικόνη, τότε καταστρεφόταν και το ακρυλικό.

Μια πιο ακίνδυνη και πολύ ευκολότερη μέθοδος με πολύ καλά αποτελέσματα είναι η επάλειψη διαλυμένης σιλικόνης RTV (Room Temperature Vulcanization) με ένα ρολό μπογιατίσματος στο κάτω μέρος της επιφάνειας προβολής. Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου πέραν από την προφανή απλότητα της διαδικασίας και την ευκολία ανεύρεσης της κατάλληλης σιλικόνης είναι ότι δεν μας υποχρεώνει να χρησιμοποιήσουμε κάποια ειδική σιλικόνη και δίνει φωτεινότερα blobs. Προβλήματα με αυτή τη μέθοδο είναι ότι επηρεάζεται από το χημικό που χρησιμοποιείται για την διάλυση της σιλικόνης και από το υλικό της επιφάνειας προβολής. Αυτή ήταν και η μέθοδος που χρησιμοποίησα κατά την υλοποίηση της μεθόδου FTIR. Υπάρχουν επίσης και μέθοδοι που χρησιμοποιούν ειδικά υφάσματα, με πολύ μικρότερη επιτυχία όμως.

Συνοψίζοντας, τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η χρήση συμβατής επιφάνειας είναι:

- Προστατεύει το ακρυλικό από γδαρσίματα
- Μπλοκάρει πολύ φως από το περιβάλλον
- Παρέχει εύρωστα αποτελέσματα
- Παρέχει ευαισθησία στην πίεση
- Αντιδρά καλύτερα σε κινήσεις των δαχτύλων
- Έχει ως αποτέλεσμα φωτεινότερα blobs

2.4.2 Projector

Η χρήση projector είναι η μια από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για να παρουσιαστεί η εικόνα σε μια οθόνη πολλαπλής αφής. Η άλλη μέθοδος είναι η χρήση οθόνης LCD η οποία όμως είναι πολύπλοκη και επικίνδυνη, γι'αυτό και επέλεξα να χρησιμοποιήσω τη μέθοδο με το projector.

Υπάρχουν δύο κύρια είδη projector, το DLP και το LCD.

- Το LCD (Liquid Crystal Display) εφαρμόζει την ίδια λογική με τις οθόνες LCD όπου ένας πίνακας από τελείες ανάβουν και σβήνουν. Τέτοια projector δίνουν εικόνα με πολύ ξεκάθαρα και δυνατά χρώματα. Το αρνητικό είναι ότι τείνουν να ξεθωριάζουν μετά από μερικά χρόνια.
- Το DLP (Digital Light Processing) είναι καινούργια τεχνολογία που ανήκει στην εταιρεία Texas Instruments. Δουλεύει με χρήση χιλιάδων μικρών καθρεφτών που κινούνται μπρος-πίσω. Το χρώμα δημιουργείται από ένα τροχό χρωμάτων που γυρίζει. Τέτοια projector έχουν πολύ καλή αντίθεση και είναι μικρά σε μέγεθος. Το αρνητικό είναι ότι έχουν πιο αργή αντίδραση και δημιουργούν το φαινόμενο του ουράνιου τόξου που είναι ενοχλητικό για ορισμένους.

Πιο κάτω παραθέτω ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά τα οποία πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την επιλογή του κατάλληλου projector για μια οθόνη πολλαπλής αφής.

2.4.2.1 Φωτεινότητα

Η φωτεινότητα μετρείται σε lumens. Όσο περισσότερα lumens έχει ένα projector, τόσο πιο φωτεινή εικόνα δίνει. Ενώ αυτό γενικά είναι καλό για συνηθισμένη χρήση, για εφαρμογές τραπεζιών πολλαπλής αφής ίσως είναι πρόβλημα, αφού λόγω του ότι το

projector είναι πολύ κοντά στην οθόνη πιθανόν να εμφανίζεται ένα πολύ φωτεινό σημείο στην οθόνη το οποίο να προκαλεί ζαλάδα στο χρήστη, αν το κοιτάζει για αρκετή ώρα.

2.4.2.2 Απόσταση

Ίσως ο πιο σημαντικός περιοριστικός παράγοντας σε ένα projector είναι η απόσταση που χρειάζεται για να παράξει το μέγεθος εικόνας που χρειαζόμαστε. Συνήθως ένας κανονικός projector δεν μπορεί να δημιουργήσει αρκετά μεγάλη εικόνα από κοντινή απόσταση, επομένως ίσως χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί ένας καθρέφτης για να επεκτείνει το μονοπάτι του φωτός και να μεγαλώσει ουσιαστικά την απόσταση από το φακό του projector μέχρι την επιφάνεια της οθόνης. Ακόμα και με χρήση καθρέφτη όμως ένας projector ίσως να μη δίνει το μέγεθος εικόνας που χρειάζεται. Σε αυτή την περίπτωση η λύση είναι η χρήση ενός ειδικού projector ο οποίος μπορεί να δημιουργήσει μεγάλη εικόνα από πολύ κοντινή απόσταση. Ένας τέτοιος projector ονομάζεται short throw και ήταν η τελική επιλογή για την οθόνη πολλαπλής αφής.

2.4.2.3 Aspect Ratio

Το aspect ratio είναι το πηλίκο του πλάτους της εικόνας που δημιουργεί το projector διά το ύψος της. Ανάλογα και με τον τρόπο που ενώνεται το projector με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή, τα δύο πιθανά aspect ratios είναι το κλασικό 4:3 και το widescreen 16:9. Η οθόνη πολλαπλής αφής που συναρμολόγησα χρησιμοποιεί εικόνα 4:3 από το projector.

2.4.3 Κάμερα

Η κάμερα είναι πολύ σημαντικό τμήμα μιας οθόνης πολλαπλής αφής αφού παίζει κύριο ρόλο στο πόσο διαδραστική θα είναι η οθόνη και πόσο ακριβής θα είναι η ανίχνευση των σημείων επαφής.

Υπάρχουν σήμερα στην αγορά πολλές διαφορετικές κάμερες, από απλές webcams μέχρι εξειδικευμένες κάμερες βιομηχανικής χρήσης. Ανάλογα με το sensor chip που έχουν, οι κάμερες μπορούν να χωριστούν χονδρικά σε:

- Αυτές που χρησιμοποιούν CCD sensor
- Αυτές που χρησιμοποιούν CMOS sensor

Γενικά οι κάμερες με CCD sensor έχουν καλύτερη απόδοση από αυτές με CMOS sensor. Επίσης, ανάλογα με το interface που χρησιμοποιούν για να συνδεθούν με τον υπολογιστή, οι κάμερες μπορούν να χωριστούν σε USB και Firewire. Οι κάμερες Firewire έχουν ορισμένα πλεονεκτήματα έναντι των αντίστοιχων USB, που περιλαμβάνουν υψηλότερο ρυθμό λήψης εικόνων, μεγαλύτερη ανάλυση, ψηλότερο εύρος ζώνης για μεταφορά των εικόνων και λιγότερο φορτίο στον driver αφού χρειάζεται μικρότερη συμπίεση η εικόνα τους. Στη συνέχεια θα αναφέρω τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά τα οποία παίζουν ρόλο στην επιλογή μιας κάμερας για μια οθόνη πολλαπλής αφής.

2.4.3.1 Ρυθμός Λήψης Εικόνων (Frame rate)

Ο ρυθμός λήψης εικόνων από την κάμερα μετρείται σε FPS (Frames Per Second) και είναι αυτός που επηρεάζει και το ρυθμό αναγνώρισης σημείων επαφής, ο οποίος πρέπει βέβαια να είναι αρκετά μεγάλος ώστε η ανταπόκριση της οθόνης να είναι γρήγορη και σε πραγματικό χρόνο. Είναι γι' αυτό το λόγο που ο ρυθμός λήψης εικόνων πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη κατά την επιλογή της κάμερας αφού οτιδήποτε κάτω από 25FPS θα έχει αντίκτυπο στην διαδραστικότητα της οθόνης. Συνήθως η επιλογή μιας κάμερας με 30FPS είναι μια πολύ καλή λύση.

2.4.3.2 Ανάλυση (Resolution)

Επίσης πολύ σημαντικό ρόλο παίζει και η ανάλυση της κάμερας αφού όσο μεγαλύτερη είναι αυτή, τόσο πιο ακριβής είναι και η αναγνώριση των σημείων επαφής. Ουσιαστικά διαιρώντας το μέγεθος της επιφάνειας της οθόνης με τον αριθμό pixels της ανάλυσης της κάμερας βρίσκουμε πόσα pixels αντιστοιχούν σε κάθε σημείο της επιφάνειας της οθόνης.

2.4.3.3 Υπέρυθρο και Ορατό Φίλτρο

Οι απλές webcams μπορούν να δουλέψουν αρκετά καλά για οθόνες πολλαπλής αφής, γι' αυτό και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για απλές και φτηνές λύσεις, πρέπει όμως πρώτα να τροποποιηθούν. Όλες οι κάμερες έχουν ένα sensor chip το οποίο λαμβάνει τα φωτόνια από το περιβάλλον και τα μετατρέπει σε ηλεκτρική τάση δίνοντας ουσιαστικά ως έξοδο μια ψηφιακή εικόνα. Συνήθως όλα τα sensor chips έχουν τη δυνατότητα να

δουν ένα ευρύτερο φάσμα από το ορατό φάσμα του φωτός, το οποίο συμπεριλαμβάνει και το υπέρυθρο φάσμα που μας ενδιαφέρει σε όλες τις μεθόδους κατασκευής οθόνων πολλαπλής αφής.

Το πρόβλημα είναι ότι οι κάμερες από την κατασκευή τους περιλαμβάνουν ένα υπέρυθρο φίλτρο το οποίο μπλοκάρει τις υπέρυθρες ακτίνες και αφήνει να περάσει μόνο το ορατό φάσμα του φωτός. Σε εφαρμογές πολλαπλής αφής μας ενδιαφέρει ακριβώς το αντίθετο αποτέλεσμα, δηλαδή να μπλοκάρουμε το ορατό φως και να αφήσουμε να περάσει μόνο το υπέρυθρο φως. Έτσι χρειάζεται να ανοίξουμε την κάμερα, να εντοπίσουμε το υπέρυθρο φίλτρο το οποίο βρίσκεται μεταξύ του φακού και του sensor chip και να το αφαιρέσουμε. Σε ορισμένες κάμερες το φίλτρο είναι απευθείας μπουγιατισμένο στο φακό οπότε σε αυτές τις περιπτώσεις δυστυχώς δεν μπορεί να αφαιρεθεί.

Στη συνέχεια, αφού αφαιρεθεί το υπέρυθρο φίλτρο χρειάζεται να τοποθετηθεί ένα ορατό φίλτρο στη θέση του υπέρυθρου, το οποίο μπορεί να βρεθεί μόνο σε εξειδικευμένους μεταπωλητές οπτικών φίλτρων. Για σκοπούς απλότητας και κόστους όμως, ένα πρόχειρο φίλτρο μπορεί να κατασκευαστεί από 2 με 3 στρώματα αρνητικών από φιλμ ή από κάποια παλιά δισκέτα.

Μια ακόμα καλύτερη λύση είναι η αγορά κάμερας με ειδικό υπέρυθρο φακό ή η αγορά ενός τέτοιου φακού από κάποιο κατάστημα με κάμερες ασφαλείας. Και πάλι βέβαια χρειάζεται να τοποθετηθεί ένα φίλτρο ορατού φωτός μεταξύ του φακού και του sensor chip της κάμερας.

2.4.3.4 Πεδίο όρασης (Field of View)

Ένα ακόμη πάρα πολύ σημαντικό στοιχείο σε μια κάμερα το οποίο πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη είναι το πεδίο που μπορεί να δει ο φακός της. Στην ιδανική περίπτωση πρέπει ο φακός της κάμερας να μπορεί να δει ολόκληρη την επιφάνεια αφής και τίποτε περισσότερο όταν τοποθετηθεί κάτω από αυτήν σε εφαρμογές τραπεζιών πολλαπλής αφής.

Όμως, λόγω της μικρής διαθέσιμης απόστασης για τοποθέτηση της κάμερας, της μεγάλης σχετικά επιφάνειας αφής, καθώς και του μικρού πεδίου όρασης της κάμερας, πολλές φορές ο φακός της κάμερας δεν μπορεί να καλύψει όλη την επιφάνεια. Σε αυτή

την περίπτωση η πρώτη λύση είναι να αλλαχτεί ο φακός της κάμερας με κάποιο φακό με το κατάλληλο πεδίο όρασης. Εδώ μια σίγουρη επιλογή είναι ο φακός τύπου fish-eye ο οποίος έχει πολύ μεγάλο πεδίο όρασης. Δυστυχώς όμως τέτοιοι φακοί προκαλούν μεγάλο barrel distortion στις άκρες τις εικόνες σε σχέση με τους κανονικούς φακούς και επομένως δυσκολεύουν αφάνταστα την αναγνώριση σημείων επαφής στις άκρες της εικόνας, δηλαδή στις γωνίες της οθόνης αφής.

Αυτό μπορεί να διορθωθεί τοποθετώντας τη κάμερα όσο πιο μακριά γίνεται ώστε να μεταφερθεί το barrel distortion έξω από τα όρια της οθόνης αφής, χάνοντας όμως πολύτιμο resolution από την εικόνα της κάμερας. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί λογισμικό το οποίο διορθώνει την εικόνα και αφαιρεί το barrel distortion, κάτι τέτοιο υπάρχει όμως μόνο στο Touchlib και είναι ιδιαίτερα δύσκολο στη χρήση.

Μια δεύτερη λύση σε περίπτωση που η κάμερα δεν μπορεί να καλύψει όλη την επιφάνεια αφής, είναι να τοποθετηθεί η κάμερα ώστε να βλέπει τον καθρέφτη που χρησιμοποιείται για την προβολή της εικόνας από το projector στην επιφάνεια αφής, μιας και αυτός θα δίνει μια ολοκληρωμένη αλλά μικρότερη εικόνα της επιφάνειας αφής. Αυτή η τεχνική δε φαίνεται να έχει τα καλύτερα αποτελέσματα αφού η κάμερα δεν βλέπει απευθείας το υπέρυθρο φως που διαρρέει από τα σημεία αφής.

Τέλος, μια τρίτη λύση σε περίπτωση που η κάμερα δεν μπορεί να δει όλη την επιφάνεια είναι η χρήση περισσότερων από μια κάμερες. Το πρόβλημα με αυτή τη μέθοδο είναι ότι δημιουργεί περισσότερο φορτίο στον υπολογιστή και είναι δύσκολη η ευθυγράμμιση των εικόνων από τις κάμερες. Από την άλλη όμως δίνει πολύ καλύτερα αποτελέσματα όταν εφαρμοστεί με επιτυχία και αυξάνει ουσιαστικά την ανάλυση της εικόνας που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση σημείων επαφής. Δυστυχώς μια τέτοια λύση δεν είναι ακόμα εφικτή με χρήση των trackers που υπάρχουν, είναι όμως μια δυνατότητα η οποία βρίσκεται υπό ανάπτυξη για τη νέα έκδοση του tBeta.

2.4.4 Πηγή Υπέρυθρου Φωτός

Το υπέρυθρο είναι ένα τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος το οποίο βρίσκεται ακριβώς πέρα από το ορατό φάσμα το οποίο μπορεί να δει το ανθρώπινο μάτι. Το κοντινό στο υπέρυθρο είναι το τμήμα του υπέρυθρου φάσματος το οποίο είναι αόρατο στους ανθρώπους αλλά μπορεί να ανιχνευτεί από τα sensor chips των καμερών. Το

φάσμα αυτό βρίσκεται ανάμεσα στα μήκη κύματος 700nm και 1000nm. Έτσι αποτελεί την καταλληλότερη λύση για τις εφαρμογές μηχανικής όρασης στις οποίες βασίζεται η ανίχνευση πολλαπλής αφής αφού μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε για την ανίχνευση των σημείων επαφής με τις μεθόδους που περιγράφηκαν προηγουμένως σε αυτό το κεφάλαιο χωρίς να είναι ορατό από το χρήστη της οθόνης πολλαπλής αφής. Από την άλλη μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το ορατό φως για την προβολή της εικόνας από τον υπολογιστή στην επιφάνεια αφής χωρίς αυτό να επεμβαίνει στην ανίχνευση.

Για την χρησιμοποίηση υπέρυθρου φωτός για συστήματα πολλαπλής αφής είναι απαραίτητη η χρήση κάποιας πηγής υπέρυθρου φωτός. Οι δύο κύριες κατηγορίες πηγών είναι τα υπέρυθρα laser και τα υπέρυθρα LEDs.

2.4.4.1 Υπέρυθρα Laser

Τα υπέρυθρα laser είναι συσκευές οι οποίες εκπέμπουν μια υπέρυθρη ακτίνα υψηλής ισχύος και χρησιμοποιούνται μόνο στη μέθοδο LLP. Για να χρησιμοποιηθούν όμως απαιτείται η χρήση ενός ειδικού φακού που μετατρέπει την ακτίνα σε επίπεδο και διανέμει την ισχύ της. Τέτοια laser είναι επικίνδυνα για την ανθρώπινη όραση επειδή έχουν υψηλή ισχύ και ένα λάθος μπορεί να προκαλέσει βλάβες στα μάτια αφού μπορεί κάποιος να στρέψει την ακτίνα στα μάτια του χωρίς να τη δει αφού είναι αόρατη. Η χρήση του ειδικού φακού μειώνει τον κίνδυνο αφού διανέμει την ένταση του φωτός, αλλά δεν εξαλείφει το πρόβλημα γι'αυτό και πάντα συστήνεται η χρήση ειδικών προστατευτικών γυαλιών όταν κάποιος χρησιμοποιεί τέτοια laser.

2.4.4.2 Υπέρυθρα LEDs

Τα LEDs (Light Emitting Diodes) είναι όπως λέει και το όνομα τους δίοδοι οι οποίες εκπέμπουν φως όταν περνά διαμέσου τους ηλεκτρικό ρεύμα. Το φως το οποίο εκπέμπουν εξαρτάται από τον τύπο του LED και κυμαίνεται σε όλο το φάσμα του ορατού φωτός αλλά και στο υπέρυθρο φάσμα. Στην περίπτωση μας, μας ενδιαφέρουν τα υπέρυθρα LEDs, τα οποία μπορούν να αγοραστούν σε τρεις διαφορετικές μορφές:

- Απλά LEDs: Αυτά είναι LEDs που πωλούνται από μόνα τους, χωρίς καμιά σύνδεση μεταξύ τους. Είναι μια φτηνή και εύκολη λύση για τη δημιουργία πλαισίου από LEDs για τις μεθόδους FTIR, DSI και LED-LP. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και στη μέθοδο DI, αλλά εκεί προτιμούνται οι illuminators. Απαιτούνται γνώσεις για ηλεκτρική κόλληση και συνδεσμολογία ηλεκτρικών

- Κορδέλες με LEDs: Αυτή είναι η ευκολότερη λύση για κατασκευή πλαισίων από LEDs, αφού είναι έτοιμα καλώδια με εφαρμοσμένα LEDs τα οποία απλά αρκεί να τοποθετηθούν στο ρεύμα για να λειτουργήσουν.
- LED illuminators: Αυτή η λύση χρησιμοποιείται μόνο στις εφαρμογές DI για να φωτίσει το κάτω μέρος της οθόνης και αποτελείται από πολλά LEDs ενωμένα μαζί σε ένα είδος προβολέα ο οποίος αρκεί να ενωθεί με το ρεύμα για να λειτουργήσει. Συνήθως χρησιμοποιούνται τέσσερις τέτοιοι προβολείς για μια οθόνη DI.

Ανάλογα με τον τύπο του LED, αυτό έχει ορισμένα σημαντικά χαρακτηριστικά, όπως το μήκος κύματος του φωτός που εκπέμπει, η τάση και η ένταση του ρεύματος που χρειάζεται, η ισχύς που καταναλώνει, η ένταση του φωτός που εκπέμπει και η γωνία στην οποία εκπέμπει αυτό το φως. Πιο κάτω αναφέρω περισσότερες λεπτομέρειες για τα σημαντικότερα από αυτά.

2.4.4.3 Μήκος κύματος

Το μήκος κύματος για τα LEDs που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές πολλαπλής αφής πρέπει να κυμαίνεται από 780nm μέχρι 940nm. Το φως σε αυτό το πεδίο ανιχνεύεται εύκολα από τις περισσότερες κάμερες και είναι εύκολο να βρεθεί κάποιο φίλτρο για το ορατό φως, που θα αφήνει να περάσει το υπέρυθρο φως από τα LEDs. Όσο πιο χαμηλό είναι το μήκος κύματος τόσο πιο ευαίσθητη θα είναι η κάμερα σε αυτό και άρα θα ανιχνεύει πιο εύκολα τα σημεία επαφής ή ακόμα και την πίεση.

2.4.4.4 Ένταση Φωτός

Η ελάχιστη ένταση φωτός για τα LEDs ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές πολλαπλής αφής είναι 80mW. Το ιδανικό είναι τα LEDs να έχουν όσο το δυνατό μεγαλύτερη ένταση φωτός.

2.4.4.5 Γωνία

Τα LEDs εκπέμπουν το φως τους σε ένα κωνικό σχήμα. Το εύρος της γωνίας αυτού του κώνου έχει τεράστια σημασία για τα συστήματα πολλαπλής αφής. Για τη μέθοδο FTIR,

οποιαδήποτε γωνία μικρότερη των ± 48 μοιρών δε θα εκμεταλλεύεται πλήρως το φαινόμενο της ολικής εσωτερικής ανάκλασης ενώ οποιαδήποτε γωνία μεγαλύτερη των ± 48 μοιρών θα αποδρά από το ακρυλικό. Για να βεβαιωθούμε ότι καλύπτουμε αρκετά το ακρυλικό μπορούμε να αγοράσουμε LEDs με γωνία πάνω από ± 48 μοίρες, οτιδήποτε πάνω από ± 60 μοίρες όμως είναι σπατάλη φωτός.

Για τη μέθοδο DI είναι λογικό ότι τα LEDs με ευρεία γωνία είναι τα καλύτερα. Όσο πιο μεγάλη είναι η γωνία των LEDs, τόσο ευκολότερο είναι να πετύχουμε τον ομοιόμορφο φωτισμό που απαιτείται από τη μέθοδο αυτή. Φυσικά όταν χρησιμοποιούμε διαφανές πλαστικό και στρέφουμε τα LEDs κατευθείαν πάνω του δημιουργούνται προβλήματα με πολύ φωτεινά σημεία λόγω ανάκλασης του φωτός από τα LEDs στο κάτω μέρος της επιφάνειας του πλαστικού, που εκλαμβάνονται λανθασμένα από το λογισμικό ανίχνευσης ως σημεία αφής.

Για να εξαλειφθεί αυτό το πρόβλημα η πιο απλή λύση είναι να αντικαταστήσουμε το διαφανές πλαστικό με πλαστικό ματ που θα χρησιμοποιείται εύκολα και ως διαχυτική επιφάνεια και συνάμα ως επιφάνεια προβολής για τη μέθοδο DI. Μια πιο πολύπλοκη μέθοδος απαιτεί να στρέψουμε τα LEDs προς τα τοιχώματα του κουτιού που περικλείει την οθόνη πολλαπλής αφής ώστε να ανακλαστεί και να κατανεμηθεί ομοιόμορφα το υπέρυθρο φως στα τοιχώματα μέχρι να φτάσει στην επιφάνεια αφής. Επίσης προτείνεται η χρήση επαγγελματικού φίλτρου ορατού φωτός και όχι ενός πρόχειρου φίλτρου από αρνητικά φιλμ ή δισκέτες.

Κεφάλαιο 3

Προηγούμενη Εργασία

3.1	Γενικά	36
3.2	Προηγούμενη Εργασία σε Τεχνολογίες Πολλαπλής Αφής	36
3.3	Τεχνολογίες Πολλαπλής Αφής σε Μουσειακούς Χώρους	51

3.1 Γενικά

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσω ορισμένες σημαντικές προηγούμενες εργασίες που έχουν άμεση σχέση με τα θέματα με τα οποία ασχολείται η παρούσα διπλωματική εργασία. Όπως έχω ήδη αναφέρει στο Κεφάλαιο 1, ο βασικός τομέας έρευνας κατά τη διάρκεια της εργασίας ήταν οι τεχνολογίες πολλαπλής αφής καθώς και η χρήση τους σε εφαρμογές πολιτιστικής κληρονομιάς μέσα σε μουσεία. Επομένως, στη συνέχεια του κεφαλαίου θα παρουσιάσω πρώτα ορισμένες σημαντικές εργασίες ως μια ιστορική αναδρομή στις τεχνολογίες πολλαπλής αφής και στη συνέχεια θα αναφέρω ορισμένες σημαντικές εφαρμογές των τεχνολογιών πολλαπλής αφής σε μουσειακούς χώρους.

3.2 Προηγούμενη Εργασία σε Τεχνολογίες Πολλαπλής Αφής

Παρά το γεγονός ότι οι οθόνες πολλαπλής αφής και γενικότερα η τεχνολογία πολλαπλής αφής έχουν γίνει αντικείμενο έρευνας για την ακαδημαϊκή κοινότητα από το 1982 [29], η ευρεία χρήση τους υπήρξε αρκετά περιορισμένη εξαιτίας κυρίως της διαθεσιμότητας και του κόστους της τεχνολογίας. Η κατάσταση σήμερα έχει βέβαια αλλάξει με την κυκλοφορία του iPhone της Apple [3] και της σημαντικής έρευνας του Jefferson Han στο Πανεπιστήμιο της Νέας Υόρκης [19]. Έτσι, έχουμε φτάσει σε ένα σημείο όπου η οθόνη πολλαπλής αφής αναδύεται ξαφνικά από την αφάνεια των τελευταίων 25 χρόνων, ως μια από τις πιο καινοτόμες και πιθανότατα επαναστατικές συσκευές αλληλεπίδρασης με τον υπολογιστή από την εποχή της ανακάλυψης της γραφικής διεπιφάνειας χρήστη [21]. Ορισμένα σημαντικά χρονικά σημεία στην ιστορία των οθονών πολλαπλής αφής αποτελούν οι ακόλουθες εργασίες, σύμφωνα με το [8].

1972: PLATO IV Touch Screen Terminal (Computer-based Education Research Laboratory, University of Illinois, Urbana-Champaign)

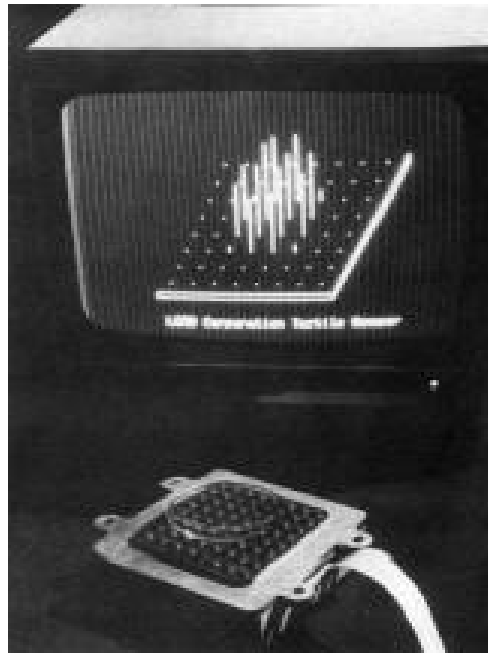
Οι οθόνες αφής άρχισαν να αναπτύσσονται στο δεύτερο μισό της δεκαετίας του 60. Οι πρώτες έρευνες έγιναν στην IBM, το Πανεπιστήμιο του Ιλλινόις και το Πανεπιστήμιο της Οττάβα. Μέχρι το 1971 είχαν ανακαλυφθεί ένας αριθμός από διαφορετικές τεχνολογίες. Όλες μπορούσαν να ανιχνεύσουν μόνο ένα σημείο αφής και δεν μπορούσαν να ανιχνεύσουν πίεση. Από τα πρώτα γνωστά συστήματα αφής ήταν το τερματικό για το PLATO IV [39], που ήταν ένα υπολογιστικό σύστημα υποβοήθησης της διδασκαλίας. Εκτός από τη χρήση της αφής, έγινε διάσημο για την ανακάλυψη της επίπεδης οθόνης πλάσμα. Η τεχνολογία αφής που χρησιμοποιούσε ήταν πρόγονος της υπέρυθρης τεχνολογίας που υπάρχει ακόμα σήμερα στο CarrolTouch [11]. Η αρχική υλοποίηση του συστήματος είχε ένα πίνακα με 16 x 16 σημεία ευαίσθητα στην αφή.



Σχήμα 2.1 Το PLATO IV

1981: Tactile Array Sensor for Robotics (Jack Rebman, Lord Corporation)

Ένας αισθητήρας πολλαπλής αφής που σχεδιάστηκε για εφαρμογές ρομποτικής για να υποβοηθήσει την ανίχνευση σχήματος, προσανατολισμού κτλ. Αποτελείτο από ένα πίνακα 8 x 8 αισθητήρες σε ένα τετράγωνο pad 10cm x 10cm. Η χρήση του περιγράφεται στο [55]. Το Σχήμα 2.2 δείχνει μια απεικόνιση της τοποθέτησης ενός στρογγυλού αντικειμένου πάνω στον αισθητήρα ο οποίος φαίνεται στο κάτω μέρος της εικόνας. Το σύστημα έχει καταχωρηθεί ως αμερικανική πατέντα του Jack Rebman το 1985.



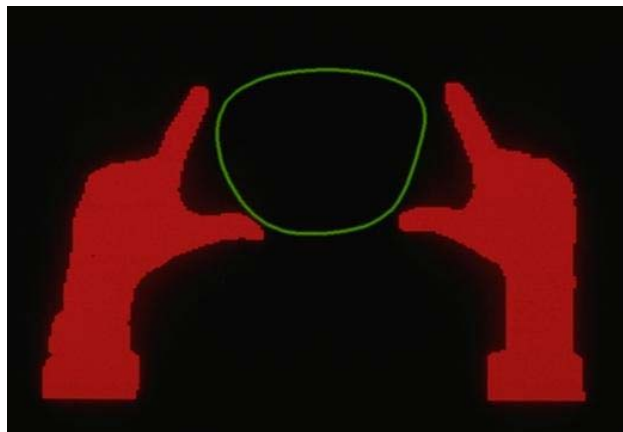
Σχήμα 2.2 Tactile Array Sensor

1982: Flexible Machine Interface (Nimish Mehta, University of Toronto) [29]

Πρόκειται για το πρώτο σύστημα πολλαπλής αφής σύμφωνα με πολλούς. Ήταν ουσιαστικά ένα επίπεδο γυαλί το οποίο είχε τέτοιες οπτικές ιδιότητες ώστε αν το έβλεπε μια κάμερα από πίσω εμφανιζόταν μια μαύρη τελεία πάνω σε ένα άσπρο φόντο, σε κάθε σημείο που ακουμπούσε ένα δάχτυλο, της οποίας το μέγεθος εξαρτόταν από την πίεση του δαχτύλου. Με χρήση απλής επεξεργασίας εικόνας αυτή η συσκευή έδινε τη δυνατότητα για είσοδο πολλαπλής αφής για εφαρμογές όπως ζωγραφική κτλ. Για πρώτη φορά τέθηκε και το θέμα χρήσης projector για παραγωγή της εικόνας πάνω στην επιφάνεια πολλαπλής αφής.

1983: Video Place / Video Desk (Myron Krueger) [25]

Ένα σύστημα βασισμένο σε μηχανική όραση που ανίχνευε τα χέρια και επέτρεπε αλληλεπίδραση από πολλαπλά δάχτυλα, χέρια και ανθρώπους χρησιμοποιώντας ένα ευρύ φάσμα χειρονομιών (gestures). Υλοποιήθηκε με διαφορετικές μορφές όπως τραπέζι και τοίχος. Δεν ανίχνευε ουσιαστικά την αφή αλλά βασιζόταν στην αναγνώριση της πόζας του ανθρώπου για να πυροδοτήσει ενέργειες στον υπολογιστή. Είναι ίσως από τις πρωτοπόρες εργασίες σε θέματα πλούσιας αλληλεπίδρασης μέσω χειρονομιών και χωρίς γάντια, στυλό κτλ. Η εργασία αυτή ήταν πολύ προχωρημένη για την εποχή της και επηρέασε πολλή από τη μετέπειτα έρευνα αφού περιείχε πολλές από τις χειρονομίες που εμφανίζονται σήμερα σε συστήματα τελευταίας τεχνολογίας.



Σχήμα 2.3 Το σύστημα Video Place

1984: Multi-Touch Screen (Bob Boie, Bell Labs, Murray Hill NJ)

Είναι ίσως η πρώτη οθόνη πολλαπλής αφής που χρησιμοποιούσε τεχνολογία πυκνωτών, με ένα διαφανή πίνακα από αισθητήρες αφής τοποθετημένο πάνω από μια οθόνη CRT. Ο χρήστης μπορούσε να χειρίζεται γραφικά αντικείμενα με τα δάχτυλα και η οθόνη είχε εξαιρετικό χρόνο απόκρισης. Παρόμοια εργασία έγινε και από τον Leonard Kasday την ίδια εποχή στα Bell Labs, χρησιμοποιούσε όμως οπτικές τεχνικές.

1985: Multi-Touch Tablet (Input Research Group, University of Toronto) [27]

Το Input Research Group στο Πανεπιστήμιο του Τορόντο ανέπτυξε ένα tablet αφής ικανό να ανιχνεύει τη θέση αλλά και το βαθμό ελευθερίας για ένα αριθμό από ταυτόχρονα σημεία αφής. Το σύστημα χρησιμοποιούσε τεχνολογία πυκνωτών αντί για οπτική ανίχνευση έτσι ήταν πολύ πιο λεπτό και πιο απλό από συστήματα που βασίζονταν σε ανίχνευση από κάμερα.



Σχήμα 2.4 Το multi-touch tablet από το Πανεπιστήμιο του Τορόντο

1985: Sensor Frame (Carnegie Mellon University) [28]

Πρόκειται για μια συσκευή που χρησιμοποιούσε οπτικούς αισθητήρες στην γωνίες ενός πλαισίου για να ανιχνεύει δάχτυλα. Μπορούσε να ανιχνεύσει μέχρι και τρία δάχτυλα

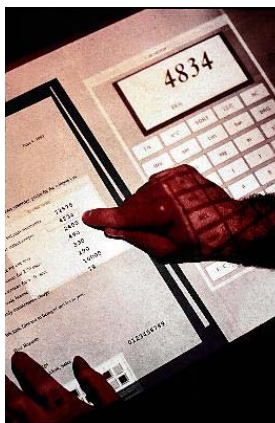
και ήταν αρκετά αξιόπιστο ωστόσο υπήρχε περιθώριο για λάθος ανίχνευση λόγω της οπτικής τεχνολογίας που χρησιμοποιούσε. Σε μια μετέπειτα παραλλαγή, το Sensor Cube, μπορούσε επίσης να ανιχνεύσει και τη γωνία των δαχτύλων ως προς την οθόνη.



Σχήμα 2.5 Το Sensor Frame

1991: Digital Desk (Pierre Wellner, Rank Xerox EuroPARC, Cambridge) [51]

Ένα από τα πρώτα συστήματα εμπρόσθιας προβολής τύπου τραπεζιού που χρησιμοποιούσε οπτικές και ακουστικές τεχνικές για να ανιχνεύει χέρια και δάχτυλα αλλά και συγκεκριμένα αντικείμενα και δεδομένα. Εισήγαγε αρκετές από τις αρχές πολλαπλής αφής που χρησιμοποιούνται σήμερα όπως την κλιμάκωση και μετακίνηση γραφικών αντικειμένων με χρήση δύο δαχτύλων.



Σχήμα 2.6 Το σύστημα Digital Desk

1992: Flip Keyboard (Bill Buxton, Xerox PARC) [9]

Πρόκειται για ένα pad πολλαπλής αφής εφαρμοσμένο στο κάτω μέρος ενός πληκτρολογίου. Γυρίζοντας το πληκτρολόγιο ο χρήστης έχει πρόσβαση στο pad για να ελέγχει τις εφαρμογές του υπολογιστή με χειρονομίες.



Σχήμα 2.7 Το Flip Keyboard σε χρήση σε εφαρμογή σύνθεσαιζερ ήχου

1992: Simon (IBM & Bell South)

Αυτή τη χρονιά η IBM και η Bell South κυκλοφορούν το πρώτο smart phone στον κόσμο, το Simon. Όπως και το iPhone που κυκλοφορεί σήμερα, βασιζόταν σε μια διεπιφάνεια αφής. Παρά το γεγονός ότι ήταν συσκευή απλής αφής, το Simon έθεσε τις βάσεις για πολλές από τις αρχές που βλέπουμε σήμερα να εφαρμόζονται σε κινητές συσκευές αφής.



Σχήμα 2.8 Το κινητό τηλέφωνο Simon

1992: Wacom (Japan)

Το 1992 η ιαπωνική εταιρεία Wacom παρουσίασε μια σειρά από tablets ψηφιοποίησης με όνομα UD. Αυτά τα tablets ήταν μοναδικά επειδή είχαν δυνατότητα αντίχρευσης

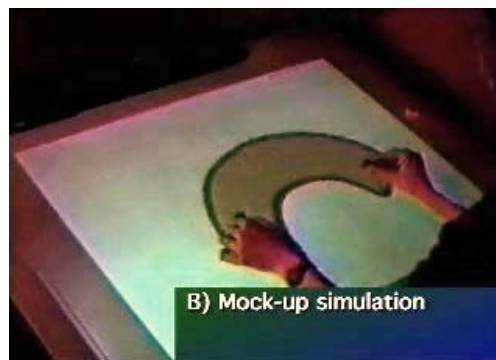
πολλαπλών σημείων αφής. Οι επόμενες δύο γενιές αυτών των tablets, τα Intuos 1 (1998) και τα Intuos 2 (2001) επέκτειναν αυτή τη δυνατότητα με ανίχνευση της γωνίας του στυλού αφής και της πίεσης στο σημείο αφής. Συνολικά επέτρεπαν 10 βαθμούς ελευθερίας για ένα χρήστη που χρησιμοποιούσε και τα δύο του χέρια.



Σχήμα 2. 9 Τα tablets της Wacom

1995: Graspable/Tangible Interfaces (Input Research Group, University of Toronto) [16]

Εισήγαγε την αρχή και αργότερα την υλοποίηση της ανίχνευσης της ταυτότητας, τοποθεσίας και περιστροφής πολλαπλών φυσικών συσκευών πάνω σε μια ψηφιακή οθόνη και της χρήσης τους για τον έλεγχο γραφικών αντικειμένων. Το μετέπειτα άρθρο της εργασίας εισήγαγε την έννοια του graspable ή tangible computing.



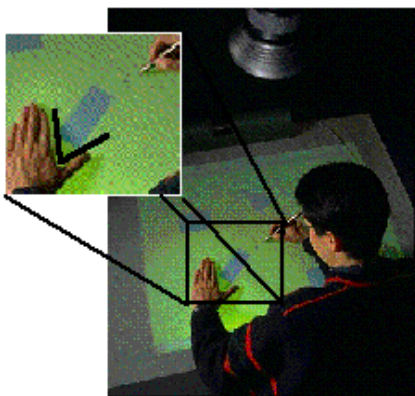
Σχήμα 2.10 Το σύστημα που αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο του Τορόντο

1995: DSI Datotech (Vancouver BC)

Το 1995 η εταιρεία DSI Datotech δημιούργησε ένα tablet αφής, το HandGear, ικανό να ανιχνεύει πολλαπλά σημεία αφής. Επίσης ανέπτυξε ένα λογισμικό πακέτο, το Gesture Recognition Technology (GRT) για αναγνώριση χειρονομιών. Η εταιρεία έκλεισε το 2002.

1995/97: Active Desk (Input Research Group / Ontario Telepresence Project, University of Toronto) [10]

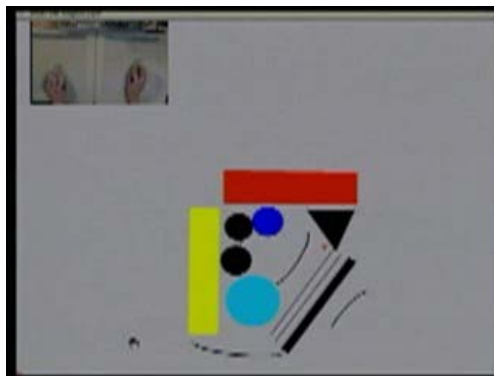
Γύρω στο 1992 η ομάδα του Bill Buxton δημιούργησε ένα γραφείο που είχε μια οθόνη οπίσθιας προβολής της οποίας η επιφάνεια ήταν ένα διαφανές ψηφιακό tablet που ελεγχόταν από ένα stylus. Το stylus μετακινόταν από το ένα χέρι του χρήστη. Πριν το 1995 τοποθέτησαν μια κάμερα πάνω από το γραφείο, που ανίχνευε το άλλο χέρι του χρήστη πάνω στην επιφάνεια του τραπέζιού, καθώς και την γωνία του αντίχειρα και του δείκτη αυτού του χεριού. Έτσι ο χρήστης μπορούσε με αυτό το χέρι να πιάνει και να διαχειρίζεται αντικείμενα ανάλογα με το πάνω από πιο αντικείμενο βρισκόταν το χέρι και ανοιγοκλείνοντας τη λαβή του για να πιάσει και να αφήσει ένα αντικείμενο.



Σχήμα 2.11 Το σύστημα Active Desk

1997: T3 (Alias|Wavefront, Toronto) [26]

Το T3 ήταν ένα σύστημα βασισμένο σε tablet που εφάρμοσε ένα αριθμό τεχνικών που χρησιμοποιούνται σήμερα σε οθόνες πολλαπλής αφής. Τέτοιες τεχνικές περιλαμβάνουν την κλιμάκωση και περιστροφή αντικειμένων με χρήση δύο δαχτύλων. Το ενδιαφέρον είναι ότι ο χρήστης μπορούσε να συνδυάσει τις τεχνικές, για παράδειγμα μετακινώντας και περιστρέφοντας ταυτόχρονα κάποιο αντικείμενο.



Σχήμα 2.12 Το T3

1998: Tactex Controls (Victoria BC) [45]

Η εταιρεία αυτή δημιούργησε ένα controller με την τεχνολογία Kinotex το 1998. Αυτός ο controller χρησιμοποιήθηκε στο MTC Express το 2000.

1998: Fingerworks (Newark, Delaware) [15]

Η Fingerworks είναι εταιρεία η οποία δημιούργησε μια σειρά από tablets με ικανότητες πολλαπλής αφής, που υποστήριζαν μια πλούσια βιβλιοθήκη από χειρονομίες. Ιδρύθηκε από δύο ακαδημαϊκούς του Πανεπιστημίου του Delaware, τον John Elias και τον Wayne Westerman. Τα προϊόντα της βασίστηκαν στο PhD thesis του Westerman [52]. Η εταιρεία αποκτήθηκε το 2005 από την Apple, οι δύο ιδρυτές της μετακόμισαν στην Apple και η τεχνογνωσία τους οδήγησε στο multi-touch pad του Macbook Air, του iPod Touch και του iPhone [3].



Σχήμα 2.13 Το iGesture Pad της FingerWorks

1999: Portfolio Wall (Alias|Wavefront, Toronto On, Canada)

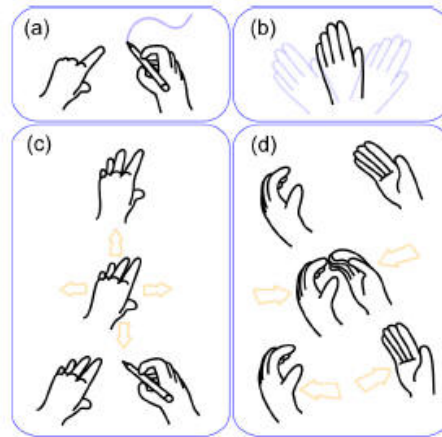
Πρόκειται για ένα προϊόν βασισμένο σε ένα τοίχο αφής στον οποίο μπορούσαν να παρουσιαστούν εικόνες. Λόγω της τότε διαθέσιμης τεχνολογίας, το προϊόν δεν επέτρεπε πολλαπλή αφή, όμως λειτουργούσε εξολοκλήρου με χειρονομίες με ένα σημείο αφής. Για παράδειγμα για να παρουσιαστεί η επόμενη εικόνα από μια σειρά εικόνων, ο χρήστης έπρεπε να σύρει το δάχτυλο του προς τα δεξιά. Το αντίθετο γινόταν για να πάει στην προηγούμενη εικόνα. Τέτοιες χειρονομίες χρησιμοποιήθηκαν και στο iPhone της Apple [3] ύστερα από μερικά χρόνια.



Σχήμα 2.14 Το Portfolio Wall σε χρήση

2001: Diamond Touch (Mitsubishi Research Labs, Cambridge MA) [13, 14]

Δημιουργήθηκε από τα Mitsubishi Research Labs και είναι ένα παράδειγμα οθόνης πολλαπλής αφής ικανής να αναγνωρίζει τα δάχτυλα του κάθε χρήστη καθώς και τη θέση και την πίεση τους. Χρησιμοποιεί τεχνολογία πυκνωτών.



Σχήμα 2.15 Σχεδιάγραμμα των χειρονομιών που υποστηρίζει το DiamondTouch

2002: SmartSkin (Jun Rekimoto, Sony Computer Science Labs-Tokyo) [43]

Το SmartSkin είναι μια αρχιτεκτονική για δημιουργία διαδραστικών επιφανειών ευαίσθητων στην αφή και τις ανθρώπινες χειρονομίες. Αυτός ο αισθητήρας αναγνωρίζει τη θέση και σχήμα περισσότερων του ενός χεριών, καθώς και την απόσταση μεταξύ των χεριών και της επιφάνειας αφής, χρησιμοποιώντας τεχνολογία πυκνωτών. Σε αντίθεση με συστήματα βασισμένα σε μηχανική όραση, δεν έχει προβλήματα φωτισμού και απόκρυψης.



Σχήμα 2.16 Το SmartSkin

2003: University of Toronto (Toronto) [56]

Αυτό το άρθρο του 2003 παρουσιάζει ένα αριθμό από τεχνικές για αλληλεπίδραση με πολλαπλή αφή, πολλαπλά χέρια και πολλαπλούς χρήστες σε μια μόνο διαδραστική επιφάνεια.



Σχήμα 2.17 Το σύστημα που παρουσιάστηκε στο πιο πάνω άρθρο

2003: Jazz Mutant (Bordeaux France) [23]

Μια από τις πρώτες διάφανες συσκευές πολλαπλής αφής, ίσως το πρώτο εμπορικό προϊόν πολλαπλής αφής. Χρησιμοποιήθηκε για το Lemur, ένα μουσικό controller.



Σχήμα 2.18 Το Jazz Mutant

2004: TouchLight (Andy Wilson, Microsoft Research) [54]

Μια οθόνη αφής με οπίσθια προβολή, που με την κατάλληλη επεξεργασία εικόνας μετατρέπει ένα συνηθισμένο κομμάτι πλαστικό σε μια επιφάνεια κατάλληλη για αλληλεπίδραση βασισμένη σε χειρονομίες. Η επιφάνεια αυτή είναι ικανή να ανιχνεύει πολλαπλά δάχτυλα και χέρια, ενός ή πολλών χρηστών. Αφού το πλαστικό είναι διαφανές, οι κάμερες που βρίσκονται από πίσω του μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για τη σάρωση χάρτινων εγγράφων που τοποθετούνται πάνω στην οθόνη



Σχήμα 2.19 Το TouchLight

2005: PlayAnywhere (Andy Wilson, Microsoft Research) [53]

Πρόκειται για ένα διαδραστικό σύστημα τραπεζιού βασισμένο σε εμπρόσθια προβολή και μηχανική όραση. Η συμβολή του στην έρευνα για την πολλαπλή αφή ήταν η ικανότητα ανίχνευσης και αναγνώρισης αντικειμένων εκτός από απλή αφή. Χρησιμοποιεί ένα βελτιωμένο αλγόριθμο αναγνώρισης αφής βασισμένο σε σκιές για την ανίχνευση τόσο των δάχτυλων και χεριών όσο και αντικειμένων. Τα αντικείμενα μπορούν να αναγνωριστούν χρησιμοποιώντας ένα γρήγορο και απλό αλγόριθμο για bar codes. Έτσι το σύστημα υποστηρίζει το λεγόμενο graspable/tangible computing. Μπορεί επίσης να ανιχνεύσει συγκεκριμένα αντικείμενα όπως για παράδειγμα ένα κομμάτι χαρτί ή ένα κινητό τηλέφωνο και να προσφέρει την ανάλογη λειτουργικότητα.



Σχήμα 2.20 To PlayAnywhere

2005: Jefferson Han (New York University) [12, 19, 20]

Υλοποίησε ένα αριθμό τεχνικών για οθόνες πολλαπλής αφής, πάνω σε επιφάνειες τραπεζιού με οπίσθια προβολή, με πιο σημαντική την FTIR (Frustrated Total Internal Reflection). Το 2006 δημιούργησε την εταιρεία Perceptive Pixel [38] για να αναπτύξει περαιτέρω την τεχνολογία του στον ιδιωτικό τομέα.



Σχήμα 2.21 Μια από τις οθόνες του Jeff Han

2005: Toshiba Matsusita Display Technology (Tokyo) [47]

Το 2005 οι δύο εταιρείες Toshiba - Matsusita ανακοίνωσαν και παρουσίασαν την πρωτότυπη οθόνη LCD με την νέα τεχνολογία Finger Shadow Sensing Input. Είναι ένα από τα πρώτα παραδείγματα τεχνολογίας LCD ικανής να χρησιμοποιηθεί και για είσοδο εκτός από έξοδο αφού τα pixels μπορούν να ανιχνεύσουν αν υπάρχει σκιά πάνω από αυτά σε οποιοδήποτε σημείο της οθόνης, επιτρέποντας να ανιχνευτούν πολλαπλά σημεία αφής χωρίς έξτρα εξοπλισμό, με ένα πολύ γρήγορο και φτηνό τρόπο.



Σχήμα 2.22 Η οθόνη των Toshiba – Matsusita

2005: Tomer Moscovich & collaborators (Brown University) [31]

Σε αυτό το άρθρο του 2005 περιγράφεται μια απλή διεπιφάνεια για το animation δισδιάστατων σχεδίων με χρήση πολλαπλής αφής.



Σχήμα 2.23 Το σύστημα των Moscovich et al

2006: Benko & collaborators (Columbia University & Microsoft Research) [5]

Σε αυτό το άρθρο του 2006 περιγράφονται μερικές τεχνικές για πιο ακριβή δεικτοδότηση και επιλογή σε οθόνες πολλαπλής αφής. Ουσιαστικά λόγω του μεγάλου

μεγέθους των ανθρώπινων δαχτύλων είναι δύσκολο ακόμα και σε μεγάλες οθόνες αφής να επιλέξει ο χρήστης ακριβώς το σημείο που θέλει. Οι συγγραφείς προτείνουν μερικές τεχνικές για βελτίωση της ακρίβειας σε τέτοιες περιπτώσεις.



Σχήμα 2.24 Το σύστημα των Benko et al

2006: Synaptics & Pilotfish (San Jose) [35]

Το 2006 οι εταιρείες Synaptics και Pilotfish σχημάτισαν κοινοπραξία για ανάπτυξη του Onyx, ενός κινητού τηλεφώνου πολλαπλής αφής χρησιμοποιώντας ένα διαφανή αισθητήρα αφής από την Synaptics. Το τηλέφωνο αυτό μπορεί να ανιχνεύσει το μέγεθος του σημείου επαφής και έτσι μπορεί να ανιχνεύσει και τη διαφορά ανάμεσα στο δάχτυλο και το μάγουλο του χρήστη. Επομένως δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να απαντήσει μια εισερχόμενη κλήση απλά κρατώντας το κινητό στο μάγουλο του.



Σχήμα 2.25 Το Onyx

2007: Apple iPhone [3]

Όπως και το Simon πιο πάνω είναι ένα smart phone που δημιουργήθηκε από την Apple και βασίζεται σε διεπιφάνεια αφής, ενώ έχει και δυνατότητα πολλαπλής αφής. Έκανε επανάσταση στο χώρο των smart phones μόλις πρωτοκυκλοφόρησε. Αυτό οφείλεται στον εξαιρετικό σχεδιασμό του και την πολύ ομαλή αλληλεπίδραση που προσφέρει. Χρησιμοποιεί πολλές από τις ιδέες που παρουσιάστηκαν προηγουμένως όπως η δουλειά του Myron Krueger σε χειρονομίες κλιμάκωσης καθώς και οι χειρονομίες συρσίματος του Portfolio Wall. Παρά τη δυνατότητα πολλαπλής αφής που παρείχε, το ίδιο το

πληκτρολόγιο του δεν είχε δυνατότητα πολλαπλής αφής μόλις πρωτοκυκλοφόρησε. Αυτό ενσωματώθηκε ένα χρόνο μετά την αρχική κυκλοφορία του.



Σχήμα 2.26 Το iPhone της Apple

2007: Microsoft Surface Computing [30]

Το Microsoft Surface είναι μια διαδραστική επιφάνεια τραπεζιού, ικανή να ανιχνεύει πολλαπλά δάχτυλα και χέρια, καθώς και διάφορα αντικείμενα και τη θέση τους πάνω στην επιφάνεια. Η εμπορική του υλοποίηση από την Microsoft άρχισε το 2001 από τον Andy Wilson και τον Steve Bathiche. Σημαδεύει τη μετάβαση της τεχνολογίας πολλαπλής αφής από την έρευνα και την ανάπτυξη πρωτοτύπων προς τις εμπορικές εφαρμογές.



Σχήμα 2.27 Το Microsoft Surface

2007: ThinSight, Microsoft Research Cambridge (UK) [22]

Το Thinsight είναι τεχνολογία πολλαπλής αφής με ελάχιστο πάχος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί με οθόνες LCD, καθιστώντας την κατάλληλη για χρήση για παράδειγμα σε laptops. Χρησιμοποιεί οπτική τεχνολογία, έτσι είναι ικανή να ανιχνεύσει δάχτυλα όσο και αντικείμενα.



Σχήμα 2.28 Εφαρμογή του ThinSight

2008: N-trig [33]

Πρόκειται για ένα αισθητήρα πολλαπλής αφής που μπορεί να ανιχνεύσει δάχτυλα και στυλό ταυτόχρονα. Αντίθετα με άλλους αισθητήρες πολλαπλής αφής, το N-trig έχει αισθητήρα αφιερωμένο στην ανίχνευση στυλό, ώστε να παρέχει καλύτερη ανίχνευση στυλό. Ο αισθητήρας αυτός έχει χρησιμοποιηθεί στα πρώτα laptops με δυνατότητα πολλαπλής αφής τα οποία κυκλοφόρησαν πρόσφατα, όπως είναι το Dell Latitude XT και το HP TouchSmart, το οποίο υπάρχει και σε desktop εκδόσεις. Η τεχνολογία που χρησιμοποιεί μπορεί να εφαρμοστεί και σε μεγαλύτερες μορφές, όπως για παράδειγμα σε μορφή τραπεζιού.



Σχήμα 2.29 Το N-trig

3.3 Τεχνολογίες Πολλαπλής Αφής σε Μουσειακούς Χώρους

Η εφαρμογή των τεχνολογιών πολλαπλής αφής στο περιβάλλον ενός μουσείου προσφέρει πολλές προοπτικές για δημιουργία καινοτομικών και διαδραστικών μουσειακών εκθεμάτων. Τα τελευταία χρόνια τέτοιες τεχνολογίες έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία σε διάφορα μουσεία σε όλο τον κόσμο. Στη συνέχεια παραθέτω ορισμένα αξιοσημείωτα εκθέματα που χρησιμοποιούν διεπιφάνεια πολλαπλής αφής, σύμφωνα με το [17].

etx

Το etx είναι ένα σύστημα εξερεύνησης της τέχνης που χρησιμοποιεί το σύστημα PercepTable, που αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο της Ιντιάνα. Είναι εγκατεστημένο στο Indianapolis Museum of Art.

Asia Society and Museum display

Πρόκειται για ένα μόνιμο έκθεμα στα κεντρικά γραφεία του Asia Society and Museum στη Νέα Υόρκη, το οποίο δίνει στους επισκέπτες τη δυνατότητα να εξερευνήσουν έξι πτυχές της Ασιατικής κουλτούρας.

Churchill Lifeline

Το Churchill Lifeline είναι ένα μόνιμο, κεντρικό έκθεμα στο Churchill Museum and Cabinet War Rooms στο Λονδίνο. Πρόκειται για ένα εμπρόσθιας προβολής τραπέζι μήκους 40 ποδών το οποίο περιέχει περιλήψεις των σημαντικών γεγονότων στη ζωή του Churchill, ταξινομημένες με χρονολογική σειρά.

Illuminated Manuscript

Το Illuminated Manuscript ήταν ένα έργο τέχνης που δημιουργήθηκε για το εντέκατο documenta exhibit στο Kassel της Γερμανίας το 2002. Ήταν ένα άδειο βιβλίο πάνω στο οποίο προβαλλόταν κείμενο το οποίο μπορούσαν να διαχειριστούν οι επισκέπτες γυρίζοντας τις σελίδες του βιβλίου και κινώντας τα χέρια τους πάνω από το βιβλίο. Μια μετέπειτα έκδοση του εκθέματος έγινε μέρος της μόνιμης έκθεσης στο Nobel Peace Center στο Όσλο.

Un-Private House

Το Un-Private House ήταν ένα τραπέζι στο Museum of Modern Art στη Νέα Υόρκη το 1999 το οποίο ενεργούσε ως ένα κέντρο πληροφοριών μέσα σε μια μεγαλύτερη έκθεση αρχιτεκτονικής.

History Hunt Game

Πρόκειται για ένα παιχνίδι που ήταν προσωρινό μέρος μιας έκθεσης στο Nottingham Castle Museum and Art Gallery.

Dialog Table

Το Dialog Table βρίσκεται στο Walker Art Center στη Μιννεάπολη παρουσιάζει περισσότερες πληροφορίες για τα αντικείμενα που βρίσκονται στη συλλογή του μουσείου. Είναι από τα μόνα εκθέματα που χρησιμοποιούν οπίσθια προβολή.

floating.numbers

Το floating.numbers ήταν μέρος μιας προσωρινής έκθεσης στο Jewish Museum Berlin. Πρόκειται για ένα τραπέζι όμοιο με αυτό στο Churchill Lifeline, πάνω στο οποίο κινούνταν σειρές από ψηφία τα οποία όταν αγγίζονταν από τον επισκέπτη αποκαλύπταν τη συσχέτιση τους με την Εβραϊκή κουλτούρα και ιστορία.

Tilty Table

Το Tilty Table από τα Onomy Labs είναι μέρος μόνιμων εκθέσεων σε αρκετά μουσεία όπως το Tech Museum of Innovation στο Σαν Χοσέ στην Καλιφόρνια, το Maryland Science Center στη Βαλτιμόρη και το Singapore Science Center. Μοιάζει με ένα σχεδιαστικό τραπέζι το οποίο μπορεί να αλλάζει κλίση προς οποιαδήποτε κατεύθυνση, προκαλώντας την εικόνα που προβάλλεται πάνω του να κινείται προς αυτή την κατεύθυνση.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι σε αντίθεση με το σύστημα το οποίο αναπτύχθηκε για το Λεβέντειο Μουσείο, όλα τα πιο πάνω εκθέματα, αν και είναι άκρως εντυπωσιακά, εντούτοις περιορίζονται σε αλληλεπίδραση του επισκέπτη με δισδιάστατους και όχι τρισδιάστατους κόσμους.

Κεφάλαιο 4

Ανάλυση Απαιτήσεων

4.1	Γενικά	54
4.2	Προσδιορισμός Στόχου	54
4.3	Προσδιορισμός Τυπικών Χρηστών	55
4.4	Περιβαλλοντικές και Τεχνικές Παράμετροι	55
4.5	Λειτουργικές Απαιτήσεις	56
4.6	Μη Λειτουργικές Απαιτήσεις - Περιορισμοί	57

4.1 Γενικά

Όπως έχω αναφέρει στο Κεφάλαιο 1, κατά την ανάπτυξη του ολοκληρωμένου συστήματος πολλαπλής αφής ακολουθήθηκε μια κλασική μεθοδολογία ανάπτυξης υπολογιστικών συστημάτων τύπου καταρράκτη, αποτελούμενη από καταγραφή απαιτήσεων, λεπτομερή σχεδιασμό, υλοποίηση και έλεγχο του τελικού αποτελέσματος. Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια καταγραφή των απαιτήσεων του συστήματος, όπως αυτές συγκεντρώθηκαν κατά τη φάση της ανάλυσης απαιτήσεων. Η καταγραφή των απαιτήσεων ακολουθεί χονδρικά τη δομή που περιγράφεται στην πρώτη φάση της μεθοδολογίας ανάπτυξης ανθρωποκεντρικών συστημάτων LUCID (Logical User-Centered Interface Design) [2]. Επιπλέον οι απαιτήσεις διαχωρίζονται σε λειτουργικές και μη λειτουργικές, σύμφωνα με θεωρία από την Τεχνολογία Λογισμικού και αναφέρεται ρητά ποιες αφορούν το υλικό και ποιες το λογισμικό.

4.2 Προσδιορισμός Στόχου

Ο στόχος του συστήματος που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας έχει ήδη επεξηγηθεί στην Περίληψη και στο Κεφάλαιο 1. Εν συντομία θα αναφέρω και πάλι ότι στόχος της διπλωματικής εργασίας ήταν η κατασκευή ενός ολοκληρωμένου συστήματος πολλαπλής αφής για το Λεβέντειο Μουσείο στη Λευκωσία.

4.3 Προσδιορισμός Τυπικών Χρηστών

Σύμφωνα με την ανάλυση των τυπικών σεναρίων χρήσης του συστήματος, μπορούμε να διαχωρίσουμε τους τυπικούς του χρήστες σε δύο κατηγορίες:

4.3.1 Πρωτεύοντες χρήστες

Πρόκειται για τους χρήστες οι οποίοι θα έρχονται άμεσα σε επαφή με το σύστημα και θα το χρησιμοποιούν για να περιηγηθούν στα τείχη της Λευκωσίας. Λόγω του ότι το σύστημα θα εγκατασταθεί στο Λεβέντειο μουσείο, οι χρήστες αυτοί θα είναι οι καθημερινοί επισκέπτες του μουσείου. Οι επισκέπτες αυτοί μπορεί να είναι κάθε ηλικίας, φύλου, εθνικότητας και μορφωτικού επιπέδου και επιπλέον δεν μπορούμε σε καμία περίπτωση να υποθέσουμε ότι είναι εξοικειωμένοι με τους υπολογιστές και πόσο μάλλον με ένα σύστημα πολλαπλής αφής. Επίσης το μουσείο αναμένεται να επισκέπτονται πολλά σχολεία, επομένως συχνότεροι χρήστες του συστήματος πιθανόν να είναι μικρά παιδιά.

Για αυτούς τους λόγους έπρεπε να ληφθούν υπόψη τα ατομικά χαρακτηριστικά των χρηστών και να σχεδιαστεί το σύστημα με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία από τον οποιοδήποτε και να μπορεί να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις όλων των διαφορετικών ανθρώπων που θα έρχονται σε άμεση επαφή μαζί του καθημερινά.

4.3.2 Δευτερεύοντες χρήστες

Πρόκειται για τους χρήστες οι οποίοι θα χρησιμοποιούν το σύστημα σπανιότερα και σε μικρότερο βαθμό. Αυτή η κατηγορία συμπεριλαμβάνει τους υπεύθυνους του μουσείου, τυχόν υπεύθυνους λειτουργίας του συστήματος ή τυχόν υπεύθυνους συντήρησης του συστήματος. Αυτοί οι χρήστες αναμένεται να είναι γενικά εξοικειωμένοι με τους υπολογιστές ώστε να μπορούν να εκκινήσουν το σύστημα καθώς επίσης και να αντιλαμβάνονται και να αντιδρούν σε τυχόν βλάβες του.

4.4 Περιβαλλοντικές και Τεχνικές Παράμετροι

Το περιβάλλον εγκατάστασης και χρήσης ενός συστήματος παίζει σημαντικότερο ρόλο στη λειτουργία του και για αυτό το λόγο λήφθηκε σοβαρά υπόψη κατά τη διαδικασία

καταγραφής των απαιτήσεων. Καταρχήν, το σύστημα θα εγκατασταθεί σε κάποιο ανοιχτό για το κοινό χώρο του μουσείου και θα το επισκέπτεται πολύς κόσμος και ιδιαίτερα πολλά μικρά παιδιά, τα οποία καλώς ή κακώς είναι πιο επιρρεπή σε ατυχήματα. Επομένως μπορούμε να περιμένουμε ότι θα βρίσκεται σε ένα δύσκολο και απαιτητικό από πλευράς χρήσεως περιβάλλον αφού θα χρησιμοποιείται συνεχώς κατά τη διάρκεια των ωρών λειτουργίας του μουσείου, έτσι θα έπρεπε να είναι ιδιαίτερα εύρωστο.

Επιπλέον, είναι πολύ πιθανόν να εγκατασταθεί σε κάποιο χώρο που φωτίζεται αρκετά κατά τη διάρκεια της ημέρας, γεγονός που επηρεάζει τις οπτικές τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν για το σύστημα. Εκτός από τις οπτικές τεχνολογίες ανίχνευσης αφής, η υπερβολική ηλιοφάνεια επηρεάζει και την ποιότητα της εικόνας της οθόνης, αφού λόγω της χρήσης προβολέα και όχι οθόνης LCD, θα είναι δύσκολο να διακρίνει κανείς τις λεπτομέρειες στην εικόνα αν υπάρχει υπερβολικό φως. Αυτό ίσως αποτελεί και το μεγαλύτερο περιορισμό από πλευράς τεχνικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων αφού θα ήταν καλύτερα το σύστημα να εγκατασταθεί σε κλειστό και σκοτεινό δωμάτιο.

Όσον αφορά κάποιες τεχνικές παραμέτρους, το σύστημα θα πρέπει να επιτρέπει σε όσο το δυνατό περισσότερα άτομα να βλέπουν την περιήγηση, γι'αυτό η λύση της επιφάνειας τραπεζιού ήταν και η πιο κατάλληλη. Προφανώς δε θα έπρεπε να είναι υπερβολικά μεγάλο γιατί τότε κανένας δε θα μπορούσε να έχει ολοκληρωμένη εικόνα του τραπεζιού και θα καταλάμβανε πολύ χώρο. Επίσης θα ήταν ιδιαίτερα δύσκολο να μετακινηθεί καθώς και να υλοποιηθεί αφού θα χρειαζόνταν πολλαπλοί προβολείς και κάμερες για να δημιουργηθεί μια τόσο μεγάλη εικόνα και να ανιχνεύεται για αφή, λόγω και της περιορισμένης απόστασης προβολής. Επιπλέον το τραπέζι δε θα έπρεπε να είναι υπερβολικά ψηλό αφού τότε δε θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί εύκολα από τους ενήλικες και θα ήταν αδύνατο να χρησιμοποιηθεί από μικρά παιδιά.

4.5 Λειτουργικές Απαιτήσεις

Οι λειτουργικές απαιτήσεις έχουν να κάνουν με τις ουσιώδεις λειτουργίες τις οποίες θα πρέπει το σύστημα να εκτελεί με επιτυχία. Οι λειτουργίες αυτές δεν ήταν πολλές και ευτυχώς ήταν ξεκάθαρες από την αρχή. Επειδή το σύστημα βασίζεται εξίσου στο λογισμικό και το υλικό, θα αναφέρω τις λειτουργικές απαιτήσεις και για τα δύο μέρη του συστήματος.

4.5.1 Λειτουργικές απαιτήσεις υλικού

Ο στόχος ήταν να δημιουργηθεί ένα σύστημα πολλαπλής αφής, επομένως οι λειτουργικές απαιτήσεις του υλικού ήταν απλές στην καταγραφή. Συγκεκριμένα, θα έπρεπε το υλικό να εκτελεί διπλό ρόλο, αφού έπρεπε να ενεργεί και ως συσκευή εξόδου αλλά και ως συσκευή εισόδου. Ως συσκευή εισόδου θα έπρεπε να προσφέρει τη δυνατότητα ταυτόχρονης ανίχνευσης πολλαπλών σημείων αφής, ώστε να μπορεί το λογισμικό να τα επεξεργαστεί και να εκτελέσει τις δικές του λειτουργίες με βάση τα σημεία αφής που ανιχνεύονται ανά πάσα στιγμή. Επιπλέον, ως συσκευή εξόδου θα έπρεπε να παρουσιάζει την κατάσταση του συστήματος, αφού η επιφάνεια του τραπεζιού θα ήταν στη ουσία μια μεγάλη οθόνη.

4.5.2 Λειτουργικές απαιτήσεις λογισμικού

Οι λειτουργικές απαιτήσεις του λογισμικού έχουν να κάνουν με την εφαρμογή της περιήγησης στα τείχη της Λευκωσίας, η οποία είχε δύο κύριες λειτουργίες:

- Η πρώτη και πιο βασική ήταν να παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη να χρησιμοποιεί τα δάχτυλα του για να μετακινείται σε διάφορα σημεία της ευρύτερης περιοχής των τειχών και να εστιάζει σε διαφορετικά σημεία των τειχών.
- Ταυτόχρονα, η δεύτερη λειτουργία ήταν να μπορεί ο χρήστης να μετακινείται σε διαφορετικές χρονολογικές περιόδους και να παρατηρεί τις αλλαγές στα τείχη της Λευκωσίας με την πάροδο του χρόνου.

4.6 Μη Λειτουργικές Απαιτήσεις – Περιορισμοί

Στην τεχνολογία λογισμικού, οι μη-λειτουργικές απαιτήσεις είναι οι απαιτήσεις οι οποίες θέτουν ορισμένους περιορισμούς πάνω στο σχεδιασμό και την υλοποίηση ενός συστήματος, όπως για παράδειγμα απαιτήσεις απόδοσης, ποιότητας ή περιορισμοί σχεδιασμού. Τέτοιες απαιτήσεις καθορίζουν κριτήρια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να κρίνουν τη λειτουργία ενός συστήματος και όχι την συμπεριφορά του συστήματος, η οποία καθορίζεται από τις λειτουργικές απαιτήσεις [44].

Στην περίπτωση του συστήματος μας, οι μη-λειτουργικές απαιτήσεις ήταν αρκετές και αφορούσαν τόσο το υλικό όσο και το λογισμικό. Πιο κάτω θα αναφέρω τις πιο κύριες από αυτές τις απαιτήσεις.

4.6.1 Κόστος Ανάπτυξης

Το κόστος ανάπτυξης παίζει τεράστιο ρόλο σε κάθε έργο λογισμικού και είναι αιτία για πολλές αποτυχίες έργων λογισμικού. Στη περίπτωση του συστήματος που είχα την ευθύνη να αναπτύξω, ο προϋπολογισμός δεν ήταν ελάχιστος αλλά δεν ήταν ούτε και απεριόριστος, επομένως το κόστος θα έπρεπε να διατηρηθεί σε χαμηλά επίπεδα. Για το λόγο αυτό αρκετά από τα μέρη του υλικού έχουν κατασκευαστεί με λύσεις DIY οι οποίες περιορίζουν αρκετά το κόστος σε σχέση με πιο εξεζητημένο εξοπλισμό, ο οποίος έτσι κι αλλιώς ήταν αδύνατο να βρεθεί και να αγοραστεί από την Κύπρο. Σε ότι αφορά το λογισμικό θα έπρεπε και πάλι το κόστος ανάπτυξης να ήταν ελάχιστο, γι' αυτό και χρησιμοποιήθηκε open source λογισμικό για όλα τα μέρη του λογισμικού του συστήματος αφού η αγορά εμπορικών λύσεων δεν ήταν εφικτή.

4.6.2 Χρόνος Ανάπτυξης

Ακόμη πιο σημαντικός παράγοντας στην περίπτωση μας ήταν ο χρόνος ανάπτυξης του συστήματος. Συγκεκριμένα, το όλο έργο θα έπρεπε να ήταν ολοκληρωμένο μέχρι τον Μάιο που θα έπρεπε να παραδοθεί η παρούσα εργασία. Επομένως, από την αρχική ιδέα, η οποία προτάθηκε τον Αύγουστο του 2008, μέχρι τον Μάιο του 2009 ο συνολικός διαθέσιμος χρόνος για την ανάπτυξη τόσο του υλικού όσο και του λογισμικού ήταν 10 μήνες.

4.6.3 Περιβάλλον ανάπτυξης λογισμικού

Ένας από τους περιορισμούς όσον αφορά το λογισμικό ήταν το γεγονός ότι είχα επιλέξει το Panda3D ως το περιβάλλον όπου θα ανέπτυσσα την τελική εφαρμογή για το σύστημα. Όπως έχω ήδη αναφέρει στο Κεφάλαιο 2, η γλώσσα προγραμματισμού για το Panda3D είναι η Python, επομένως το σίγουρο ήταν ότι θα έπρεπε να μάθω να την χρησιμοποιώ όσο καλύτερα γίνεται αφού όλος ο κώδικας θα αναπτυσσόταν σε Python. Πιο σημαντικό όμως ήταν να βρεθεί και κάποιος client σε γλώσσα Python που να μπορεί να λάβει τις πληροφορίες για τα σημεία αφής από τον tracker και να πυροδοτήσει τα κατάλληλα events ώστε να ανανεώνεται η κατάσταση του εικονικού κόσμου που σχεδιάζεται με το Panda3D μέσω της αλληλεπίδρασης με το χρήστη. Ευτυχώς υπάρχουν clients γραμμένοι σε Python όπως έχω ήδη αναφέρει στο Κεφάλαιο

2 και ένα πολύ καλό ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης για Python, το PyDev που είναι ένα plug-in του δημοφιλούς IDE Eclipse.

4.6.4 Επίδοση συστήματος

Το σύστημα το οποίο έχει υλοποιηθεί βασίζεται στην άμεση αλληλεπίδραση του χρήστη με αυτό. Ήταν επομένως κρίσιμη απαίτηση ο χρόνος αντίδρασης του συστήματος στην είσοδο από το χρήστη να είναι κάτω από ορισμένα milliseconds ώστε η αλληλεπίδραση να γίνεται σε πραγματικό χρόνο. Αυτό το γεγονός όσον αφορά το υλικό μεταφράζεται σε χρησιμοποίηση κάμερας η οποία να έχει ρυθμό λήψης εικόνων τουλάχιστον 25FPS αφού οτιδήποτε χαμηλότερο θα έχει ως αποτέλεσμα αργή αντίδραση στην αφή, που να γίνεται αντιληπτή από το χρήστη. Όσον αφορά το λογισμικό, αυτό μεταφράζεται σε επεξεργασία βίντεο σε ελάχιστα milliseconds ώστε να βρεθούν τα σημεία αφής, μετάδοση των σημείων αφής σε socket σε ελάχιστα milliseconds και τέλος χρησιμοποίηση γραφικών πραγματικού χρόνου, δηλαδή μια εφαρμογή γραφικών ικανή να παράγει περισσότερες από 25 εικόνες το δευτερόλεπτο ώστε να μην αντιλαμβάνεται ο χρήστης οποιαδήποτε καθυστέρηση στην παραγωγή των εικόνων. Αυτός είναι σημαντικός περιορισμός, ειδικά όταν χρησιμοποιούνται μοντέλα υψηλής ποιότητας αποτελούμενα από πολλές χιλιάδες πολύγωνα, περιορισμός όμως που μπορούσε να ικανοποιηθεί από τις δυνατότητες του Panda3D .

4.6.5 Ρεαλισμός

Σε κάθε εφαρμογή που χρησιμοποιεί γραφικά υπολογιστών, έχει τεράστια σημασία ο ρεαλισμός της σκηνής που αναπαράγεται. Σκηνές με ανεπαρκή φωτισμό και χωρίς σκιές δημιουργούν άσχημη εντύπωση συνήθως στο χρήστη. Για το λόγο αυτό, ένας σημαντικός περιορισμός που αφορά μόνο το λογισμικό της τελικής εφαρμογής ήταν η εφαρμογή ρεαλιστικού φωτισμού με σκιές.

4.6.6 Αξιοπιστία

Όπως και κάθε υπολογιστικό σύστημα, το σύστημα πολλαπλής αφής θα έπρεπε να είναι όσο το δυνατό πιο αξιόπιστο ώστε να ικανοποιεί και τους χρήστες του στο μέγιστο βαθμό. Συγκεκριμένα, το υλικό θα έπρεπε να σχεδιαστεί ώστε να μην παρουσιάζει

συχνές βλάβες και το λογισμικό θα έπρεπε να σχεδιαστεί ώστε να μην υπάρχουν περιθώρια κατάρρευσης κατά τη χρήση του.

4.6.7 Ευρωστία

Αυτή η απαίτηση έχει να κάνει με τις περιβαλλοντικές παραμέτρους οι οποίες έχουν συζητηθεί πιο πάνω και καθορίζει ότι το σύστημα θα έπρεπε να αντέχει στη σκληρή χρήση και τυχόν κακομεταχείριση καθώς και στις αλλαγές στο περιβάλλον.

4.6.8 Ορθότητα

Το τελικό σύστημα θα έπρεπε βέβαια να παραδοθεί χωρίς οποιαδήποτε σφάλματα τα οποία θα είχαν καταστροφικές συνέπειες κατά τη μετέπειτα λειτουργία του. Για το λόγο αυτό θα έπρεπε να αποσφαλματωθεί το λογισμικό με όση λεπτομέρεια γίνεται για να βρεθούν τυχόν λάθη.

4.6.9 Ευελιξία – Συντήρηση

Τόσο το υλικό όσο και το λογισμικό θα έπρεπε να είναι ευέλικτα σε περίπτωση που κάποιο μέρος του συστήματος αλλάξει στο μέλλον. Επιπλέον θα έπρεπε να σχεδιαστούν με τέτοιο τρόπο ώστε η συντήρηση και η τυχόν επέκταση του συστήματος στο μέλλον να μην είναι δύσκολη υπόθεση.

4.6.10 Ευχρηστία

Κάθε σύστημα λογισμικού το οποίο βασίζεται σε μια διεπιφάνεια χρήστη θα πρέπει οπωσδήποτε να είναι εύχρηστο ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από οποιοδήποτε άτομο. Σύμφωνα με τον Nielsen [32] υπάρχουν πέντε παράμετροι ευχρηστίας σε κάθε σύστημα λογισμικού. Αυτές είναι:

- Η ευκολία εκμάθησης
- Η υψηλή απόδοση εκτέλεσης έργου
- Η χαμηλή συχνότητα σφαλμάτων από το χρήστη και η εύκολη ανάνηψη από αυτά
- Η ευκολία συγκράτησης της γνώσης χρήσης του λογισμικού
- Η υποκειμενική ικανοποίηση του χρήστη

Αυτές οι παράμετροι τέθηκαν και ως πρώτιστοι στόχοι όσον αφορά την ευχρηστία του τελικού συστήματος πολλαπλής αφής. Δυστυχώς όμως οι περισσότερες από αυτές δεν είναι εύκολα μετρήσιμες αφού έχουν μέσα το στοιχείο της υποκειμενικότητας, ωστόσο έγινε προσπάθεια ικανοποίησης όλων αυτών των παραμέτρων.

Κεφάλαιο 5

Σχεδιασμός

5.1	Γενικά	62
5.2	Σχεδιασμός Υλικού	63
5.3	Σχεδιασμός Λογισμικού	81

5.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί η λεπτομερής σχεδίαση του συστήματος, όπως εκπονήθηκε κατά τη φάση του σχεδιασμού. Ο σχεδιασμός ήταν από τα σημαντικότερα τμήματα του έργου, αφού βασισμένος στις απαιτήσεις που είχαν συλλεχθεί προηγουμένως, έθεσε τις σωστές βάσεις για την υλοποίηση και απέτρεψε πολλά λάθη τα οποία θα είχαν καταστροφικές συνέπειες για την εργασία. Όπως και στις άλλες φάσεις της ανάπτυξης του συστήματος πολλαπλής αφής, έτσι και η φάση του σχεδιασμού χωρίστηκε στο σχεδιασμό του υλικού και το σχεδιασμό του λογισμικού αφού το υλικό υλοποιήθηκε πριν από το λογισμικό.

Ο σχεδιασμός του υλικού ήταν και το πιο δύσκολο τμήμα της φάσης αυτής επειδή δεν υπήρχε καθόλου εμπειρία στις γνωστικές περιοχές που απαιτούσε ο σωστός σχεδιασμός του υλικού. Συγκεκριμένα, θα έπρεπε να γίνει κάποιου είδους κατασκευαστικός σχεδιασμός για το τραπέζι που θα στεγάζει το σύστημα, καθώς και ηλεκτρολογικός σχεδιασμός για τα LEDs που θα έδιναν το απαραίτητο υπέρυθρο φως για την ανίχνευση των σημείων επαφής. Επιπλέον, όπως έχω αναφέρει στο Κεφάλαιο 1, κατά τη διάρκεια της εργασίας δοκιμάστηκαν δύο μέθοδοι ανίχνευσης σημείων αφής, η FTIR και η Rear DI. Επομένως θα έπρεπε να γίνει ξεχωριστός σχεδιασμός για τα τμήματα του συστήματος που διέφεραν μεταξύ των δύο μεθόδων που θα δοκιμάζονταν, δηλαδή τα LEDs και την επιφάνεια αφής.

Ο σχεδιασμός του λογισμικού ήταν λιγότερο χρονοβόρος και αφορούσε κυρίως το σχεδιασμό της διεπιφάνειας χρήστη και των διαλόγων με το χρήστη, καθώς και της

αρχιτεκτονικής της τελικής εφαρμογής και της ροής των δεδομένων διαμέσου του συστήματος.

5.2 Σχεδιασμός Υλικού

Κατά το σχεδιασμό του υλικού λήφθηκαν πρώτα υπόψη οι διάφοροι περιορισμοί που τέθηκαν κατά τη φάση της ανάλυσης απαιτήσεων καθώς και η τεχνολογία των δύο μεθόδων ανίχνευσης πολλαπλής αφής οι οποίες θα δοκιμάζονταν. Μετά από προσεκτική σκέψη και αρκετή μελέτη του θεωρητικού υπόβαθρου κυρίως μέσα από πηγές στο διαδίκτυο, κατέληξα στην καταγραφή των κύριων τμημάτων του υλικού τα οποία έπρεπε να ληφθούν υπόψη κατά τη φάση αυτή στον Πίνακα 5.1.

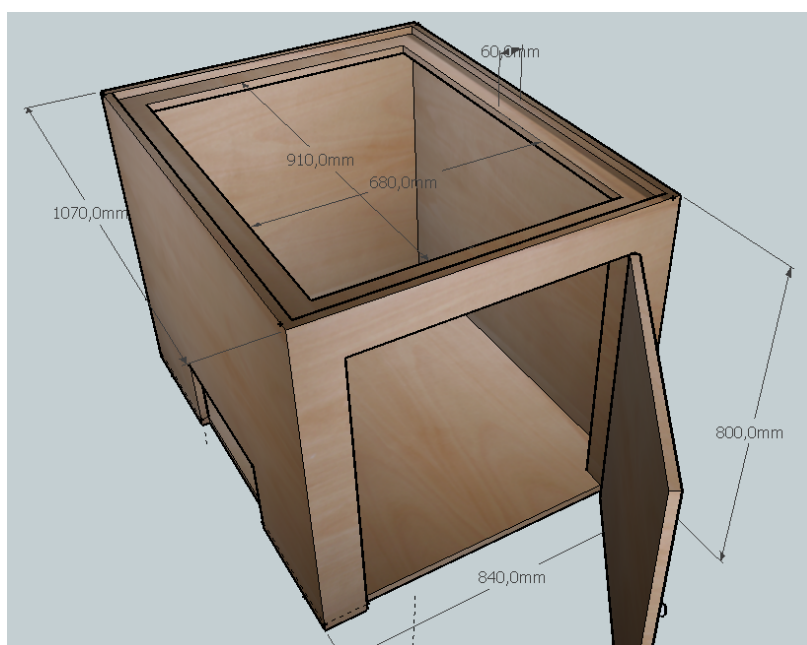
Τμήμα	Προϊόν
Τραπέζι	-
Επιφάνεια αφής και προβολής	-
Κάμερα	-
Projector	BenQ MP771
LEDs	OSRAM SFH485P

Πίνακας 5.1 Κύρια Τμήματα Υλικού Συστήματος Πολλαπλής Αφής

Όπως παρατηρούμε, η πρώτη στήλη του Πίνακα 5.1 περιλαμβάνει τα τμήματα του υλικού για τα οποία χρειαζόταν λεπτομερής σχεδίαση πριν από τη φάση της υλοποίησης. Να σημειώσω εδώ ότι ο πίνακας αυτός δεν αποτελεί σε καμία περίπτωση την πλήρη λίστα με όλα τα υλικά που χρειάστηκαν για την υλοποίηση κάθε μιας από τις μεθόδους FTIR και Rear DI. Όπως είναι φυσιολογικό με βάση το θεωρητικό υπόβαθρο του Κεφαλαίου 2, όλα τα βασικά τμήματα απαιτούνται και από τις δύο μεθόδους, ενώ διαφορές όσον αφορά το σχεδιασμό υπήρξαν συγκεκριμένα στα LEDs και την επιφάνεια αφής και προβολής όπως θα εξηγήσω στη συνέχεια. Η δεύτερη στήλη του πίνακα περιέχει τα προϊόντα τα οποία αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών κάθε τμήματος. Η στήλη περιέχει μόνο τα προϊόντα εκείνα τα οποία επηρέαζαν τη σχεδίαση και επομένως η χρήση τους είχε αποφασιστεί κατά τη φάση αυτή και όχι στη μετέπειτα φάση της υλοποίησης. Οι λόγοι για την χρησιμοποίηση των συγκεκριμένων προϊόντων περιγράφονται με περισσότερη λεπτομέρεια στη συνέχεια. Στη συνέχεια ακολουθεί ο λεπτομερής σχεδιασμός για τα κύρια τμήματα του υλικού.

5.2.1 Τραπεζί

Το τραπέζι ήταν το πρώτο και κυριότερο τμήμα του συστήματος το οποίο έπρεπε να σχεδιαστεί κατάλληλα ώστε να πληρούνται οι σχεδιαστικοί περιορισμοί που τέθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Θα έπρεπε να κατασκευαστεί ένα σταθερό και γερό τραπέζι, που να αντέχει στην καθημερινή χρήση και να είναι αρκετά μεγάλο για να στέκεται αρκετός κόσμος γύρω του, χωρίς όμως να είναι υπερβολικά μεγάλο. Μετά από διάφορα πρόχειρα σχέδια, κατέληξα στο Σχήμα 5.1 το οποίο και χρησιμοποιήθηκε κατά την κατασκευή του τραπεζιού στη φάση της υλοποίησης.



Σχήμα 5.1 Το σχέδιο του τραπεζιού

Όπως βλέπουμε πρόκειται για ένα ορθογώνιο τραπέζι, αρκετά μεγάλο, με διαστάσεις 107cm X 84cm X 80cm. Το πάνω μέρος του τραπεζιού καθώς και το εσωτερικό του είναι κενό, ενώ υπάρχει μια στενή προεξοχή 6cm στο πάνω μέρος του εσωτερικού όλων των πλευρών. Πάνω σε αυτή την προεξοχή τοποθετείται η επιφάνεια αφής, ενώ στο πάτωμα του εσωτερικού του τραπεζιού τοποθετούνται τα υπόλοιπα τμήματα του συστήματος με εξαίρεση τα LEDs για τη μέθοδο FTIR, τα οποία τοποθετούνται γύρω από την επιφάνεια αφής. Όπως φαίνεται στο σχήμα, η μέγιστη εικόνα που μπορεί να προβληθεί στην επιφάνεια του τραπεζιού είναι 91cm X 68cm, διαστάσεις που είναι πολύ σημαντικές για τη σχεδίαση των υπόλοιπων τμημάτων του συστήματος.

Το τραπέζι έχει επίσης μια πόρτα στην μια από τις δύο στενές τους πλευρές ώστε να μας επιτρέπει εύκολη πρόσβαση στο εσωτερικό του για την τοποθέτηση ή την αλλαγή

και συντήρηση των υπόλοιπων τμημάτων του συστήματος τα οποία θα τοποθετηθούν στο εσωτερικό του.

Ακόμα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.2, υπάρχει μια μικρή καταπακτή σε μια από τις δύο μακριές του πλευρές ώστε να μπορεί το projector να τοποθετηθεί και ελαφρώς εκτός του τραπεζιού σε περίπτωση που δεν υπάρχει αρκετή απόσταση προβολής για να δημιουργήσει την απαιτούμενη εικόνα διαστάσεων 91cm X 68 cm. Τελικά η καταπακτή αυτή δεν χρειάστηκε και θα χρησιμοποιηθεί για σκοπούς εξαερισμού του τραπεζιού.



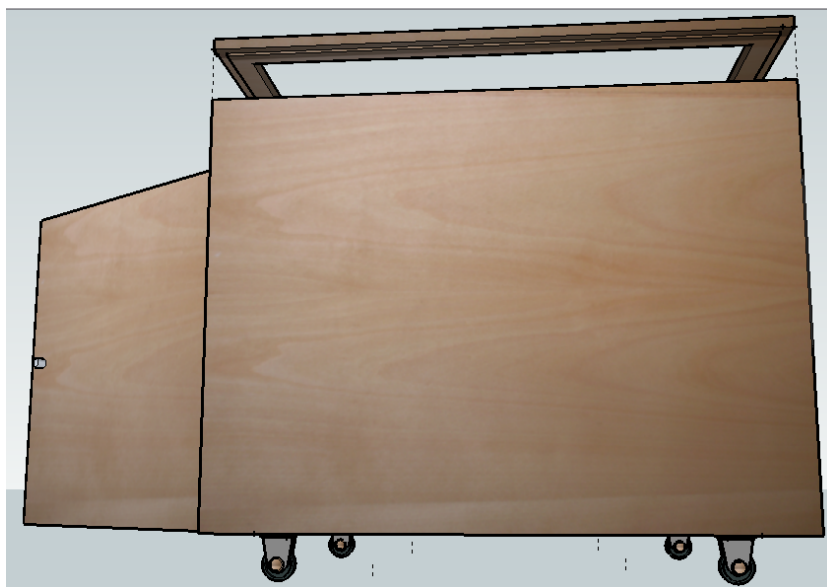
Σχήμα 5.2 Το σχέδιο του τραπεζιού από το πλαίσι

Επιπλέον, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.3, το τραπέζι έχει ένα στενό πλαίσιο το οποίο θα τοποθετείται πάνω από την επιφάνεια αφής, για να την ασφαλίζει στη θέση της και να καλύπτει τυχόν καλώδια στην περίμετρο της επιφάνειας αφής. Εκτός από αυτό, επιτρέπει την εύκολη αφαίρεση του σε περίπτωση που χρειάζεται να έχουμε πρόσβαση στο εσωτερικό του τραπεζιού από το πάνω μέρος και σε περίπτωση που χρειαστεί να αλλάξει η επιφάνεια αφής για κάποια δοκιμή ή αν παρουσιάσει κάποια βλάβη.



Σχήμα 5.3 Το σχέδιο του τραπεζιού μαζί με το πλαίσιο του

Τέλος, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.4, το τραπέζι είναι εξοπλισμένο με μικρούς τροχούς στο κάτω του μέρος, ώστε να μεταφέρεται πιο εύκολα.



Σχήμα 5.4 Το σχέδιο του τραπεζιού μαζί με τους τροχούς του

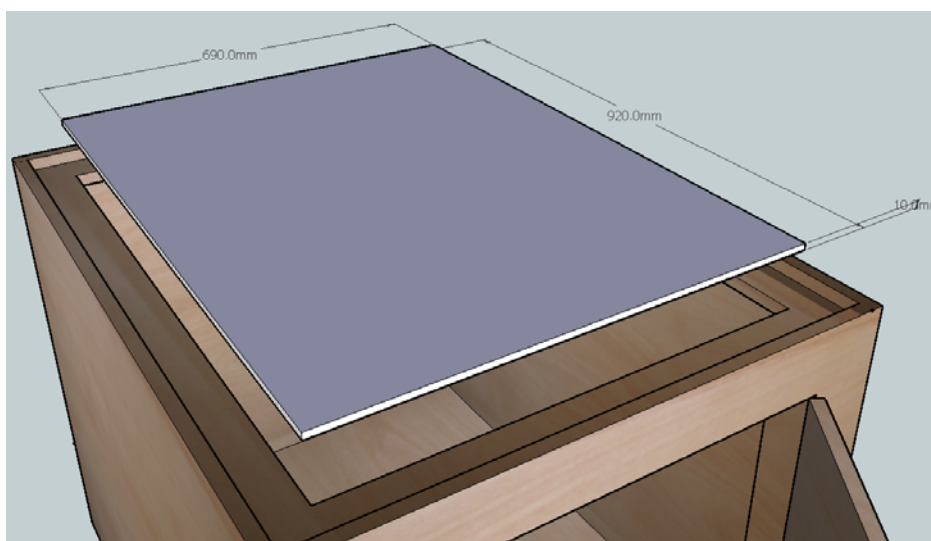
5.2.2 Επιφάνεια αφής και προβολής

Η σχεδίαση της επιφάνειας αφής και προβολής ουσιαστικά περιλάμβανε τον καθορισμό των διαστάσεων του ακρυλικού πλαστικού το οποίο θα χρησιμοποιούταν ως επιφάνεια αφής, καθώς και κάποιων επιπλέον παραμέτρων όσον αφορά την επιφάνεια προβολής. Οι διαφορές ανάμεσα στις μεθόδους FTIR και Rear DI ήταν ουσιαστικά ανύπαρκτες κατά την αρχική υλοποίηση των δύο μεθόδων αφού και οι δύο χρησιμοποιούσαν την ίδια επιφάνεια αφής και προβολής. Στη συνέχεια όμως λόγω προβλημάτων που εξηγούνται στο Κεφάλαιο 7, η αρχική επιφάνεια αφής και προβολής αντικαταστάθηκε με κάποια άλλη επιφάνεια για την μέθοδο Rear DI.

5.2.2.1 Επιφάνεια αφής για τη μέθοδο FTIR

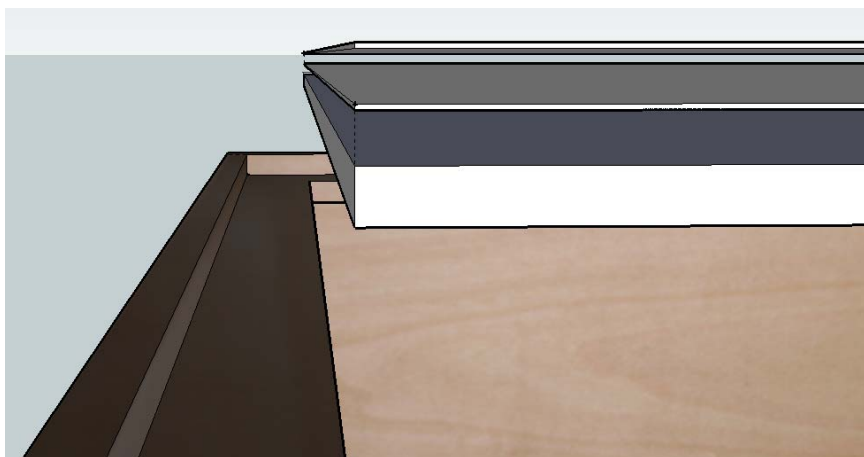
Η μέθοδος FTIR ως γνωστόν χρειάζεται τα LEDs να βρίσκονται στις πλευρές της επιφάνειας αφής. Επομένως λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι τα LEDs που θα χρησιμοποιούνταν είχαν διάμετρο 5mm και το γεγονός ότι η επιφάνεια αφής θα έπρεπε να ήταν στερεή και να μη λυγίζει με το παραμικρό άγγιγμα, αποφάσισα να χρησιμοποιήσω ακρυλικό πάχους 10mm. Οι διαστάσεις του ακρυλικού θα έπρεπε να ήταν ελαφρώς μεγαλύτερες από τις διαστάσεις της εικόνας της οθόνης αφής, ώστε αυτό να ακουμπά με ασφάλεια στις προεξοχές του τραπεζιού. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα

5.5, το ακρυλικό έχει διαστάσεις 92 cm X 69 cm X 10 mm και τοποθετείται πάνω στις προεξοχές του τραπεζιού ως κάλυμμα.



Σχήμα 5.5 Το ακρυλικό για τη μέθοδο FTIR

Στη συνέχεια θα έπρεπε να προστεθεί στο Σχήμα 5.5 η επιφάνεια προβολής καθώς και η συμβατή επιφάνεια η οποία είναι απαραίτητη για τη μέθοδο FTIR. Το Σχήμα 5.6 το οποίο προέκυψε δείχνει ακριβώς τη σειρά τοποθέτησης των τριών επιφανειών. Όπως φαίνεται, αρχίζοντας από πάνω έχουμε την επιφάνεια προβολής πάχους περίπου 1mm, αμέσως από κάτω της έχουμε τη συμβατή επιφάνεια πάχους επίσης περίπου 1mm και τελευταίο είναι το ακρυλικό. Όλες αυτές οι επιφάνειες έχουν το ίδιο πλάτος και μήκος.

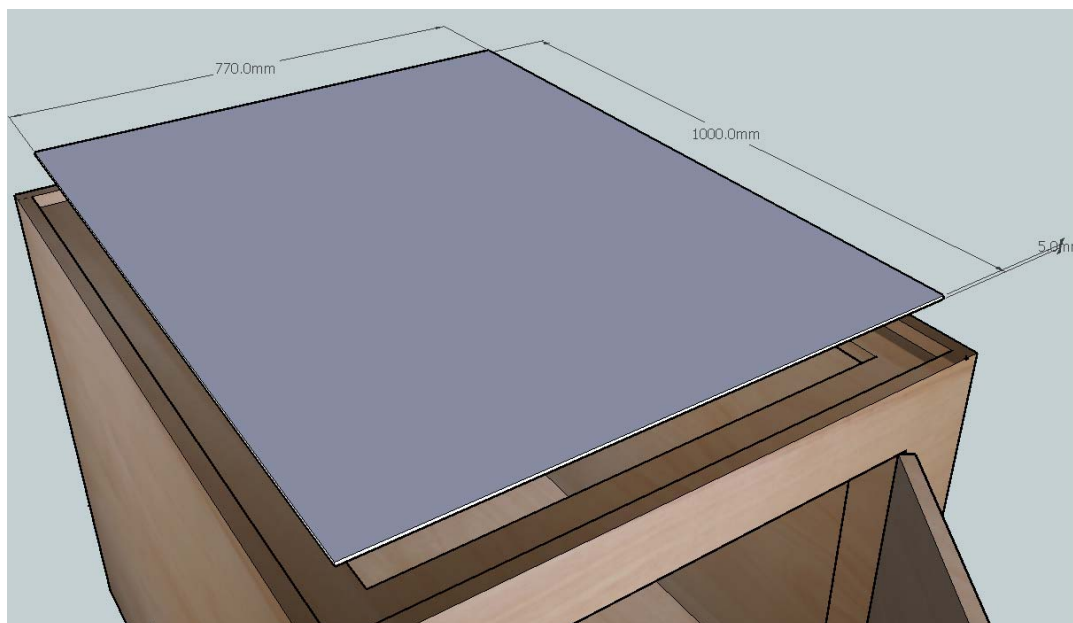


Σχήμα 5.6 Το ακρυλικό, η επιφάνεια προβολής και η συμβατή επιφάνεια

5.2.2.2 Επιφάνειας αφής για τη μέθοδο Rear DI

Όπως ανέφερα και προηγουμένως, η επιφάνεια αφής και προβολής για τη μέθοδο Rear DI ήταν ακριβώς η ίδια με αυτή της μεθόδου FTIR. Λόγω προβλημάτων στη συνέχεια

όμως αναγκάστηκα να χρησιμοποιήσω διαφορετικό ακρυλικό για την επιφάνεια αφής αυτής της μεθόδου. Ουσιαστικά η επιφάνεια αφής και προβολής σε αυτό το μετέπειτα σχεδιασμό είναι το ίδιο ακριβώς υλικό αφού χρησιμοποιήθηκε ματ πλαστικό ειδικό για επιφάνειες προβολής, το οποίο είχε περισσέψει κατά την κατασκευή της οθόνης προβολής του συστήματος εικονικής πραγματικότητας του εργαστηρίου γραφικών. Το Σχήμα 5.7 δείχνει τις διαστάσεις της επιφάνειας αφής για την τελική λύση όσον αφορά τη μέθοδο Rear DI.



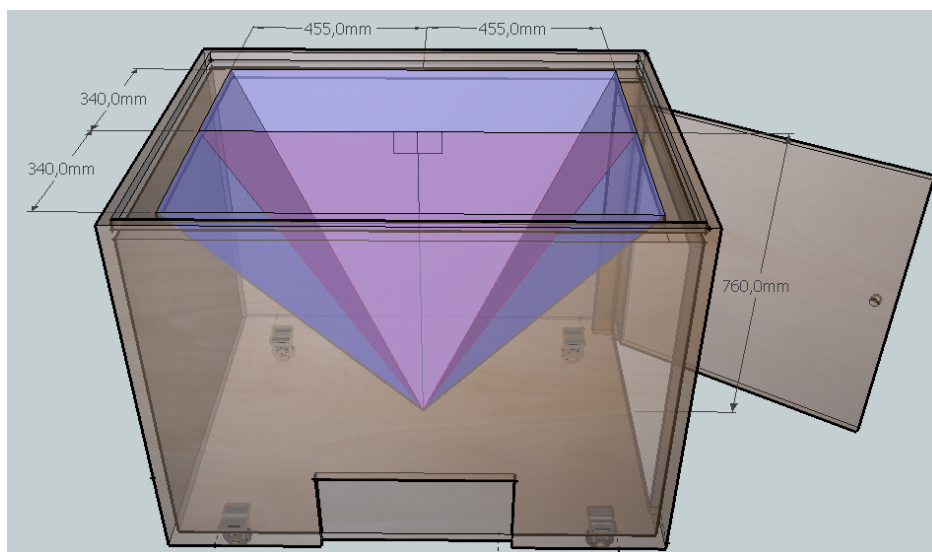
Σχήμα 5.7 Το ακρυλικό για τη μέθοδο Rear DI

Να σημειώσω εδώ ότι το ακρυλικό είναι αρκετά λεπτό, αφού έχει το μισό πάχος του ακρυλικού που χρησιμοποιήθηκε στη μέθοδο FTIR, αλλά είναι αρκετά στερεό αφού το μήκος και πλάτος του είναι 100 cm X 77cm, δηλαδή αρκετά μεγαλύτερα σε σχέση με το ακρυλικό της μεθόδου FTIR ώστε να εκμεταλλευτεί τις προεξοχές του τραπεζιού για περισσότερη σταθερότητα. Επιπλέον η μέθοδος Rear DI δεν χρειάζεται φυσικά κάποια συμβατή επιφάνεια.

5.2.3 Κάμερα

Για την κάμερα ήταν απαραίτητο να υπολογιστούν οι γωνίες του πεδίου όρασης του φακού με βάση τη μέγιστη απόσταση που υπάρχει από την επιφάνεια του τραπεζιού. Οι γωνίες αυτές είναι σημαντικότερες για τη διαδικασία της ανίχνευσης των σημείων αφής αφού είναι προφανές ότι μια κάμερα με φακό ο οποίος δεν καλύπτει όλη την επιφάνεια

του τραπεζιού η οποία είναι και η επιφάνεια αφής, δεν θα μπορεί να ανιχνεύσει όλα τα σημεία αφής. Σε αυτό το σημείο να σημειώσω ότι όσο πιο ψηλά τοποθετείται η κάμερα, προφανώς τόσο μεγαλώνει το πεδίο όρασης που χρειάζεται να έχει ο φακός της για να καλύψει όλη την επιφάνεια του τραπεζιού αφού μικραίνει η απόσταση από την επιφάνεια του τραπεζιού. Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη το γεγονός ότι η μέγιστη απόσταση από την επιφάνεια του τραπεζιού μέχρι το κάτω μέρος του τραπεζιού είναι 76 cm, μπόρεσα να δημιουργήσω το Σχήμα 5.8 που παρουσιάζει το ελάχιστο οριζόντιο πεδίο όρασης που χρειάζεται να έχει ο φακός της κάμερας.



Σχήμα 5.8 Υπολογισμός του ελάχιστου οριζόντιου πεδίου όρασης της κάμερας

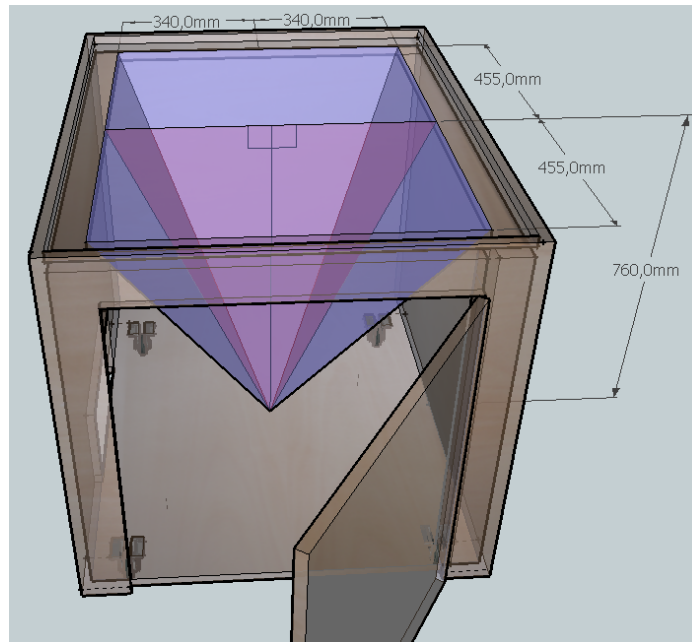
Όπως παρατηρούμε, το ελάχιστο πεδίο όρασης της κάμερας, όταν αυτή τοποθετηθεί στο κέντρο του πατώματος του τραπεζιού, σε απόσταση 76 cm από την επιφάνεια του τραπεζιού, σχηματίζει μια πυραμίδα (με μπλε χρώμα). Εάν πάρουμε την τομή της πυραμίδας ως προς τις στενές πλευρές της επιφάνειας του τραπεζιού, σχηματίζεται ένα τρίγωνο που αντιπροσωπεύει το οριζόντιο πεδίο όρασης του φακού της κάμερας (με κόκκινο χρώμα). Χωρίζοντας το τρίγωνο στη μέση, τραβώντας μια γραμμή από την κάμερα μέχρι το κέντρο της επιφάνειας του τραπεζιού, σχηματίζονται δύο ίσα ορθογώνια τρίγωνα. Επομένως για να υπολογίσουμε την ελάχιστη οριζόντια γωνία όρασης για την κάμερα, αρκεί να υπολογίσουμε μια από αυτές τις γωνίες και να πολλαπλασιάσουμε επί δύο. Ο υπολογισμός της γωνίας είναι εύκολος αφού γνωρίζουμε τις δύο πλευρές του τριγώνου όπως φαίνεται στο σχήμα. Άρα η γωνία, έστω θ_1 , μπορεί να βρεθεί από τον εξής τύπο:

$$\theta_1 = \arctan (455 / 760) = 30.91 \text{ μοίρες}$$

Άρα, η ελάχιστη γωνία όρασης για το φακό της κάμερας, έστω Θ_1 , πρέπει να είναι:

$$\Theta_1 = 2 * \theta_1 = 61.82 \text{ μοίρες}$$

Με αντίστοιχο τρόπο μπορεί να βρεθεί και το ελάχιστο κάθετο πεδίο όρασης που χρειάζεται να έχει ο φακός της κάμερας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.9.



Σχήμα 5.9 Υπολογισμός του ελάχιστου κάθετου πεδίου όρασης της κάμερας

Εάν πάρουμε την τομή της πυραμίδας ως προς τις μακριές πλευρές της επιφάνειας του τραπεζιού, σχηματίζεται ένα τρίγωνο που αντιπροσωπεύει το κάθετο πεδίο όρασης του φακού της κάμερας (με κόκκινο χρώμα). Χωρίζοντας το τρίγωνο στη μέση, τραβώντας μια γραμμή από την κάμερα μέχρι το κέντρο της επιφάνειας του τραπεζιού, σχηματίζονται δύο ίσα ορθογώνια τρίγωνα. Επομένως για να υπολογίσουμε την ελάχιστη κάθετη γωνία όρασης για την κάμερα, αρκεί να υπολογίσουμε μια από αυτές τις γωνίες και να πολλαπλασιάσουμε επί δύο. Ο υπολογισμός της γωνίας είναι εύκολος αφού γνωρίζουμε τις δύο πλευρές του τριγώνου όπως φαίνεται στο σχήμα. Άρα η γωνία, έστω θ_2 , μπορεί να βρεθεί από τον εξής τύπο:

$$\theta_2 = \arctan (340 / 760) = 24.10 \text{ μοίρες}$$

Άρα, η ελάχιστη γωνία όρασης για το φακό της κάμερας, έστω Θ_2 , πρέπει να είναι:

$$\Theta_2 = 2 * \theta_2 = 48.20 \text{ μοίρες}$$

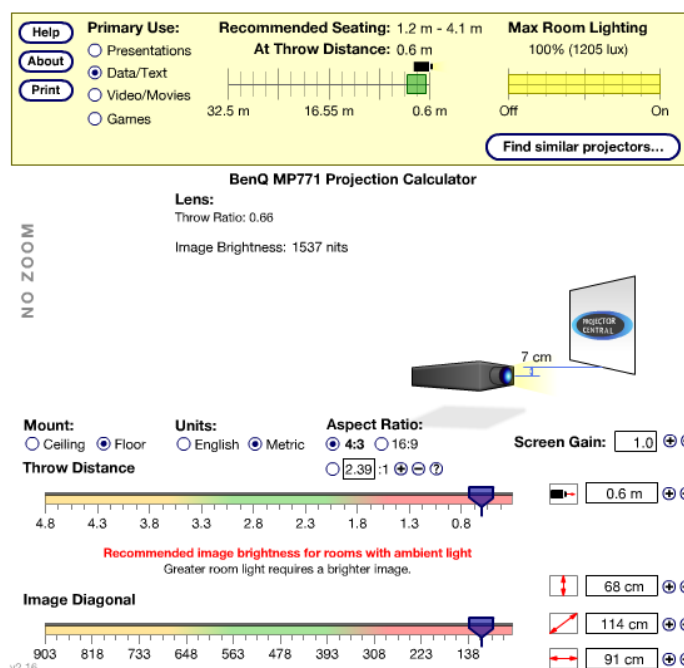
Το τελικό συμπέρασμα επομένως ήταν ότι η κάμερα που θα χρησιμοποιούταν για το σύστημα πολλαπλής αφής θα έπρεπε να είναι εξοπλισμένη με φακό ο οποίος να έχει οριζόντιο πεδίο όρασης 61.82 μοίρες και κάθετο πεδίο όρασης 48.20 μοίρες.

5.2.4 Projector

Γνωρίζοντας τις επιθυμητές διαστάσεις του τραπεζιού το οποίο θα κατασκευαζόταν, έπρεπε να υπολογιστεί και η θέση που θα μπει το projector ώστε να δημιουργήσει την εικόνα με τις επιθυμητές διαστάσεις, δηλαδή 91cm X 68cm, στην επιφάνεια του τραπεζιού. Για να γίνει αυτό όμως θα έπρεπε να γνωρίζουμε και τα χαρακτηριστικά του projector που θα χρησιμοποιόταν. Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά είναι η απόσταση που χρειάζεται για να δημιουργήσει μια εικόνα συγκεκριμένου μεγέθους και η κάθετη μετατόπιση της εικόνας προς τα πάνω, την οποία έχουν όλα τα projectors προκειμένου να μπορούν να προβάλλουν εικόνα ακόμα και όταν τοποθετούνται πάνω από άλλες επίπεδες επιφάνειες.

Χρησιμοποιώντας τον υπολογιστή στην ιστοσελίδα [40] που περιέχει στοιχεία για ένα τεράστιο αριθμό projectors, μπόρεσα να διαπιστώσω ότι το projector το οποίο είχα στη διάθεση μου από το εργαστήριο γραφικών δυστυχώς δεν μπορούσε σε καμιά περίπτωση να δημιουργήσει την εικόνα με τις επιθυμητές διαστάσεις αν το τοποθετούσαμε μέσα στο τραπέζι. Επομένως μετά από σχετική έρευνα κατέληξα στο συμπέρασμα ότι θα έπρεπε να χρησιμοποιηθεί ένα ειδικό projector τύπου short throw, το οποίο θα είχε τη δυνατότητα να δημιουργήσει την απαιτούμενη εικόνα.

Το projector το οποίο αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί ήταν το BenQ MP771, το οποίο έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει την απαιτούμενη εικόνα από απόσταση μόλις 60 εκατοστών, με κάθετη μετατόπιση 7 εκατοστά όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.10. Πρόκειται για ένα από τα κορυφαία projectors στο είδος του και συνοδεύεται από πολύ καλά χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα, έχει φωτεινότητα 3000 lumens και contrast ratio 2000:1, έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε περιπτώσεις όπου υπάρχει αρκετό φως στο δωμάτιο. Επιπλέον διαθέτει ρύθμιση χρωμάτων για ακόμα καλύτερα χρώματα και η λάμπα του έχει μέσο όρο ζωής γύρω στις 4000 ώρες, γεγονός που σημαίνει ότι δε θα χρειάζεται συχνές αλλαγές. Τα κορυφαία χαρακτηριστικά του BenQ MP771, σε συνδυασμό με την ικανότητα του να δημιουργεί τη διπλάσια εικόνα σε σχέση με παραδοσιακά projector, το κατέστησαν την καταλληλότερη επιλογή για το σύστημα πολλαπλής αφής.

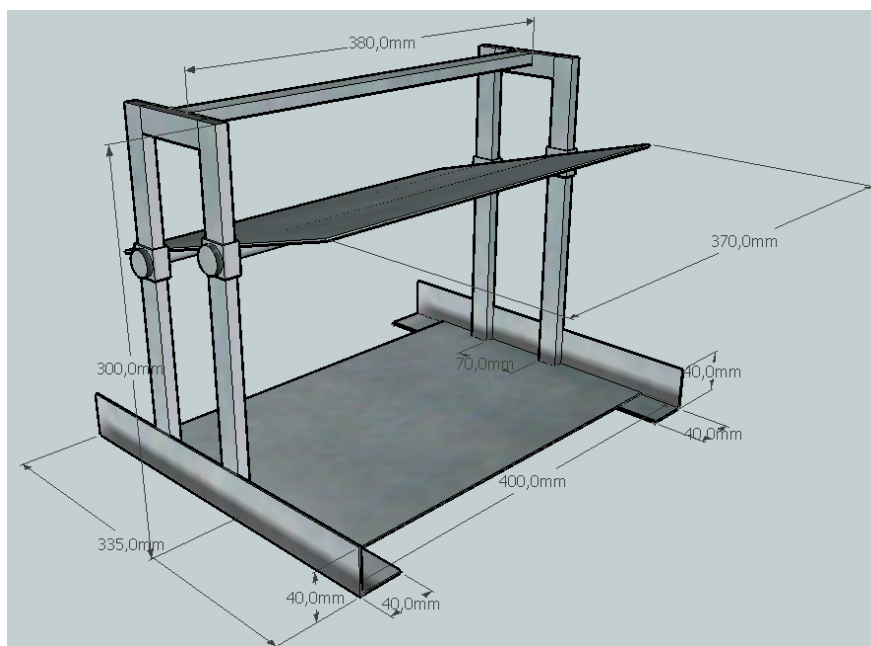


Σχήμα 5.10 Υπολογισμός μεγέθους εικόνας για το BenQ MP771

Γυρνώντας στο πρόβλημα της απόστασης, παρατήρησα ότι μπορεί μεν τα 60 εκατοστά που χρειάζεται το BenQ MP771 να ήταν σοβαρή βελτίωση, από την άλλη όμως δεν ήταν δυνατό να χρησιμοποιηθεί το projector από μόνο του, χωρίς κάποιο καθρέφτη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η απόσταση των 60 εκατοστών μετρείται από την λάμπα του projector, επομένως ακόμα και αν τοποθετούσαμε το projector στο κάτω μέρος του τραπεζιού και το στρέφαμε κάθετα προς τα πάνω και πάλι δεν θα είχαμε αρκετή απόσταση από την εικόνα αφού στα 60 εκατοστά θα έπρεπε να προσθέσουμε και το μήκος του projector το οποίο είναι γύρω στα 30 εκατοστά και άρα θα είχαμε ένα σύνολο 90 εκατοστά, τα οποία είναι περισσότερα από τα 76 εκατοστά διαθέσιμου ύψους στο εσωτερικό του τραπεζιού. Εξάλλου η τοποθέτηση ενός projector σε γωνία 90 μοιρών δε συστήνεται αφού προκαλεί προβλήματα στη λάμπα του projector και θα πρέπει να αποφεύγεται.

Με αυτή τη σκέψη, θα έπρεπε να βρεθεί μια λύση με χρήση καθρέφτη σε συνδυασμό με το projector, που να δίνει την επιθυμητή εικόνα. Ο υπολογισμός των αποστάσεων και των γωνιών σε ένα τέτοιο εγχείρημα όμως δεν είναι εύκολη υπόθεση αφού η παραμικρή μετατόπιση από τις βέλτιστες τιμές προκαλεί μεγάλες διαφορές στην εικόνα και τεράστια προβλήματα keystoneing (η τελική εικόνα παίρνει σχήμα τραπεζίου αντί ορθογωνίου).

Στη συνέχεια θα έπρεπε να σχεδιαστεί ένας μηχανισμός που να επιτρέπει στο projector και τον καθρέφτη να μετακινούνται κάθετα και να αλλάζουν κλίση, αφού θα ήταν χρήσιμο να μπορεί να γίνει κάποια μετακίνηση τους μέχρι να βρεθεί η κατάλληλη θέση στην οποία θα παραμείνουν. Για το projector εμπνεύστηκα από ένα επαγγελματικό μηχανισμό για projectors που υπήρχε στο σύστημα εικονικής πραγματικότητας του εργαστηρίου γραφικών. Επειδή όμως ήταν αρκετά μεγάλος για να χωρέσει μέσα στο τραπέζι, αποφάσισα να σχεδιάσω ένα μικρότερο που θα είχε την ίδια λειτουργία, δηλαδή μετακίνηση του projector κάθετα και αλλαγή της κλίσης του projector. Ο μηχανισμός αυτός φαίνεται στο Σχήμα 5.11.

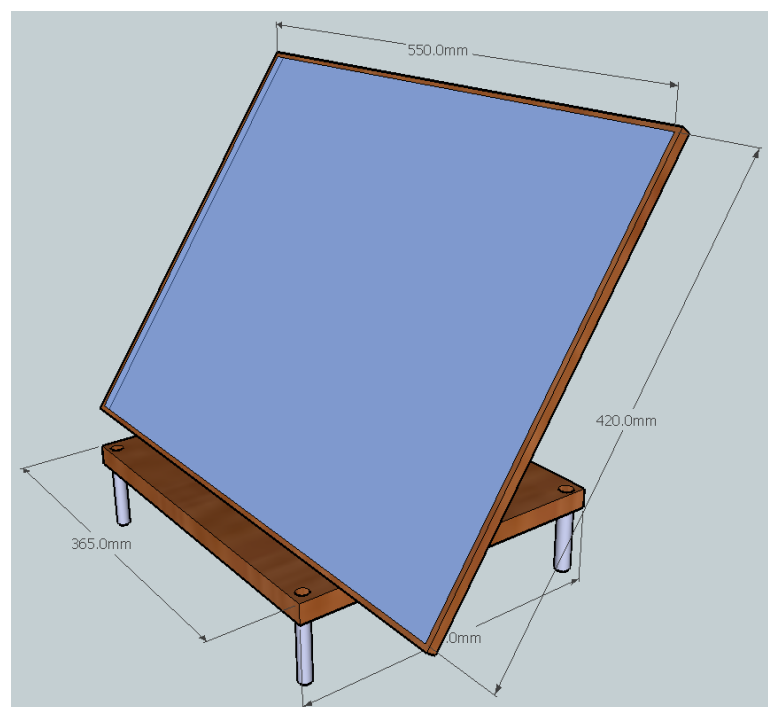


Σχήμα 5.11 Ο μηχανισμός για τη μετακίνηση του projector

Όπως φαίνεται από τις μετρήσεις πάνω στο σχήμα, πρόκειται για ένα μηχανισμό με ύψος 30 cm, μήκος 40 cm και πλάτος 33.5 cm. Επομένως είναι αρκετά μικρός για να χωρέσει στο εσωτερικό του τραπεζιού και αρκετά ευέλικτος για να μετακινεί το projector με ακρίβεια σε διάφορες θέσεις μέχρι να βρεθεί η κατάλληλη. Η μετακίνηση του projector γίνεται μέσω της κεκλιμένης βάσης πάνω στην οποία θα κάθεται το projector και η οποία έχει τη δυνατότητα να κινείται πάνω και κάτω και να αλλάζει κλίση μέσω των τεσσάρων τροχών που την κρατούν πάνω στις τέσσερις κολώνες. Οι τέσσερις τροχοί μπορούν να μετακινούνται ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο απλά περιστρέφοντας τους, έτσι κάθε γωνιά της βάσης μπορεί να κινείται ανεξάρτητα πάνω και κάτω (ως ένα ορισμένο σημείο ασφαλώς, αφού μετά θα αναγκάσει και τις

υπόλοιπες γωνιές να την ακολουθήσουν) δίνοντας μας έτσι ευελιξία όσον αφορά τις δυνατές θέσεις στις οποίες μπορεί να βρεθεί η βάση και συνεπώς το projector.

Για τον καθρέφτη αρχικά έπρεπε να αποφασιστούν οι διαστάσεις του ώστε να κοπεί στις απαραίτητες διαστάσεις. Οι διαστάσεις που αποφάσισα ότι θα έπρεπε να έχει ο καθρέφτης ήταν 55cm X 42cm. Στη συνέχεια σχεδιάστηκε ένας μηχανισμός για να μετακινείται ο καθρέφτης κάθετα. Η ιδέα ήταν ότι μόλις βρίσκαμε την κατάλληλη θέση για το projector, ο καθρέφτης δε θα χρειαζόταν να μετακινηθεί πολύ όσον αφορά την κλίση του, έτσι η κάθετη μετακίνηση του ήταν αρκετή. Στο Σχήμα 5.12 φαίνεται ολόκληρος ο μηχανισμός για τον καθρέφτη, μαζί με τον καθρέφτη και το πλαίσιο του. Όπως φαίνεται, η βάση πάνω στην οποία κάθετα ο καθρέφτης στηρίζεται από τέσσερα πόδια τα οποία βιδώνουν και ξεβιδώνουν ώστε να παρέχουν την κάθετη μετακίνηση στον καθρέφτη.



Σχήμα 5.12 Ο μηχανισμός για τη μετακίνηση του καθρέφτη

5.2.5 LEDs

Κατά τη σχεδίαση των LEDs, το πρώτο πράγμα που έπρεπε να γίνει ήταν να αποφασιστεί ποια LEDs θα χρησιμοποιούνταν στο σύστημα, αφού είχε μεγάλη σημασία να γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά τους ώστε να σχεδιαστούν τα κατάλληλα κυκλώματα που θα τα τροφοδοτούσαν. Ουσιαστικά τα ιδανικά LEDs θα έπρεπε να εκπέμπουν

υπέρυθρο φως μήκους κύματος γύρω στα 850nm ώστε να μπορεί να ανιχνευτεί εύκολα από οποιαδήποτε κάμερα και επιπλέον θα έπρεπε να έχουν αρκετά μεγάλη ένταση φωτός και μεγάλη γωνία εκπομπής φωτός ώστε να είναι κατάλληλα για την εφαρμογή μας η οποία απαιτεί έντονο υπέρυθρο φως. Το θεωρητικό υπόβαθρο πίσω από αυτές τις έννοιες υπάρχει στο τμήμα για τα LEDs στο Κεφάλαιο 2.

Λαμβάνοντας υπόψη τα πιο πάνω χαρακτηριστικά και μετά από έρευνα για κατάλληλα LEDs σε διάφορα καταστήματα στην Κύπρο αλλά και στο διαδίκτυο, κατέληξα στην απόφαση χρησιμοποίησης των LEDs από την εταιρεία OSRAM με κωδικό SFH485P. Τα LEDs αυτά είναι στρογγυλά με ακτίνα 5mm, εκπέμπουν υπέρυθρο φως μήκους κύματος 880nm, έχουν μεγάλη ένταση φωτός και 80 μοίρες γωνία εκπομπής φωτός. Τα χαρακτηριστικά τους αυτά τα κατέστησαν την καταλληλότερη επιλογή για το σύστημα πολλαπλής αφής.

Σημαντικά στοιχεία τα οποία χρειάζεται να γνωρίζει κάποιος για τα συγκεκριμένα LEDs είναι ότι χρειάζονται τάση 1.5 volts και ένταση 100 milliampers ενώ καταναλώνουν ισχύ 200 milliwatts το καθένα. Αυτά τα τρία στοιχεία ήταν απαραίτητα για τον ηλεκτρολογικό σχεδιασμό των κυκλωμάτων που θα τροφοδοτούσαν αυτά τα LEDs.

Πολύ σημαντικό στοιχείο το οποίο έπρεπε επίσης να ληφθεί υπόψη ήταν ο τρόπος τροφοδοσίας των LEDs. Συγκεκριμένα, τα LEDs θα έπρεπε να τροφοδοτηθούν από κάποιο τροφοδοτικό. Δυστυχώς ο προϋπολογισμός δεν αρκούσε για την αγορά εξειδικευμένου εργαστηριακού τροφοδοτικού, επομένως αποφάσισα αρχικά να χρησιμοποιήσω το τροφοδοτικό του υπολογιστή για την παροχή ρεύματος στα LEDs. Το τροφοδοτικό ενός υπολογιστή δίνει διάφορες εξόδους όσον αφορά την τάση του ρεύματος. Συγκεκριμένα υπάρχει έξοδος των 3.3 volts, των 5 volts και των 12 volts, καθώς και η γείωση των 0 volts. Για την περίπτωση μας, χρησιμοποιήθηκαν τόσο η έξοδος των 3.3 volts όσο και αυτή των 12 volts.

5.2.5.1 LEDs για τη μέθοδο FTIR

Αφού αποφασίστηκε ο τύπος των LEDs που θα χρησιμοποιούνταν για το σύστημα πολλαπλής αφής, έπρεπε να σχεδιαστεί και κάποιο κύκλωμα το οποίο θα τροφοδοτούσε τα LEDs για τη μέθοδο FTIR. Καταρχήν θα έπρεπε να υπολογιστεί ο συνολικός

αριθμός των LEDs που θα χρειάζονταν για αυτή τη μέθοδο. Όπως έχω αναφέρει ήδη στο Κεφάλαιο 2, η μέθοδος FTIR απαιτεί την τοποθέτηση των LEDs στις πλευρές του ακρυλικού το οποίο αποτελεί την επιφάνεια αφής.

Σύμφωνα με προηγούμενες εργασίες, χρειάζεται τουλάχιστον ένα LED σε κάθε 2.5 εκατοστά γύρω από το ακρυλικό για να υπάρξουν ικανοποιητικά αποτελέσματα με χρήση της μεθόδου FTIR. Φυσικά δεν είναι υποχρεωτική η τοποθέτηση LEDs και στις τέσσερις πλευρές του ακρυλικού, αλλά τουλάχιστον οι δύο πλευρές πρέπει οπωσδήποτε να έχουν LEDs. Για πιο σίγουρα αποτελέσματα, ο τελικός μου σχεδιασμός περιλάμβανε LEDs και στις τέσσερις πλευρές του ακρυλικού. Σύμφωνα με τους πιο κάτω υπολογισμούς βρήκα τον αριθμό των LEDs που χρειάζονταν για τη μέθοδο FTIR.

Για κάθε μια από τις μακριές πλευρές: $92 / 2.5 = 36.8 \approx 37$

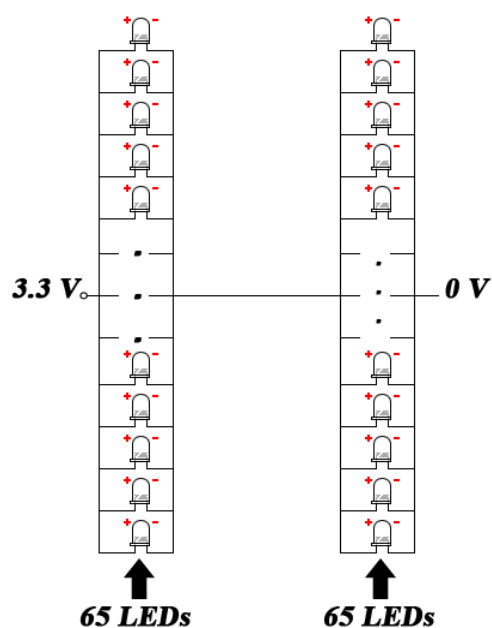
Για κάθε μια από τις στενές πλευρές: $69 / 2.5 = 27.6 \approx 28$

Σύνολο : $(2 * 37) + (2 * 28) = 130$

Να αναφέρω εδώ ότι οι αριθμοί 92 και 69 είναι μεγαλύτεροι από το πραγματικό μέγεθος της εικόνας στην οθόνη αφής γιατί προφανώς το ακρυλικό θα ήταν μεγαλύτερο από 91 X 68 ούτως ώστε να ακουμπά στις προεξοχές του τραπεζιού και να μην υπάρχει κίνδυνος να πέσει.

Μετά τον υπολογισμό του αριθμού των LEDs που θα χρειαζόμουν για την μέθοδο FTIR, το επόμενο βήμα ήταν να σχεδιάσω ένα κύκλωμα για την τροφοδοσία τους. Η απόφαση ήταν να τροφοδοτηθούν χρησιμοποιώντας την έξοδο των 3.3 volts από το τροφοδοτικό του υπολογιστή, έτσι το κύκλωμα σχεδιάστηκε λαμβάνοντας υπόψη αυτό το γεγονός. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.13 το οποίο παρουσιάζει το κύκλωμα, τα μισά από τα 130 LEDs, δηλαδή αυτά που θα φωτιζαν τις δύο κάθετες πλευρές του ακρυλικού ενώνονται παράλληλα μεταξύ τους. Το ίδιο γίνεται και για τα υπόλοιπα LEDs που θα φωτιζαν τις άλλες δύο κάθετες πλευρές του ακρυλικού. Στη συνέχεια αυτά τα δύο τμήματα ενώνονται σε σειρά μεταξύ τους για να δημιουργηθεί το πλήρες κύκλωμα.

Ακολούθως θα έπρεπε να υπολογιστούν οι απαιτήσεις του κυκλώματος σε τάση και ένταση ρεύματος, ώστε να επιβεβαιωθεί ότι θα λειτουργούσε ορθά. Σύμφωνα με θεμελιώδη θεωρία ηλεκτρικών κυκλωμάτων, όταν ενώνουμε δύο διόδους παράλληλα η



Σχήμα 5.13 Ηλεκτρικό κύκλωμα για τροφοδοσία των LEDs για τη μέθοδο FTIR

τάση που απαιτούν παραμένει η ίδια ενώ προστίθεται η ένταση που απαιτούν. Το αντίθετο συμβαίνει όταν ενώνουμε δύο διόδους σε σειρά, δηλαδή προστίθεται η τάση που απαιτούν και παραμένει σταθερή η ένταση που απαιτούν. Επειδή τα LEDs είναι στην ουσία ηλεκτρικοί διόδοι, η θεωρία αυτή μπορεί να εφαρμοστεί στο πιο πάνω κύκλωμα. Επομένως λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι το κύκλωμα ενώνει παράλληλα 65 LEDs και στη συνέχεια ενώνει σε σειρά 2 τμήματα με 65 LEDs κατέληξα στο συμπέρασμα ότι χρειάζεται τάση 3 volts (1.5 volts για τα 65 LEDs και 1.5 volts για τα άλλα 65 LEDs) και ένταση 6.5 ampers ($65 * 100$ milliampers) για να λειτουργήσει. Το κύκλωμα τροφοδοτεί τα LEDs με 3.3 volts ενώ χρειάζονται μόνο 3 volts, αυτό όμως έγινε ώστε να μην χρειαστούν επιπλέον αντιστάσεις για το κύκλωμα και δεν αποτελεί πρόβλημα γιατί η αντίσταση όλου του κυκλώματος μειώνει την τελική τάση στα άκρα των LEDs σε χαμηλότερα επίπεδα.

Μετά τη σχεδίαση του κυκλώματος για τα LEDs, θα έπρεπε να σχεδιαστεί και κάποιο πλαίσιο για να κρατά τα LEDs με ακρίβεια στις πλευρές του ακρυλικού, ώστε να διοχετεύουν το φως τους μέσα στο ακρυλικό. Για το σκοπό αυτό ετοίμασα το Σχήμα 5.14 το οποίο δείχνει το πλαίσιο για τα LEDs. Πρόκειται για ένα πλαίσιο σχήματος 'Π' το οποίο καλύπτει όλες τις πλευρές του ακρυλικού, μέσα στο οποίο θα είναι τοποθετημένα τα LEDs.



Σχήμα 5.14 Το πλαίσιο για τα LEDs στη μέθοδο FTIR

5.2.5.2 LEDs για τη μέθοδο Rear DI

Με αντίστοιχο τρόπο θα έπρεπε να σχεδιαστεί και κάποιο κύκλωμα το οποίο θα τροφοδοτούσε τα LEDs για τη μέθοδο Rear DI. Καταρχήν θα έπρεπε να υπολογιστεί ο συνολικός αριθμός των LEDs που θα χρειαζόνταν για αυτή τη μέθοδο. Όπως έχω αναφέρει ήδη στο Κεφάλαιο 2, η μέθοδος Rear DI απαιτεί την τοποθέτηση των LEDs κάτω από την επιφάνεια αφής, χωρίς να υπάρχει περιορισμός ως προς τον αριθμό, ή την ακριβή τους θέση και κλίση. Το πιο δύσκολο σημείο βέβαια σε αυτή τη μέθοδο είναι ο ομοιόμορφος φωτισμός της επιφάνειας αφής με υπέρυθρο φως ώστε να αποφεύγονται τα πολύ φωτεινά σημεία ή τα πολύ σκοτεινά σημεία τα οποία δυσκολεύουν πολύ τη διαδικασία ανίχνευσης των σημείων αφής. Για αυτό το σκοπό, σύμφωνα με προηγούμενες εργασίες, συστήνεται η χρήση μεγάλου αριθμού LEDs, τουλάχιστον μεγαλύτερου από το 200. Στην περίπτωση μας έκρινα ότι ένας αριθμός γύρω στο 300 θα ήταν αρκετός για να καλύψουμε ομοιόμορφα την επιφάνεια αφής με έντονο υπέρυθρο φως.

Μετά τον υπολογισμό του αριθμού των LEDs που θα χρειαζόμουν για την μέθοδο αυτή, το επόμενο βήμα ήταν να σχεδιάσω ένα κύκλωμα για την τροφοδοσία τους. Η απόφαση ήταν να τροφοδοτηθούν χρησιμοποιώντας την έξοδο των 12 volts από το τροφοδοτικό του υπολογιστή, έτσι το κύκλωμα σχεδιάστηκε λαμβάνοντας υπόψη αυτό το γεγονός. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.16 το κύκλωμα χρησιμοποιεί συνολικά 288 LEDs, τα οποία χωρίζονται σε 36 σειρές των 8 LEDs. Σε κάθε σειρά τα 8 LEDs ενώνονται μεταξύ τους σε σειρά και επιπλέον υπάρχει μια μικρή αντίσταση του ενός ohm και πάλι σε σειρά, για να ρυθμίζει την ένταση του ρεύματος ώστε να μην καούν τα LEDs, αν και

ουσιαστικά η τάση που απαιτούν είναι $8 \times 1.5 = 12$ volts, η οποία είναι ίση με την τάση του τροφοδοτικού. Στη συνέχεια αυτές οι 36 σειρές ενώνονται μεταξύ τους παράλληλα για να δημιουργηθεί το πλήρες κύκλωμα.

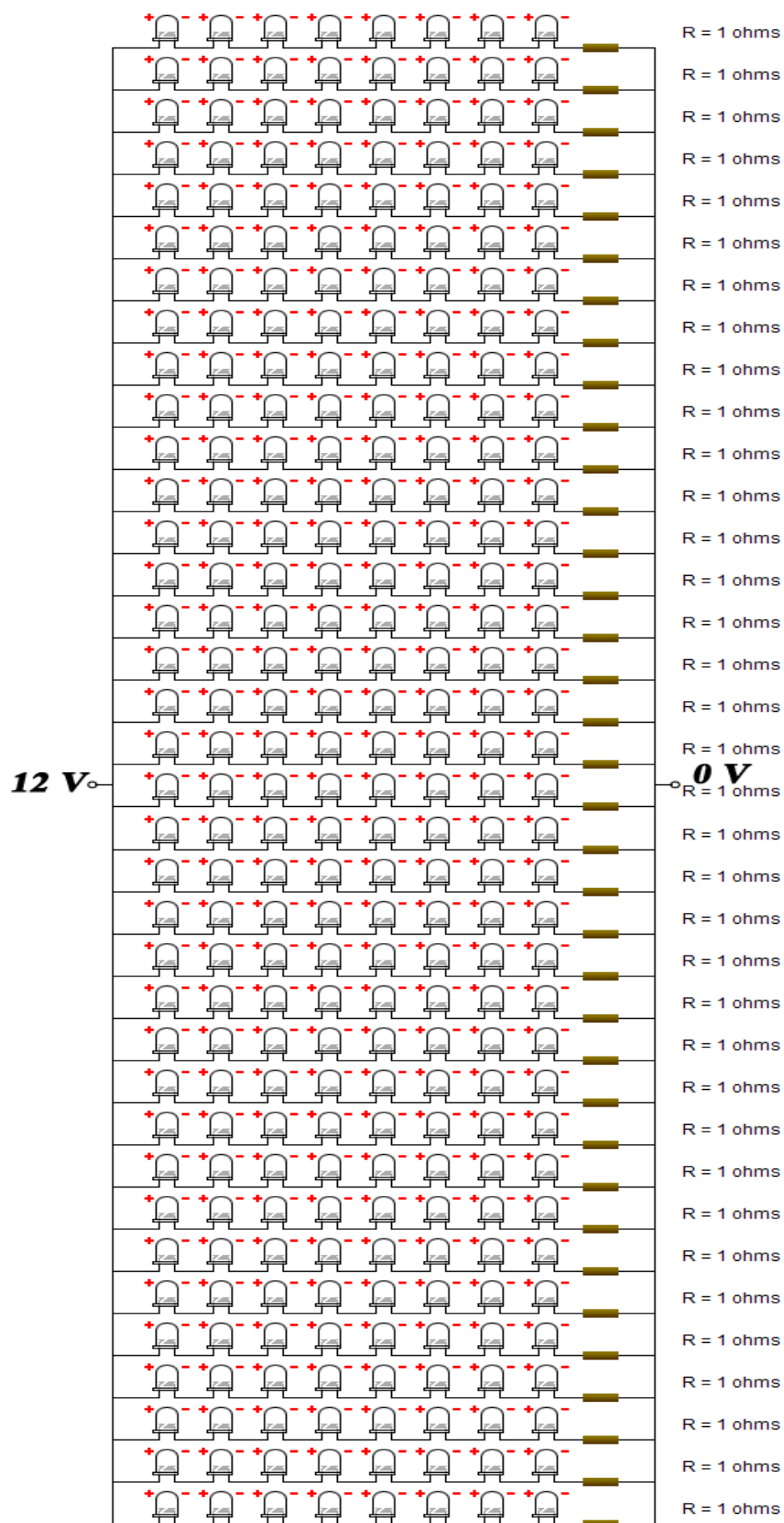
Ακολούθως θα έπρεπε να υπολογιστούν οι απαιτήσεις του κυκλώματος σε τάση και ένταση ρεύματος, ώστε να επιβεβαιωθεί ότι θα λειτουργούσε ορθά. Σύμφωνα με θεμελιώδη θεωρία ηλεκτρικών κυκλωμάτων, όταν ενώνουμε δύο διόδους παράλληλα η τάση που απαιτούν παραμένει η ίδια ενώ προστίθεται η ένταση που απαιτούν. Το αντίθετο συμβαίνει όταν ενώνουμε δύο διόδους σε σειρά, δηλαδή προστίθεται η τάση που απαιτούν και παραμένει σταθερή η ένταση που απαιτούν. Επειδή τα LEDs είναι στην ουσία ηλεκτρικοί διόδοι, η θεωρία αυτή μπορεί να εφαρμοστεί στο πιο πάνω κύκλωμα. Επομένως λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι το κύκλωμα ενώνει σε σειρά 8 LEDs και στη συνέχεια ενώνει παράλληλα 36 σειρές από LEDs κατέληξα στο συμπέρασμα ότι χρειάζεται τάση 12 volts ($8 \times 1.5 = 12$ volts) και ένταση 3.6 amperes (36×100 milliamperes) για να λειτουργήσει.

Μετά τη σχεδίαση του κυκλώματος για τα LEDs, θα έπρεπε να ληφθεί κάποια πρόνοια όσον αφορά τις θέσεις που θα έμπαιναν τα LEDs κάτω από την επιφάνεια αφής. Για το σκοπό αυτό ετοίμασα το Σχήμα 5.15 το οποίο δείχνει τις θέσεις αυτές.



Σχήμα 5.15 Οι θέσεις των LEDs στη μέθοδο Rear DI

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.15, τα διαθέσιμα LEDs θα χωρίζονταν σε 5 τμήματα, εκ των οποίων τα 4 θα τοποθετούνταν στις γωνιές του τραπεζιού ενώ το πέμπτο θα τοποθετείτο στη μέση.



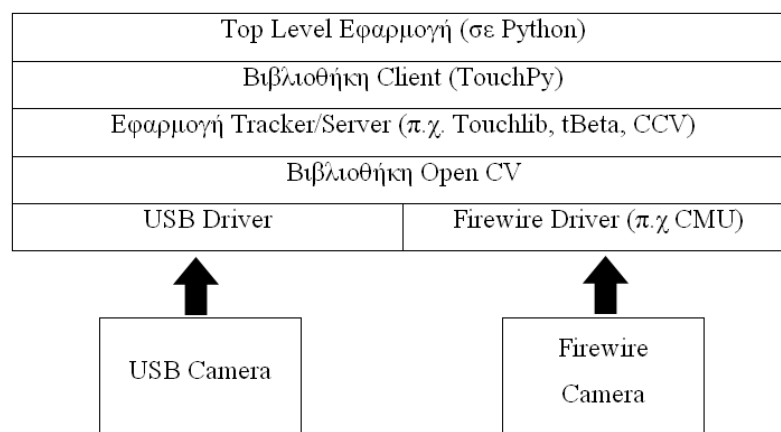
Σχήμα 5.16 Ηλεκτρικό κύκλωμα για τροφοδοσία των LEDs για τη μέθοδο DI

5.3 Σχεδιασμός Λογισμικού

Κατά το σχεδιασμό του λογισμικού, το πρώτο σημείο το οποίο διερευνήθηκε ήταν η αρχιτεκτονική ολόκληρου του συστήματος, αρχίζοντας από το χαμηλότερο επίπεδο της μεταφοράς των εικόνων από την κάμερα μέχρι το ψηλότερο επίπεδο της τελικής εφαρμογής με την οποία θα αλληλεπιδρά ο χρήστης. Επίσης μελετήθηκε και η ροή των δεδομένων διαμέσου του συστήματος που επιτρέπουν την αλληλεπίδραση του χρήστη με το σύστημα, καθώς και οι τυπικοί διάλογοι ανάμεσα στο χρήστη και το σύστημα με βάση ένα rapid prototype.

5.3.1 Αρχιτεκτονική Συστήματος

Όπως έχω ήδη αναφέρει και στο Κεφάλαιο 2, η ανίχνευση πολλαπλών σημείων επαφής ακολουθεί το μοντέλο πελάτη – εξυπηρετητή (client – server), όπου ένας εξυπηρετητής ανιχνεύει τα σημεία επαφής και τα μεταδίδει στον πελάτη ο οποίος τα επεξεργάζεται και τα χρησιμοποιεί. Η δομή του συστήματος πολλαπλής αφής επομένως ακολουθεί τα επίπεδα που φαίνονται στο Σχήμα 5.17, όπως κάθε τυπικό σύστημα πολλαπλής αφής.



Σχήμα 5.17 Η αρχιτεκτονική του συστήματος σε επίπεδα

Όπως βλέπουμε, η αρχιτεκτονική του συστήματος αποτελείται από 5 επίπεδα. Το χαμηλότερο από αυτά είναι φυσικά ο driver ο οποίος επικοινωνεί απευθείας με το υλικό, δηλαδή την κάμερα και διασυνδέει το υλικό με το λογισμικό. Ο driver λαμβάνει τις ακατέργαστες εικόνες από την κάμερα και τις προωθεί στα ψηλότερα επίπεδα της αρχιτεκτονικής. Ανάλογα με το είδος της κάμερας που χρησιμοποιεί το σύστημα, ο driver μπορεί να είναι γραμμένος για κάποια USB κάμερα ή για κάποια Firewire κάμερα. Για Firewire κάμερες υπάρχει ένας πολύ καλός driver από το Πανεπιστήμιο του Carnegie Mellon (CMU).

Αμέσως πιο πάνω από τον driver βρίσκεται μια βιβλιοθήκη μηχανικής όρασης όπως η δημοφιλής OpenCV της Intel. Μια τέτοια βιβλιοθήκη παρέχει τις απαραίτητες θεμελιώδεις συναρτήσεις για επεξεργασία βίντεο πάνω στις οποίες χτίζονται οι trackers οι οποίοι βρίσκονται στο επόμενο επίπεδο της αρχιτεκτονικής.

Το επόμενο επίπεδο της αρχιτεκτονικής είναι και το πιο σημαντικό αφού όλη η διαδικασία της ανίχνευσης των σημείων αφής εκτελείται εδώ. Όπως είδαμε και στο Κεφάλαιο 2, υπάρχουν αρκετοί trackers για ανίχνευση σημείων αφής, με το Touchlib, το tBeta και το CCV (η νέα έκδοση του tBeta) να είναι οι πιο δημοφιλείς. Οι trackers επεξεργάζονται τις ακατέργαστες εικόνες από τον driver με τη βοήθεια των συναρτήσεων της OpenCV και αφού περάσουν την εικόνα από διάφορα φίλτρα ανιχνεύουν τα σημεία αφής και τα μεταδίδουν σε ένα socket ως πακέτα με βάση το πρωτόκολλο TUIO. Το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιήσει οποιοδήποτε από αυτούς τους trackers, στο παρόν στάδιο όμως χρησιμοποιείται κυρίως το tBeta.

Στο επόμενο επίπεδο βρίσκεται η βιβλιοθήκη TouchPy, η οποία ως client λαμβάνει τα πακέτα με τις πληροφορίες για τα σημεία αφής και πυροδοτεί τα κατάλληλα events (Touch Down, Touch Up και Touch Move) για την τελική εφαρμογή. Σε αυτό το επίπεδο υπάρχουν και άλλες βιβλιοθήκες γραμμένες σχεδόν σε όλες τις δημοφιλείς γλώσσες προγραμματισμού και η κάθε βιβλιοθήκη εξυπηρετεί τις ανάγκες εφαρμογών γραμμένων στη γλώσσα που είναι γραμμένη η ίδια.

Στο τελευταίο και ψηλότερο επίπεδο βρίσκεται η τελική εφαρμογή, η οποία είναι γραμμένη σε Python και χρησιμοποιεί τη μηχανή παιχνιδιού Panda3D για την τρισδιάστατη απεικόνιση των τειχών της Λευκωσίας. Σε αυτό το επίπεδο υπάρχουν και πάλι πολλές επιλογές ως προς τη γλώσσα προγραμματισμού για την τελική εφαρμογή, αφού ο μόνος περιορισμός είναι να υπάρχει η απαραίτητη βιβλιοθήκη πελάτη για να λαμβάνει τις πληροφορίες για τα σημεία αφής και να πυροδοτεί τα αναγκαία events.

5.3.2 Ροή Δεδομένων

Εκτός από την αρχιτεκτονική ενός συστήματος πολλαπλής αφής, μεγάλη σημασία είχε και η μελέτη της ροής των δεδομένων κατά την αλληλεπίδραση ενός χρήστη με το σύστημα. Το Σχήμα 5.18 παρουσιάζει την ροή των δεδομένων στο σύστημα πολλαπλής αφής.



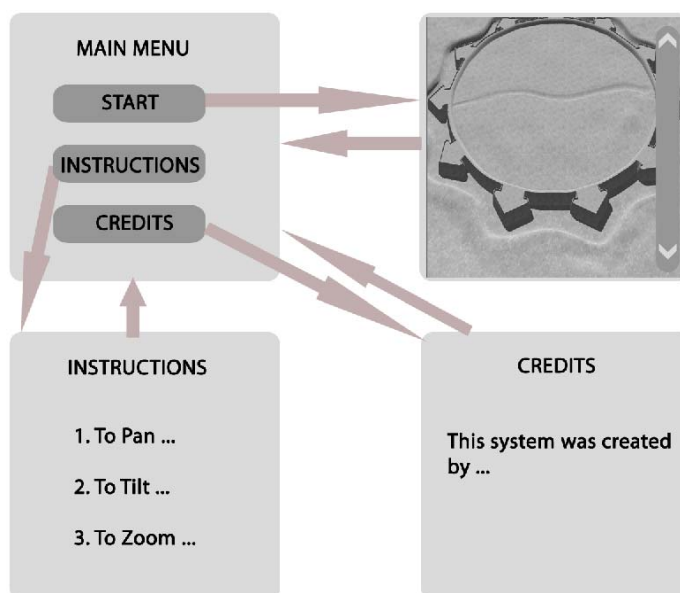
Σχήμα 5.18 Η ροή των δεδομένων στο σύστημα

Όπως βλέπουμε, όλα αρχίζουν από τον χρήστη ο οποίος μετακινεί τα δάχτυλα του αλλάζοντας έτσι την κατάσταση των σημείων επαφής των δαχτύλων του με την επιφάνεια αφής. Η κάμερα λαμβάνει αρκετές εικόνες ανά δευτερόλεπτο και τις προωθεί στη βιβλιοθήκη ανίχνευσης (tracker). Ο tracker επεξεργάζεται τις ακατέργαστες εικόνες, συγκρίνει διαδοχικές εικόνες για διαφορές ανάμεσα στα σημεία αφής και δημιουργεί δεδομένα σημείων αφής με βάση το πρωτόκολλο TUIO. Τα δεδομένα αυτά στέλλονται σε πακέτα μέσα σε ένα UDP socket και λαμβάνονται από τον Python client, δηλαδή το TouchPy. Το TouchPy πυροδοτεί τα τρία θεμελιώδη events ανάλογα με τα περιεχόμενα των πακέτων και με βάση αυτά τα events ανανεώνεται η κατάσταση του εικονικού κόσμου της εφαρμογής μέσα στο Panda3D. Στο τέλος σχεδιάζεται και πάλι ο εικονικός κόσμος από το Panda3D με βάση τις όποιες αλλαγές υπήρξαν στην κατάσταση του, και η εικόνα μεταφέρεται μέσω της συσκευής εξόδου, δηλαδή του projector, στην οθόνη πολλαπλής αφής και συνεπώς στον χρήστη. Η επιφάνεια αφής ενεργεί επομένως και ως συσκευή εισόδου και ως συσκευή εξόδου.

5.3.3 Rapid Prototype

Στο τέλος της σχεδίασης του λογισμικού, έπρεπε να γίνει μια γρήγορη πρωτοτυποποίηση της εφαρμογής ώστε να υπάρχει μια αρχική ιδέα ως προς το πως θα φαινόταν η διεπιφάνεια της εφαρμογής και ποιοι θα ήταν οι τυπικοί διάλογοι ανάμεσα στον χρήστη και το σύστημα. Ο στόχος ήταν μια απλή διεπιφάνεια, με μεγάλα κουμπιά που να αντισταθμίζουν την έμφυτη έλλειψη ακρίβειας κατά την επιλογή με χρήση δαχτύλων αντί mouse. Επίσης το σύστημα πέραν από τις βασικές του λειτουργίες θα έπρεπε να προσφέρει απλές οδηγίες χρήσης για νέους χρήστες που δεν το έχουν ξαναχρησιμοποιήσει και να επιτρέπει επιστροφή στην αρχική κατάσταση σε περίπτωση που κάποιος χαθεί μέσα στην τρισδιάστατη σκηνή. Επιπλέον, το σύστημα δε θα έπρεπε να είναι δύσκολο και περίπλοκο στη χρήση και δε θα έπρεπε να προσφέρει περίπλοκους διαλόγους που να συγχύζουν το χρήστη. Τέλος, ήταν αυτονόητο ότι το σύστημα θα

έπρεπε να τηρεί τους κανόνες ευχρηστίας που τέθηκαν κατά τη φάση της ανάλυσης απαιτήσεων. Η γρήγορη πρωτοτυποποίηση είχε ως αποτέλεσμα το Σχήμα 5.19, το οποίο δείχνει την ιδέα για τις βασικές οθόνες του συστήματος και την ροή των τυπικών διαλόγων του χρήστη με το σύστημα.



Σχήμα 5.19 Το Rapid Prototype της εφαρμογής

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.19, η αρχική οθόνη της εφαρμογής είναι πολύ απλή, με τρία κουμπιά από τα οποία το πρώτο ξεκινά την περιήγηση, το δεύτερο παρουσιάζει την οθόνη με τις οδηγίες και το τρίτο παρουσιάζει την οθόνη με τα ονόματα των εμπλεκόμενων στην ανάπτυξη του συστήματος. Η κύρια οθόνη, δηλαδή αυτή της περιήγησης, δεν έχει καθόλου κουμπιά εκτός από ένα scroll bar στο δεξιό μέρος της οθόνης, το οποίο χρησιμοποιείται για την αλλαγή της χρονικής περιόδου ώστε να βλέπει ο χρήστης τις αλλαγές στην οχύρωση της Λευκωσίας. Αυτό επιτρέπει στο σύστημα να είναι πλήρως λειτουργικό και ταυτόχρονα στο χρήστη να μπορεί να βλέπει μια μεγάλη εικόνα των τειχών χωρίς να υπάρχουν άλλες αχρείαστες εικόνες πάνω στην οθόνη. Η ροή της εφαρμογής επιστρέφει στην αρχική οθόνη αν το σύστημα μείνει ανενεργό, δηλαδή χωρίς αφή, για κάποιο χρονικό διάστημα (π.χ 5 λεπτά). Επίσης η ροή της εφαρμογής επιστρέφει στην αρχική οθόνη και από τις άλλες δύο δευτερεύουσες οθόνες. Όπως μπορεί εύκολα να διαπιστώσει κάποιος, πρόκειται για μια εφαρμογή με απλή και λιτή διεπιφάνεια, η οποία όμως δεν της στερεί τίποτα από την απαιτούμενη λειτουργικότητα.

Κεφάλαιο 6

Υλοποίηση

6.1	Γενικά	85
6.2	Υλοποίηση Υλικού	86
6.3	Υλοποίηση Λογισμικού	104
5.4	Γενικά Προβλήματα κατά την Υλοποίηση	110

6.1 Γενικά

Μετά από την ολοκλήρωση της διαδικασίας του σχεδιασμού, η εργασία μπήκε αισίως στη φάση της υλοποίησης η οποία ήταν και η πιο χρονοβόρα και απαιτητική φάση της εργασίας. Η φάση της υλοποίησης βασίστηκε στα αποτελέσματα της φάσης του σχεδιασμού και κατά τη διάρκεια της κατασκευάστηκαν τα απαραίτητα τμήματα του υλικού για τις μεθόδους FTIR και Rear DI, έγιναν διάφορες δοκιμές καθώς και αλλαγές στο σχεδιασμό ενώ στη συνέχεια υλοποιήθηκε και η τελική εφαρμογή η οποία θα τρέχει στο σύστημα πολλαπλής αφής. Όπως και στις άλλες φάσεις της ανάπτυξης του συστήματος πολλαπλής αφής, έτσι και η φάση της υλοποίησης χωρίστηκε στην υλοποίηση του υλικού και την υλοποίηση του λογισμικού αφού το υλικό υλοποιήθηκε πριν από το λογισμικό.

Η υλοποίηση του υλικού περιλάμβανε την υλοποίηση όλων των τμημάτων που είχαν σχεδιαστεί προηγουμένως στη φάση της σχεδίασης και γι'αυτό ήταν ιδιαίτερα απαιτητική αφού θα έπρεπε να γίνουν κάποιες κατασκευές και κάποιες ηλεκτρολογικές εργασίες. Η υλοποίηση του λογισμικού παρουσίασε κάποιες επιπλέον προκλήσεις αφού δεν υπήρχε σχεδόν καμιά εμπειρία σε προγραμματισμό σε Python και χρήση του Panda3D, ενώ αρκετά δύσκολος ήταν και ο προγραμματισμός των αντιδράσεων του συστήματος στην πυροδότηση των touch events.

Στο κεφάλαιο αυτό, σκοπός είναι να παρουσιαστεί η φάση της υλοποίησης και να εξηγηθούν οι διάφορες αποφάσεις που πάρθηκαν κατά τη διάρκεια της. Όπως και στο

προηγούμενο κεφάλαιο, πρώτα παρουσιάζεται η υλοποίηση του υλικού και στη συνέχεια η υλοποίηση του λογισμικού η οποία ακολούθησε την υλοποίηση του υλικού χρονικά.

6.2 Υλοποίηση Υλικού

Κατά την υλοποίηση του υλικού, ακολουθήθηκε χονδρικά η ίδια διαδικασία με την διαδικασία που ακολουθήθηκε κατά τον σχεδιασμό του υλικού. Συγκεκριμένα, τα πέντε βασικά τμήματα του υλικού που καταγράφηκαν και σχεδιάστηκαν κατά τη φάση της σχεδίασης, υλοποιήθηκαν λαμβάνοντας υπόψη το σχεδιασμό που είχε εκπονηθεί για το καθένα και ακολούθως τέθηκαν σε λειτουργία. Για σκοπούς ομοιομορφίας, το υποκεφάλαιο αυτό θα ακολουθήσει την ίδια δομή με το αντίστοιχο υποκεφάλαιο του Κεφαλαίου 5 και θα παρουσιαστούν με την ίδια σειρά η υλοποίηση των πέντε βασικών τμημάτων του υλικού. Στα δύο τμήματα στα οποία υπήρξαν διαφορές στη σχεδίαση, αντίστοιχες διαφορές υπήρξαν και στην υλοποίηση επομένως και αυτές οι διαφορές θα παρουσιαστούν με τον ίδιο τρόπο όπως στο Κεφάλαιο 5.

Στη συνέχεια ακολουθούν οι λεπτομέρειες υλοποίησης για τα κύρια τμήματα του υλικού τα οποία φαίνονται στον Πίνακα 6.1

Βασικά Τμήματα Υλικού
Τραπέζι
Επιφάνεια αφής και προβολής
Κάμερα
Projector
LEDs

Πίνακας 6.1 Βασικά τμήματα υλικού

6.2.1 Τραπέζι

Η υλοποίηση του τραπέζιού ήταν το πρώτο βήμα για τη δημιουργία μιας βάσης στην οποία θα προστίθονταν στη συνέχεια και τα υπόλοιπα τμήματα του υλικού. Για το σκοπό αυτό θα έπρεπε να δημιουργηθεί μια γερή κατασκευή που να ακολουθεί πιστά το κατασκευαστικό σχέδιο το οποίο είχε δημιουργηθεί κατά τη φάση του σχεδιασμού. Δυστυχώς δεν υπήρχε καθόλου εμπειρία εκ μέρους μου σε τέτοιους είδους κατασκευές, επομένως αποφασίστηκε όπως η κατασκευή γίνει από κάποιο ειδικό. Επομένως, σε

συνεργασία με τις Τεχνικές Υπηρεσίες, το έργο της κατασκευής του τραπέζιού ανατέθηκε σε επαγγελματία ξυλουργό. Το αποτέλεσμα ήταν ένα τραπέζι που πληρούσε όλες τις απαιτήσεις για το σύστημα πολλαπλής αφής και το οποίο φαίνεται στη φωτογραφία του Σχήματος 6.1.



Σχήμα 6.1 Το τραπέζι πολλαπλής αφής

Το τραπέζι έχει τις ίδιες διαστάσεις με αυτό που σχεδιάστηκε κατά τη φάση του σχεδιασμού και διαθέτει τους απαραίτητους τροχούς για την ευκολότερη μετακίνηση του.

6.2.2 Επιφάνεια αφής και προβολής

Η υλοποίηση της επιφάνειας αφής και προβολής περιλάμβανε την επιλογή του ακρυλικού πλαστικού το οποίο θα χρησιμοποιούταν ως επιφάνεια αφής, σύμφωνα με τις διαστάσεις που καθορίστηκαν στη φάση της σχεδίασης καθώς και την επιλογή του υλικού για την επιφάνεια προβολής. Επιπλέον θα έπρεπε να κατασκευαστεί και κάποια συμβατή επιφάνεια για τις ανάγκες της μεθόδου FTIR, κάτι που ήταν και το πιο δύσκολο κομμάτι της υλοποίησης της επιφάνειας αφής. Οι διαφορές ανάμεσα στις

μεθόδους FTIR και Rear DI ήταν ουσιαστικά ανύπαρκτες κατά την αρχική υλοποίηση των δύο μεθόδων αφού και οι δύο χρησιμοποιούσαν την ίδια επιφάνεια αφής και προβολής. Στη συνέχεια όμως λόγω προβλημάτων που εξηγούνται στο Κεφάλαιο 7, η αρχική επιφάνεια αφής και προβολής αντικαταστάθηκε με άλλη επιφάνεια για τη μέθοδο Rear DI.

6.2.2.1 Επιφάνεια αφής για τη μέθοδο FTIR

Βασισμένος στις διαστάσεις για το ακρυλικό πλαστικό που είχα καθορίσει στη φάση του σχεδιασμού, έπρεπε σε αυτό το σημείο να επιλέξω το κατάλληλο πλαστικό για την μέθοδο FTIR. Η μέθοδος FTIR απαιτεί τη χρησιμοποίηση διάφανου πλαστικού ώστε να αντανακλάται ευκολότερα το υπέρυθρο φως στο εσωτερικό του και να ενεργοποιείται το φαινόμενο της ολικής εσωτερικής ανάκλασης. Υπάρχει μια τεράστια ποικιλία διαφορετικών υλικών για πλαστικές διάφανες επιφάνειες στην αγορά σήμερα. Για να απλοποιήσω τη διαδικασία, επισκέφθηκα κατάστημα ειδών οικοδομής και παρήγγειλα διάφανο ακρυλικό πάχους 10mm με διαστάσεις 92cm X 69cm. Το ακρυλικό που παρέλαβα τελικά ήταν κομμένο σε ελαφρώς μεγαλύτερες διαστάσεις, και συγκεκριμένα στα 95.5cm X 72.5cm, αυτό όμως δεν αποτελούσε πρόβλημα αφού χωρούσε στο πάνω μέρος του τραπεζιού και ήταν μάλιστα και πιο στερεό αφού καθόταν πιο καλά στις προεξοχές του τραπεζιού που σχεδιάστηκαν για αυτό. Το Σχήμα 6.2 δείχνει μια φωτογραφία του διάφανου ακρυλικού που χρησιμοποιήθηκε για τη μέθοδο FTIR αλλά και στην αρχική υλοποίηση της μεθόδου Rear DI. Το Σχήμα 6.3 δείχνει το ακρυλικό μετά την τοποθέτηση του πάνω στο τραπέζι.



Σχήμα 6.2 Το ακρυλικό για τη μέθοδο FTIR

Το ακρυλικό όπως φαίνεται είναι πλήρως διάφανο και αρκετά χοντρό για να μη λυγίζει καθόλου. Δυστυχώς λόγω της διαφάνειας του δεν ξεχωρίζει πολύ καλά μέσα στη φωτογραφία.



Σχήμα 6.3 Το ακρυλικό για τη μέθοδο FTIR πάνω στο τραπέζι

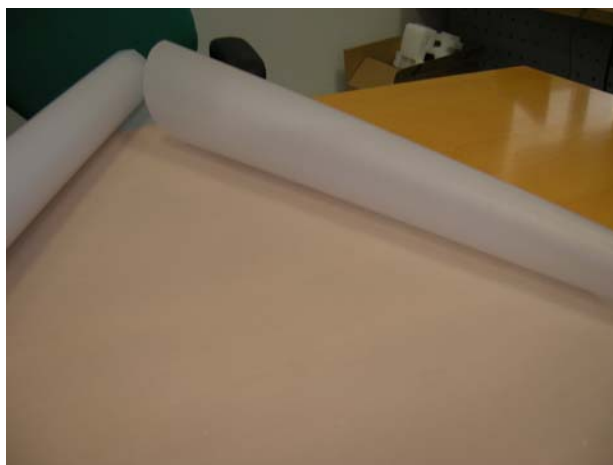
Στη συνέχεια έπρεπε να βρεθεί μια κατάλληλη επιφάνεια προβολής πάνω στην οποία να μπορεί να προβληθεί η εικόνα από το projector χωρίς να χάνει τη φωτεινότητα ή την ευκρίνεια της. Υπάρχουν πολλές τέτοιες επιφάνειες από εταιρείες που εξειδικεύονται σε είδη προβολής, λόγω προϋπολογισμού και διαθεσιμότητας χρόνου όμως, προτιμήθηκε μια λύση κάπως πιο πρόχειρη και ασφαλώς πιο απλή και φτηνή. Συγκεκριμένα αναζητήσα ημιδιαφανή φύλλα χαρτιού σε διάφορα βιβλιοπωλεία και καταστήματα χαρτικών, τα οποία μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως επιφάνειες προβολής.

Το αποτέλεσμα της έρευνας ήταν η ανεύρεση ενός ειδικού τύπου χαρτιού, το οποίο αποκαλείται Mylar και χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου απαιτείται δημιουργία αντιγράφων όπως για παράδειγμα σε αρχιτεκτονικά σχέδια. Το χαρτί αυτό έχει γαλακτώδες ημιδιαφανές χρώμα και πλαστική υφή και φαίνεται να είναι αρκετά ανθεκτικό. Το πρόβλημα όμως ήταν ότι το μεγαλύτερο μέγεθος το οποίο μπόρεσα να βρω ήταν μέγεθος A0, το οποίο δεν καλύπτει όλη την εικόνα πάνω στην επιφάνεια αφής. Ακόμα και έτσι όμως, η ιδέα ήταν να δοκιμαστεί το συγκεκριμένο χαρτί ώστε να γίνει προσπάθεια να βρεθεί μεγαλύτερο μέγεθος αν τα αποτελέσματα από τη χρήση του ήταν ικανοποιητικά. Το Σχήμα 6.4 είναι μια φωτογραφία του εν λόγω χαρτιού.

Μια άλλη επιφάνεια η οποία λήφθηκε υπόψη ήταν ένα ειδικό φύλλο χαρτιού για αρχιτεκτονικά σχέδια, το οποίο μπορεί να αγοραστεί σε μεγάλες διαστάσεις και ήταν ικανό να καλύψει όλη την εικόνα πάνω στην επιφάνεια αφής. Το πρόβλημα με το συγκεκριμένο είδος χαρτιού ήταν ότι είναι πολύ εύθραυστο και ευαίσθητο στην υγρασία. Επομένως το χαρτί αυτό πλαστικοποιήθηκε ώστε να γίνει πιο ανθεκτικό, όμως δεν χρησιμοποιήθηκε στο τελικό σύστημα αφού δεν εφοδιάστηκε με συμβατή επιφάνεια. Το Σχήμα 6.5 είναι μια φωτογραφία του εν λόγω χαρτιού.



Σχήμα 6.4 Το χαρτί Mylar



Σχήμα 6.5 Το αρχιτεκτονικό χαρτί

Το τελικό βήμα στην υλοποίηση της επιφάνειας αφής ήταν η δημιουργία της συμβατής επιφάνειας. Όπως ανέφερα και προηγουμένως, αυτό ήταν και το πιο δύσκολο κομμάτι της υλοποίησης της επιφάνειας αφής αφού απαιτούσε ανάμειξη χημικών και χρήση σιλικόνης. Επίσης, ανάλογα με την ορθότητα της διαδικασίας κατασκευής και την ποιότητα των υλικών, μπορούσε να δώσει πολύ καλά ή και πολύ κακά αποτελέσματα για την ανίχνευση των σημείων επαφής στη μέθοδο FTIR.

Έχω ήδη εξηγήσει το θεωρητικό υπόβαθρο για τις συμβατές επιφάνειες στο Κεφάλαιο 2, επομένως θα περιοριστώ απλά στο να αναφέρω ότι χρησιμοποίησα τη μέθοδο της επάλειψης διαλυμένης σιλικόνης RTV(Room Temperature Vulcanization) στο κάτω μέρος της επιφάνειας προβολής, δηλαδή του χαρτιού Mylar το οποίο είχε επιλεγεί προηγουμένως. Τα υλικά που απαιτούνται για τη μέθοδο αυτή είναι απλή σιλικόνη RTV σε σωληνάριο και κάποιο είδος διαλύτη, όπως thinner για μπογιά ή acetone. Συγκεκριμένα πειραματίστηκα τόσο με acetone όσο και με thinner και το thinner φαίνεται να δίνει καλύτερα αποτελέσματα αφού διαλύει τη σιλικόνη αμέσως. Επιπλέον χρειάζεται ένα μικρό ρολό μπογιατίσματος και κάποιο δοχείο για την διάλυση της σιλικόνης.

Αφού διαλυθεί η σιλικόνη, απλώνεται στο κάτω μέρος της επιφάνειας προβολής με το ρολό μπογιατίσματος, ώστε να δημιουργήσει ένα λεπτό στρώμα σιλικόνης ακανόνιστου σχήματος περίπου 1mm. Το ακανόνιστο σχήμα χρειάζεται έτσι ώστε όποτε αγγίζει το δάχτυλο του χρήστη σε ένα σημείο της επιφάνειας προβολής (η οποία βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια αφής σύμφωνα με το σχεδιασμό που έγινε προηγουμένως), τα μικρά κενά που υπάρχουν στο στρώμα της σιλικόνης κλείνουν και πυροδοτούν το φαινόμενο FTIR, ενώ μόλις αφαιρεθεί η επαφή, τα κενά ανοίγουν και χάνεται αμέσως το φαινόμενο FTIR. Το στρώμα αυτό είναι απαραίτητο για τις περιπτώσεις που ο χρήστης χρειάζεται να μετακινήσει το δάχτυλο του πάνω στην οθόνη ώστε να μη χάνεται η επαφή που ανιχνεύεται από το σύστημα λόγω της κίνησης του δάχτυλου. Το τελικό αποτέλεσμα της επάλειψης της συμβατής επιφάνειας στο κάτω μέρος της επιφάνειας προβολής φαίνεται στο Σχήμα 6.6.



Σχήμα 6.6 Συμβατή επιφάνεια στο κάτω μέρος του χαρτιού Mylar

6.2.2.2 Επιφάνεια αφής για τη μέθοδο Rear DI

Η επιφάνεια αφής και προβολής που κατασκευάστηκε για τη μέθοδο FTIR χρησιμοποιήθηκε αρχικά και για τις ανάγκες της μεθόδου Rear DI. Λόγω προβλημάτων όμως αναγκάστηκε να αντικαταστήσω την επιφάνεια αυτή με ματ πλαστικό, ειδικό για επιφάνειες προβολής, το οποίο είχε περισσέψει κατά την κατασκευή της οθόνης προβολής του συστήματος εικονικής πραγματικότητας του εργαστηρίου γραφικών. Το πλαστικό αυτό αποδείχθηκε ιδανικό για την μέθοδο Rear DI, αφού αποτελεί ένα πολύ καλό diffuser, κάτι που είναι απαραίτητο για την καλή κατανομή του υπέρυθρου φωτός στην επιφάνεια αφής στη μέθοδο αυτή. Επιπλέον, πρόκειται για εξειδικευμένο υλικό για οθόνες οπίσθιας προβολής και επομένως ήταν ιδανικό για να χρησιμοποιηθεί και ως επιφάνεια προβολής, χωρίς να υπάρχει ανάγκη για χρησιμοποίηση επιπλέον επιφάνειας από χαρτί. Με αυτό τον τρόπο η μέθοδος Rear DI απέφυγε προβλήματα από πιθανή καταστροφή του χαρτιού λόγω υπερβολικής χρήσης και μη ικανοποιητικής ποιότητας εικόνας λόγω μη κατάλληλης επιφάνειας προβολής, προβλήματα τα οποία υπήρχε μεγάλη πιθανότητα να παρουσιαστούν στη μέθοδο FTIR η οποία χρησιμοποιούσε χαρτί ως επιφάνεια προβολής.

Το τελικό αποτέλεσμα σε αυτό το τμήμα της υλοποίησης ήταν μια απλή επιφάνεια διαστάσεων 100cm X 77cm και πάχους 5mm η οποία κόπηκε από ένα μεγαλύτερο κομμάτι το οποίο υπήρχε στο εργαστήριο γραφικών. Για το κόψιμο της επιφάνειας χρησιμοποιήθηκε τροχός κοψίματος αφού πρώτα είχε χαραχθεί με μολύβι το κομμάτι που θα κοβόταν. Η επιφάνεια αυτή συνδυάζει την επιφάνεια αφής και την επιφάνεια προβολής σε ένα υλικό και δίνει ένα πολύ καλό αισθητικό αποτέλεσμα. Στο Σχήμα 6.7 φαίνεται το υλικό μετά που κόπηκε, ενώ το Σχήμα 6.8 δείχνει το υλικό μετά την τοποθέτηση του πάνω στο τραπέζι.



Σχήμα 6.7 Η επιφάνεια αφής και προβολής για τη μέθοδο Rear DI



Σχήμα 6.8 Η επιφάνεια αφής και προβολής για τη μέθοδο Rear DI στο τραπέζι

6.2.3 Κάμερα

Κατά τη φάση της υλοποίησης, δεν υπήρχε ανάγκη για κάποια ιδιαίτερη κατασκευή όσον αφορά τη κάμερα. Αυτό το οποίο χρειαζόταν σε αυτό το σημείο ήταν η επιλογή της κατάλληλης κάμερας με τον κατάλληλο φακό για το σύστημα σύμφωνα με τις προδιαγραφές που τέθηκαν κατά τη φάση του σχεδιασμού, καθώς και η τροποποίηση της κάμερας με την εισαγωγή φίλτρου ορατού φωτός σύμφωνα με το θεωρητικό υπόβαθρο του Κεφαλαίου 2. Υπενθυμίζω εδώ ότι οι υπολογισμοί που έγιναν κατά τη φάση του σχεδιασμού, έκριναν ότι το ελάχιστο οριζόντιο πεδίο όρασης για το φακό της κάμερας που θα χρησιμοποιόταν στο σύστημα ήταν 61.82 μοίρες και το κάθετο πεδίο όρασης ήταν 48.20 μοίρες.

Επιπλέον, υπήρχαν κάποιες λειτουργικές απαιτήσεις οι οποίες έχουν ήδη εξηγηθεί στα Κεφάλαια 2 και 4 όσον αφορά τις κάμερες που είναι κατάλληλες για συστήματα πολλαπλής αφής. Συγκεκριμένα, η κάμερα που θα επιλεγόταν θα έπρεπε να έχει ρυθμό λήψης εικόνων τουλάχιστον 30 FPS και να προσφέρει υψηλή ανάλυση εικόνας, μέχρι και 640 X 480 pixels. Καλό θα ήταν επίσης ο φακός της κάμερας να μην έχει καθόλου

υπέρυθρο φίλτρο ούτως ώστε να μην αναγκαστώ να το αφαιρέσω, κάτι που θα εγκυμονούσε τον κίνδυνο πρόκλησης βλάβης στο φακό της κάμερας.

Λαμβάνοντας υπόψη τους πιο πάνω περιορισμούς και μετά από προσεκτική εξέταση διάφορων εναλλακτικών επιλογών καθώς και εκτεταμένης έρευνας στο διαδίκτυο, κατέληξα στην απόφαση χρήσης της κάμερας Fire-i από την εταιρεία Unibrain. Πρόκειται για μια κάμερα υψηλής ποιότητας, με διασύνδεση Firewire, ικανή για λήψη 30 FPS ακόμα και σε ανάλυση 640 X 480 pixels. Επιπλέον η κάμερα μπορούσε να παραγγελθεί με διάφορες επιλογές όσον αφορά το φακό της, η πιο κατάλληλη από τις οποίες ήταν ο φακός τύπου fish-eye, των 1.9 χιλιοστών, χωρίς υπέρυθρο φίλτρο. Ο συγκεκριμένος φακός έχει το μέγιστο πεδίο όρασης από κάθε άλλου είδους φακό και ήταν η σίγουρη λύση για τις ανάγκες του συστήματος αφού κάλυπτε με ευκολία τις 61.82 μοίρες του οριζόντιου πεδίου όρασης και τις 48.20 μοίρες του κάθετου πεδίου όρασης. Η κάμερα επίσης είναι πολύ μικρή σε μέγεθος και ορθογώνια σε σχήμα ούτως ώστε να μπορεί να τοποθετηθεί με ευκολία σε δάπεδο ή τοίχο.

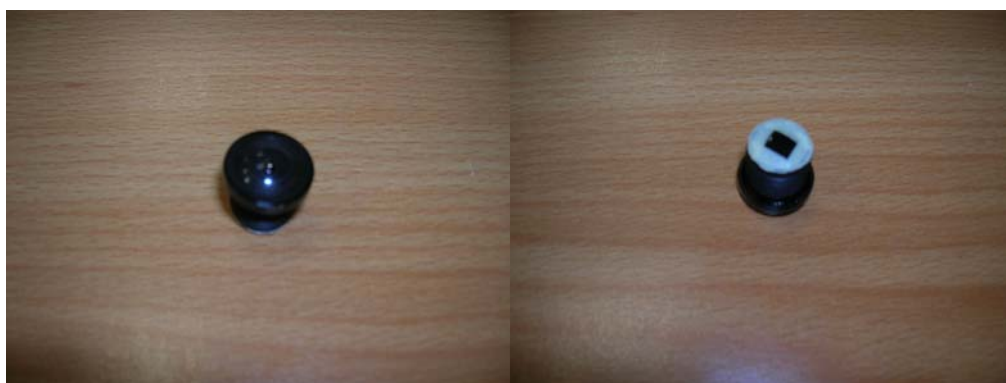
Οι υψηλού επιπέδου προδιαγραφές της κάμερας σε συνδυασμό με τις πολύ καλές κριτικές τις οποίες είχε λάβει από άλλους χρήστες και συγκεκριμένα άτομα με εμπειρία στην κατασκευή συστημάτων πολλαπλής αφής κατέστησαν την κάμερα αυτή την πρώτη μου επιλογή για το σύστημα.

Επομένως, σε αυτό το σημείο, σε συνεργασία με το Τμήμα Τεχνικής Υποστήριξης του Τμήματος Πληροφορικής, παραγγέλθηκε η κάμερα Fire-i με τον ειδικό φακό fish-eye χωρίς υπέρυθρο φίλτρο, η οποία και παραλήφθηκε μετά από λίγες μέρες. Η κάμερα φαίνεται στο Σχήμα 6.9.



Σχήμα 6.9 Η κάμερα Fire-i από την Unibrain

Μετά την παραλαβή της κάμερας έπρεπε να γίνει η τροποποίηση της κάμερας με την εισαγωγή φίλτρου ορατού φωτός. Σύμφωνα με το θεωρητικό υπόβαθρο του Κεφαλαίου 2, ένα φτηνό φίλτρο μπορεί να κατασκευαστεί από 2-3 στρώματα αρνητικών εμφανισμένου φιλμ ή επιφάνεια δισκέτας. Η λύση επομένως ήταν αρκετά απλή και αφού αφαίρεσα το φακό της κάμερας ξεβιδώνοντας τον, έκοψα δυο πολύ μικρά στρώματα αρνητικών φιλμ για να τα τοποθετήσω στο πίσω μέρος του φακού, ανάμεσα δηλαδή στο φακό και το sensor chip της κάμερας. Η πρόκληση όμως ήταν το πως θα έμεναν στη θέση τους τα δύο στρώματα των αρνητικών. Έκοψα λοιπόν μικρά κομμάτια από χαρτότελλα και κόλλησα με πολλή προσοχή διαδοχικά τα δύο στρώματα αρνητικών το ένα πάνω από το άλλο, στο πίσω μέρος του φακού, προσέχοντας να μην καλύψω την επιφάνεια του φακού με χαρτότελλα. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο Σχήμα 6.10.



Σχήμα 6.10 Ο φακός της κάμερας πριν και μετά την εισαγωγή του οπτικού φίλτρου
Μετά και από την εισαγωγή του φίλτρου ορατού φωτός στο μηχανισμό της κάμερας, η κάμερα ήταν έτοιμη για χρήση στο σύστημα πολλαπλής αφής.

6.2.4 Projector

Σε αυτό το τμήμα της υλοποίησης, το πρώτο βήμα ήταν η παραγγελία του projector το οποίο είχε ήδη επιλεγεί κατά τη φάση της σχεδίασης. Σε συνεργασία με το Τμήμα Τεχνικής Υποστήριξης του Τμήματος Πληροφορικής παραγγέλθηκε το BenQ MP771 το οποίο και παρέλαβα λίγο καιρό μετά την παραγγελία. Προηγουμένως είχε ήδη παραγγελθεί και παραληφθεί ένας απλός καθρέφτης στα μέτρα που είχα υπολογίσει κατά τη φάση του σχεδιασμού, και είχε κατασκευαστεί από τον ξυλουργό το απαραίτητο πλαίσιο για προστασία του καθρέφτη.

Στη συνέχεια θα έπρεπε να υλοποιηθούν τα σχέδια για το μηχανισμό μετακίνησης του projector. Ο μηχανισμός μετακίνησης του projector ήταν ένα αντίγραφο σε μικρότερη κλίμακα του επαγγελματικού μηχανισμού που υπήρχε στο σύστημα εικονικής

πραγματικότητας του εργαστηρίου γραφικών. Ο μηχανισμός αυτός θα χρησιμοποιούσε μια από τις δύο βάσεις για projector με τις οποίες ήταν εξοπλισμένος ο επαγγελματικός μηχανισμός του συστήματος εικονικής πραγματικότητας. Επομένως αρχικά θα έπρεπε να αφαιρεθεί η μια από τις δύο βάσεις, κάτι το οποίο και έγινε. Ακολούθως έπρεπε να κατασκευαστεί ο μηχανισμός με βάση το σχέδιο που δημιουργήθηκε στη φάση του σχεδιασμού. Αυτό ήταν και το δυσκολότερο τμήμα, αφού πρώτα έπρεπε να βρεθούν τα κατάλληλα υλικά, δηλαδή αλουμίνιο ή σίδηρο για τις κολόνες του μηχανισμού καθώς και για το πάτωμα του μηχανισμού και στη συνέχεια έπρεπε να κατασκευαστεί μια στερεή και ανθεκτική κατασκευή. Μετά από έρευνα σε καταστήματα με είδη οικοδομής βρέθηκαν ευτυχώς τα απαραίτητα υλικά, ενώ με τη βοήθεια του πατέρα μου κατασκευάστηκε μια ανθεκτική και λειτουργική συσκευή.

Το Σχήμα 6.11 δείχνει τον μηχανισμό μετακίνησης του projector μετά και την τοποθέτηση του projector πάνω του. Όπως φαίνεται, το projector τοποθετείται ανάποδα πάνω στη μετακινούμενη κεκλιμένη βάση του μηχανισμού, σύμφωνα με τους υπολογισμούς που έγιναν κατά τη φάση της σχεδίασης. Το Σχήμα 6.12 δείχνει τον μηχανισμό από το πλάι, όπου φαίνεται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια η κεκλιμένη βάση και ο μηχανισμός των τροχών που επιτρέπουν τη μετακίνηση των γωνιών της βάσης. Επίσης φαίνεται και η καταπακτή στη μια πλευρά του τραπέζιου η οποία χρησιμοποιείται για εξαερισμό αλλά και για να περάσουν τα διάφορα σύρματα που ενώνουν το projector με τον υπολογιστή και το ρεύμα, την κάμερα με τον υπολογιστή και τα LEDs με το ρεύμα, αφού ο υπολογιστής βρίσκεται έξω από το τραπέζι προς το παρόν.



Σχήμα 6.11 Ο μηχανισμός μετακίνησης του projector



Σχήμα 6.12 Ο μηχανισμός μετακίνησης του projector από το πλάι

Μετά το μηχανισμό μετακίνησης του projector, θα έπρεπε να υλοποιηθεί και ο μηχανισμός μετακίνησης του καθρέφτη. Για τον μηχανισμό μετακίνησης του καθρέφτη έγινε μια απλή κατασκευή με τη βοήθεια του Δρ. Χρυσάνθου, από μια ξύλινη βάση και πόδια που βιδώνουν πάνω στη βάση προκαλώντας την κάθετη μετακίνηση του καθρέφτη, όπως δείχνει το σχέδιο που δημιουργήθηκε στη φάση της σχεδίασης. Στο Σχήμα 6.13 φαίνεται ο καθρέφτης με το πλαίσιο του, τοποθετημένος στο εσωτερικό του τραπέζιου. Το Σχήμα 6.14 δείχνει με περισσότερη λεπτομέρεια το μηχανισμό μετακίνησης του καθρέφτη και το πως ο καθρέφτης είναι τοποθετημένος πάνω σε αυτό.



Σχήμα 6.13 Ο καθρέφτης και το πλαίσιο του



Σχήμα 6.14 Ο μηχανισμός μετακίνησης του καθρέφτη

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 6.14, ο καθρέφτης ασφαλίστηκε πάνω στο μηχανισμό μετακίνησης με καρφιά αφού είχε ήδη βρεθεί η κατάλληλη κλίση για αυτόν και δε θα χρειαζόταν να μετακινηθεί περαιτέρω.

6.2.5 LEDs

Η υλοποίηση και η ορθή λειτουργία αυτού του τμήματος του υλικού ήταν από τις μεγαλύτερες προκλήσεις κατά τη φάση της υλοποίησης. Συγκεκριμένα θα έπρεπε να συγκολληθούν εκατοντάδες LEDs σύμφωνα με τα ηλεκτρικά κυκλώματα που είχαν σχεδιαστεί στη φάση του σχεδιασμού, τη στιγμή που δεν είχα ξαναδοκιμάσει τέτοιου είδους συγκολλήσεις ποτέ προηγουμένως. Επίσης, ανάλογα με τη μέθοδο, θα έπρεπε να τοποθετηθούν τα LEDs στις σωστές τοποθεσίες σύμφωνα με τη φάση της σχεδίασης, κάτι το οποίο ειδικά για τη μέθοδο FTIR δεν ήταν ιδιαίτερα εύκολο.

Το Σχήμα 6.15 δείχνει τα κύρια υλικά και εργαλεία που χρειάστηκαν σε αυτό το τμήμα της υλοποίησης.



Σχήμα 6.15 Κύρια υλικά και εργαλεία για υλοποίηση του τμήματος των LEDs

Αριστερά φαίνονται τα LEDs και οι αντιστάσεις που χρησιμοποιήθηκαν ενώ δεξιά φαίνονται τα απαραίτητα εργαλεία, δηλαδή το σίδερο συγκόλλησης και το εργαλείο που αφαιρεί καλάι, καθώς και το καλάι που χρησιμοποιήθηκε.

6.2.5.1 LEDs για τη μέθοδο FTIR

Το πρώτο πράγμα που έπρεπε να γίνει ήταν να παραγγελθούν τα LEDs τα οποία είχα ήδη αποφασίσει να χρησιμοποιήσω κατά τη φάση του σχεδιασμού. Σε συνεργασία και πάλι με το Τμήμα Τεχνικής Υποστήριξης του Τμήματος Πληροφορικής, παραγγέλθηκαν 150 LEDs για τις ανάγκες της μεθόδου FTIR, από την εταιρεία Farnell, μέσω του αντιπροσώπου της στην Κύπρο. Με την παραλαβή των LEDs, έπρεπε να αρχίσει και η διαδικασία συγκόλλησης τους.

Πριν να γίνει αυτό όμως θα έπρεπε να κατασκευαστεί το απαραίτητο πλαίσιο για την τοποθέτηση των LEDs στις πλευρές του ακρυλικού, σύμφωνα με το σχέδιο που δημιουργήθηκε στη φάση του σχεδιασμού. Για την κατασκευή του πλαισίου υπήρχαν διάφορα υποψήφια υλικά, με επικρατέστερο το αλουμίνιο. Όμως, λόγω δυσκολιών στην ανεύρεση αλουμινίου με τις σωστές διαστάσεις, κατέφυγα σε μια πιο απλή αλλά πολύ λειτουργική λύση.

Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποίησα πλαστικό οδηγό καλωδίων πλάτους 15mm από τον οποίο αφαίρεσα το μπροστινό κάλυμμα, δημιουργώντας έτσι το απαραίτητο πλαίσιο σχήματος 'Π' για τα LEDs. Ο πλαστικός οδηγός εφαρμόζε απόλυτα στις άκρες του ακρυλικού των 10mm και έτσι έδινε την ιδανική λύση για το πρόβλημα του πλαισίου για τα LEDs. Το επόμενο θέμα όμως ήταν το πως θα στερεώνονταν τα LEDs στο εσωτερικό του πλαστικού οδηγού, ώστε να είναι γυρισμένα προς το ακρυλικό. Για να αντιμετωπίσω αυτό το πρόβλημα σκέφτηκα ότι θα έπρεπε να ανοιχθούν τρύπες πάνω στο εσωτερικό του οδηγού για να περάσουν τα ποδαράκια των LEDs ώστε να στερεωθούν τα LEDs στο εσωτερικό του οδηγού και να εξέχουν τα ποδαράκια τους στο εξωτερικό του οδηγού όπου θα γινόταν και η συγκόλληση τους. Το Σχήμα 6.16 δείχνει τον οδηγό καλωδίων που χρησιμοποιήθηκε.

Η δημιουργία τόσο μικρών τρυπών πάνω σε τόσο λεπτό και εύθραυστο πλαστικό δεν ήταν εύκολη υπόθεση. Συγκεκριμένα η χρήση τρυπανιού δεν ήταν δυνατή γιατί δεν υπήρχαν τόσο λεπτές αρίδες για να ανοίξουν τόσο μικρές τρύπες. Επομένως κατέφυγα σε μια λύση κάπως ασυνήθιστη αλλά αποτελεσματική.



Σχήμα 6.16 Ο οδηγός καλωδίων που χρησιμοποιήθηκε ως πλαίσιο

Η λύση ήταν να ανοίξω τις τρύπες με ζεστό σίδερο το οποίο να είναι αρκετά λεπτό. Τέτοιο εργαλείο δεν υπήρχε στη διάθεση μου όμως, έτσι τροποποίησα το σίδερο συγκόλλησης για τα LEDs τοποθετώντας στην κορυφή του μια μυτερή καρφίτσα και στερεώνοντας την με σύρμα. Η θερμότητα από το σίδερο συγκόλλησης όταν αυτό τροφοδοτείται με ρεύμα μεταδίδεται και στην καρφίτσα η οποία λιώνει το πλαστικό όταν έρθει σε επαφή με αυτό. Με αυτό τον τρόπο, μπόρεσα να ανοίξω μικροσκοπικές τρύπες για να περάσουν τα ποδαράκια των LEDs, σε θέσεις τις οποίες είχα σημειώσει πάνω στον οδηγό από πριν, με βάση τις προδιαγραφές του σχεδιασμού, ότι δηλαδή θα έπρεπε να τοποθετηθεί ένα LED σε κάθε 2.5 cm. Η διαδικασία δημιουργίας των τρυπών ήταν επίπονη, όμως έφερε τα απαιτούμενα αποτελέσματα.

Μετά την επιτυχή κατασκευή του πλαισίου για τα LEDs, το επόμενο βήμα ήταν να τοποθετηθούν τα LEDs στις θέσεις οι οποίες είχαν δημιουργηθεί για αυτά πάνω στο πλαίσιο και να συγκολληθούν μεταξύ τους σύμφωνα με το κύκλωμα του Σχήματος 5.13. Σε αυτή τη διαδικασία χρησιμοποιήθηκε απογυμνωμένο σύρμα για να ενώσει τα αντίστοιχα ποδαράκια διαδοχικών LEDs μεταξύ τους παράλληλα, κανονικό σύρμα για ένωση των τεσσάρων τμημάτων από LEDs (λόγω των τεσσάρων κομματιών του πλαισίου) μεταξύ τους και αρκετό καλάνι. Το σίδερο συγκόλλησης ήταν το απαραίτητο εργαλείο για την εργασία αυτή. Το τελικό αποτέλεσμα φαίνεται στο Σχήμα 6.17.



Σχήμα 6.17 Το τελικό αποτέλεσμα για τα LEDs στη μέθοδο FTIR

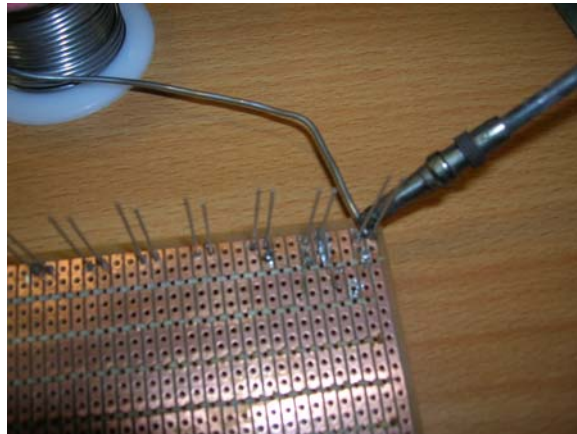
Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.17, υπάρχουν τέσσερα κομμάτια οδηγού καλωδίων με διαστάσεις ίσες με τις πλευρές του ακρυλικού. Τα δύο μακριά κομμάτια έχουν μέσα 37 LEDs το καθένα, ενωμένα παράλληλα. Τα δύο κοντά κομμάτια έχουν μέσα 28 LEDs το καθένα, και πάλι ενωμένα παράλληλα. Τα 37 LEDs του ενός μακριού κομματιού ενώνονται παράλληλα με τα 28 του ενός κοντού κομματιού σχηματίζοντας τα 65 LEDs του Σχήματος 5.13. Το αντίστοιχο συμβαίνει και με τα άλλα δύο κομμάτια του οδηγού καλωδίων. Στη συνέχεια, τα δύο τμήματα που δημιουργούνται, ενώνονται μεταξύ τους σε σειρά και στη συνέχεια ενώνονται με την τροφοδοσία.

6.2.5.2 LEDs για τη μέθοδο Rear DI

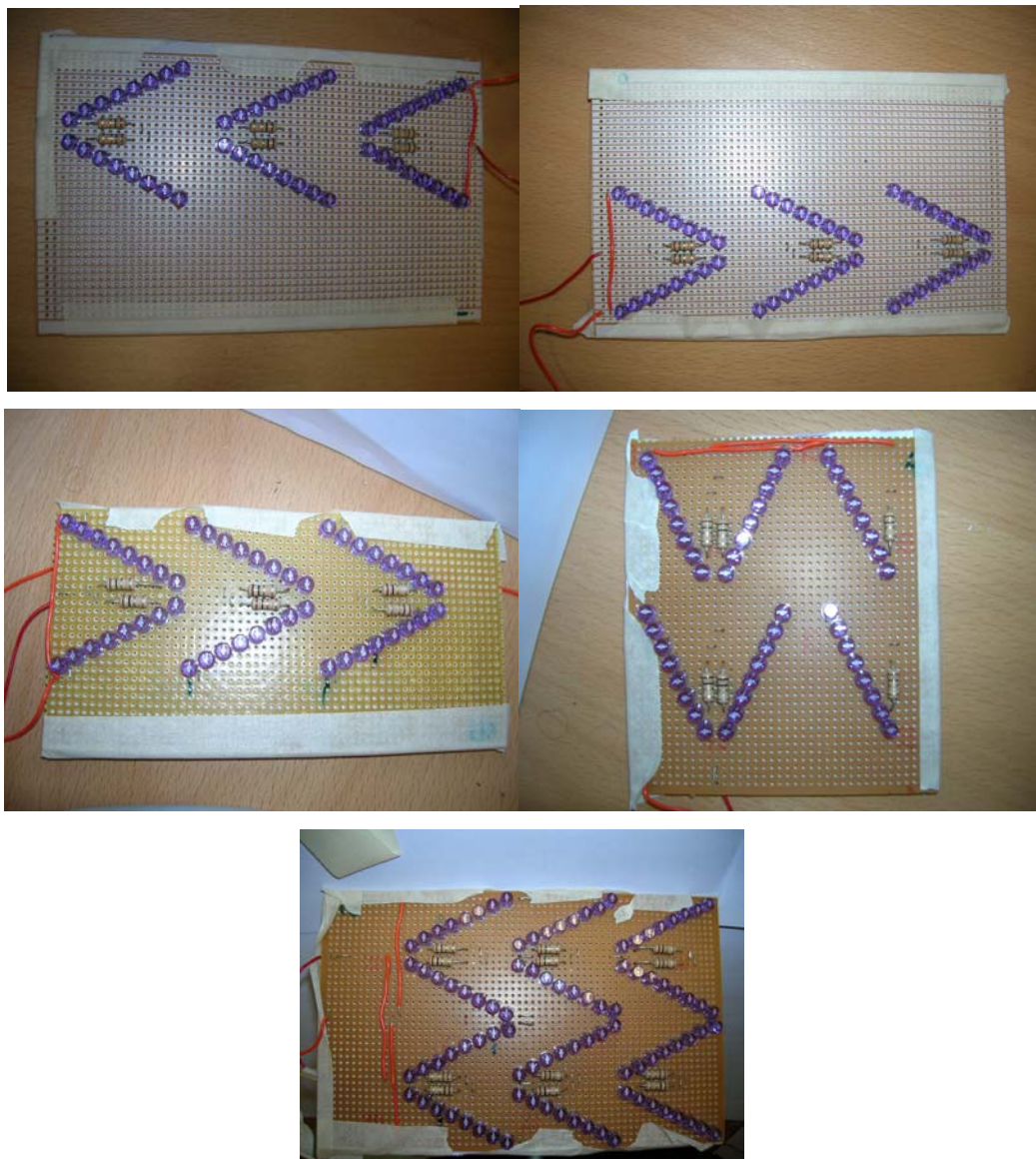
Η υλοποίηση των LEDs για τη μέθοδο Rear DI ακολούθησε παρόμοια διαδικασία όπως η υλοποίηση των LEDs για τη μέθοδο FTIR. Αρχικά παραγγέλθηκε ο απαιτούμενος αριθμός LEDs, δηλαδή 300 LEDs από την ίδια εταιρεία όπως και πριν. Η διαφορά σε αυτή την περίπτωση ήταν ότι τα LEDs δεν χρειάζονταν κάποιο ειδικό πλαίσιο για να τοποθετηθούν μέσα αλλά από την άλλη θα έπρεπε να ενωθούν σε μια ανθεκτική κατασκευή που να μη δημιουργεί κίνδυνο για τα ίδια τα LEDs. Επίσης, το ίδιο το κύκλωμα για τα LEDs ήταν διαφορετικό από το κύκλωμα για τη μέθοδο FTIR με βάση την προηγούμενη εμπειρία από τη μέθοδο αυτή.

Με βάση και το σχεδιασμό για την τοποθέτηση των LEDs σε διάφορα σημεία κάτω από την επιφάνεια αφής, θα έπρεπε πρώτα να κατανεμηθούν οι 36 σειρές από LEDs σε 5 τμήματα τα οποία θα ενώνονταν μεταξύ τους. Η απόφαση ήταν να χωριστούν τα LEDs σε τέσσερα τμήματα από 6 σειρές το καθένα (συνολικά 48 LEDs για το κάθε τμήμα) τα οποία και θα τοποθετούνταν στις γωνιές του τραπεζιού κάτω από την επιφάνεια αφής. Οι 12 σειρές που υπολείπονταν, θα τοποθετούνταν σε ένα πέμπτο τμήμα το οποίο θα τοποθετείτο στο κέντρο του τραπεζιού κάτω από την επιφάνεια αφής ώστε να υπάρχει αρκετό υπέρυθρο φως στο κέντρο του τραπεζιού. Στη συνέχεια έπρεπε να βρεθεί κάποιος σχετικά εύκολος τρόπος για να δημιουργηθούν τα πέντε αυτά τμήματα με LEDs. Η λύση ήταν το Printed Circuit Board (PCB), δηλαδή πλακέτες με χαλκό οι οποίες έχουν έτοιμες σειρές από τρύπες για την τοποθέτηση και δημιουργία ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Αφού προμηθεύτηκα πέντε τέτοια PCBs από καταστήματα ηλεκτρικών, μελέτησα εναλλακτικούς τρόπους με τους οποίους θα τα χρησιμοποιούσα για να δημιουργήσω τα πέντε τμήματα από LEDs. Μετά από μελέτη αρκετών εναλλακτικών λύσεων κατέληξα στον τρόπο με τον οποίο συγκόλλησα τελικά τα LEDs

χρησιμοποιώντας τις τρύπες των PCBs και χαράζοντας τις γραμμές του χαλκού στα σημεία όπου δεν έπρεπε να υπάρχει ένωση. Το Σχήμα 6.18 δείχνει τη διαδικασία συγκόλλησης των LEDs πάνω στα PCBs.



Σχήμα 6.18 Η διαδικασία συγκόλλησης των LEDs πάνω στα PCBs

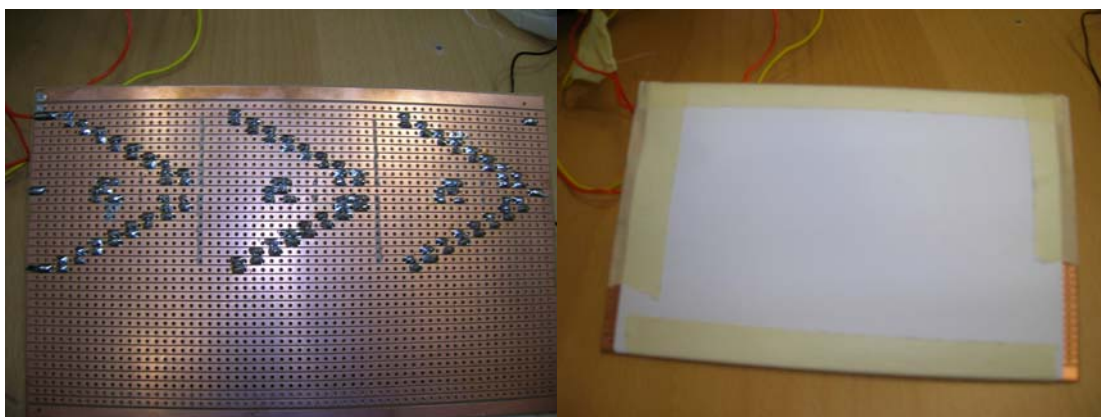


Σχήμα 6.19 Τα πέντε τμήματα από LEDs

Αφού τοποθετήθηκαν τα LEDs και οι αντιστάσεις πάνω στα PCBs και συγκολλήθηκαν στη θέση τους, αποκόπηκαν τα αχρείαστα πλέον τμήματα από τα ποδαράκια τους. Το Σχήμα 6.19 δείχνει το τελικό αποτέλεσμα για τα πέντε τμήματα από LEDs τα οποία δημιουργήθηκαν.

Όπως φαίνεται, δημιουργήθηκαν τέσσερα τμήματα με 6 σειρές των 8 LEDs και ένα μεγαλύτερο τμήμα με 12 σειρές των 8 LEDs. Κάθε σειρά από LEDs έχει τη δική της αντίσταση του ενός Ω . Επίσης, κάθε τμήμα από LEDs ενώνεται με το επόμενο παράλληλα, ώστε και οι 36 σειρές από LEDs να είναι ενωμένες παράλληλα.

Το Σχήμα 6.20 δείχνει την πίσω πλευρά ενός από τα πέντε τμήματα, όπου φαίνονται καθαρά τα σημεία όπου έγινε η συγκόλληση των LEDs. Για να αποφευχθεί κίνδυνος βραχυκυκλώματος από τα γυμνά σημεία συγκόλλησης, η πίσω πλευρά κάθε τμήματος καλύφθηκε με απλό χαρτί, το οποίο κολλήθηκε πάνω στο PCB, όπως φαίνεται στο δεξιό τμήμα της εικόνας.



Σχήμα 6.20 Η πίσω πλευρά των PCBs

Στη συνέχεια τα πέντε PCBs με τα LEDs τοποθετήθηκαν στο εσωτερικό του τραπέζιου, σε θέσεις όμοιες με αυτές που είχαν αποφασιστεί κατά τη φάση του σχεδιασμού. Στο τέλος της υλοποίησης προστέθηκαν και τα LEDs που χρησιμοποιήθηκαν στη μέθοδο FTIR για να ενισχυθεί ακόμα περισσότερο το υπέρυθρο φως που υπήρχε στο εσωτερικό του τραπέζιου και να καλυφθούν καλύτερα οι γωνιές της επιφάνειας αφής ώστε να έχουμε ακόμα καλύτερα αποτελέσματα. Το τελικό αποτέλεσμα για τα LEDs στη μέθοδο Rear DI φαίνεται στο Σχήμα 6.21.



Σχήμα 6.21 Το τελικό αποτέλεσμα για τα LEDs στη μέθοδο Rear DI

Το Σχήμα 6.21 δείχνει την κάτοψη του εσωτερικού του τραπεζιού. Ξεχωρίζουν τα πέντε PCBs με τα LEDs, καθώς και τα τέσσερα κομμάτια του πλαισίου με τα LEDs που χρησιμοποιήθηκαν για τη μέθοδο FTIR και επιστρατεύτηκαν και για τις ανάγκες της μεθόδου Rear DI. Όπως φαίνεται, τα κομμάτια του πλαισίου αναρτήθηκαν περιμετρικά στις πλευρές του τραπεζιού χρησιμοποιώντας μακριές βίδες ώστε να είναι αρκετά κοντά στην επιφάνεια αφής και ειδικά στις γωνιές της επιφάνειας.

6.3 Υλοποίηση Λογισμικού

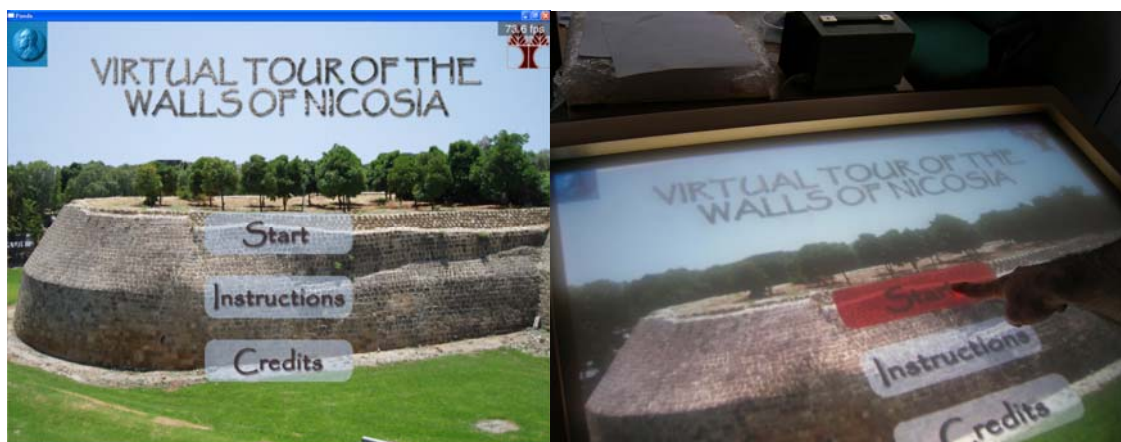
Κατά την υλοποίηση του λογισμικού, η διαδικασία περιλάμβανε πρώτα την απόκτηση του απαραίτητου λογισμικού tracker, της βιβλιοθήκης client TouchPy καθώς και της μηχανής παιχνιδιού Panda 3D. Για το λογισμικό tracker χρησιμοποιήθηκε αρχικά το Touchlib ενώ στη συνέχεια αντικαταστάθηκε από το tBeta. Η έκδοση του Panda3D η οποία χρησιμοποιήθηκε είναι η 1.5.4 ενώ δοκιμάστηκε και η 1.6.0. Η έκδοση του TouchPy η οποία χρησιμοποιήθηκε είναι αυτή από το SVN repository του TouchPy. Όλες οι πιο πάνω βιβλιοθήκες αποκτήθηκαν από το διαδίκτυο και είναι δωρεάν και open source.

Το επόμενο βήμα ήταν η συγγραφή του απαραίτητου κώδικα για την τελική εφαρμογή. Βασισμένος σε διάφορα παραδείγματα χρησιμοποίησης του Panda 3D και του TouchPy, μπόρεσα να ολοκληρώσω τη διαδικασία με επιτυχία. Τα σημαντικά σημεία του κώδικα τα οποία πρώτη φορά συναντούσα αφού δεν είχα καμιά προηγούμενη εμπειρία σε Python, Panda3D ή TouchPy και τα οποία χρειάζεται να αναφέρω είναι τα ακόλουθα:

- Η Python που ήταν η γλώσσα προγραμματισμού της εφαρμογής είναι αντικειμενοστρεφής scripting γλώσσα και επομένως ολόκληρη η εφαρμογή είναι μια απλή κλάση Python. Η κλάση αυτή κληρονομεί από την κλάση `DirectObject` του `Panda3D` όπως όλες οι εφαρμογές που χρησιμοποιούν το `Panda3D`. Χρησιμοποιεί όλες τις έννοιες αντικειμενοστρεφούς προγραμματισμού, όπως τη μέθοδο και το πεδίο. Η κάθε μέθοδος της κλάσης πρέπει να παίρνει ως παράμετρο το αντικείμενο `self`, το οποίο είναι ουσιαστικά το αντικείμενο της κλάσης που περιέχει την μέθοδο, ούτως ώστε η μέθοδος να μπορεί να έχει πρόσβαση στα πεδία της κλάσης αλλά και να ορίσει νέα πεδία και να τους δώσει τιμές, αφού ως γνωστόν οι scripting γλώσσες δεν απαιτούν τον ορισμό μιας μεταβλητής ή πεδίου από πριν, αλλά το ορίζουν την πρώτη φορά που το συναντούν.
- Το `Panda3D` δεν χρησιμοποιεί κάποιο συγκεκριμένο loop για την ανανέωση της κατάστασης της εφαρμογής και το ζωγράφισμα των οντοτήτων της εφαρμογής. Αντίθετα, γίνεται η φόρτωση των μοντέλων και οι αρχικοποιήσεις των μεταβλητών της εφαρμογής σε κάποιες μεθόδους της κλάσης της εφαρμογής και στη συνέχεια απλά δημιουργείται ένα αντικείμενο της κλάσης της εφαρμογής και καλείται η μέθοδος `run()`. Στη συνέχεια το `Panda3D` τρέχει το δικό του εσωτερικό loop για ανανέωση της εφαρμογής και ζωγράφισμα του κόσμου της εφαρμογής. Οποιοσδήποτε κώδικας χρειάζεται να τρέχει σε κάθε επανάληψη του loop πρέπει να τοποθετηθεί σε μια μέθοδο `task` η οποία προστίθεται κατά την αρχικοποίηση της εφαρμογής στα `tasks` τα οποία εκτελούνται από τον `task manager` του `Panda3D` σε κάθε επανάληψη του loop.
- Για να χρησιμοποιηθεί η βιβλιοθήκη `TouchPy` στην εφαρμογή, έπρεπε να δημιουργηθεί ένα αντικείμενο `touchpy` μέσα στην κλάση της εφαρμογής και στη συνέχεια να δηλωθούν τρεις μέθοδοι οι οποίοι αντιπροσωπεύουν τα θεμελιώδη events `Touch Down`, `Touch Up` και `Touch Move` τα οποία πυροδοτούνται από τη βιβλιοθήκη `TouchPy`. Για να αντιστοιχιστούν αυτές οι μέθοδοι με τα συγκεκριμένα events, χρησιμοποιήθηκε η έννοια των `decorators` που υπάρχει στη Python. Συγκεκριμένα, πριν από την αρχή κάθε μιας από τις τρεις μεθόδους προστίθεται ο κώδικας `@t.event` όπου `t` είναι το όνομα του αντικειμένου `TouchPy` που δημιουργήθηκε προηγουμένως και `event` είναι το όνομα του event για το οποίο χρειάζεται να εκτελεστεί η συγκεκριμένη μέθοδος όταν αυτό πυροδοτηθεί.
- Επειδή οι τρεις μέθοδοι που περιέχουν τον κώδικα που εκτελείται σε κάθε touch event δεν ήταν δυνατό να παίρνουν και το αντικείμενο `self` ως παράμετρο,

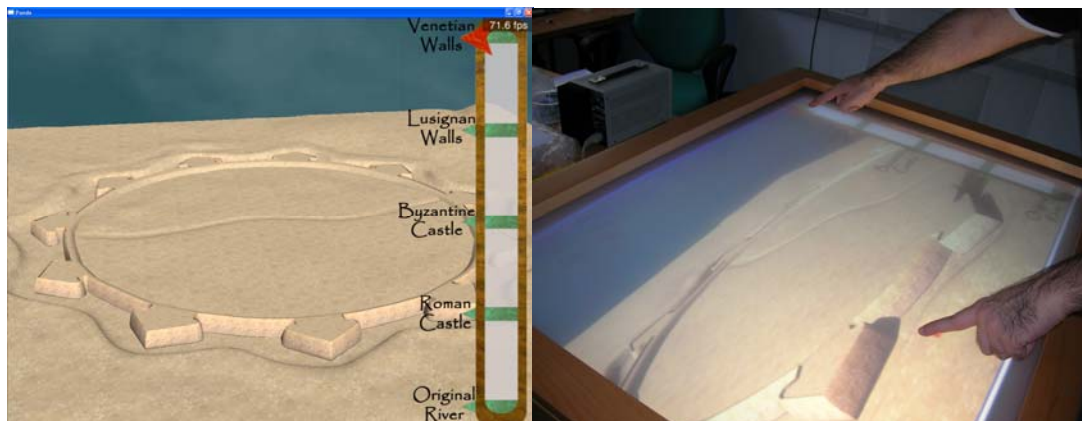
- Ο κώδικας της εφαρμογής χρησιμοποιεί κώδικα τρίτου προσώπου για την απεικόνιση του ουρανού (skybox) ο οποίος βρέθηκε από το forum του Panda3D όπου πολλοί χρήστες του Panda3D μοιράζονται δείγματα της δουλειάς τους. Χρησιμοποιεί shaders για την απεικόνιση του ουρανού και πετυχαίνει την φυσική κίνηση στα σύννεφα μετακινώντας τις συντεταγμένες του texture των σύννεφων με βάση το χρόνο που έχει περάσει.
- Επίσης ο κώδικας της εφαρμογής χρησιμοποιεί κώδικα τρίτου προσώπου για την απεικόνιση των σκιών, ο οποίος επίσης βρέθηκε από το forum του Panda3D, αφού στο παρόν στάδιο το Panda3D δεν υποστηρίζει ακόμα την αυτόματη δημιουργία σκιών. Ο κώδικας είναι μια υλοποίηση του αλγόριθμου PSSM (Parallel Split Shadow Maps) ο οποίος δίνει τη δυνατότητα απεικόνισης σκιών σε μεγάλες περιοχές, σε πραγματικό χρόνο και με εξαιρετική ποιότητα. Ο αλγόριθμος χωρίζει το πεδίο όρασης σε διαφορετικά τμήματα ώστε κάθε τμήμα να έχει το δικό του shadow map. Έτσι είναι δυνατό να διατηρηθεί υψηλή ανάλυση για το shadow map ακόμα και για μεγάλες σκηνές. Περισσότερες λεπτομέρειες υπάρχουν στο [37,57].

Στη συνέχεια ακολουθούν οι βασικές οθόνες της εφαρμογής που δείχνουν το τελικό αποτέλεσμα. Στο Σχήμα 6.22 φαίνεται το αρχικό μενού της εφαρμογής. Υπάρχουν τρία μόνο κουμπιά, όπως και στο πρωτότυπο, για έναρξη της περιήγησης, προβολή των οδηγιών και προβολή των ονομάτων των συντελεστών της εργασίας.



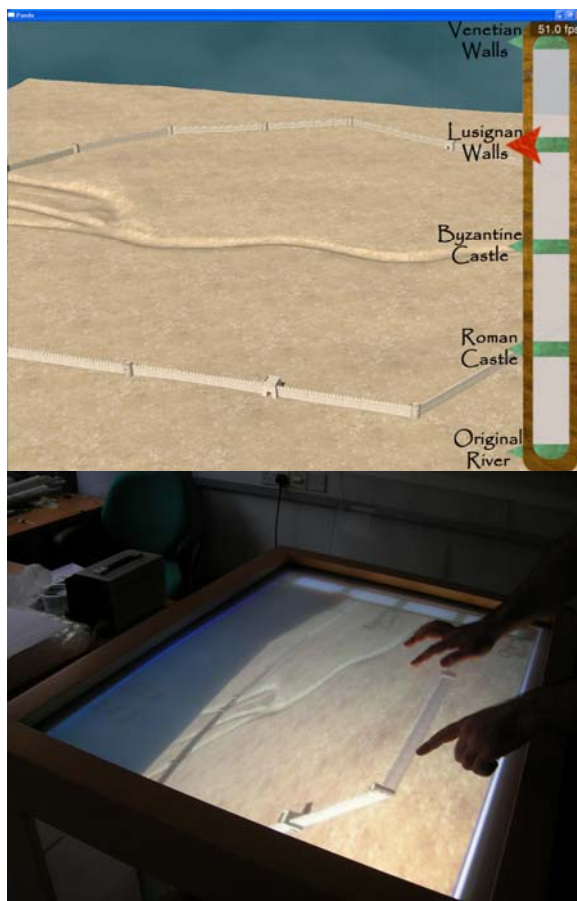
Σχήμα 6.22 Το αρχικό μενού της εφαρμογής

Στο Σχήμα 6.23 φαίνεται η οθόνη της περιήγησης. Ξεχωρίζει στα δεξιά το scroll bar το οποίο χρησιμοποιείται για την αλλαγή της χρονικής περιόδου. Όπως φαίνεται, η αρχική εποχή που εμφανίζεται μόλις αρχίσει η περιήγηση είναι η Βενετική.



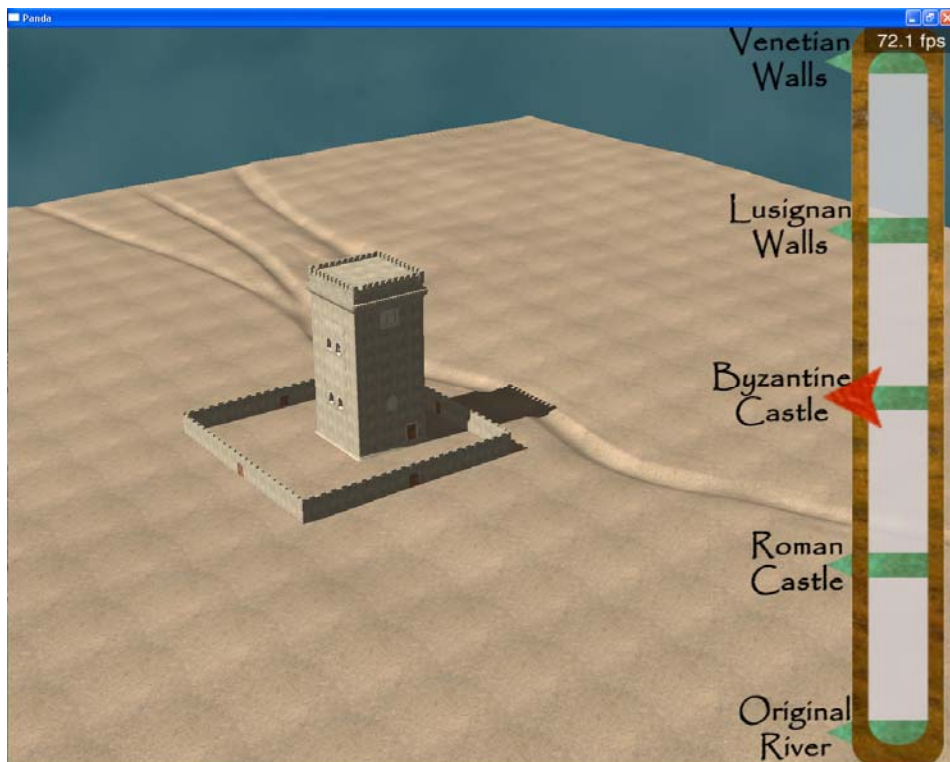
Σχήμα 6.23 Η οθόνη της περιήγησης

Στο Σχήμα 6.24 φαίνεται η Λουζινιανή εποχή στην οποία μεταβαίνει ο χρήστης μετακινώντας το scroll bar.



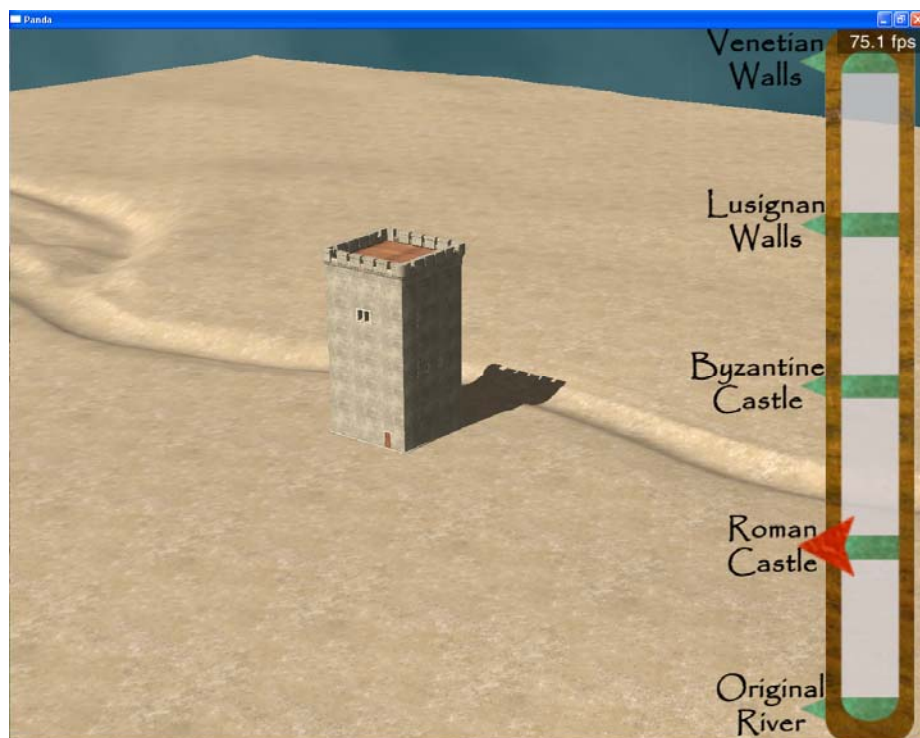
Σχήμα 6.24 Η Λουζινιανή εποχή

Στο Σχήμα 6.25 φαίνεται η Βυζαντινή εποχή στην οποία μεταβαίνει ο χρήστης μετακινώντας το scroll bar.



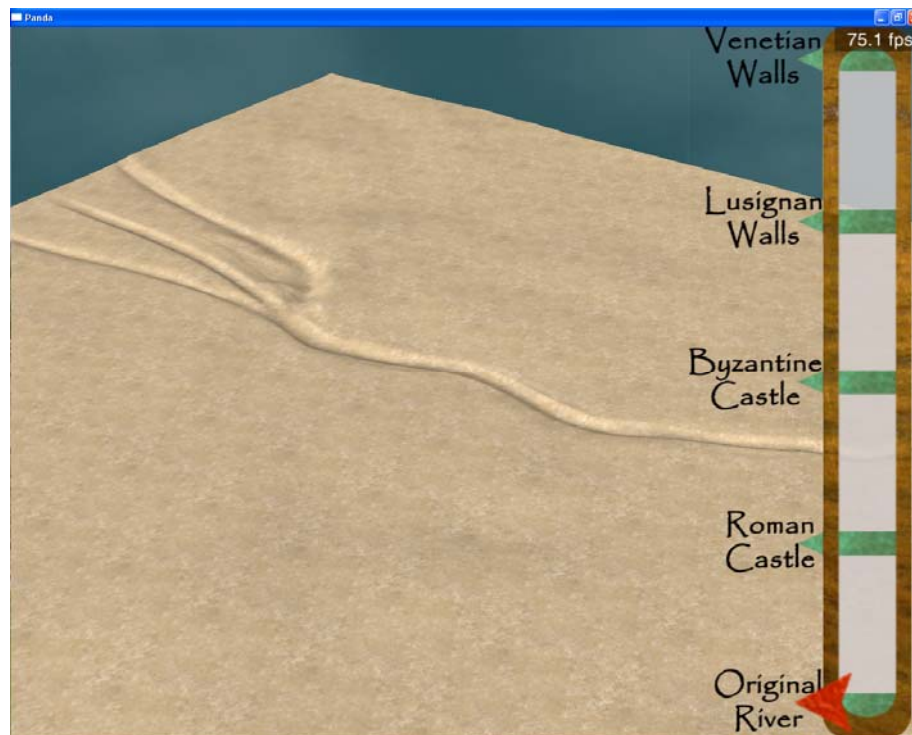
Σχήμα 6.25 Η Βυζαντινή εποχή

Στο Σχήμα 6.26 φαίνεται η Ρωμαϊκή εποχή στην οποία μεταβαίνει ο χρήστης μετακινώντας το scroll bar.



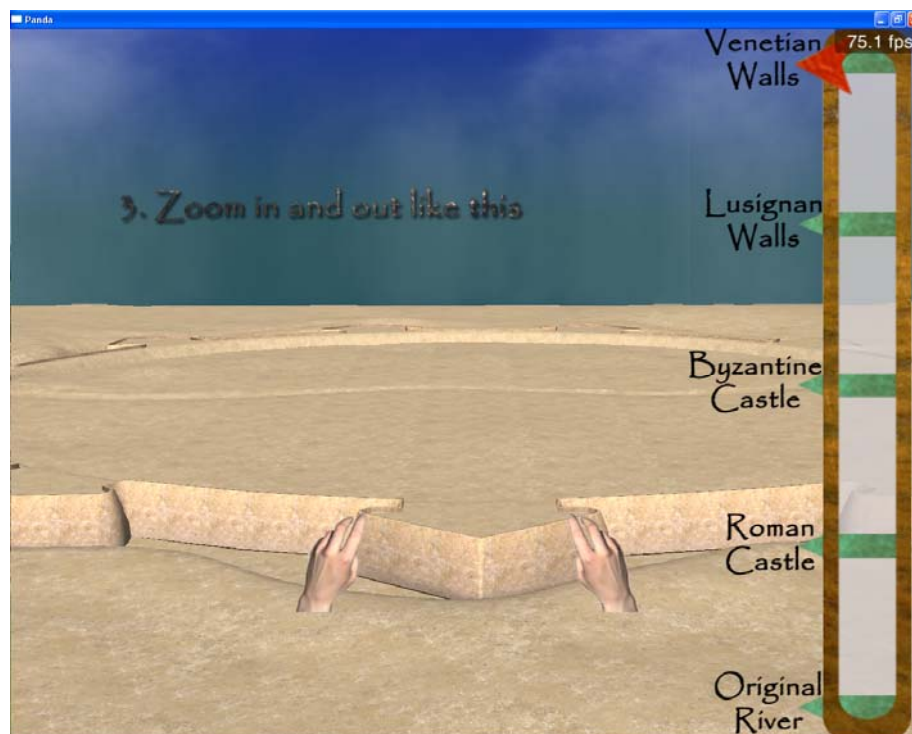
Σχήμα 6.26 Η Ρωμαϊκή εποχή

Στο Σχήμα 6.27 φαίνεται ο ποταμός που υπήρχε πριν να κτιστεί οποιαδήποτε οχύρωση.



Σχήμα 6.27 Ο ποταμός

Στο Σχήμα 6.28 φαίνεται μια στιγμιαία λήψη από την οθόνη με τις οδηγίες χρήσης της εφαρμογής.



Σχήμα 6.28 Οι οδηγίες χρήσης της εφαρμογής

Οι οδηγίες χρήσης είναι ένα animation το οποίο χρησιμοποιεί εικονικά χέρια για να δείξει στο χρήστη τις διαφορετικές ενέργειες που μπορεί να εκτελέσει, και με ποια

χειρονομία μπορεί να τις εκτελέσει. Σε αυτό το σημείο θεώρησα ότι ένα animation θα ήταν πολύ καλύτερη λύση για να δείξει στο χρήστη πως να χρησιμοποιεί την εφαρμογή, παρά η χρησιμοποίηση μερικών στατικών εικόνων.

6.4 Γενικά Προβλήματα κατά την Υλοποίηση

Η διαδικασία της υλοποίησης ήταν επίπονη και χρονοβόρα και ασφαλώς ήταν αδύνατο να ολοκληρωθεί χωρίς το παραμικρό πρόβλημα. Αντίθετα τα προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν, πολλά από τα οποία παραμένουν άλυτα, ήταν πολυάριθμα και οφείλονταν σε πολλές περιπτώσεις στην έλλειψη προηγούμενης εμπειρίας σε τέτοιου είδους συστήματα. Ορισμένα γενικά προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν σε όλη τη διάρκεια της υλοποίησης του συστήματος πολλαπλής αφής ήταν τα ακόλουθα:

1. Το σημαντικότερο πρόβλημα με τη διαδικασία υλοποίησης ήταν η έλλειψη χρόνου, αφού μέσα σε μερικούς μήνες θα έπρεπε να κατασκευαστεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα πολλαπλής αφής. Αυτό σήμαινε ότι θα έπρεπε να υλοποιηθεί όχι μόνο το υλικό αλλά και το λογισμικό για το σύστημα.
2. Λαμβάνοντας υπόψη το πιο πάνω πρόβλημα, αυξανόταν η σημασία του προβλήματος της σπατάλης χρόνου σε περιπτώσεις όπου έπρεπε να περιμένω για υλικά ή υπηρεσίες από τρίτα πρόσωπα ώστε να συνεχίσω με την υλοποίηση.
3. Σημαντικότατο πρόβλημα ήταν και η έλλειψη των κατάλληλων υλικών για ένα σύστημα πολλαπλής αφής στην Κύπρο. Υλικά όπως οπτικά φίλτρα, επιφάνειες προβολής, συγκεκριμένα είδη σιλικόνης, LEDs, αλουμίνια κτλ. ήταν πολύ δύσκολο να βρεθούν, κάτι που επηρέαζε και το χρόνο υλοποίησης καθώς και την ποιότητα του τελικού αποτελέσματος.
4. Η έλλειψη εμπειρίας στην κατασκευή ενός τέτοιου συστήματος δημιουργούσε πολλαπλά προβλήματα στη διαδικασία της υλοποίησης.

Στο επόμενο κεφάλαιο θα αναφέρω πιο συγκεκριμένα προβλήματα τα οποία εντοπίστηκαν σε διάφορες φάσεις της υλοποίησης και για τα οποία καταβλήθηκε μεγάλη προσπάθεια ώστε να βρεθούν οι καταλληλότερες λύσεις.

Κεφάλαιο 7

Έλεγχος

7.1	Γενικά	111
7.2	Προβλήματα που βρέθηκαν στη φάση της υλοποίησης	112
7.3	Έλεγχος αποτελεσμάτων μεθόδου FTIR	115
7.4	Έλεγχος αποτελεσμάτων μεθόδου Rear DI	117
7.5	Έλεγχος ευχρηστίας	119

7.1 Γενικά

Ο έλεγχος κατά τη διάρκεια της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν μια συνεχής διαδικασία με την οποία ανιχνεύονταν τα προβλήματα του συστήματος και γινόταν προσπάθεια να βρεθούν ικανοποιητικές λύσεις. Ο στόχος από την αρχή μέχρι και το τέλος ήταν να ικανοποιηθούν όσο καλύτερα γινόταν οι απαιτήσεις που τέθηκαν στην αρχή της εργασίας αυτής.

Με αυτή τη λογική ο έλεγχος δεν αποτέλεσε μια ξεχωριστή φάση στο έργο, ωστόσο εκτελέστηκε και κάποιος συνολικός έλεγχος στο τέλος της υλοποίησης για αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων ανίχνευσης πολλαπλής αφής που είχαν υλοποιηθεί. Επιπλέον εκτελέστηκε και κάποιος έλεγχος ευχρηστίας με τη συμμετοχή χρηστών, για την αξιολόγηση της ποιότητας της διεπιφάνειας της τελικής εφαρμογής. Λαμβάνοντας υπόψη τα προαναφερθέντα, ήταν λογικό να αφιερωθεί το παρόν κεφάλαιο για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων αυτών των ελέγχων.

Το κεφάλαιο αρχίζει με μια καταγραφή των προβλημάτων που ανευρέθηκαν κατά τη φάση της υλοποίησης και των πιθανών λύσεων που δόθηκαν για αυτά τα προβλήματα. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από το συνολικό έλεγχο του τελικού αποτελέσματος της μεθόδου FTIR καθώς και από το συνολικό έλεγχο του τελικού

αποτελέσματος της μεθόδου Rear DI. Στο τέλος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την αξιολόγηση της ευχρηστίας του συστήματος.

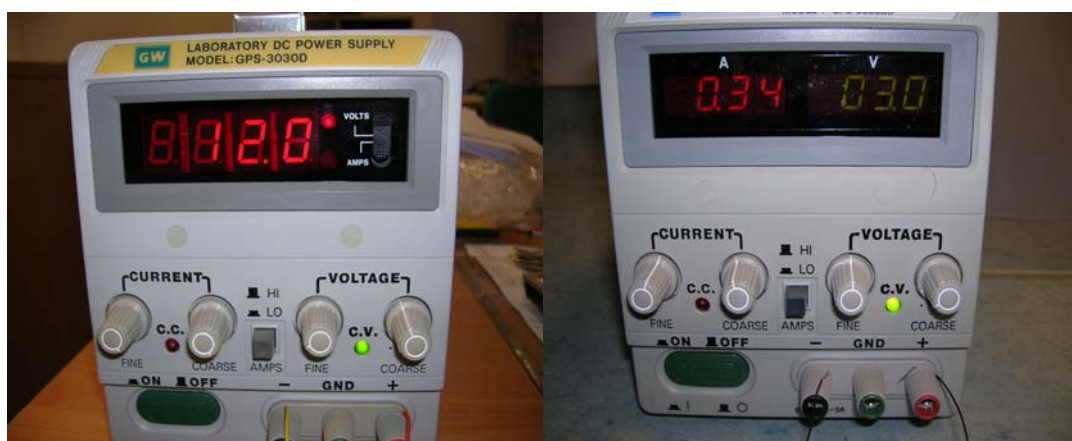
7.2 Προβλήματα που βρέθηκαν στη φάση της υλοποίησης

Στο προηγούμενο κεφάλαιο είχα αναφέρει ορισμένα γενικά προβλήματα τα οποία αντιμετωπίστηκαν κατά τη φάση της υλοποίησης. Σε αυτό το κεφάλαιο επέλεξα να συμπεριλάβω μερικά πιο συγκεκριμένα προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν σε ορισμένες φάσεις της υλοποίησης και τα οποία βρέθηκαν μέσω της διαδικασίας του ελέγχου. Τα προβλήματα αυτά είναι:

1. Η αρχική κατασκευή του τραπεζιού από τον ξυλουργό υπολειπόταν ένα εκατοστό σε κάθε πλευρά της προεξοχής που δημιουργήθηκε για τοποθέτηση του ακρυλικού της επιφάνειας αφής. Αυτό εγκυμονούσε τον κίνδυνο να πέσει το ακρυλικό και να καταστραφεί. Δυστυχώς έπρεπε να περιμένω αρκετό καιρό μέχρι να διορθώσει αυτό το μικρό λάθος ο ξυλουργός.
2. Η δυσκολία εύρεσης του κατάλληλου χαρτιού για την επιφάνεια προβολής στη μέθοδο FTIR αποτέλεσε σημαντικότατο πρόβλημα, του οποίου η λύση δεν έχει ακριβώς βρεθεί.
3. Η δυσκολία κατασκευής της συμβατής επιφάνειας για τη μέθοδο FTIR αποτέλεσε ακόμα πιο σημαντικό πρόβλημα, του οποίου η λύση επίσης δεν έχει βρεθεί ακόμα.
4. Το ακρυλικό που χρησιμοποιήθηκε για τη μέθοδο FTIR δυστυχώς δεν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη μέθοδο Rear DI. Ο λόγος ήταν η ανάκλαση του υπέρυθρου φωτός από τα πέντε τμήματα των LEDs στο κάτω μέρος της επιφάνειας του ακρυλικού, η οποία και δημιουργούσε πέντε πολύ φωτεινά σημεία στην εικόνα που λαμβανόταν από την κάμερα (hotspots). Αυτά τα φωτεινά σημεία ανιχνεύονταν ως σημεία αφής, κάτι που καθιστούσε το σύστημα πρακτικά αδύνατο να χρησιμοποιηθεί σωστά. Ασφαλώς τα φωτεινά σημεία μπορούσαν να αφαιρεθούν με τη λειτουργία αφαίρεσης φόντου που προσφέρει το λογισμικό ανίχνευσης, αυτό όμως δημιουργούσε πέντε νεκρά σημεία πάνω στην επιφάνεια αφής, αφού στα σημεία αυτά δεν μπορούσαν να ξεχωρίσουν τα σημεία επαφής με τα δάχτυλα του χρήστη. Η ορθότερη λύση σύμφωνα και με το θεωρητικό υπόβαθρο του Κεφαλαίου 2 θα ήταν να ανακλάται το υπέρυθρο φως από τις πλευρές του τραπεζιού ούτως ώστε να μην χρειάζεται να είναι γυρισμένα τα LEDs απευθείας προς το κάτω μέρος της επιφάνειας αφής αλλά να είναι γυρισμένα προς τις πλευρές του τραπεζιού. Δυστυχώς όμως παρά τις προσπάθειες μου, το φως από τα LEDs ήταν τόσο έντονο

5. Ένα αρκετά σημαντικό πρόβλημα ήταν η εύρεση των ιδανικών τιμών για τα φίλτρα επεξεργασίας εικόνας του λογισμικού ανίχνευσης ώστε να ανιχνεύονται όλα τα σημεία αφής, χωρίς να δημιουργούνται προβλήματα με ανίχνευση λανθασμένων σημείων αφής. Το θέμα όμως είναι ότι αυτή η διαδικασία απαιτεί πολύ πειραματισμό και ακόμα και αν βρεθούν οι ιδανικές τιμές, οποιαδήποτε αλλαγή στις συνθήκες φωτισμού επαναφέρει τα προβλήματα ανίχνευσης λανθασμένων σημείων αφής.
6. Το κόσψιμο του πλαστικού που χρησιμοποιήθηκε τελικά για τη μέθοδο Rear DI ήταν μεγάλο πρόβλημα αφού το πλαστικό ήταν αρκετά εύθραυστο και λόγω του μεγέθους του δεν μπορούσε να μεταφερθεί σε ειδικό τεχνίτη για να κοπεί.
7. Η εύρεση της τέλειας θέσης για το projector και τον καθρέφτη αποτελεί πρόβλημα μέχρι και σήμερα αφού παρά τις προσπάθειες μας υπάρχει ακόμα κάποιο πρόβλημα keystoneing στην τελική εικόνα, το οποίο γίνεται εύκολα αντιληπτό.
8. Ο φακός fish-eye που χρησιμοποιείται στην κάμερα του συστήματος δημιουργεί μεγάλο πρόβλημα barrel distortion στις άκρες της εικόνας που λαμβάνει, με αποτέλεσμα να υπάρχει δυσκολία στην ανίχνευση σημείων επαφής στις γωνίες της

9. Το κύκλωμα που σχεδιάστηκε για τα LEDs στη μέθοδο FTIR δεν ήταν και η καλύτερη επιλογή όπως αποδείχτηκε εκ των υστέρων. Υπάρχει μεγάλη αντίσταση λόγω της ένωσης τόσων πολλών LEDs παράλληλα με αποτέλεσμα πτώση της τάσης κατά μήκος του κυκλώματος και υποτροφοδοσία των LEDs. Αυτό έχει ως συνέπεια τα LEDs να μην εκπέμπουν το μέγιστο φως σύμφωνα με τις δυνατότητες τους. Το κύκλωμα θα πρέπει να διορθωθεί και να μουν και αντιστάσεις ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος να καούν τα LEDs.
10. Το κύκλωμα που σχεδιάστηκε για τα LEDs στη μέθοδο Rear DI, ήταν σωστότερη επιλογή, όμως αντιμετωπίζει τα ίδια προβλήματα υποτροφοδοσίας όπως και το προηγούμενο κύκλωμα αφού θα έπρεπε να χρησιμοποιηθούν μεγαλύτερες αντιστάσεις και τάση τροφοδοσίας μεγαλύτερη των 12 volts.
11. Η χρησιμοποίηση του τροφοδοτικού του υπολογιστή για την τροφοδοσία των LEDs δημιουργούσε κίνδυνο λόγω γυμνών καλωδίων που κατέληγαν στον υπολογιστή τα οποία ανά πάσα στιγμή μπορούσαν να προκαλέσουν βραχυκύκλωμα και ζημιά στα LEDs και τον ίδιο τον υπολογιστή. Για το λόγο αυτό, στο τελικό σύστημα χρησιμοποιούνται δύο τροφοδοτικά (ένα για 3 volts και ένα για 12 volts) τα οποία δανείστηκα από το εργαστήριο ψηφιακής σχεδίασης. Τα τροφοδοτικά αυτά φαίνονται στο Σχήμα 7.1



Σχήμα 7.1 Τα τροφοδοτικά που χρησιμοποιήθηκαν για τα LEDs

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.1, πρόκειται για δύο όμοια τροφοδοτικά με ικανότητα ρύθμισης της τάσης και της έντασης του ρεύματος που παρέχουν. Το τροφοδοτικό στα

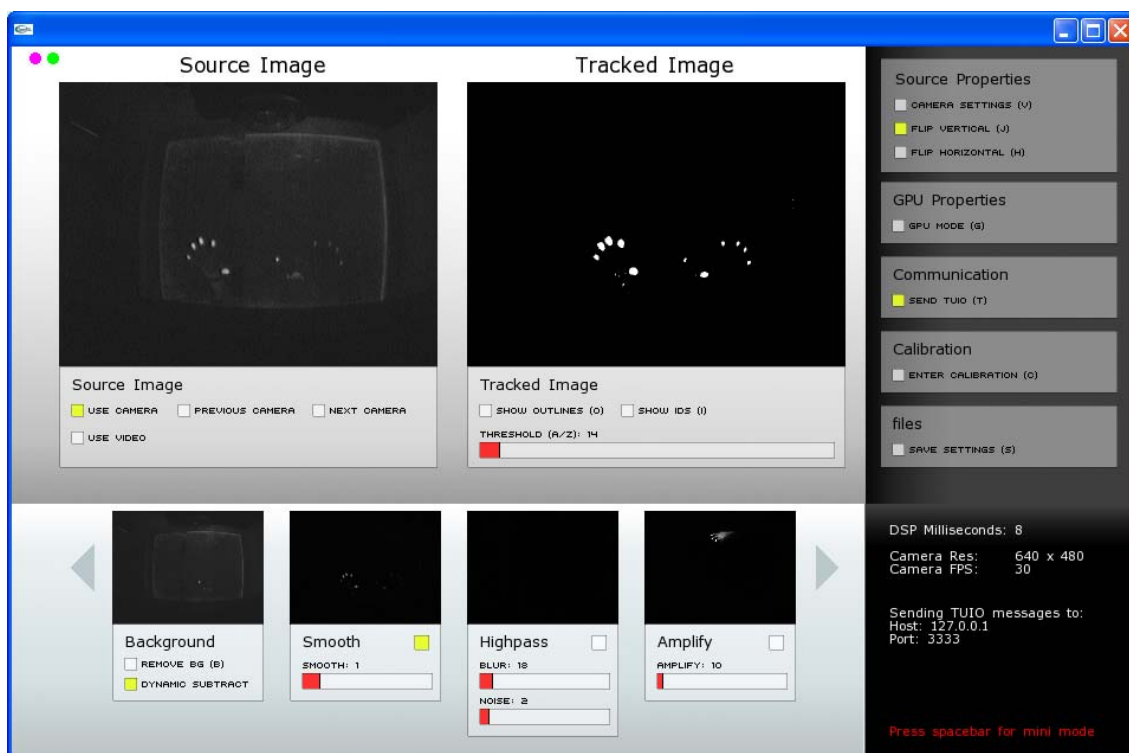
αριστερά είναι ρυθμισμένο για να παρέχει τάση 12 volts, ενώ το τροφοδοτικό στα δεξιά είναι ρυθμισμένο για να παρέχει τάση 3 volts.

7.3 Έλεγχος αποτελεσμάτων μεθόδου FTIR

Ο έλεγχος των αποτελεσμάτων της υλοποίησης που έγινε για τη μέθοδο FTIR, συμπεριλάμβανε τον έλεγχο της ικανότητας ανίχνευσης πολλαπλών σημείων αφής καθώς και τον έλεγχο της ποιότητας της εικόνας που προβαλλόταν πάνω στην επιφάνεια αφής.

Όσον αφορά τον έλεγχο της ικανότητας ανίχνευσης πολλαπλών σημείων αφής, η διαδικασία είχε στόχο να ελεγχθεί κατά πόσο το λογισμικό ανίχνευσης είχε τη δυνατότητα να ανιχνεύσει σωστά τα σημεία αφής χωρίς να ανιχνεύονται οποιαδήποτε λανθασμένα σημεία αφής. Ο έλεγχος της ποιότητας της εικόνας που προβαλλόταν πάνω στην επιφάνεια αφής ήταν ουσιαστικά μια απλή παρατήρηση για να αποφασιστεί αν η ποιότητα της εικόνας ήταν επαρκής.

Το Σχήμα 7.2 δείχνει την οθόνη του λογισμικού ανίχνευσης tBeta κατά τη διαδικασία ελέγχου της ικανότητας ανίχνευσης των σημείων αφής με χρήση της μεθόδου FTIR.

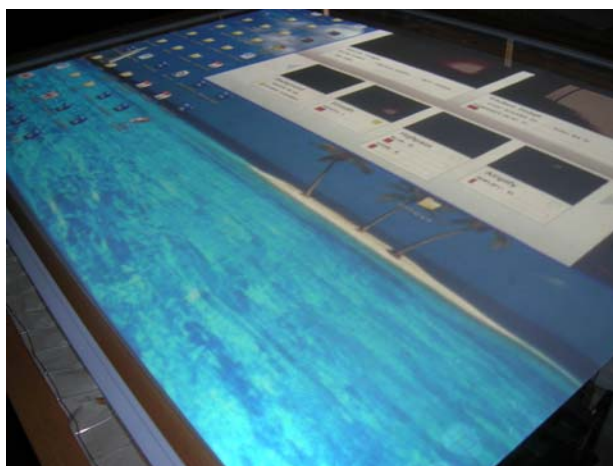


Σχήμα 7.2 Έλεγχος ανίχνευσης σημείων αφής με χρήση της μεθόδου FTIR

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι η αριστερή εικόνα στην οθόνη του λογισμικού tBeta παρουσιάζει την εικόνα που λαμβάνεται από την υπέρυθρη κάμερα ενώ η δεξιά εικόνα παρουσιάζει την τελική εικόνα μετά την επεξεργασία εικόνας και την εφαρμογή φίλτρων που εκτελείται από το λογισμικό tBeta. Στο αριστερό μέρος της οθόνης αφής δεν υπάρχει κάποια επιφάνεια προβολής αλλά ούτε και συμβατή επιφάνεια, επομένως πρόκειται για απλό ακρυλικό. Στο δεξιό μέρος της οθόνης υπάρχει η επιφάνεια προβολής και η συμβατή επιφάνεια. Αυτό έγινε για να συγκριθεί η απόδοση της ανίχνευσης σημείων επαφής με συμβατή επιφάνεια και χωρίς συμβατή επιφάνεια.

Καταρχήν, όπως φαίνεται, η μέθοδος FTIR υποφέρει από ένα ανεπιθύμητο φωτεινό σημείο στην εικόνα από τη κάμερα, το οποίο οφείλεται στην ανάκλαση υπέρυθρου φωτός από το projector στο κάτω μέρος του ακρυλικού της επιφάνειας αφής. Αυτό το σημείο ανιχνεύεται λανθασμένα σε πολλές περιπτώσεις ως σημείο αφής, κάτι που εμποδίζει την ορθή ανίχνευση των σημείων αφής. Για να λυθεί αυτό το πρόβλημα θα έπρεπε να τοποθετηθεί ειδικό υπέρυθρο φίλτρο μπροστά από το φακό του projector (hot mirror). Δυστυχώς δεν πρόλαβα να αποκτήσω ένα τέτοιο φίλτρο.

Αυτό το οποίο εύκολα μπορεί να παρατηρηθεί είναι ότι η φωτεινότητα των σημείων αφής είναι αρκετά μεγαλύτερη στην περίπτωση που δε χρησιμοποιείται συμβατή επιφάνεια. Το πρόβλημα εδώ όμως είναι ότι σε περιπτώσεις όπου απαιτείται κίνηση των δάχτυλων του χρήστη στην επιφάνεια αφής, χάνονται τα σημεία αφής. Επίσης μια οθόνη αφής χωρίς επιφάνεια προβολής είναι πρακτικά άχρηστη. Από την άλλη, η φωτεινότητα των σημείων αφής στην πλευρά όπου υπάρχει επιφάνεια προβολής και συμβατή επιφάνεια είναι αρκετά καλή, όμως δυστυχώς απαιτείται μεγαλύτερη πίεση από ότι στη περίπτωση που δε χρησιμοποιείται συμβατή επιφάνεια. Το Σχήμα 7.3 δείχνει την εικόνα η οποία προβάλλεται στην επιφάνεια αφής για τη μέθοδο FTIR.



Σχήμα 7.3 Η εικόνα για τη μέθοδο FTIR

Όπως φαίνεται η ποιότητα της εικόνας δεν είναι πάρα πολύ καλή λόγω του ότι το κάτω μέρος της επιφάνειας προβολής επαλείφθηκε με σιλικόνη. Επίσης λόγω του ότι η επιφάνεια προβολής είναι στην ουσία απλό χαρτί, δημιουργείται ένα σημείο με έντονη φωτεινότητα πάνω στην εικόνα, το οποίο μπορεί να προκαλέσει ζαλάδα αν ο χρήστης συγκεντρώσει το βλέμμα του πάνω σε αυτό για αρκετή ώρα.

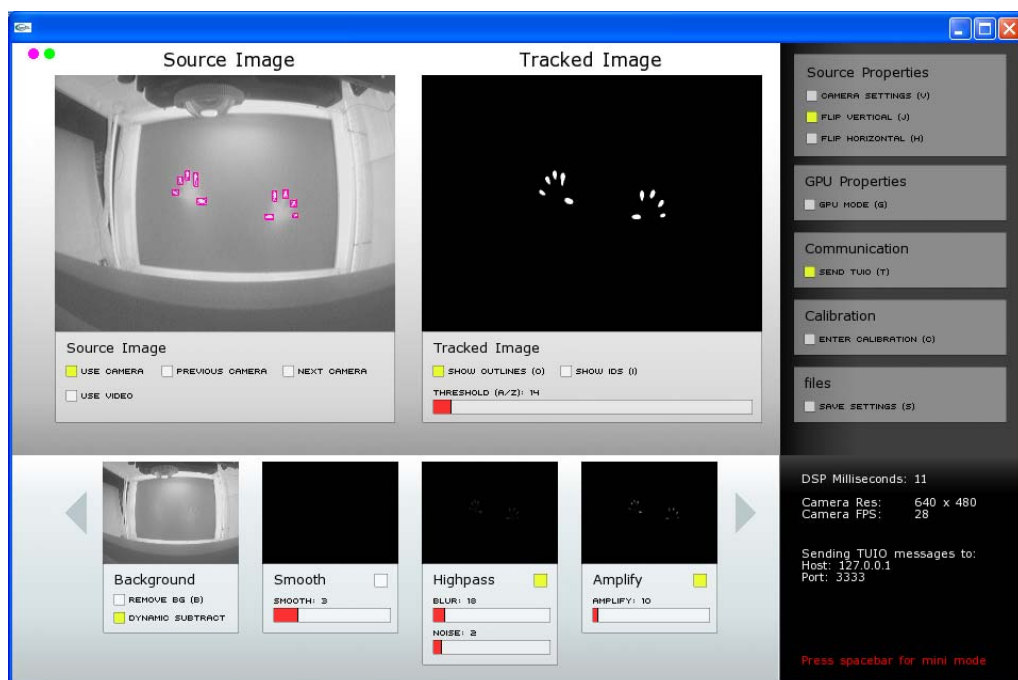
Λόγω των προβλημάτων που έχουν περιγραφεί πιο πάνω, η μέθοδος FTIR δεν αποτέλεσε την πρώτη μου επιλογή για το τελικό σύστημα πολλαπλής αφής.

7.4 Έλεγχος αποτελεσμάτων μεθόδου Rear DI

Ο έλεγχος των αποτελεσμάτων της υλοποίησης που έγινε για τη μέθοδο Rear DI, συμπεριλάμβανε τον έλεγχο της ικανότητας ανίχνευσης πολλαπλών σημείων αφής καθώς και τον έλεγχο της ποιότητας της εικόνας που προβαλλόταν πάνω στην επιφάνεια αφής.

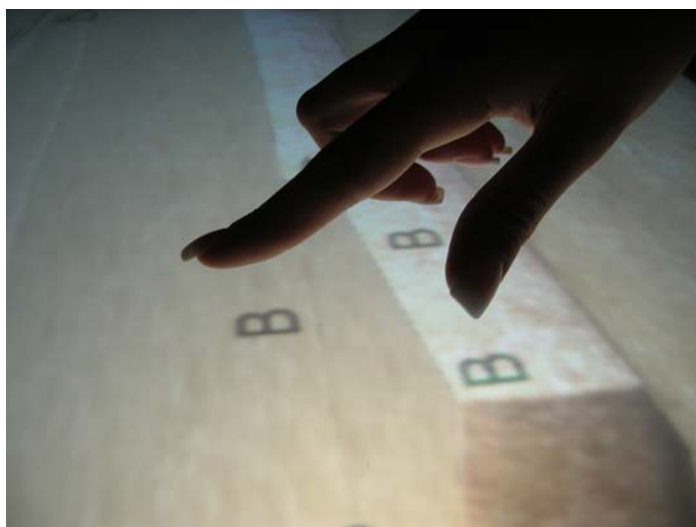
Όσον αφορά τον έλεγχο της ικανότητας ανίχνευσης πολλαπλών σημείων αφής, η διαδικασία είχε στόχο να ελεγχθεί κατά πόσο το λογισμικό ανίχνευσης είχε τη δυνατότητα να ανιχνεύσει σωστά τα σημεία αφής χωρίς να ανιχνεύονται οποιαδήποτε λανθασμένα σημεία αφής. Ο έλεγχος της ποιότητας της εικόνας που προβαλλόταν πάνω στην επιφάνεια αφής ήταν ουσιαστικά μια απλή παρατήρηση για να αποφασιστεί αν η ποιότητα της εικόνας ήταν επαρκής.

Το Σχήμα 7.4 δείχνει την οθόνη του λογισμικού ανίχνευσης tBeta κατά τη διαδικασία ελέγχου της ικανότητας ανίχνευσης των σημείων αφής με χρήση της μεθόδου Rear DI.



Σχήμα 7.2 Έλεγχος ανίχνευσης σημείων αφής με χρήση της μεθόδου Rear DI

Όπως φαίνεται, όλα τα σημεία αφής αναγνωρίζονται εύκολα και δεν υπάρχουν καθόλου προβλήματα με φωτεινά σημεία. Το κύριο πρόβλημα είναι ότι η ανίχνευση των σημείων αφής για τη μέθοδο Rear DI είναι πολύ ευαίσθητη λόγω του μεγάλου αριθμού LEDs και της καλύτερης επιφάνειας αφής που χρησιμοποιήθηκε στην τελική λύση. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα να ανιχνεύονται τα δάχτυλα του χρήστη ακόμα και όταν αιωρούνται μερικά εκατοστά πάνω από την επιφάνεια αφής, κάτι που έχει την ανεπιθύμητη συνέπεια να προκαλεί σύγχυση στη διεπιφάνεια της τελικής εφαρμογής. Αυτό το ανεπιθύμητο φαινόμενο φαίνεται στο Σχήμα 7.5.



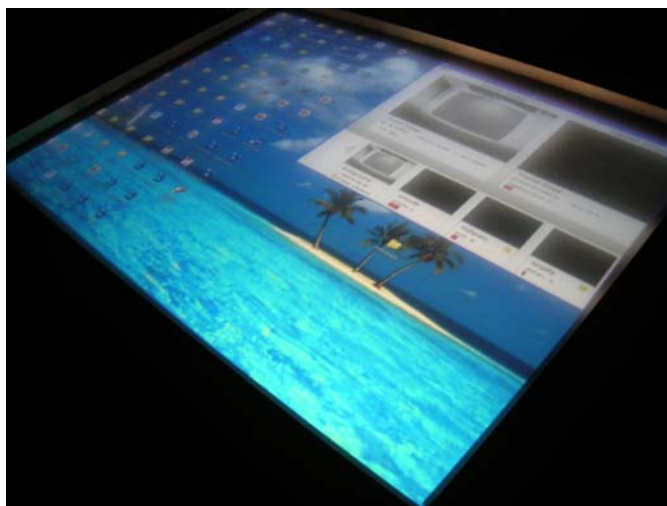
Σχήμα 7.5 Λανθασμένη ανίχνευση δάχτυλων που αιωρούνται

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.5, η εφαρμογή εκτυπώνει το γράμμα B στο σημείο που ανιχνεύεται επαφή ως ένας τρόπος αποσφαλμάτωσης. Όπως παρατηρούμε, παρά το γεγονός ότι ο χρήστης αγγίζει την επιφάνεια μόνο με τον δείκτη του, εντούτοις ανιχνεύονται ως σημεία αφής και τα άλλα δύο δάχτυλα του χρήστη που αιωρούνται σε μικρή απόσταση πάνω από την επιφάνεια αφής, γεγονός το οποίο είναι ανεπιθύμητο.

Πιθανές λύσεις στο πρόβλημα αυτό είναι η μείωση του αριθμού των LEDs, η τροποποίηση των φίλτρων επεξεργασίας εικόνας στο λογισμικό ανίχνευσης καθώς και η χρήση μιας νέας ιδιότητας του λογισμικού CCV που επιτρέπει να αγνοούνται σημεία με εμβασμό μικρότερο από ένα threshold από την ανίχνευση των σημείων αφής.

Το Σχήμα 7.6 δείχνει την εικόνα η οποία προβάλλεται στην επιφάνεια αφής για τη μέθοδο Rear DI. Όπως φαίνεται η ποιότητα της εικόνας είναι πολύ καλή, κάτι που ήταν αναμενόμενο αφού για την επιφάνεια προβολής χρησιμοποιήθηκε το πλαστικό που

είναι ειδικό για οθόνες οπίσθιας προβολής. Επίσης δεν υπάρχει κάποιο σημείο στο οποίο η εικόνα να είναι υπερβολικά φωτεινή λόγω της λάμπας του projector αφού το φως διαχέεται ομοιόμορφα σε όλη την επιφάνεια. Επομένως δεν υπάρχει κανένας κίνδυνος πρόκλησης ζαλάδας στο χρήστη του συστήματος.



Σχήμα 7.6 Η εικόνα για τη μέθοδο Rear DI

Λαμβάνοντας υπόψη τη σαφώς ποιοτικότερη ανίχνευση σημείων επαφής αλλά και την καλύτερη ποιότητα εικόνας που προσφέρει η μέθοδος Rear DI, καθώς και την πιο στερεή της κατασκευή, κατέληξα στην απόφαση όπως χρησιμοποιηθεί η συγκεκριμένη μέθοδος στο τελικό σύστημα που θα εγκατασταθεί στο Λεβέντειο Μουσείο. Ωστόσο, η μέθοδος FTIR είναι μια αξιόλογη αν και αρκετά πολύπλοκη μέθοδος, η οποία αξίζει να ερευνηθεί περισσότερο στη συνέχεια.

7.5 Έλεγχος ευχρηστίας

Για την αξιολόγηση της ευχρηστίας του συστήματος ακολούθησα μια μέθοδο η οποία είναι πολύ διαδεδομένη στο πεδίο της αλληλεπίδρασης ανθρώπου – υπολογιστή. Συγκεκριμένα χρησιμοποίησα την μέθοδο της αξιολόγησης με συμμετοχή χρηστών, κατά την οποία ένας αριθμός ατόμων αλληλεπιδρούν με το σύστημα και στη συνέχεια συμπληρώνουν κάποιο ερωτηματολόγιο σχετικά με την εμπειρία τους κατά την αλληλεπίδραση τους με το σύστημα. Ακολούθως, μελετώντας το ερωτηματολόγιο μπορούν να εξαχθούν πολύ χρήσιμα συμπεράσματα για την ευχρηστία του συστήματος. Το σημαντικότερο σημείο σε αυτή τη μέθοδο είναι η δημιουργία του ερωτηματολογίου,

το οποίο πρέπει να περιέχει τις κατάλληλες ερωτήσεις ούτως ώστε να μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα από τις απαντήσεις των χρηστών.

7.5.1 Πρώτη Αξιολόγηση Ευχρηστίας

Για το σκοπό αυτό δημιούργησα πρώτα ένα ερωτηματολόγιο το οποίο καλεί τον χρήστη να εκτελέσει τέσσερις εργασίες που καλύπτουν τις βασικές λειτουργίες του συστήματος, δηλαδή την κίνηση γύρω από τα τείχη και την αλλαγή της χρονικής περιόδου, και ακολούθως να απαντήσει ερωτήσεις σχετικά με την κάθε εργασία καθώς και γενικές ερωτήσεις στο τέλος. Το ερωτηματολόγιο που χρησιμοποιήθηκε επισυνάπτεται στο Παράρτημα Α. Στη συνέχεια ζήτησα από 6 άτομα να χρησιμοποιήσουν το σύστημα πολλαπλής αφής και να συμπληρώσουν το ερωτηματολόγιο ακολουθώντας τις οδηγίες του.

Αναλύοντας τελικά τις απαντήσεις των 6 χρηστών μπόρεσα να καταλήξω σε ορισμένα πολύ χρήσιμα συμπεράσματα. Αρχίζοντας από το επίπεδο εμπειρίας των χρηστών σε σχέση με οθόνες πολλαπλής αφής, υπήρχαν χρήστες από όλα τα επίπεδα εμπειρίας, με 50% των χρηστών να είναι αρχάριοι. Το ευχάριστο είναι ότι παρά την απειρία των χρηστών, η συντριπτική πλειοψηφία δεν ένιωσε ότι χρειαζόταν περισσότερη εκπαίδευση για να χρησιμοποιήσει το σύστημα, γεγονός που σημαίνει ότι οι οδηγίες χρήσης του συστήματος είναι ικανοποιητικές. Επίσης η συντριπτική πλειοψηφία δήλωσε ότι η εμπειρία με το σύστημα πολλαπλής αφής ήταν πολύ καλή.

Η πιο δύσκολη λειτουργία σύμφωνα με το 50% των χρηστών ήταν η λειτουργία του zoom in/out, κάτι που ήταν αναμενόμενο λόγω της ανάγκης για χρήση δύο δάχτυλων για εκτέλεση της. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης όσον αφορά την υλοποίηση αυτής της λειτουργίας.

Η λειτουργία της οθόνης σε όλες τις εργασίες ήταν από μέτρια ως πολύ καλή, κάτι που σημαίνει ότι οι χρήστες έμειναν γενικά ικανοποιημένοι από την λειτουργία της οθόνης. Δυστυχώς η πλειοψηφία των χρηστών βρήκε την ευαισθησία της οθόνης σε κάθε εργασία γενικά υπερβολική ή κάπως υπερβολική, γεγονός που οφείλεται στην λανθασμένη αντίχνευση των δάχτυλων του χρήστη ενώ αιωρούνται πάνω από την επιφάνεια αφής. Αυτό μας υποδεικνύει ότι θα πρέπει να βελτιωθεί αρκετά η ευαισθησία της οθόνης στο μέλλον. Από την άλλη, η πλειοψηφία των χρηστών δήλωσε ότι ήταν

από εύκολο ως πολύ εύκολο για αυτούς να εκτελέσουν τις τέσσερις εργασίες, γεγονός που σημαίνει ότι ο κύριος στόχος της ευκολίας στη χρήση έχει επιτευχθεί.

Τέλος, όσον αφορά την απόδοση του υλικού του συστήματος, όλοι οι χρήστες βρήκαν την ανταπόκριση του συστήματος από καλή ως πολύ καλή, κάτι που σημαίνει ότι ο στόχος που τέθηκε για την απόδοση του συστήματος έχει επιτευχθεί. Επίσης, όσον αφορά το θέμα της ακρίβειας στην ανίχνευση των σημείων αφής, τα δύο τρίτα των χρηστών βρήκαν την ακρίβεια του συστήματος καλή, κάτι που σημαίνει ότι βρισκόμαστε σε καλό δρόμο αλλά υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης όσον αφορά την ακρίβεια της ανίχνευσης.

7.5.2 Δεύτερη Αξιολόγηση Ευχρηστίας

Λαμβάνοντας υπόψη τις γνώμες των χρηστών για την ευαισθησία και την ακρίβεια του συστήματος, προέβηκα σε ορισμένες βελτιώσεις οι οποίες είχαν θετικό αντίκτυπο στο σύστημα και στη συνέχεια επανέλαβα την αξιολόγηση ευχρηστίας σε ευρύτερη κλίμακα, με τη συμμετοχή 12 άλλων χρηστών οι οποίοι πρώτη φορά έρχονταν σε επαφή με το σύστημα. Οι 12 χρήστες εκτέλεσαν τις ίδιες τέσσερις εργασίες και συμπλήρωσαν στη συνέχεια το ίδιο ερωτηματολόγιο με βάση τις εντυπώσεις τους. Η διαφορά σε αυτή την αξιολόγηση ήταν ότι κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της κάθε εργασίας, ο κάθε χρήστης χρονομετρήθηκε για να διαπιστωθεί πόσο χρόνο χρειαζόταν για να εκτελέσει την εργασία. Επίσης πολύ σημαντική παράμετρος η οποία πρέπει να αναφερθεί είναι το γεγονός ότι οι μισοί χρήστες πληροφορήθηκαν από πριν για τον τρόπο χρήσης του συστήματος μέσω των οδηγιών χρήσης, ενώ οι άλλοι μισοί δεν είχαν καμιά πληροφόρηση για το πως να χρησιμοποιήσουν το σύστημα. Μέσα από αυτή την αξιολόγηση, ο επιπλέον στόχος σε σχέση με την πρώτη αξιολόγηση ήταν να εξακριβωθεί πόσο γρήγορα μπορούσε να χρησιμοποιήσει κάποιος χρήστης το σύστημα, και πόσο ρόλο παίζει η εκ των προτέρων γνώση της χρήσης του συστήματος στην απόδοση των χρηστών.

Οι χρόνοι που καταγράφηκαν για κάθε χρήστη φαίνονται στον Πίνακα 7.1. Ο πίνακας περιλαμβάνει το χρόνο που χρειάστηκε κάθε χρήστης για να εκτελέσει μια εργασία μετρημένο σε δευτερόλεπτα και στρογγυλοποιημένο στον κοντινότερο ακέραιο. Επίσης περιέχει κάποια χρήσιμα στατιστικά στοιχεία για τον μέσο όρο του χρόνου που χρειάστηκαν οι χρήστες που είχαν δει τις οδηγίες χρήσης του συστήματος, τον μέσο

όρο του χρόνου που χρειάστηκαν οι χρήστες που δεν είχαν δει τις οδηγίες χρήσης, καθώς και τον ελάχιστο και μέγιστο χρόνο συμπλήρωσης μιας εργασίας ανάμεσα σε όλους τους χρήστες.

Μελετώντας τον πίνακα, μπορούν να βγουν κάποια πολύ σημαντικά συμπεράσματα. Καταρχήν, δεν καταγράφηκε χρόνος πάνω από ένα λεπτό για οποιαδήποτε εργασία, γεγονός που είναι πάρα πολύ ενθαρρυντικό αφού όλοι οι χρήστες, είτε γνώριζαν τις οδηγίες είτε όχι μπόρεσαν να εξοικειωθούν με τη διεπιφάνεια του συστήματος και να το χρησιμοποιήσουν αμέσως. Όσον αφορά το χρόνο εκτέλεσης κάθε εργασίας, από ότι φαίνεται, η εργασία 3 που ζητούσε να εκτελεστεί η λειτουργία zoom in / zoom out ήταν η πιο χρονοβόρα αφού έχει τους μεγαλύτερους μέσους όρους, με την εργασία 1 (pan left / pan right) να την ακολουθεί, ενώ τρίτη έρχεται η εργασία 2 (tilt up/ tilt down) και τέταρτη η εργασία 4 (σύνθετη). Αυτό το γεγονός μπορεί να μας οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι η εργασία 3 ήταν η πιο δύσκολη από πλευράς εκτέλεσης, κάτι που δε φαίνεται να ισχύει για την εργασία 1, ο ψηλός μέσος όρος της οποίας φαίνεται να οφείλεται στο γεγονός ότι αυτή εκτελέστηκε πρώτη από τον κάθε χρήστη επομένως ήταν η πρώτη επαφή του χρήστη με το σύστημα. Η δυσκολία στην εκτέλεση της εργασίας 3 δικαιολογείται και από το γεγονός ότι ήταν η μόνη που απαιτούσε και τα δύο χέρια του κάθε χρήστη για να εκτελεστεί. Πολύ ευχάριστο είναι το γεγονός ότι η πιο σύνθετη εργασία, δηλαδή η τέταρτη έχει και το πιο χαμηλό μέσο όρο, γεγονός που οφείλεται στο ότι εκτελέστηκε τελευταία, με αποτέλεσμα μέχρι να φτάσουν σε αυτήν οι χρήστες είχαν ήδη εξοικειωθεί ιδιαίτερα με το σύστημα.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι οι μέσοι όροι για τους χρήστες που είχαν δει τις οδηγίες χρήσης του συστήματος δεν ήταν καλύτεροι από τους μέσους όρους των υπόλοιπων χρηστών στις πρώτες δύο εργασίες ενώ ήταν μόνο ελαφρώς καλύτεροι στις δύο τελευταίες εργασίες. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η χρήση οδηγιών χρήσης δεν έκανε κάποια ουσιαστική διαφορά στην απόδοση των χρηστών, γεγονός που δείχνει πως επιτεύχθηκε ο στόχος για ένα εύχρηστο και εύκολο στην εκμάθηση σύστημα, ενώ επιβεβαιώθηκε η θεωρία ότι η διεπιφάνεια πολλαπλής αφής είναι ιδιαίτερα εύχρηστη και φυσική ως προς τη χρήση της.

Χρήστης	Δόθηκαν Οδηγίες	Χρόνος Εκτέλεσης Εργασίας 1 (sec)	Χρόνος Εκτέλεσης Εργασίας 2 (sec)	Χρόνος Εκτέλεσης Εργασίας 3 (sec)	Χρόνος Εκτέλεσης Εργασίας 4 (sec)
1	OXI	8	5	10	9
2	OXI	10	7	12	10
3	OXI	11	8	20	8
4	OXI	26	7	59	10
5	OXI	17	40	23	11
6	OXI	27	7	34	10
7	NAI	44	14	49	22
8	NAI	14	10	12	16
9	NAI	14	9	23	13
10	NAI	11	6	12	10
11	NAI	59	25	37	14
12	NAI	15	7	26	10
Μέσος Όρος χρηστών που δεν είδαν οδηγίες		16,5	12,33	26,33	9,66
Μέσος Όρος χρηστών που είδαν οδηγίες		26,17	11,83	26,5	14,17
Μέσος Όρος όλων των χρηστών		21,33	12,08	26,42	11,92
Ελάχιστος Χρόνος		8	5	10	8
Μέγιστος Χρόνος		59	40	59	22

Πίνακας 7.1 Οι χρόνοι που καταγράφηκαν για τους 12 χρήστες κατά την εκτέλεση των τεσσάρων εργασιών

Αναλύοντας τελικά τις απαντήσεις των 12 χρηστών στα ερωτηματολόγια, που βρίσκονται συγκεντρωμένες με τη μορφή ποσοστών στον Πίνακα 7.2, μπόρεσα να καταλήξω σε ορισμένα επιπλέον ενθαρρυντικά συμπεράσματα.

	A (%)	B (%)	Γ (%)	Δ (%)	Ε (%)
Ερώτηση 1	0	0	0	16.66	83.33
Ερώτηση 2	0	0	66.66	33.33	0
Ερώτηση 3	0	0	8.33	25	66.66
Ερώτηση 4	0	0	0	33.33	66.66
Ερώτηση 5	0	0	66.66	33.33	
Ερώτηση 6	0	0	8.33	25	66.66
Ερώτηση 7	0	8.33	25	8.33	58.33
Ερώτηση 8	0	8.33	33.33	58.33	0
Ερώτηση 9	0	16.66	25	25	33.33
Ερώτηση 10	0	0	0	16.66	83.33
Ερώτηση 11	0	0	100	0	0
Ερώτηση 12	0	0	8.33	8.33	83.33
Ερώτηση 13	0	0	0	33.33	66.66
Ερώτηση 14	0	0	0	50	50
Ερώτηση 15	25	8.33	50	16.66	-
Ερώτηση 16	0	100	-	-	-
Ερώτηση 17	0	0	41.66	8.33	50
Ερώτηση 18	0	0	0	8.33	91.66

Πίνακας 7.2 Οι επιλογές των χρηστών στις 18 ερωτήσεις του ερωτηματολογίου

Αρχίζοντας από το επίπεδο εμπειρίας των χρηστών σε σχέση με οθόνες πολλαπλής αφής, υπήρχαν χρήστες από όλα τα επίπεδα εμπειρίας, με 50% των χρηστών να είναι ενδιαμέσου επιπέδου. Το ευχάριστο είναι ότι κανένας χρήστης δεν ένιωσε ότι χρειαζόταν περισσότερη εκπαίδευση για να χρησιμοποιήσει το σύστημα, γεγονός που σημαίνει ότι οι οδηγίες χρήσης του συστήματος είναι ικανοποιητικές. Επίσης η συντριπτική πλειοψηφία δηλαδή το 91.66 % δήλωσε ότι η εμπειρία με το σύστημα πολλαπλής αφής ήταν πολύ καλή.

Η πιο δύσκολη λειτουργία σύμφωνα με το 41.66% των χρηστών ήταν η λειτουργία του zoom in/out, κάτι που ήταν αναμενόμενο λόγω της ανάγκης για χρήση δύο χεριών για την εκτέλεση της. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν αρκετά περιθώρια βελτίωσης όσον αφορά την υλοποίηση αυτής της λειτουργίας. Από την άλλη, ένα 50% των χρηστών δεν ξεχώρισαν καμιά λειτουργία ως πιο δύσκολη.

Η λειτουργία της οθόνης σε όλες τις εργασίες ήταν από μέτρια ως πολύ καλή, κάτι που σημαίνει ότι οι χρήστες έμειναν γενικά ικανοποιημένοι από την λειτουργία της οθόνης. Εξαίρεση αποτελεί δυστυχώς η εργασία zoom in / zoom out, όπου ένα ποσοστό 33.33%

βρήκε τη λειτουργία της οθόνης από μέτρια ως κακή, γεγονός που προβληματίζει και φανερώνει την ανάγκη βελτίωσης της συγκεκριμένης λειτουργίας.

Επιπλέον, η πλειοψηφία των χρηστών βρήκε την ευαισθησία της οθόνης σε κάθε εργασία ακριβώς όπως θα ήθελαν, με αποκορύφωμα το ποσοστό 100% στην εργασία 4. Εξαίρεση αποτελεί δυστυχώς και πάλι η λειτουργία του zoom in / zoom out, όπου ένα ποσοστό 58.33% βρήκε την ευαισθησία λίγο ανεπαρκή, γεγονός που επιβεβαιώνει και πάλι ότι χρειάζεται κάποια βελτίωση η συγκεκριμένη λειτουργία. Από την άλλη, η πλειοψηφία των χρηστών δήλωσε ότι ήταν από εύκολο ως πολύ εύκολο για αυτούς να εκτελέσουν τις τέσσερις εργασίες, γεγονός που σημαίνει ότι ο κύριος στόχος της ευκολίας στη χρήση έχει επιτευχθεί.

Τέλος, όσον αφορά την απόδοση του υλικού του συστήματος, όλοι οι χρήστες βρήκαν την ανταπόκριση του συστήματος από καλή ως πολύ καλή, κάτι που επιβεβαιώνει και πάλι ότι ο στόχος που τέθηκε για την απόδοση του συστήματος έχει επιτευχθεί. Επίσης, όσον αφορά το θέμα της ακρίβειας στην ανίχνευση των σημείων αφής, όλοι οι χρήστες βρήκαν την ακρίβεια του συστήματος από καλή ως πολύ καλή, κάτι που σημαίνει ότι βρισκόμαστε σε πολύ καλό δρόμο όσον αφορά την ακρίβεια της ανίχνευσης.

Κεφάλαιο 8

Συμπεράσματα

8.1	Γενικά Συμπεράσματα	126
8.2	Μελλοντική Εργασία	128
8.3	Επίλογος	131

8.1 Γενικά Συμπεράσματα

Κλείνοντας την αναφορά για την παρούσα διπλωματική εργασία, θα ήταν παράλειψη εκ μέρους μου να μην αναφερθώ στα συμπεράσματα που εξήχθηκαν μέσα από την εργασία αυτή. Το κεφάλαιο αυτό έχει ως στόχο να παρουσιάσει τα γενικά συμπεράσματα από τη δουλειά που έγινε τους τελευταίους δέκα μήνες και να συζητήσει τις προοπτικές που υπάρχουν για μελλοντική εργασία επί του θέματος.

Ξεκινώντας, θα ήθελα να αναφερθώ στο στόχο που τέθηκε πέρσι το καλοκαίρι και ο οποίος δεν ήταν άλλος από την δημιουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος πολλαπλής αφής για λογαριασμό του Λεβέντειου Μουσείου. Κοιτάζοντας πίσω στην τότε εποχή, μπορώ να πω με βεβαιότητα ότι ο στόχος που είχε τεθεί δεν ήταν σε καμιά περίπτωση κάτι το απλό αλλά αντιθέτως ήταν ένας ιδιαίτερα μεγαλεπήβολος στόχος, γεγονός που σήμαινε ταυτόχρονα ότι υπήρχε μεγάλη πιθανότητα το έργο να καταλήξει σε αποτυχία.

Βλέποντας όμως σήμερα το αποτέλεσμα των προσπαθειών για επίτευξη αυτού του στόχου, μπορώ επίσης να πω ότι ο στόχος έχει επιτευχθεί και με το παραπάνω. Αυτό το λέω βασιζόμενος στο γεγονός ότι στη διάρκεια των τελευταίων μηνών, έχει κατασκευαστεί τόσο το υλικό όσο και το λογισμικό που συνθέτουν το σύστημα πολλαπλής αφής, ενώ έχουν γίνει και διάφορες δοκιμές με διαφορετικές μεθόδους ανίχνευσης πολλαπλής αφής και με διαφορετικά είδη λογισμικού. Επομένως σύμφωνα με τα αποτελέσματα της υλοποίησης, το έργο κρίνεται ως επιτυχημένο.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δέκα μηνών έχουν γίνει ατέλειωτες δοκιμές και πειράματα σε επίπεδο υλικού ώστε να μπορέσει να γίνει μια σύγκριση ανάμεσα στις δύο δημοφιλείς μεθόδους οι οποίες δοκιμάστηκαν, δηλαδή την FTIR και την Rear DI. Το αρχικό συμπέρασμα από όλες αυτές τις δοκιμές είναι ότι η μέθοδος FTIR είναι σημαντικά πιο πολύπλοκη στην υλοποίηση της, αφού αναγκαία προϋπόθεση για τη λειτουργία της είναι η χρήση συμβατής επιφάνειας, της οποίας η κατασκευή είναι αρκετά δύσκολη. Αυτός ήταν και ο λόγος που τα αποτελέσματα από τον έλεγχο της μεθόδου FTIR δεν ήταν και τόσο ενθαρρυντικά, αφού η όλη διαδικασία της κατασκευής αντιμετώπισε πολλά προβλήματα με αποτέλεσμα να μην ολοκληρωθεί όπως θα έπρεπε. Η μέθοδος Rear DI, είναι αρκετά πιο εύκολη στην υλοποίηση, χωρίς όμως αυτό να σημαίνει ότι δεν υπάρχουν δύσκολα σημεία στην υλοποίηση της. Το πιο δύσκολο σημείο στην υλοποίηση της μεθόδου Rear DI ήταν η κατασκευή όλων των κυκλωμάτων για το φωτισμό της επιφάνειας αφής με υπέρυθρο φως, ενώ μεγάλη πρόκληση ήταν και η ομοιόμορφη κατανομή του υπέρυθρου φωτός πάνω στην επιφάνεια αφής.

Από μια άλλη άποψη, η μέθοδος FTIR, μπορεί μεν να είναι πιο δύσκολη στην κατασκευή αλλά προσφέρει το πλεονέκτημα της μεγάλης αντίθεσης ανάμεσα στα σημεία επαφής και το φόντο, κάτι που κάνει την ανίχνευση σημείων επαφής ευκολότερη και χωρίς λάθη. Σε αντίθεση με τη μέθοδο FTIR, παρατήρησα ότι η μέθοδος Rear DI μπορεί να είναι υπερβολικά ευαίσθητη στην ανίχνευση των σημείων αφής, με αποτέλεσμα να ανιχνεύονται αντικείμενα ακόμα και όταν βρίσκονται μερικά εκατοστά πάνω από την επιφάνεια αφής. Αυτό ασφαλώς δεν είναι απαραίτητως κακό αφού σε ορισμένες εφαρμογές μπορεί να είναι αρκετά χρήσιμο, όμως στη συγκεκριμένη εφαρμογή για το Λεβέντειο Μουσείο αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα.

Με βάση τα τελικά αποτελέσματα όπως ανέφερα και στο Κεφάλαιο 7, επιλέγηκε η μέθοδος Rear DI για να χρησιμοποιηθεί στο σύστημα που θα εγκατασταθεί στο Λεβέντειο Μουσείο. Όποια μέθοδος και να επιλεγόταν όμως, η υλοποίηση του υλικού κρίνεται ως επιτυχής αφού έχουν επιτευχθεί όλοι οι στόχοι που τέθηκαν από την αρχή όσον αφορά το υλικό.

Πέρα από τα τελικά αποτελέσματα για την απόδοση των δύο μεθόδων όμως, είχα την ευκαιρία μέσα από τις διάφορες δοκιμές να αντιμετωπίσω και να επιλύσω σημαντικά

προβλήματα, αποκτώντας την απαραίτητη εμπειρία για μελλοντική έρευνα στον τομέα. Ίσως το πιο δύσκολο πρόβλημα ήταν αυτό της τοποθέτησης του projector, αλλά και της τροφοδότησης των LEDs, καθώς και η εύρεση της κατάλληλης επιφάνειας αφής και προβολής. Αυτά τα θέματα είναι πάντοτε πολύ σημαντικά κατά την κατασκευή συστημάτων πολλαπλής αφής.

Σε επίπεδο λογισμικού, αν και η τελική εφαρμογή έχει μεγάλα περιθώρια βελτίωσης, λόγω και της έλλειψης χρόνου κατά την υλοποίηση της, εντούτοις τα αποτελέσματα ήταν πολύ ενθαρρυντικά. Όπως φάνηκε και από τις δύο μελέτες ευχρηστίας οι οποίες έγιναν μετά το τέλος της υλοποίησης, όλοι οι χρήστες φάνηκαν πολύ ικανοποιημένοι από την εμπειρία τους με το σύστημα και δεν δυσκολεύτηκαν ιδιαίτερα να το χρησιμοποιήσουν. Επιπλέον παρατηρήθηκε σημαντική βελτίωση στις εντυπώσεις των χρηστών σε σχέση με την ευαισθησία και την ακρίβεια του συστήματος ανάμεσα στις δύο μελέτες. Αυτό δείχνει την επιτυχή εκπλήρωση των στόχων ευχρηστίας που τέθηκαν από την αρχή για το σύστημα, αφού το σύστημα είναι πολύ εύκολο στη χρήση και η γνώση από τη χρήση του μπορεί εύκολα να συγκρατηθεί. Επιπλέον φανερώνει γενικότερα τα θετικά αποτελέσματα από τη χρήση μιας τόσο φυσικής μεθόδου για την αλληλεπίδραση του ανθρώπου με τον υπολογιστή και δικαιολογεί την άποψη ότι η τεχνολογία πολλαπλής αφής είναι μια πολύ υποσχόμενη μέθοδος αλληλεπίδρασης καθώς και την αισιοδοξία ότι θα γνωρίσει μεγάλη ανάπτυξη στο μέλλον.

Πέρα από την επιτυχή εκπλήρωση των απαιτήσεων που τέθηκαν αρχικά για το σύστημα πολλαπλής αφής, υπάρχουν ασφαλώς και ορισμένα προβλήματα, τα οποία και έχω απαριθμήσει στο προηγούμενο κεφάλαιο, θα ήταν αδύνατο όμως να ολοκληρωθεί ένα έργο τέτοιου μεγέθους στα πλαίσια μια διπλωματικής εργασίας χωρίς να υπάρχουν καθόλου προβλήματα. Το σημαντικό είναι ότι τα προβλήματα αυτά έχουν ανιχνευτεί και μπορούν πλέον με την εμπειρία που έχει αποκτηθεί μετά την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας να διορθωθούν στα πλαίσια της μελλοντικής εργασίας πάνω στο θέμα.

8.2 Μελλοντική Εργασία

Περιθώρια για μελλοντική εργασία πάνω στο θέμα της διπλωματικής εργασίας υπάρχουν αρκετά, αφού όπως έχω αναφέρει και προηγουμένως, υπάρχουν αρκετά μικροπροβλήματα τα οποία πρέπει να διορθωθούν.

Πιο συγκεκριμένα, σε επίπεδο υλικού χρειάζεται να βελτιωθεί η ευαισθησία της οθόνης αφής ούτως ώστε να μην ανιχνεύει δάχτυλα που αιωρούνται πάνω από την επιφάνεια της. Πάνω σε αυτό το θέμα ήδη έχει γίνει κάποια δουλειά και τα αποτελέσματα φαίνονται πολύ ενθαρρυντικά. Επίσης χρειάζεται να γίνει πειραματισμός και με άλλα υλικά για επιφάνειες αφής καθώς και για συμβατές επιφάνειες. Όσον αφορά την κάμερα, υπάρχει ανάγκη για πειραματισμό με επαγγελματικά φίλτρα καθώς και με άλλες κάμερες που πιθανόν να προσφέρουν καλύτερη απόδοση στο σύστημα. Η διαδικασία τοποθέτησης του projector και του καθρέφτη χρειάζεται επίσης βελτίωση ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια στην τοποθέτηση τους και ελαχιστοποίηση του keystone στην εικόνα της οθόνης πολλαπλής αφής. Όσον αφορά τα LEDs, υπάρχει ανάγκη για εύρεση πιο εύκολων μεθόδων φωτισμού με LEDs, ώστε να μην χρειάζεται να μπαίνουμε στην επίπονη διαδικασία της συγκόλλησης εκατοντάδων LEDs μεταξύ τους. Ακόμα και τα κυκλώματα των LEDs που χρησιμοποιούνται προς το παρόν στο σύστημα έχουν ανάγκη από μικροδιορθώσεις ώστε να έχουν μεγαλύτερη απόδοση. Υπάρχει επιπλέον ανάγκη για επίλυση του προβλήματος της τροφοδοσίας των LEDs αλλά και των άλλων τμημάτων του συστήματος ώστε να δημιουργηθεί ένα plug and play σύστημα το οποίο να μπαίνει στην πρίζα και να δουλεύει χωρίς να υπάρχει ανάγκη γνώσης των εσωτερικών τμημάτων του συστήματος.

Σε ένα πιο ερευνητικό πλαίσιο σε ότι αφορά το υλικό, θα ήταν πολύ σημαντική η περαιτέρω έρευνα στη μέθοδο FTIR αλλά και σε άλλες μεθόδους οι οποίες δεν έχουν εξεταστεί κατά την παρούσα διπλωματική εργασία. Μέθοδοι όπως η LLP αλλά και η DSI έχουν την προοπτική καλών επιδόσεων σε θέματα ανίχνευσης επαφής γι' αυτό και θα πρέπει να ερευνηθούν σε βάθος. Από την άλλη, μέθοδοι sensor-based όπως η capacitive που χρησιμοποιείται στο iPhone έχουν επίσης μεγάλες προοπτικές για το μέλλον αφού αποφεύγουν τις ογκώδεις κατασκευές που απαιτούν οι μέθοδοι computer vision και γι' αυτό θα ήταν πολύ σημαντική μια πιθανή προσπάθεια μελέτης τέτοιων μεθόδων, οι οποίες είναι ασφαλώς πολύ πιο πολύπλοκες στην υλοποίηση.

Σε επίπεδο λογισμικού υπάρχουν πολλά περισσότερα περιθώρια για έρευνα στο μέλλον, αφού η ανάπτυξη λογισμικού για συστήματα πολλαπλής αφής είναι ακόμα σε πολύ πρώιμο στάδιο. Συγκεκριμένα, ένας τομέας στον οποίο μπορεί να γίνει έρευνα είναι η βελτιστοποίηση της διαδικασίας ανίχνευσης αφής ώστε να μην ανιχνεύονται καθόλου λανθασμένα σημεία αφής. Επιπλέον, μπορούν να μελετηθούν τρόποι για την

επιτάχυνση της διαδικασίας ανίχνευσης αφής ίσως ακόμα και με χρήση της κάρτας γραφικών του υπολογιστή.

Στη συνέχεια, πρέπει να αναφέρω ότι η δημιουργία του πιλοτικού πρωτότυπου του συστήματος πολλαπλής αφής προσφέρει μια γερή βάση για επιπλέον μελέτη του τομέα των διεπιφανειών πολλαπλής αφής και της ευχρηστίας τους. Μια πρώτη εισήγηση αφορά θέματα αξιολόγησης ευχρηστίας και έχει να κάνει με την διενέργεια σύγκρισης ανάμεσα σε οριζόντιες διεπιφάνειες πολλαπλής αφής τύπου τραπέζιου και κάθετες διεπιφάνειες πολλαπλής αφής τύπου τοίχου. Ήδη το Εργαστήριο Γραφικών και Υπερμέσων του Τμήματος Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Κύπρου είναι εξοπλισμένο με σύστημα εικονικής πραγματικότητας τύπου τοίχου, ο οποίος εύκολα μπορεί να μετατραπεί σε τοίχο πολλαπλής αφής για την συγκριτική αξιολόγηση της ευχρηστίας του τοίχου σε σχέση με το ήδη υπάρχον σύστημα που έχει τη μορφή τραπέζιου.

Μια άλλη εισήγηση αφορά θέματα πλοήγησης σε τρισδιάστατους κόσμους με τη βοήθεια της διεπιφάνειας πολλαπλής αφής. Η εισήγηση αυτή έχει να κάνει με έρευνα σε εναλλακτικές μεθόδους πλοήγησης σε τρισδιάστατους κόσμους, αφού το παρόν σύστημα χρησιμοποιεί μια κάμερα παρατήρησης για το σκοπό αυτό, ενώ θα ήταν καλό να δοκιμαστούν και άλλες μέθοδοι. Συγκεκριμένα, η υλοποίηση διεπιφάνειας πλοήγησης με χρήση κάμερας πρώτου προσώπου είναι μια πρόκληση η οποία δεν έχει μελετηθεί με χρήση πολλαπλής αφής εξ όσων είμαι σε θέση να γνωρίζω. Η πρόκληση εδώ έχει να κάνει με τον τρόπο με τον οποίο θα αντιστοιχηθούν οι κατάλληλες χειρονομίες στις κατάλληλες κινήσεις της κάμερας ούτως ώστε οι χειρονομίες να είναι όσο γίνεται πιο απλές και φυσιολογικές στη χρήση, αλλά και να μην προκαλούν λάθος αντιδράσεις στην κίνηση της κάμερας.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει επίσης η μελέτη θεμάτων πλοήγησης σε τετραδιάστατους κόσμους, δηλαδή πλοήγησης στο χώρο αλλά και στο χρόνο. Το υπάρχον σύστημα χρησιμοποιεί ένα πλαίσιο στο δεξιό μέρος της οθόνης για την πλοήγηση στο χρόνο, επομένως διαχωρίζεται εντελώς η πλοήγηση στο χώρο από την πλοήγηση στο χρόνο. Θα ήταν πολύ χρήσιμο αν μπορούσε να ενοποιηθεί η πλοήγηση ώστε για παράδειγμα κάποια χειρονομία να προκαλεί κίνηση όχι μόνο στο χώρο αλλά και στο χρόνο. Αυτό θα εξάλειφε την ανάγκη για χρησιμοποίηση οποιουδήποτε γραφικού εργαλείου στη

διεπιφάνεια πολλαπλής αφής αφού όλη η αλληλεπίδραση με το σύστημα θα γινόταν πλέον μέσω των ειδικών χειρονομιών.

Τελειώνοντας, η αναγνώριση των χειρονομιών σε ένα σύστημα πολλαπλής αφής είναι ένα σημαντικό και ανοιχτό θέμα, το οποίο προσφέρεται για μελλοντική εργασία, αφού η ορθή αναγνώριση κάποιων πολύπλοκων και σύνθετων χειρονομιών του χρήστη, απαιτεί προχωρημένες μεθόδους που κάνουν χρήση νευρωνικών δικτύων και συστημάτων μάθησης. Η αναγνώριση τέτοιων χειρονομιών θα είναι στο μέλλον απαραίτητη, αφού αντικατοπτρίζουν καλύτερα το πλουσιοπάροχο ρεπερτόριο των κοινών καθημερινών ανθρώπινων χειρονομιών και άρα προσφέρονται για ευκολότερη χρησιμοποίηση τους από ένα οποιοδήποτε χρήστη κατά την επικοινωνία του με ένα υπολογιστικό σύστημα.

Το βέβαιο είναι ότι βρισκόμαστε σε μια εποχή όπου ο παραδοσιακός τρόπος αλληλεπίδρασης ανθρώπου-υπολογιστή αλλάζει και γι' αυτό είναι επιτακτική ανάγκη να μελετηθούν τρόποι με τους οποίους θα εκμεταλλευτούν τα υπολογιστικά συστήματα του μέλλοντος αυτό το νέο τρόπο αλληλεπίδρασης.

8.3 Επίλογος

Κλείνοντας τον κύκλο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να αναφέρω ότι οι τελευταίοι μήνες αποτέλεσαν για μένα ένα λαμπρό παράδειγμα της διαδικασίας έρευνας και ανάπτυξης η οποία ακολουθείται στα ανώτατα ακαδημαϊκά ιδρύματα. Μέσα από αυτή την εργασία, μπόρεσα να βιώσω από πρώτο χέρι την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου υπολογιστικού συστήματος από την αρχή μέχρι το τέλος, κάτι το οποίο μου έχει κεντρίσει το ενδιαφέρον για περισσότερη έρευνα ως απόφοιτος πληροφορικής.

Πέραν από το προσωπικό όφελος και τις εμπειρίες που αποκόμισα από την παρούσα διπλωματική εργασία, πολύ πιο σημαντικό είναι το γεγονός ότι η εργασία αυτή είναι ίσως η πρώτη στο είδος της σε κυπριακό έδαφος και θα θέσει τις βάσεις για περισσότερη έρευνα στον τομέα των τεχνολογιών πολλαπλής αφής αλλά και των γραφικών υπολογιστών, με εφαρμογές όπως η διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς του νησιού μας. Άλλωστε η εργασία αυτή έχει δείξει ότι μπορούν να συνδυαστούν τομείς όπως τα γραφικά υπολογιστών και η αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή, για

τη δημιουργία καινοτομικών εφαρμογών που οδηγούν τα υπολογιστικά συστήματα σε μια νέα εποχή, προς όφελος όλων μας.

Αυτή είναι και η σημαντικότερη προσφορά της παρούσας εργασίας καθώς αυτή φτάνει στο τέλος της, πέραν από την προσφορά ενός διαδραστικού εκθέματος στο Λεβέντειο Μουσείο, που ήταν και ο αρχικός στόχος.

Βιβλιογραφία

- [1] 2DCur. <http://2dcur.googlecode.com>
- [2] Νικόλαος Αβούρης Εισαγωγή στην επικοινωνία ανθρώπου-υπολογιστή
σελ.139-141
- [3] Apple iPhone. <http://www.apple.com/iphone/technology/>
- [4] BBTouch. <http://benbritten.com/blog/bbtouch-quick-start/>
- [5] H. Benko, A. D. Wilson and P. Baudisch. “Precise Selection Techniques for Multi-Touch Screens”. Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in computing systems, 2006, pp. 1263-1272.
- [6] E. Berndt and J. Carlos. “Cultural Heritage in the Mature Era of Computer Graphics”. Computer Graphics and Applications, IEEE vol. 20, pp. 36-37.
- [7] Bespoke. <http://www.bespokesoftware.org/multi-touch/>
- [8] Bill Buxton. Multi-touch systems that I have known and loved.
<http://www.billbuxton.com/multitouchoverview.html>
- [9] W. Buxton. “Combined keyboard / touch tablet input device”. XEROX Disclosure Journal, 19(2), March/April 1994, pp. 109-111.
- [10] W. Buxton. “Living in Augmented Reality: Ubiquitous Media and Reactive Environments”. In K. Finn, A. Sellen and S. Wilber (Eds.). Video Mediated Communication. Hillsdale, N.J.: Erlbaum, pp. 363-384.
- [11] CarrollTouch. <http://www.elotouch.com/Technologies/CarrollTouch/default.asp>

- [12] P. Davidson and J. Han. ‘Synthesis and control on large scale multi-touch sensing displays’. Proceedings of the 2006 conference on New interfaces for musical expression, Jan 2006, pp. 216-219.
- [13] DiamondTouch. <http://www.diamondspace.merl.com/>
- [14] P. Dietz and D. Leigh. “Diamondtouch: a multi-user touch technology”. Proceedings of the 14th annual ACM symposium on User interface software and technology, Jan. 2001, pp. 219-226.
- [15] Fingerworks. <http://www.fingerworks.com/>
- [16] G.W. Fitzmaurice, H. Ishii and W. Buxton. “Bricks: Laying the foundations for graspable user interfaces”. Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'95), pp. 442–449.
- [17] G. Geller. “Interactive Tabletop Exhibits in Museums and Galleries”, IEEE Computer Graphics and Applications, 2006, Vol 26, No 5, pp. 6-11
- [18] Grafiti. <http://code.google.com/p/grafiti>.
- [19] J. Y. Han. “Low-cost multi-touch sensing through frustrated total internal reflection”. Proceedings of the 18th annual ACM symposium on User interface software and technology, 2005, pp. 115-118.
- [20] J. Y. Han. “Multi-touch interaction wall”. ACM SIGGRAPH 2006 Emerging technologies, Jan. 2006.
- [21] T. E. Hansen. “Multi-touch User Interfaces”.
- [22] S. Hodges, S. Izadi, A. Butler, A. Rustemi and B. Buxton. “ThinSight: Versatile Multi-touch Sensing for Thin Form-factor Displays”. Proceedings of the 20th annual ACM symposium on User interface software and technology, 2007, pp. 259-268.

- [23] Jazz Mutant. <http://www.jazzmutant.com/>
- [24] M. Kaltenbrunner, T. Bovermann, R. Bencina and E. Costanza. "TUIO: A Protocol for Table-Top Tangible User Interfaces". Proceedings of the the 6th International Workshop on Gesture in Human-Computer Interaction and Simulation, 2005.
- [25] M. W. Krueger, T. Gionfriddo and K. Hinrichsen. "Videoplace - An Artificial Reality". Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'85), pp. 35-40.
- [26] G. Kurtenbach, G. Fitzmaurice, T. Baudel and W. Buxton. "The design and evaluation of a GUI paradigm based on tabets, two-hands, and transparency". Proceedings of the 1997 ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '97, pp. 35-42.
- [27] S.K. Lee, W. Buxton and K.C. Smith. "A multi-touch three dimensional touch-sensitive tablet". Proceedings of SIGCHI 1985.
- [28] P. McAvinney. "The Sensor Frame - A Gesture-Based Device for the Manipulation of Graphic Objects". Carnegie-Mellon University, 1986.
- [29] N. Mehta. "A Flexible Machine Interface". M.A.Sc. Thesis, Department of Electrical Engineering, University of Toronto, 1982.
- [30] Microsoft Surface. <http://www.microsoft.com/surface>
- [31] T. Moscovich, T. Igarashi, J. Rekimoto, K. Fukuchi, J. F. Hughes. "A Multi-finger Interface for Performance Animation of Deformable Drawings". Adjunct Proceedings of the 18th annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, 2005.
- [32] Nielsen, J. Usability Engineering. San Diego: Academic Press 1993.

- [33] N-trig. <http://www.n-trig.com/>
- [34] NUIGroup. <http://nuigroup.com/>
- [35] Onyx. <http://www.synaptics.com/onyx/>
- [36] Panda3D. <http://www.panda3d.org/>
- [37] Parallel Split Shadow Maps.
http://appsrv.cse.cuhk.edu.hk/~fzhang/pssm_project/
- [38] Perceptive Pixel. <http://www.perceptivepixel.com/>
- [39] Plato Computer. http://en.wikipedia.org/wiki/Plato_computer
- [40] Projector calculator.
<http://www.projectorcentral.com/BenQ-MP771-projection-calculator-pro.htm>
- [41] PyMT. <http://pymt.txzone.net/>
- [42] Reactivision. <http://reactivision.sourceforge.net/>
- [43] J. Rekimoto. "SmartSkin: An Infrastructure for Freehand Manipulation on Interactive Surfaces". Proceedings of ACM SIGCHI 2002, pp. 113-120.
- [44] Software requirements. http://en.wikipedia.org/wiki/Requirements_analysis
- [45] Tactex. <http://www.tactex.com/>
- [46] tBeta. <http://tbeta.nuigroup.com>
- [47] Toshiba Finger Shadow Sensing Input.
http://www3.toshiba.co.jp/tm_dsp/press/2005/05-09-29.htm

- [48] Touché. <http://code.google.com/p/touche/>
- [49] Touchlib. <http://nuigroup.com/touchlib/>
- [50] TouchPy. <http://touchpy.googlecode.com>.
- [51] P. Wellner. "The Digital Desk Calculator: Tactile manipulation on a desktop display". Proceedings of the Fourth Annual Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '91), pp. 27-33.
- [52] W. Westerman. "Hand Tracking, Finger Identification, and Chordic Manipulation on a Multi-Touch Surface". University of Delaware PhD Dissertation, 1999.
- [53] A. Wilson. "PlayAnywhere: A Compact Tabletop Computer Vision System". Proceedings of the 18th annual ACM symposium on User interface software and technology, 2005, pp. 83-92.
- [54] A. Wilson. "TouchLight: An Imaging Touch Screen and Display for Gesture-Based Interaction". Proceedings of the 6th international conference on Multimodal interfaces, 2004, pp. 69-76.
- [55] J. A. Wolfeld. "Real Time Control of a Robot Tactile Sensor". MSc Thesis. Philadelphia: Moore School of Electrical Engineering, 1981.
- [56] M. Wu and R. Balakrishnan. "Multi-Finger and Whole Hand Gestural Interaction Techniques for Multi-User Tabletop Displays". Proceedings of the 16th annual ACM symposium on User interface software and technology 2003, pp. 193-202.
- [57] F. Zhang, H. Sun L. Xu L. K. Lun. "Parallel-Split Shadow Maps for Large-scale Virtual Environments". Proceedings of the 2006 ACM international conference on Virtual reality continuum and its applications, pp. 311 - 318.

Παράρτημα Α

Εδώ επισυνάπτεται το ερωτηματολόγιο που χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο ευχρηστίας του συστήματος πολλαπλής αφής. Δίπλα από κάθε επιλογή σε κάθε ερώτηση βρίσκεται σε παρένθεση το ποσοστό των χρηστών που την επέλεξαν κατά την πρώτη αξιολόγηση ευχρηστίας.

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΑΦΗΣ

Εισαγωγή

Το ερωτηματολόγιο αυτό έχει ως στόχο να μας βοηθήσει στην αξιολόγηση του συστήματος πολλαπλής αφής το οποίο αναπτύχθηκε σε συνεργασία με το Λεβέντειο Μουσείο και πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την εικονική περιήγηση στα τείχη της Λευκωσίας. Σας ευχαριστούμε εκ των προτέρων για τη συμμετοχή σας.

Εργασίες

Θα σας ανατεθούν τέσσερις εργασίες, οι οποίες ελέγχουν τις βασικές λειτουργίες του συστήματος.

1. Η πρώτη σας ζητά να εκτελέσετε μια πλήρη περιστροφή γύρω από τα τείχη της Λευκωσίας (pan right / pan left)
2. Η δεύτερη σας ζητά να αλλάξετε την γωνία θέασης μέχρι το μέγιστο και μετά να επανέλθετε στην αρχική γωνία θέασης (tilt up / tilt down)
3. Η τρίτη σας ζητά να εστιάσετε το πεδίο όρασης μέχρι το ελάχιστο και να επανέλθετε στο αρχικό πεδίο όρασης (zoom in / zoom out)
4. Η τέταρτη και πιο σύνθετη σας ζητά να αλλάξετε τη χρονική περίοδο σε αυτή των Λουζινιανών τειχών και να εκτελέσετε περιστροφή 180 μοιρών γύρω από τα τείχη.

Παρακαλούμε όπως αγνοήσετε το ρεαλισμό των τρισδιάστατων μοντέλων και της απεικόνισης αφού ο σκοπός είναι να ελεγχθεί η λειτουργικότητα της διεπιφάνειας πολλαπλής αφής.

Ερωτήσεις

Πρώτη Εργασία

1. Πόσο καλή ήταν η λειτουργία της οθόνης πολλαπλής αφής σε αυτή την εργασία;
A. Πολύ Κακή
B. Κακή
Γ. Μέτρια
Δ. Καλή (66%)
E. Πολύ Καλή (33%)

2. Η ευαισθησία της οθόνης πολλαπλής αφής σε αυτή την εργασία ήταν:
A. Υπερβολική (33%)
B. Λίγο Υπερβολική (33%)
Γ. Ακριβώς όπως θα θέλατε (33%)
Δ. Λίγο Ανεπαρκής
E. Ανεπαρκής

3. Πόσο εύκολο ήταν για εσάς να εκτελέσετε την εργασία;
A. Πολύ δύσκολο
B. Δύσκολο
Γ. Μέτριο (16%)
Δ. Εύκολο (33%)
E. Πολύ Εύκολο (50%)

Δεύτερη Εργασία

4. Πόσο καλή ήταν η λειτουργία της οθόνης πολλαπλής αφής σε αυτή την εργασία;
A. Πολύ Κακή
B. Κακή
Γ. Μέτρια (16%)
Δ. Καλή (33%)
E. Πολύ Καλή (50%)

5. Η ευαισθησία της οθόνης πολλαπλής αφής σε αυτή την εργασία ήταν:

- A. Υπερβολική (16%)
- B. Λίγο Υπερβολική (50%)
- Γ. Ακριβώς όπως θα θέλατε (33%)
- Δ. Λίγο Ανεπαρκής
- E. Ανεπαρκής

6. Πόσο εύκολο ήταν για εσάς να εκτελέσετε την εργασία;

- A. Πολύ δύσκολο
- B. Δύσκολο
- Γ. Μέτριο (16%)
- Δ. Εύκολο (33%)
- E. Πολύ Εύκολο (50%)

Τρίτη Εργασία

7. Πόσο καλή ήταν η λειτουργία της οθόνης πολλαπλής αφής σε αυτή την εργασία;

- A. Πολύ Κακή
- B. Κακή
- Γ. Μέτρια (16%)
- Δ. Καλή (66%)
- E. Πολύ Καλή (16%)

8. Η ευαισθησία της οθόνης πολλαπλής αφής σε αυτή την εργασία ήταν:

- A. Υπερβολική (16%)
- B. Λίγο Υπερβολική (50%)
- Γ. Ακριβώς όπως θα θέλατε (33%)
- Δ. Λίγο Ανεπαρκής
- E. Ανεπαρκής

9. Πόσο εύκολο ήταν για εσάς να εκτελέσετε την εργασία;

A. Πολύ δύσκολο

B. Δύσκολο

Γ. Μέτριο (16%)

Δ. Εύκολο (50%)

E. Πολύ Εύκολο (33%)

Τέταρτη Εργασία

10. Πόσο καλή ήταν η λειτουργία της οθόνης πολλαπλής αφής σε αυτή την εργασία;

A. Πολύ Κακή

B. Κακή

Γ. Μέτρια (33%)

Δ. Καλή (33%)

E. Πολύ Καλή (33%)

11. Η ευαισθησία της οθόνης πολλαπλής αφής σε αυτή την εργασία ήταν:

A. Υπερβολική (16%)

B. Λίγο Υπερβολική (33%)

Γ. Ακριβώς όπως θα θέλατε (50%)

Δ. Λίγο Ανεπαρκής

E. Ανεπαρκής

12. Πόσο εύκολο ήταν για εσάς να εκτελέσετε την εργασία;

A. Πολύ δύσκολο

B. Δύσκολο

Γ. Μέτριο (16%)

Δ. Εύκολο (33%)

E. Πολύ Εύκολο (50%)

Hardware

13. Πως αξιολογείτε την ανταπόκριση της οθόνης αφής;

- A. Πολύ Κακή
- B. Κακή
- Γ. Μέτρια
- Δ. Καλή (50%)
- Ε. Πολύ Καλή (50%)

14. Πως αξιολογείτε την ακρίβεια της οθόνης αφής;

- A. Πολύ Κακή
- B. Κακή
- Γ. Μέτρια (16%)
- Δ. Καλή (66%)
- Ε. Πολύ Καλή (16%)

Γενικά

15. Ποιο είναι το επίπεδο εμπειρίας σας σε σχέση με οθόνες πολλαπλής αφής;

- A. Πρώτη εμπειρία (16%)
- B. Αρχάριος/α (50%)
- Γ. Ενδιάμεσο (16%)
- Δ. Έμπειρος/η (16%)

16. Νιώσατε ότι χρειαζόσασταν περισσότερη εκπαίδευση για να χρησιμοποιήσετε την οθόνη πολλαπλής αφής;

- A. Ναι (16%)
- B. Όχι (83%)

17. Ποια εργασία βρήκατε πιο δύσκολη;

- A. Εργασία 1 (16%)
- B. Εργασία 2 (16%)
- Γ. Εργασία 3 (50%)
- Δ. Εργασία 4 (16%)
- Ε. Καμία

18. Γενικά πως σας φάνηκε η εμπειρία με την οθόνη πολλαπλής αφής;

A. Πολύ Κακή

B. Κακή

Γ. Μέτρια

Δ. Καλή (16%)

E. Πολύ Καλή (83%)

