



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κατασκευή Διαδραστικής Επιφάνειας με Χωρητική Αίσθηση

Τσιρώνη Λάμαρη Αγάπη

Επιβλέπων: Δρ. Παναγιωτάκης Σπυρίδων

ΙΟΥΛΙΟΣ 2020



HELLENIC MEDITERRANEAN UNIVERSITY
SCHOOL OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMPUTER
ENGINEERING

THESIS

Construction of an Interactive Surface with Capacitive Sense

Tsironi Lamari Agapi

Advisor: Dr. Panagiotakis Spyridon (Spyros)

July 2020

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας μου θα ήθελα κατ' αρχήν να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου Δρ. Παναγιωτάκη Σπύρο, ο οποίος πίστεψε στις δυνατότητες μου και μου παρείχε την ευκαιρία να ασχοληθώ με το αντικείμενο αυτό, καθώς επίσης και για την βοήθεια που μου πρόσφερε όποτε αυτή κατέστη αναγκαία.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά τον Λουκά Γιώργο για την πολύτιμη βοήθεια, τις συμβουλές και την συμπαράσταση που μου πρόσφερε κατά την διάρκεια της παρούσας εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την συνεχή υποστήριξη, ενθάρρυνση και συμπαράσταση καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου, καθώς και να της αφιερώσω αυτή την εργασία.

Ευχαριστώ.

Περίληψη

Ο όρος Haptics (απτικός) έχει εισέλθει στην κοινωνία και στις ζωές των ανθρώπων τα τελευταία χρόνια προσφέροντας πολλαπλές δυνατότητες και διευκολύνοντας αισθητά την καθημερινότητα. Επομένως, ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον έχει παρουσιαστεί ως τώρα στην μελέτη, σχεδίαση και κατασκευή εφαρμογών με χωρητική συμπεριφορά. Η εισαγωγή της αίσθησης της αφής σε διαδραστικές εφαρμογές αντιπροσωπεύει μια θεμελιώδη αλλαγή στην αλληλεπίδραση μεταξύ ανθρώπου και υπολογιστή. Συνεπώς, ολοένα και περισσότερες υλοποιήσεις που χρησιμοποιούν την αίσθηση της αφής κατασκευάζονται προσφέροντας στους χρήστες πληθώρα διαδραστικών επιλογών. Επιπλέον αναζητούνται τρόποι για την βελτιστοποίηση υπάρχουσών εφαρμογών υιοθετώντας τεχνολογίες όπως η χωρητική αίσθηση.

Στο προσκήνιο επίσης έχει εμφανιστεί το Projection Mapping το οποίο αποτελεί μια τεχνική χαρτογράφησης προβολής που έχει αποσπάσει τρομερές κριτικές και σχόλια από πλήθος ερευνητών και επαγγελματιών στον χώρο των υπολογιστών και του HCI (Human-Computer Interaction). Παρότι ο όρος Projection Mapping είναι σχετικά νέος, η τεχνική αυτή χρονολογείται πίσω στα τέλη της δεκαετίας του 1990, όπου εκεί αναφέρεται κυρίως ως Spatial Augmented Reality ή Video Mapping. Η τεχνική χρησιμοποιεί προβολείς και πραγματοποιεί χαρτογράφηση των εξόδων τους επάνω σε επιφάνειες ανεξάρτητα με την θέση, την γωνία και τον προσανατολισμό τους. Η μέθοδος διαδόθηκε εξαιρετικά γρήγορα σε ολόκληρο τον κόσμο κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας και έχει ως βασικό στόχο τον απρόσκοπτο συνδυασμό του εικονικού και φυσικού κόσμου χρησιμοποιώντας εργαλεία δημιουργίας 2D και 3D γραφικών συνδυαστικά.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η μελέτη, η σχεδίαση και η κατασκευή μιας διαδραστικής επιφάνειας που θα εφαρμόζει την αίσθηση της αφής με χρήση αυτοσχέδιων χωρητικών αισθητήρων. Σημαντική προσθήκη στην σχεδίαση της εφαρμογής αποτέλεσε η χαρτογράφηση προβολής Projection Mapping για την οποία ζητούμενο ήταν να χρησιμοποιηθούν απλά και εύκολα κατανοητά γραφικά. Σε πρώτο στάδιο έγινε έρευνα επάνω στην επιστήμη της χωρητικής αίσθησης και τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί. Στη συνέχεια έγινε μελέτη παλαιότερων υλοποιήσεων που έχουν εφαρμόσει την χωρητική αίσθηση ως μέσω επικοινωνίας μεταξύ χρήστη-υπολογιστή και έγινε ανάλυση των αγωγίμων υλικών που χρησιμοποιήσαν για την κατασκευή των χωρητικών αισθητήρων. Ακολούθως, υλοποιήθηκαν οι απαραίτητες δοκιμές σε διαφορετικά υλικά ώστε να επιλεγθεί το καταλληλότερο με στόχο να χρησιμοποιηθεί στη παρούσα εργασία. Έπειτα, μελετήθηκε η τεχνική του Projection Mapping και ο τρόπος που μπορεί να ενσωματωθεί στην εφαρμογή για την επίτευξη οπτικών διαδράσεων με την βοήθεια προβολέα.

Abstract

The term Haptics has entered society and people's lives, offering multiple possibilities and significantly facilitating everyday life. Consequently, the research and scientific community has shown considerable interest in the study, design and construction of applications with capacitive behaviour. Introducing the sense of touch into interactive applications represents a fundamental change in human-computer interaction. Therefore, more and more implementations that utilize the sense of touch are constructed and offering users a plethora of interactive options. In addition, ways are being sought to optimize subsisting applications by adopting technologies such as capacitive sensing.

Projection Mapping has also come to the fore and garnered tremendous reviews and comments from a number of researchers and professionals in the field of computers and Human-Computer Interaction (HCI). Although the term Projection Mapping is relatively new, this technique dates back to the late 1990s, where it is referred to mainly as Spatial Augmented Reality or Video Mapping. The technique uses projectors and maps their outputs on surfaces regardless of their position, angle and orientation. The method has spread rapidly around the world over the last decade and its main goal is the seamless combination of the virtual and natural world using 2D and 3D graphics tools combined.

Primary aim of the present thesis was to study, design and construct an interactive surface that will apply the sense of touch using improvised capacitive sensors. An important addition to the design of the application was the projection mapping, aiming the usage of simple and easy to understand graphics. In the first stage, research was done on the science of capacitive sense and how it works. Afterwards, older implementations were studied which have applied the capacitive sense as a means of communication between user and computer. Furthermore, a significant amount of time was dedicated on analyzing the conductive materials used for the construction of the capacitive sensors above. Subsequently, the necessary tests were performed on different materials in order to select the most suitable one to be used in the present work. Finally, the Projection Mapping technique was studied and the way it can be integrated into the application to achieve visual interactions with the help of a projector.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	6
1.1	Κίνητρα για την παρούσα εργασία	6
1.2	Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	8
1.3	Συμβολή και Δομή της παρούσας εργασίας	13
2	Επιστήμη χωρητικών αισθητήρων	14
2.1	Διηλεκτρικά υλικά	14
2.2	Μεταβολή χωρητικότητας	15
2.3	Χωρητική ανίχνευση	17
2.3.1	Τύποι αισθητήρων χωρητικότητας	17
2.3.2	Λειτουργία	18
2.4	Αγώγιμα Υλικά	18
3	Projection Mapping	24
3.1	Ιστορικά στοιχεία	24
3.2	Εξέλιξη έως σήμερα	26
3.3	Εμπρόσθια και Οπίσθια προβολή	27
3.4	Μέθοδοι υλοποίησης Projection Mapping	29
3.5	Λογισμικά χαρτογράφησης προβολής	31
3.5.1	Processing	31
3.5.2	MapMap	31
3.5.3	MadMapper	32
3.5.4	HeavyM	33
3.5.5	Resolume	33
3.5.6	Video Projection Tool	34
4	Αρχιτεκτονική της Υλοποίησης	36
5	Εξοπλισμός και Λογισμικά	39
5.1	Αισθητήρες, Διάδραση, Projection Mapping	39
5.2	Ο μικροελεγκτής ESP32	40
5.3	Arduino IDE	42
5.3.1	Βιβλιοθήκη Wi-Fi	43
5.3.2	Βιβλιοθήκη Median Filter	44
5.4	Processing	45
5.4.1	Βιβλιοθήκη Keystone	45
5.4.2	Βιβλιοθήκη Δικτύου	47
5.4.3	Βιβλιοθήκες βίντεο και ήχου	48

6	Λεπτομερής ανάλυση εφαρμογής	49
6.1	Σχεδιασμός και Κατασκευή της επιφάνειας	49
6.1.1	Εύρεση διάταξης και θέσης προβολέα	50
6.1.2	Ανάλυση επιπέδων	52
6.1.3	Μουσικός τοίχος	53
6.1.4	Αγγλικό αλφάβητο	53
6.1.5	Χαρτογράφηση προβολής	54
6.2	Σχηματική αναπαράσταση ροής της επιφάνειας	55
6.3	Προγραμματισμός μικροελεγκτών	61
6.4	Προγραμματισμός Processing	66
6.4.1	Ανάλυση σεναρίων	70
7	Σχόλια, Συμπεράσματα και Προτάσεις για Μελλοντική Εξέλιξη	77
7.1	Σχόλια και Συμπεράσματα	77
7.2	Μελλοντική Εξέλιξη	78
	Βιβλιογραφία	80

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Κίνητρα για την παρούσα εργασία

Με την συνεχόμενη εξέλιξη στον τεχνολογικό τομέα και ιδιαίτερα στον κλάδο του Internet of Things τα τελευταία χρόνια, ο τρόπος που μέχρι σήμερα σκεφτόμασταν, αλλάζει δραστικά. Το Internet of Things είναι μία από τις τρεις κορυφαίες τεχνολογικές εξελίξεις της επόμενης δεκαετίας και γίνεται ένα όλο και αυξανόμενο θέμα συζήτησης, τόσο στο χώρο εργασίας όσο και εκτός αυτού. Η αλληλεπίδραση μεταξύ χρήστη και υπολογιστή αρχικά περιοριζόταν στην απλή χρήση συσκευών εισόδου όπως το ποντίκι και το πληκτρολόγιο. Τα τελευταία χρόνια αλματώδης πρόοδος έχει σημειωθεί και νέοι τρόποι επικοινωνίας και αλληλεπίδρασης με τον υπολογιστή έχουν εμφανιστεί. Συγκεκριμένα, η χρήση της αφής αποτελεί ένα σημαντικό αισθητήριο όργανο που παρέχει πολλαπλές δυνατότητες στον χρήστη. [11]

Πριν από την ευρεία χρήση των υπολογιστών στο χώρο εργασίας, σχεδόν όλες οι ανθρώπινες εργασίες αφορούσαν τη χρήση εξαιρετικών αισθητηριακών και κινητικών δεξιοτήτων. Γενικά, οι διεπαφές υπολογιστών δεν είχαν εκμεταλλευτεί σημαντικά αυτές τις βασικές ανθρώπινες δυνατότητες, με εξαίρεση συσκευές εισόδου όπου αναφέρθηκαν και παραπάνω (ποντίκι, πληκτρολόγιο). Έτσι η εισαγωγή της αφής αποτέλεσε μεγάλο βήμα στην αλληλεπίδραση και επικοινωνία χρήστη-υπολογιστή. Ο όρος Haptic (απτικός) αναφέρεται στην τεχνολογία η οποία χρησιμοποιεί την αφή για τον έλεγχο και την αλληλεπίδραση ενός χρήστη με ένα υπολογιστικό σύστημα. Η απτική τεχνολογία μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλούς τομείς, αναφορικά, τηλεχειρισμός, εικονικά περιβάλλοντα, ρομποτική, κινητές συσκευές κ.α.

Σήμερα, η απτική τεχνολογία έχει αλλάξει τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι αλληλεπιδρούν με τους υπολογιστές και για περισσότερο από δύο δεκαετίες μεγάλη πρόοδος έχει σημειωθεί στην έρευνα και εξέλιξη της. Η ενσωμάτωση της αίσθηση αφής σε εικονικά περιβάλλοντα έχει ανοίξει μία νέα πορεία διαδραστικών εφαρμογών, από ιατρικές προσομοιώσεις και αποκατάσταση έως πιο ρεαλιστικά βιντεοπαιχνίδια και διαδραστικές επιφάνειες. Χρησιμοποιώντας την αφή σε συνδυασμό με την ακοή μέσω των ηχείων και την όραση μέσω της οθόνης ή προβολέα διευρύνεται και εμπλουτίζεται η επικοινωνία που αναπτύσσεται μέσω των δύο πλευρών. Μέχρι σήμερα υπάρχουν πολλές γνωστές εφαρμογές σε συσκευές που χρησιμοποιούνται καθημερινά από τον μέσο χρήστη μερικές από αυτές είναι οι οθόνες αφής

των κινητών τηλεφώνων, φορητοί υπολογιστές, τάμπλετ, κουμπιά αφής σε πλυντήρια, φυγεία, καφετιέρες και άλλες οικιακές συσκευές. Η λειτουργία μιας διαδραστικής επιφάνειας με χωρητική αίσθηση βασίζεται στη χρήση της αφής ως μέσο αλληλεπίδρασης μεταξύ ανθρώπου και υπολογιστή και αποτελεί έναν πιο ολοκληρωμένο τρόπο επικοινωνίας. [14], [9]

Διαδραστικές επιφάνειες με αίσθηση αφής εμφανίζονται ολοένα και συχνότερα σε δημόσιους χώρους έχοντας διαφημιστικούς, εκπαιδευτικούς αλλά και ψυχαγωγικούς σκοπούς. Αποτελούν ένα αρκετά έξυπνο μέσο διαφήμισης και εκμάθησης καθώς προκαλούν έντονο ενδιαφέρον και προσεγγίζουν πλήθος ατόμων που αποσκοπούν να γνωρίσουν τις λειτουργίες και δυνατότητες τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η σχεδίαση και δημιουργία πρωτότυπων και ελκυστικών διαδραστικών επιφανειών να είναι ένα μείζων θέμα με πολλαπλές προοπτικές στο μέλλον.

Ο τρόπος που ο χρήστης αλληλεπιδρά με τέτοιου είδους επιφάνειες αποτελεί αντικείμενο μελέτης και η βελτιστοποίηση των διαδράσεων ως προς τα περιεχόμενα αλλά και την αποτελεσματικότητά τους είναι αρκετά σημαντική. Η χρήση απτικών μέσων είναι ένα από τα βασικά στοιχεία για την ολοκλήρωση μιας υλοποίησης, συνήθως όμως το κόστος είναι αρκετά μεγάλο. Αυτό οφείλεται κυρίως στην κλίμακα και στα υλικά που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία της. Συνηθέστερα χρησιμοποιούνται είτε μεγάλες οθόνες με δυνατότητα αφής όπου προβάλλουν διαδραστικά βίντεο και εικόνες είτε κάμερες οι οποίες ανιχνεύουν την χειρονομία και τοποθέτηση του χρήστη στο χώρο, οι τεχνικές αυτές όμως αποτελούν λύσεις με αρκετά μεγάλο κόστος. [10]

Τα περιεχόμενα μιας επιφάνειας θα πρέπει να είναι σύγχρονα, ελκυστικά και παράλληλα εύκολα κατανοητά από τον μέσο χρήστη. Σε αρκετές υλοποιήσεις που μελετήθηκαν τα γραφικά ήταν στατικά, ζωγραφισμένα πάνω στην επιφάνεια και η διάδραση ήταν ακουστική. Σε αντίθετη περίπτωση γραφικά μη στατικά (βίντεο, κινούμενες εικόνες, animations) προβαλλόμενα από προβολέα αποτελούν μια περισσότερο ενδιαφέρουσα και ελκυστική επιλογή που προκαλεί μεγαλύτερη έκπληξη στον χρήστη. Συνεπώς, ο σχεδιασμός των γραφικών αποτελεί μεγάλο κομμάτι της υλοποίησης. Υπόψιν θα πρέπει να ληφθούν τα ενδιαφέροντα του κοινού στο οποίο στοχεύει η εκάστοτε επιφάνεια ώστε το γραφικό περιβάλλον που θα δημιουργηθεί να είναι φιλικό, προσεγγίσιμο και εύκολα προσβάσιμο στον καθένα. [12], [13]

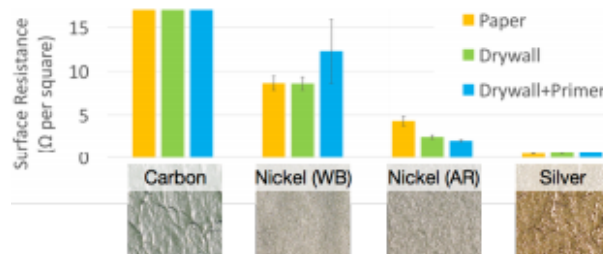
Βάση των παραπάνω και έπειτα μελέτης παλαιότερων υλοποιήσεων, η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία είναι προσανατολισμένη στην σχεδίαση και δημιουργία μιας διαδραστικής επιφάνειας με χωρητικές ιδιότητες και χρήση προβολέα για αποτύπωση γραφικών. Αρχικά, στόχος ήταν η μελέτη διαφορετικών υλικών με χωρητική συμπεριφορά ώστε να επιλεγεί το καταλληλότερο για την δημιουργία χωρητικών αισθητήρων για να είναι εφικτός ο έλεγχος των διαδράσεων. Τα υλικά έπρεπε να παρέχουν μια οικονομική και προσιτή λύση. Στη συνέχεια, απαραίτητη ήταν η επιλογή των σεναρίων και το ύφος που θα αποδοθεί στην επιφάνεια. Έπειτα, έμενε να ολοκληρωθεί η δημιουργία των περιεχομένων για την εκάστοτε διάδραση σύμφωνα με τα επιλεγμένα σεναρία.

1.2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

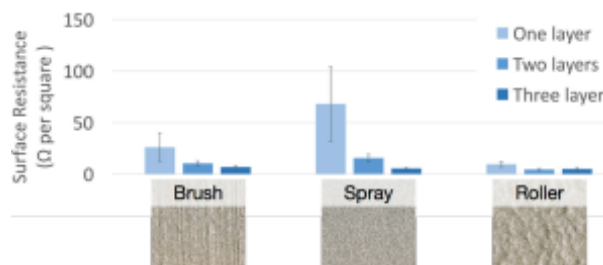
Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται μία ανασκόπηση από υλοποιήσεις διαδραστικών επιφανειών με χωρητική αίσθηση που έχουν υλοποιηθεί στο παρελθόν.

Ερευνητές του Carnegie Mellon University σε συνεργασία με το ερευνητικό εργαστήριο της Disney (*Disney Research Pittsburgh*) παρουσίασαν τον **Wall++** [1], έναν τοίχο με χωρητική αίσθηση, πρότζεκτ μεγάλης κλίμακας αλλά με χαμηλό κόστος εγκατάστασης. Όπως αναφέρουν, οι τοίχοι βρίσκονται παντού και συχνά αποτελούν πάνω από την μισή έκταση σε κτίρια, γραφεία, κατοικίες, μουσεία, νοσοκομεία και σχεδόν κάθε εσωτερικό χώρο. Παρόλα αυτά μέχρι σήμερα παραμένουν στατικοί, με μόνη λειτουργία να διαχωρίζουν χώρους και να κρύβουν την υποδομή των κτιρίων. Στόχος τους ήταν η εγκατάσταση μιας επιφάνειας σε τοίχους δίνοντας τους έτσι πολλαπλές δυνατότητες όπως η ανίχνευση τοποθέτησης σώματος, αγγίγματος, ακόμη και ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Η βασική αρχή του **Wall++** βασίστηκε στην σχεδίαση μεγάλων ηλεκτροδίων σε έναν τοίχο χρησιμοποιώντας αγώγιμη μπογιά. Έτσι, ως πρώτο βήμα, ήταν απαραίτητο να αναπτυχθεί ένας αξιόπιστος και οικονομικά εφικτός τρόπος για την τοποθέτηση μεγάλων ηλεκτροδίων στους τοίχους. Για τον εντοπισμό των κατάλληλων υλικών και διαδικασιών η ομάδα πραγματοποίησε μια σειρά από δοκιμές με διάφορες αγώγιμες μπογιές, διαφορετικούς μεθόδους εφαρμογής και αριθμό στρώσεων (Σχήμα 1.1, 1.2). Στη συνέχεια, ερεύνησαν τα διαφορετικά πρότυπα ηλεκτροδίων κατάλληλα για τις εφαρμογές που ήθελαν, και την βελτιστοποίηση τους όσον αφορά την εμβέλεια ανίχνευσης και την ανάλυση (Σχήμα 1.3).

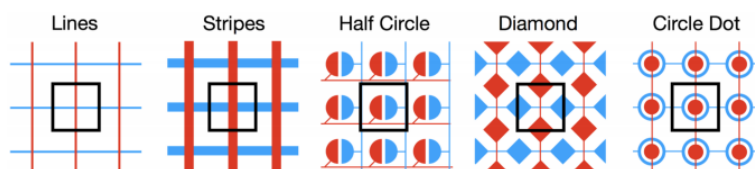


Σχήμα 1.1: Conductivity test with different paints across three backing materials.



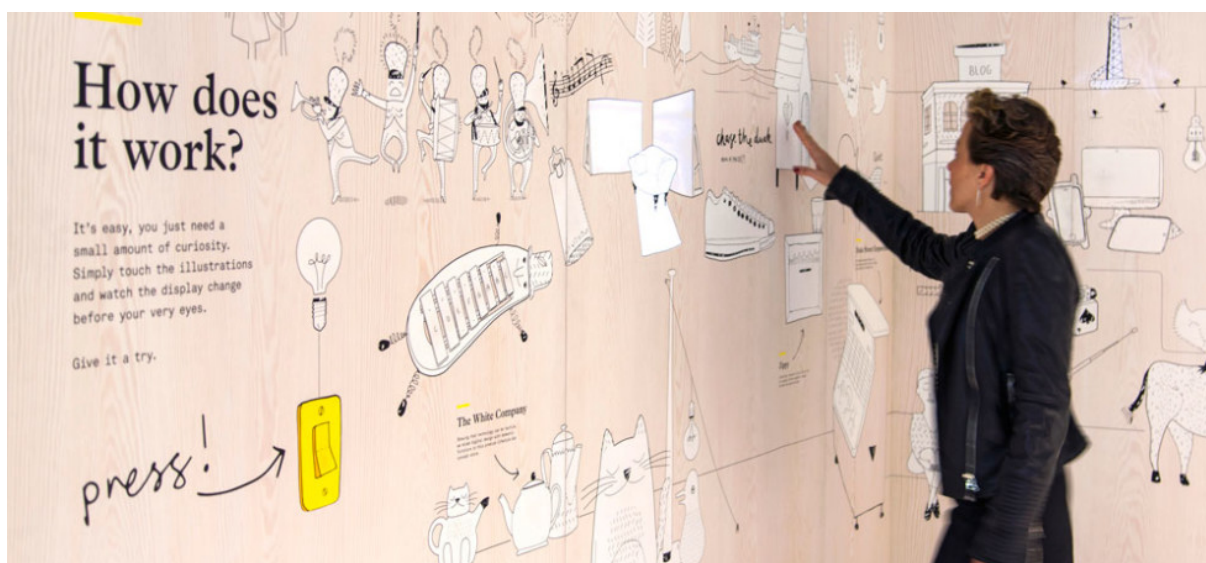
Σχήμα 1.2: Conductivity test with different application methods and number of coats.

Το στούντιο **Dalziel and Pow** [25] στα πλαίσια του London Retail Design Expo, τον Φεβρουάριο του 2015, προκάλεσε ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχοντας υλοποιήσει μία διαδραστική επιφάνεια δημιουργημένη από αγώγιμο μελάνι. Για την εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν μεγάλα



Σχήμα 1.3: *Electrode patterns they studied (transmitters in red, receivers in blue).*

φύλλα από κόντρα πλακέ ως καμβάδες. Στη συνέχεια, οι Dalziel and Pow συνεργάστηκαν με το εργαστήριο τυπογραφίας K2 για να εκτυπώσουν το αγώγιμο μελάνι επάνω στους καμβάδες, το οποίο αποτελούσε τις επιφάνειες διάδρασης.



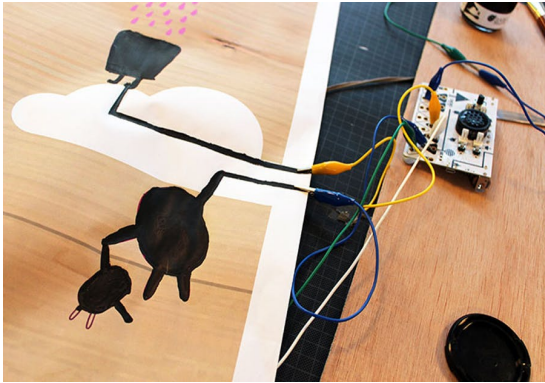
Σχήμα 1.4: *Dalziel and Pow's*

Ο προσαρμοσμένος σχεδιασμός επέτρεψε στην ομάδα να έχουν πολλαπλά σημεία επαφής και να δημιουργήσουν αλληλεπιδράσεις γύρω από αυτά. Ξεκινώντας από το περιεχόμενο, η ομάδα συνέλεξε έναν κατάλογο από ιστορίες και πιθανές αλληλεπιδράσεις βασιζόμενες στο θέμα "The Future of Retail." Έχοντας τις ιστορίες δημιούργησαν το θεμέλιο της οθόνης και χρησιμοποιήθηκαν για να απεικονίσουν μία σειρά από 48 κινούμενα σχέδια, ο αριθμός των οποίων στη συνέχεια ανέβηκε στα 250.

Μετά την εκτύπωση των καμβάδων με το βασικό στρώμα αγώγιμου μελανιού, οι ομάδα εφάρμοσε ένα στρώμα με μη αγώγιμο λευκό μελάνι από πάνω για να μπορέσουν να προβάλλουν εκεί τα κινούμενα σχέδια. Έπειτα, το αγώγιμο μελάνι συνδέθηκε με ένα χωρητικό touch-board που ονομάζεται Ototo, σχεδιασμένο ειδικά για την μετατροπή της αφής σε ήχο. Με την εγκατάσταση του Ototo, τα τοιχώματα από κόντρα πλακέ έγιναν ένα ζωντανό κύκλωμα εισόδων, το οποίο θα προκαλούσε διάφορους ήχους και οπτικά στοιχεία με κάθε επαφή. Για να προβληθούν τα διάφορα κινούμενα σχέδια στον κάθε καμβά χρησιμοποιήθηκαν πολλαπλοί προβολείς οι οποίοι ήταν τοποθετημένοι στο ταβάνι και ο έλεγχος τους γινόταν μέσα από ένα υπάρχων λογισμικό Projection Mapping.

Μια παλαιότερη υλοποίηση των Dalziel and Pow's από όπου και εμπνεύστηκαν την παραπάνω εγκατάσταση αφορούσε το νέο κατάστημα παιδικών ειδών Zippy [26] στο Setúbal της

Πορτογαλίας. Σχεδίασαν δύο διαδραστικές εγκαταστάσεις και κατασκεύασαν και τις δύο στο εσωτερικό της D&P για τις δοκιμές, προτού προβούν στην Πορτογαλία για την παρουσίαση και εγκατάσταση του έργου. Το 'Sound Poster' (Σχήμα 1.5α') αποτελεί ένα πάνελ με τυπωμένους χαρακτήρες από αγωγίμο μελάνι και χρησιμοποιείται για να προκαλέσει ήχους. Το 'Fun Receipt' (Σχήμα 1.5β') είναι μία απόδειξη για παιδιά, η οποία εκτυπώνετε από ένα γιγαντιαίο στόμα στο ταμείο του καταστήματος και περιλαμβάνει χαρακτήρες για ζωγραφική, λαβύρινθους και άλλα παιχνίδια.

(α') *Sound Poster*(β') *Fun Receipt*Σχήμα 1.5: *Installation for Zippy Kidswear [26]*

Οι *Sam Jacoby* και *Leah Buenchley* εξέτασαν το αγωγίμο μελάνι ως εκφραστικό μέσο αφήγησης και σχεδιασμού αλληλεπίδρασης με παιδιά και παρουσίασαν το **StoryClip** ([3], Σχήμα 1.6), μια εργαλειοθήκη η οποία ενσωματώνει λειτουργικά καθημερινά υλικά, υπολογισμούς και σχέδια. Αποτελείται από αγωγίμο μελάνι, συνηθισμένες μπογιές ζωγραφικής και ένα υλικό-λογισμικό εργαλείο, επιτρέποντας στην ζωγραφιά ενός παιδιού να λειτουργήσει ως διεπαφή εγγραφής και αναπαραγωγής ήχου. Εχμεταλλευόμενοι την καλλιτεχνική φύση των παιδιών για να τα παρακινήσουν στην τεχνολογική εξερεύνηση, μετατρέποντας μια συμβατική απεικόνιση σε μια διεπαφή πολυμέσων που προωθεί την αλληλεπίδραση πολλαπλών επιπέδων με τα παιδιά.

Σχήμα 1.6: *StoryClip board attached to an illustration done with conductive ink [3]*

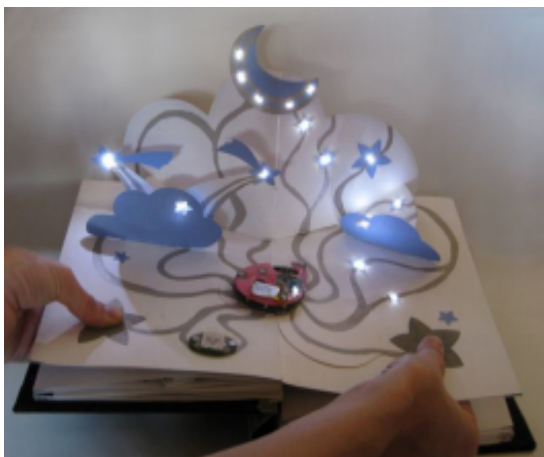
Το **Living Wall** πρότζεκτ διερευνά την κατασκευή και την εφαρμογή μιας διαδραστικής ταπετσαρίας. Χρησιμοποιώντας αγωγίμο, ανθεκτικά και μαγνητικά χρώματα δημιούργησαν μία

ταπετσαρία που επιτρέπει την δημιουργία δυναμικών, αναδιαμορφώσιμων και προγραμματιζόμενων χώρων. Η ταπετσαρία αποτελείται από κυκλώματα που είναι βαμμένα σε φύλλο χαρτιού και ένα σύνολο από ηλεκτρόδια είναι προσαρτημένα σε αυτό με την βοήθεια μαγνητών. Η ταπετσαρία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πλήθος λειτουργικών και εκπληκτικών εφαρμογών που μπορούν να περιλαμβάνουν φωτισμό, ανίχνευση περιβάλλοντος, έλεγχο συσκευών και προβολή πληροφοριών περιβάλλοντος. Επίσης περιέχει και ένα σετ από αποσπώμενες ηλεκτρονικές μονάδες για επεξεργασία, ανίχνευση και ασύρματη επικοινωνία [4].



Σχήμα 1.7: *Living Wall Installation* [4]

Οι *Jie Qi* και *Leah Buechley* ανέπτυξαν ένα διαδραστικό αναδυόμενο βιβλίο ονόματι **Electronic Popables** για να εξερευνήσουν υπολογιστές που βασίζονται σε χαρτί (*paper-based computing*). Το βιβλίο τους ενσωματώνει παραδοσιακούς αναδυόμενους μηχανισμούς με λεπτή, ευέλικτη ηλεκτρονική βάση χαρτιού (*paper-based electronics*) και το αποτέλεσμα μοιάζει και λειτουργεί σαν ένα συνηθισμένο αναδυόμενο βιβλίο με την διαφορά πως έχουν προστεθεί στοιχεία αλληλεπίδρασης. Κατασκεύασαν αρχικά μεμονωμένες αναδυόμενες διαδραστικές κάρτες και στη συνέχεια τις συναρμολόγησαν σε μορφή βιβλίου. Χρησιμοποίησαν τρία βασικά υλικά, αυτοκόλλητη ταινία χαλκού, αγωγίμο ύφασμα και αγωγίμη μπογιά για την δημιουργία των κυκλωμάτων επάνω στο χαρτί [5].



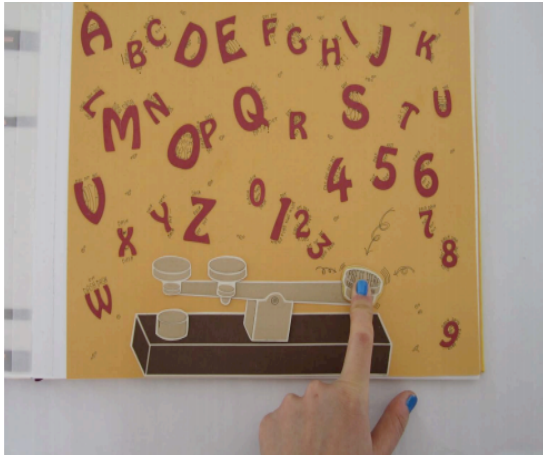
(α')



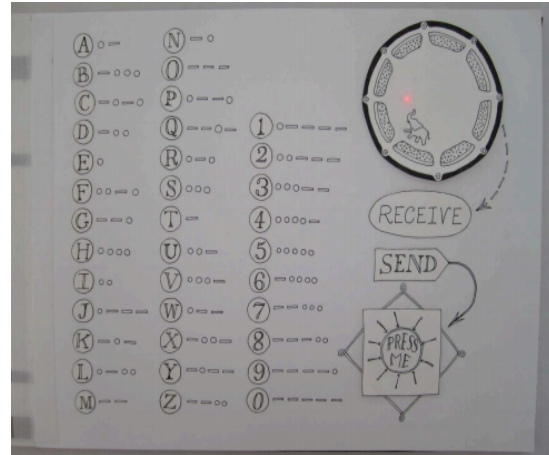
(β')

Σχήμα 1.8: *Two pages of the Electronic Popables book* [5]

Ερευνητές από το *MIT Media Lab* παρουσίασαν την υλοποίηση **Sticking Together**. Κατασκεύασαν αυτοκόλλητους αισθητήρες και ενεργοποιητές που τα παιδιά θα μπορούν να χρησιμοποιήσουν για να δημιουργήσουν χειροποίητες εξατομικευμένες διασυνδέσεις απομακρυσμένης επικοινωνίας. Συνδέοντας τα αυτοκόλλητα I/O σε ειδικές ασύρματες κάρτες, τα παιδιά μπορούν να εφεύρουν τρόπους επικοινωνίας με τους αγαπημένους τους σε μεγάλες αποστάσεις [7]. Ένας ξεχωριστός διαδραστικός τρόπος επικοινωνίας για τα παιδιά μαθαίνοντας παράλληλα νέες τεχνολογίες με ευχάριστο και δημιουργικό τρόπο.



(α') Book with I/O Stickers



(β') Remote book

Σχήμα 1.9: Example of two remotely connected I/O Stickers interfaces. As the user presses a sensor in one book, a LED lights up and a speaker buzzes in the remote book [7]

Το **Pen-on-Paper Flexible Electronics** προσφέρει μία μοναδική προσέγγιση για την κατασκευή εύκαμπτων συσκευών χρησιμοποιώντας ένα όργανο διαμόρφωσης που είναι το ίδιο πανταχού παρόν και φορητό, όπως το χαρτί. Τα στυλό rollerball είναι διαθέσιμα στο εμπόριο και είναι ειδικά σχεδιασμένα για την γραφή σε χαρτί με ακρίβεια. Χρησιμοποιώντας ένα στυλό rollerball γεμισμένο με αγωγίμο μελάνι από ασήμι, δίνεται η δυνατότητα γραφής και σχεδίασης αγωγίμου κειμένου, διασυνδέσεων για διόδους, ηλεκτρονικά κυκλώματα, συστοιχίες LED και τρισδιάστατες 3D κεραίες επάνω σε χαρτί.



Σχήμα 1.10: Optical image of conductive electronic art drawn by a silver-ink filled rollerball pen on Xerox paper [6]

1.3 Συμβολή και Δομή της παρούσας εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη, σχεδίαση και κατασκευή μιας διαδραστικής επιφάνειας με χωρητική αίσθηση χαμηλού κόστους. Για την διεκπεραίωση της εργασίας έπρεπε αρχικά να μελετηθούν διαφορετικά υλικά με χωρητική συμπεριφορά ώστε να επιλεγεί το βέλτιστο για την παρούσα υλοποίηση. Η επιφάνεια βασίζεται σε δύο βασικές τεχνολογίες, την χωρητική αίσθηση και την χαρτογράφηση προβολής. Αυτές αποτελούν τις βάσεις για μία ολοκληρωμένη και παράλληλα λειτουργική εφαρμογή.

Μετά την βιβλιογραφική ανασκόπηση του παρόντος κεφαλαίου, αναλύεται η επιστήμη των χωρητικών αισθητήρων και ο τρόπος λειτουργίας τους. Επίσης αναλύεται ο τρόπος κατά τον οποίο οι μικροελεγκτές μπορούν να ανιχνεύσουν την μεταβολή της χωρητικότητας. Γίνεται αναφορά στα χαρακτηριστικά των διηλεκτρικών υλικών καθώς και ανάπτυξη των αγώγιμων υλικών τα οποία μελετήθηκαν.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η έννοια του Projection Mapping, η ιστορία και εξέλιξη του έως σήμερα. Επιπλέον, παρουσιάζονται οι δύο τεχνικές προβολής Rear Projection (οπίσθια) και Front Projection (εμπρόσθια) και ποια επιλέχθηκε για την παρούσα εργασία. Στη συνέχεια αναφέρονται οι μέθοδοι υλοποίησης του Projection Mapping καθώς και λογισμικά που έχουν αναπτυχθεί για αυτόν τον σκοπό.

Το κεφάλαιο τέσσερα αναλύει τη γενική ιδέα υλοποίησης που ακολούθησε η παρούσα εργασία αλλά και την αρχιτεκτονική που χρησιμοποιήθηκε εν τέλη. Ξεκινώντας από τον τρόπο τοποθέτησης των επιφανειών, την κατανομή των αισθητήριων, μέχρι την διασύνδεση των μικροελεγκτών. Για την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος έγινε πληθώρα δοκιμών σε επίπεδο Hardware, Software αλλά και ανάπτυξης κώδικα.

Έπειτα, το πέμπτο κεφάλαιο αναφέρεται αρχικά στα υλικά που αποτέλεσαν την δοκιμαστική επιφάνεια, στον εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε για την διασύνδεση των αισθητήριων και τα λογισμικά που ολοκλήρωσαν την διεπαφή χρήστη-υπολογιστή για την διεκπεραίωση της εργασίας.

Το κεφάλαιο έξι αφιερώνεται στην λεπτομερή ανάλυση της κατασκευής και του προγραμματισμού. Αναπτύσσεται η διαδραστική επιφάνεια όπως και ο προγραμματισμός του μικροελεγκτή αλλά και του Processing. Αναφέρονται οι βελτιστοποιήσεις κατά τη διάρκεια της υλοποίησης και όλες οι δυνατότητες που δίνονται στο χρήστη.

Τέλος, στο κεφάλαιο επτά παρατίθενται τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξε η εργασία. Επιπλέον αναφέρονται προτάσεις για μελλοντική βελτίωση της εφαρμογής.

Κεφάλαιο 2

Επιστήμη χωρητικών αισθητήρων

Η χωρητικότητα αναφέρεται στην δυνατότητα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Σχεδόν όλα τα πράγματα, συμπεριλαμβανομένου του ανθρώπινου σώματος, μπορούν να αποθηκεύσουν κάποια ηλεκτρική ενέργεια και ως εκ τούτου έχουν χωρητικότητα. Παρόλο που η δυνατότητα αποθήκευσης ηλεκτρικού ρεύματος είναι κοινή, οι συσκευές που ονομάζονται πυκνωτές σχεδιάζονται σκόπιμα για να αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας. Ένας τυπικός πυκνωτής αποτελείται από δύο αγώγιμες επιφάνειες, συνήθως μεταλλικές πλάκες που χωρίζονται από ένα μονωτικό υλικό όπως ο αέρας, το χαρτί ή το πλαστικό. Αυτό το μονωτικό υλικό ονομάζεται διηλεκτρικό.

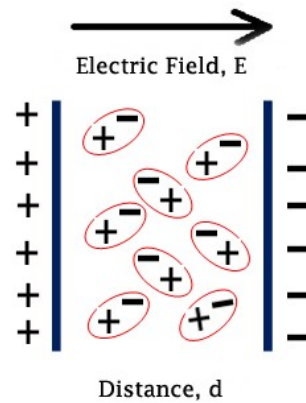
2.1 Διηλεκτρικά υλικά

Τα διηλεκτρικά υλικά είναι μονωτές με χαρακτηριστική ιδιότητα να πολώνουν τα ηλεκτρικά φορτία τους όταν τοποθετούνται μέσα σε ηλεκτρικό πεδίο. Σε σχέση με τους λοιπούς μονωτές, εμφανίζουν σε μεγάλο βαθμό το φαινόμενο αυτό της πόλωσης. Τα διηλεκτρικά υλικά δεν έχουν ελεύθερα φορτία επειδή όλα τα ηλεκτρόνια είναι συσχετισμένα με το πλησιέστερο άτομο. Τα πολικά μόρια στο υλικό θα είναι τυχαία ευθυγραμμισμένα (Σχήμα 2.1).

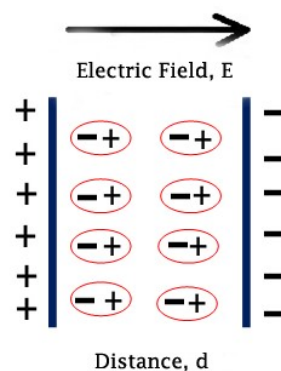
Όταν ένα ηλεκτρικό πεδίο εφαρμόζεται σε αυτό το υλικό, θα γίνει πολωμένο ευθυγραμμίζοντας τις διπολικές ροπές των πολικών μορίων. Τα θετικά φορτία μέσα στο υλικό μετατοπίζονται ελαφρά προς την κατεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου και τα αρνητικά φορτία προς την κατεύθυνση που αντιτίθεται του ηλεκτρικού πεδίου.

Όταν τοποθετούμε ένα διηλεκτρικό υλικό σε ένα ηλεκτρικό πεδίο, πρακτικά δεν ρέει ρεύμα μέσω αυτού, αλλά συμβαίνει πόλωση μορίων. Μεταφέρει ηλεκτρική ενέργεια μέσω της μετατόπισης του ρεύματος και όχι μέσω της διαδικασίας αγωγιμότητας (Σχήμα 2.2).

Το κενό, τα στερεά, τα υγρά και τα αέρια αποτελούν διηλεκτρικά υλικά. Μερικά από τα παραδείγματα στερεών διηλεκτρικών υλικών είναι κεραμικά, χαρτί, μαρμαρυγία, γυαλί κλπ. Υγρά διηλεκτρικά υλικά είναι το αποσταγμένο νερό, μετασχηματιστικό πετρέλαιο κλπ. Τα διηλεκτρικά του αερίου είναι άζωτο, ξηρός αέρας, ήλιο, οξείδια διάφορων μετάλλων κλπ. Το τέλειο κενό είναι επίσης διηλεκτρικό.



Σχήμα 2.1: Τυχαία ευθυγραμμισμένα μόρια



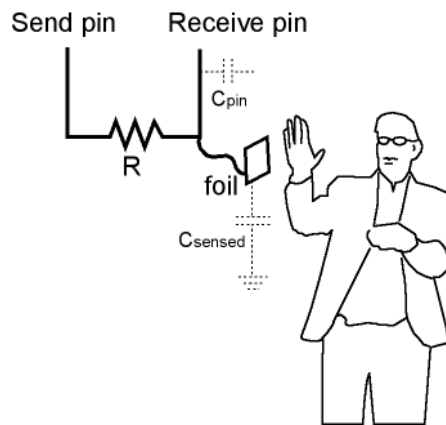
Σχήμα 2.2: Ευθυγραμμισμένα μόρια

2.2 Μεταβολή χωρητικότητας

Κάθε φορά που οποιαδήποτε επαφή πραγματοποιείται μεταξύ ενός αγώγιμου αντικειμένου ή του ανθρώπινου σώματος με την μεταλλική επιφάνεια ένα (μη ισχυρό) σήμα αποστέλλεται στο pin αποστολής και αυτό τίθεται σε μία νέα κατάσταση. Για να μπορέσει να μετρηθεί η αλλαγή αυτή χρησιμοποιείται ένα δεύτερο pin, το pin λήψης το οποίο είναι υπεύθυνο να μετρήσει το πόσο γρήγορα αλλάζει η τάση του αντικειμένου, δηλαδή πόσο χρόνο θα χρειαστεί για να φτάσει στην ίδια κατάσταση με το pin αποστολής. Αυτό επιτυγχάνεται με την βοήθεια μιας μεταβλητής η οποία αυξάνεται μέσα σε ένα βρόγχο όσο το pin λήψης αλλάζει για να φτάσει την νέα κατάσταση. Αυτή η μεταβλητή αφορά τον χρόνο τον οποίο χρειάστηκε το pin λήψης για να μεταβεί στην ίδια κατάσταση με το pin αποστολής. Αυτό αλλάζει αισθητά σε σχέση με το πόσο μεγάλο ή μικρό είναι το αντικείμενο. Όσο μεγαλύτερο είναι το αντικείμενο που αγγίζει την μεταλλική επιφάνεια τόσο περισσότερο χρόνο χρειάζεται για να αλλάξει η τάση. (Σχήμα 2.3, [32], [;])

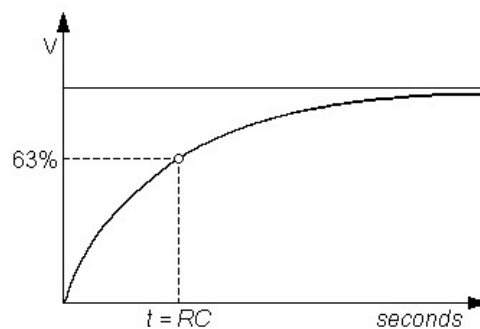
Η συνδεσμολογία για την δημιουργία ενός χωρητικού αισθητήρα περιλαμβάνει μια αντίσταση μεσαίας έως υψηλής τιμής (100 kilohm - 50 megohm) μεταξύ του pin αποστολής και του pin λήψης (αισθητήρα). Ο ακροδέκτης λήψης είναι το τερματικό του αισθητήρα. Ένα καλώδιο συνδεδεμένο στο pin λήψης με ένα κομμάτι από φύλλο αλουμινίου στο τέλος αποτελεί έναν

καλό αισθητήρα. Για αρκετές υλοποιήσεις, ένα πιο χρήσιμο εύρος τιμών επιτυγχάνεται εάν ο αισθητήρας καλύπτεται με κάποιο μονωτικό υλικό (χαρτί, πλαστικό κ.α.) έτσι ώστε οι χρήστες να μην αγγίζουν πραγματικά την μεταλλική επιφάνεια [32].



Σχήμα 2.3: Αρχή λειτουργίας [32]

Κάθε μετρητής χωρητικότητας των μικροελεγκτών βασίζεται σε κυκλώματα αντίστασης πυκνωτή RC, την σταθερά χρόνου. Η σταθερά χρόνου ενός κυκλώματος RC ορίζεται ως ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσει το 63,2% της μέγιστης τάσης του πυκνωτή όταν είναι πλήρως φορτισμένη.



Σχήμα 2.4: Capacitor-Time-Constant [19]

Οι μεγαλύτεροι πυκνωτές χρειάζονται περισσότερο χρόνο φόρτισης και συνεπώς θα δημιουργήσουν μεγαλύτερες σταθερές χρόνου. Η χωρητικότητα σε ένα κύκλωμα RC σχετίζεται με τη σταθερά χρόνου από την εξίσωση:

$$TC = R \times C$$

TC: Χρονική σταθερά του πυκνωτή (σε δευτερόλεπτα)

R: Αντίσταση του κυκλώματος (σε Ohms)

C: Χωρητικότητα του πυκνωτή (σε Farad)

Η αναδιάταξη της εξίσωσης για την επίλυση της χωρητικότητας δίνει:

$$C = \frac{TC}{R}$$

Κάθε μετρητής χωρητικότητας διαθέτει κύκλωμα RC με γνωστές τιμές αντίστασης και άγνωστη τιμή πυκνωτή. Ο μικροελεγκτής θα μετρήσει την τάση στον πυκνωτή και θα καταγράψει το χρόνο που χρειάζεται για να φτάσει το 63,2% της τάσης όταν είναι πλήρως φορτισμένο (η χρονική σταθερά). Δεδομένου ότι η τιμή αντίστασης είναι ήδη γνωστή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο παραπάνω τύπος σε ένα πρόγραμμα που θα υπολογίσει την άγνωστη χωρητικότητα. [19]

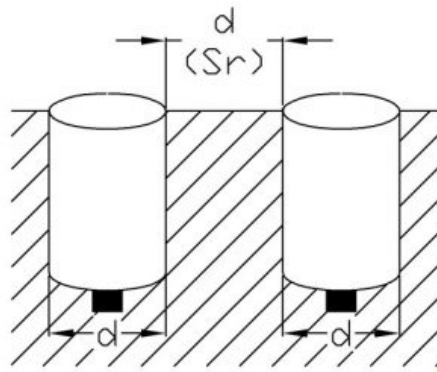
2.3 Χωρητική ανίχνευση

Στην ηλεκτρολογία, χωρητική ανίχνευση είναι μία τεχνολογία, βασισμένη στην χωρητική σύζευξη που μπορεί να ανιχνεύσει και να μετρήσει οτιδήποτε είναι αγωγίμο ή έχει διηλεκτρικό διαφορετικό από αυτό του αέρα, όπως το ανθρώπινο σώμα ή χέρι. Αυτό επιτυγχάνεται με την επίδραση του κάθε αντικειμένου στο ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται γύρω από την ενεργή όψη ενός αισθητήρα χωρητικότητας. Ένας χωρητικός αισθητήρας λειτουργεί σαν ένας ανοικτός πυκνωτής. Ένα ηλεκτρικό πεδίο σχηματίζεται μεταξύ του ηλεκτροδίου μέτρησης και του ηλεκτροδίου γείωσης. Εάν ένα υλικό με διηλεκτρική σταθερά μεγαλύτερη του αέρα εισέλθει στο ηλεκτρικό πεδίο, η χωρητικότητα του πεδίου αυξάνεται ανάλογα με την διηλεκτρική σταθερά (ϵ_r) αυτού του υλικού. Τα ηλεκτρόνια μετρούν την αύξηση της χωρητικότητας, το παραγόμενο σήμα ρυθμίζεται κατά την επακόλουθη επεξεργασία σήματος και προκαλεί την αλλαγή της εξόδου σε αντίστοιχο μέγεθος.

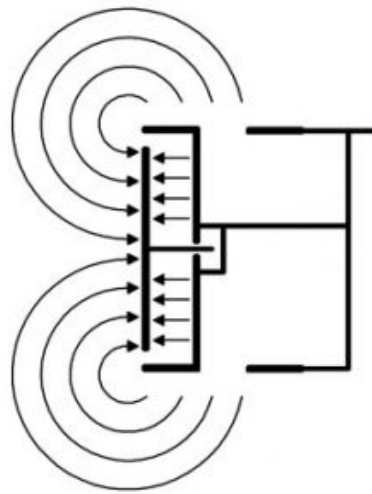
2.3.1 Τύποι αισθητήρων χωρητικότητας

Οι αισθητήρες χωρητικότητας χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες στην πρώτη κατατάσσεται η ενσωματωμένη έκδοση που συνήθως αναφέρεται σε αισθητήρες ανίχνευσης αντικειμένων και στην δεύτερη κατατάσσονται οι αισθητήρες ανίχνευσης στάθμης. Οι αισθητήρες ανίχνευσης αντικειμένων (Σχήμα 2.5) είναι θωρακισμένοι και χρησιμοποιούν ηλεκτροστατικό πεδίο ευθείας γραμμής. Αυτό επιτρέπει την μόνωση του αισθητήρα από κάποιο μονωτικό υλικό έτσι ώστε το εστιασμένο πεδίο να εκπέμπεται μόνο από την εμπρόσθια όψη του. Αυτό το ηλεκτροστατικό πεδίο είναι ιδανικό για την ανίχνευση υλικών με χαμηλή διηλεκτρική σταθερά. Ωστόσο, ένας αισθητήρας μπορεί να ανιχνεύσει αλλαγές στο ηλεκτρικό πεδίο μέσω διάφορων μη μεταλλικών στοιχείων πάχους έως και τέσσερα (4) χιλιοστά. [28]

Οι αισθητήρες στάθμης (Σχήμα 2.6) δεν είναι μονωμένοι και χρησιμοποιούν ένα σφαιρικό ηλεκτροστατικό πεδίο. Το πεδίο αυτό εκπέμπεται από την μπροστινή πλευρά του αισθητήρα και περιτυλίσσεται γύρω από αυτόν. Το σφαιρικό ηλεκτροστατικό πεδίο παρέχει μία μεγαλύτερη ενεργή επιφάνεια και είναι ιδανικό για την ανίχνευση χύμα υλικών και υγρών είτε άμεσα είτε έμμεσα. [28]



Σχήμα 2.5: *Shielded or Flush capacitive sensors*



Σχήμα 2.6: *Non-Flush or Level detection capacitive sensors*

2.3.2 Λειτουργία

Η χωρητικότητα μεταξύ δύο αγωγών καθορίζεται από τρία πράγματα, το μέγεθος του κάθε αγωγού, την απόσταση μεταξύ τους και το υλικό που βρίσκεται ανάμεσα τους. Όταν μια τάση εφαρμόζεται σε έναν αγωγό, εκπέμπεται ηλεκτρικό πεδίο από κάθε επιφάνεια, τα περισσότερα συστήματα χωρητικής ανίχνευσης λειτουργούν μετρώντας τις αλλαγές στην χωρητική σύζευξη μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και των ηλεκτροδίων. Για να υπάρξουν ακριβείς μετρήσεις θα πρέπει το ηλεκτρικό πεδίο από την περιοχή ανίχνευσης να εμπεριέχεται μέσα στο διάστημα μεταξύ του αισθητήρα και του αντικειμένου που πρέπει να ανιχνευθεί.

2.4 Αγωγή Υλικά

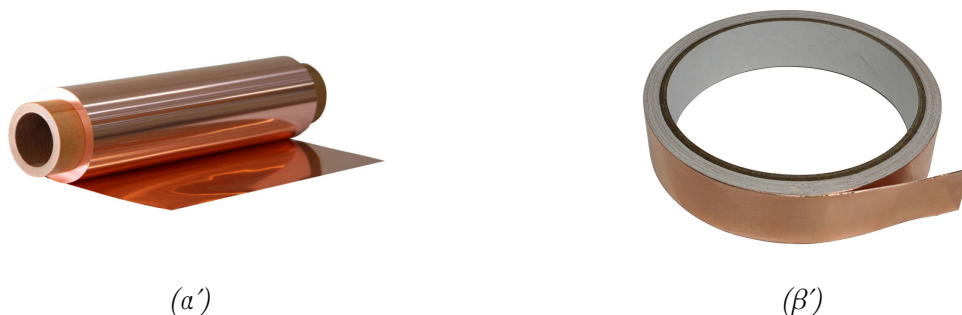
Η αγωγιμότητα αναφέρεται στον ρυθμό ή το βαθμό που η ηλεκτρική ενέργεια, η θερμότητα, ή ο ήχος ταξιδεύει μέσα από κάποιο υλικό. Είναι το μέτρο της ποσότητας ηλεκτρικού ρεύματος που μπορεί να μεταφέρει ένα υλικό ή η ικανότητά του να φέρει φορτίο. Η αγωγιμότητα

είναι μια εγγενής ιδιότητα ενός υλικού. Έτσι τα υλικά με υψηλή αγωγιμότητα επιτρέπουν τη γρήγορη και πλήρη ροή της θερμότητας μέσω αυτών. Υπάρχουν διάφοροι τύποι αγωγιμότητας, συμπεριλαμβανομένης της ηλεκτρικής, θερμικής και ακουστικής. Τα μέταλλα είναι παράδειγμα υλικών με υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα, το πιο ηλεκτρικά αγώγιμο στοιχείο είναι το πολύτιμο μέταλλο ασήμι ακολουθούμενο από τον χαλκό, τον χρυσό και το αλουμίνιο.

Το **ασήμι** ως το πιο ηλεκτρικά αγώγιμο υλικό, έχει επίσης την υψηλότερη θερμική αγωγιμότητα οποιουδήποτε στοιχείου καθώς και την υψηλότερη ανακλαστικότητα φωτός. Παρόλα αυτά ο χαλκός και ο χρυσός χρησιμοποιούνται συχνότερα στις ηλεκτρικές εφαρμογές, επειδή ο χαλκός είναι πιο οικονομικός και ο χρυσός έχει μεγαλύτερη αντοχή στη διάβρωση. Λόγω της εύκολης αμαύρωσης, το ασήμι είναι λιγότερο επιθυμητό για υψηλές συχνότητες επειδή χάνεται η αγωγιμότητα της εξωτερικής επιφάνειας. Ο κύριος λόγος για τον οποίο το ασήμι καθίσταται ο καλύτερος αγωγός είναι επειδή τα ηλεκτρόνια του έχουν μεγαλύτερη ελευθερία κίνησης σε σύγκριση με αυτά των άλλων στοιχείων. Αυτό έχει να κάνει με το σθένος και την κρυσταλλική του δομή.

Ο **χρυσός** μπορεί να μεταφέρει αποτελεσματικά την ηλεκτρική ενέργεια και την θερμότητα και σε αντίθεση με τα υπόλοιπα μέταλλα, ο χρυσός δεν αμαυρώνει, καθιστώντας τον κρίσιμο για ηλεκτρονικά κυκλώματα και εξαρτήματα. Η ηλεκτρική ειδική αντίσταση του χρυσού είναι $0,022 \text{ micro-ohm}$ στους 20° βαθμούς Κελσίου και η θερμική του αγωγιμότητα είναι $310 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ στην ίδια θερμοκρασία. Η αντίσταση στη διάβρωση του είναι ίσως μία από τις πιο πολύτιμες ιδιότητες του.

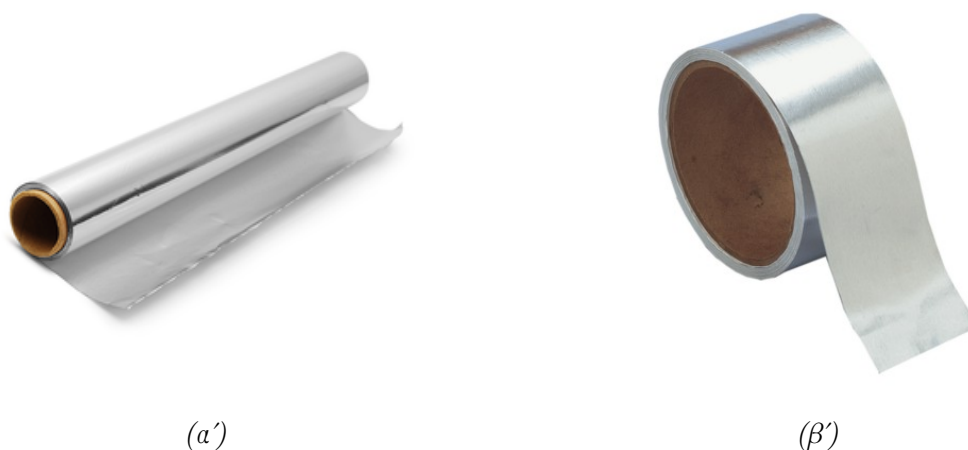
Ο **χαλκός** έχει την υψηλότερη αγωγιμότητα από οποιοδήποτε μη πολύτιμο μέταλλο, είναι 65% υψηλότερη από το αλουμίνιο και είναι το πρώτο μέταλλο το οποίο επεξεργάστηκαν ποτέ οι άνθρωποι. Αυτό, σε συνδυασμό με την υψηλή ολκιμότητα, την ευκολία σύνδεσης και την καλή αντοχή στη διάβρωση, καθιστά τον χαλκό την πρώτη επιλογή αγωγού σε ηλεκτρικές εφαρμογές (καλώδια, μετασχηματιστές και περιελίξεις κινητήρων και διαύλους).



Σχήμα 2.7: (α') Φύλλο χαλκού (β') Αυτοκόλλητη ταινία χαλκού

Το **αλουμίνιο** είναι στοιχείο που κατατάσσεται τέταρτο στη λίστα των μετάλλων μετά το ασήμι, τον χαλκό και τον χρυσό και είναι ένα από τα υλικά που δοκιμάστηκαν για την δημιουργία των αισθητήρων. Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν φύλλα αλουμινίου κατασκευασμένα από απλό αλουμινόχαρτο διαστάσεων ($10 \times 2 \text{ cm}$, $15 \times 2 \text{ cm}$, $8 \times 1.5 \text{ cm}$, $2 \times 1 \text{ cm}$). Τα θετικά της παραπάνω υλοποίησης ήταν η μεγάλη ποσότητα που είναι διαθέσιμη στο εμπόριο, η προστιθέτιμη τιμή του υλικού και η εύκολη διαχείριση του. Αντιθέτως, παρατηρήθηκε η αστάθεια του και ο θόρυβος που προκαλούσε κατά την επαφή, λόγω των διασυνδέσεων με τα υπόλοιπα υλικά (καλώδια, επαφές, ενώσεις κλπ). Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να γίνει επιλογή της

αυτοκόλλητης ταινίας αλουμινίου για βέλτιστη σταθερότητα και ακρίβεια μετρήσεων. Τα θετικά ήταν η ακόμη πιο εύκολη διαχείριση της σε σύγκριση με τα φύλλα αλουμινίου λόγω της ικανότητας της να προσκολλάται χωρίς την χρήση πρόσθετου υλικού (ταινία, κόλλα κλπ) για την τοποθέτηση της. Σε αντίθεση το πλάτος της το οποίο είναι προκαθορισμένο (5 εκατοστά ή μικρότερο) περιορίζει την δημιουργία των μεγαλύτερων διαστάσεων αισθητήρων που ήταν απαραίτητοι για την υλοποίηση της διαδραστικής επιφάνειας στην συγκεκριμένη εργασία.



Σχήμα 2.8: (α) Φύλλο αλουμινίου (β) Αυτοκόλλητη ταινία αλουμινίου

Ο **στερεός άνθρακας** έρχεται σε διάφορες μορφές, γνωστές ως *αλλοτροπικές*, ανάλογα με τον τύπο του χημικού δεσμού. Τα συνηθέστερα είναι το διαμάντι και ο **γραφίτης** (Σχήμα 2.9). Στον γραφίτη τα μεμονωμένα στρώματα ονομάζονται γραφένιο. Σε κάθε στρώση, τα άτομα άνθρακα είναι διατεταγμένα σε ένα πλέγμα κηρήθρας με διαχωρισμό των 0,145nm και η απόσταση μεταξύ των επιπέδων είναι 0,335nm. Τα άτομα στο επίπεδο συνδέονται ομοιοπολικά, με μόνο τρία από τα τέσσερα πιθανά σημεία σύνδεσης να ικανοποιούνται. Το τέταρτο ηλεκτρόνιο είναι ελεύθερο να μεταναστεύσει στο επίπεδο, κάνοντας το γραφίτη ηλεκτρικά αγωγίμο. Η υψηλή αγωγιμότητα του το καθιστά χρήσιμο σε ηλεκτρονικά προϊόντα όπως ηλεκτροδία, μπαταρίες και ηλιακούς συλλέκτες.



Σχήμα 2.9: Γραφίτης σε σκόνη

Η **αγωγήμη μπογιά** πρόκειται για ένα είδος μη στερεού υλικού που μπορεί να άγει ηλεκτρικό ρεύμα χαμηλού επιπέδου μόλις αυτή τοποθετηθεί σε μία επιφάνεια και στεγνώσει. Στην αγορά υπάρχουν διαφορετικές μπογιές και μελάνια τέτοιου είδους όπου μπορούν να προμηθευτούν σε ποικιλία συσκευασιών όπως βάζα ή στυλό. Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκε η αγωγήμη μπογιά (Bare Conductive Paint, Σχήμα 2.10) η οποία προμηθεύτηκε σε βάζο των 30ml και η εφαρμογή της στην επιφάνεια έγινε με την βοήθεια απλού πινέλου ζωγραφικής.



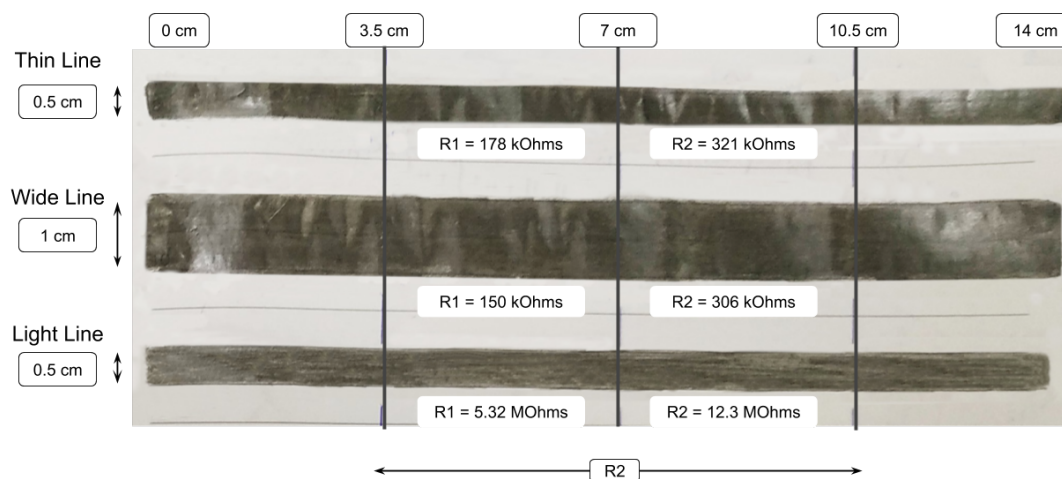
Σχήμα 2.10: Bare Conductive Paint

Για την διεκπεραίωση της παρούσας εργασίας επιλέχθηκαν τα υλικά στα οποία υπήρχε εύκολη πρόσβαση και αποτελούσαν μία οικονομική λύση (**αγωγήμη μπογιά, αλουμίνιο και γραφίτης**). Για την ανάδειξη του υλικού με τις βέλτιστες ιδιότητες εκτελέστηκαν τα απαραίτητα πειράματα.

Τα πειράματα υλοποιήθηκαν με τη χρήση χαρτιού. Κάθε υλικό τοποθετήθηκε επάνω στο χαρτί με δύο διαφορετικά πλάτη (0,5 εκ., 1 εκ.). Ζητούμενο ήταν να βρεθεί το υλικό με την μικρότερη ωμική αντίσταση με αποτέλεσμα αυτό να είναι ο καλύτερος αγωγός. Πραγματοποιήθηκαν δύο μετρήσεις για κάθε υλικό για την εύρεση της ωμικής αντίστασης με την βοήθεια πολυμέτρου. Στην πρώτη δοκιμή οι ακροδέκτες είχαν απόσταση μεταξύ τους 3,5 εκατοστά ενώ στη συνέχεια έγινε μέτρηση για την μεταβολή της ωμικής αντίστασης διπλασιάζοντας την απόσταση, δηλαδή 7 εκ.

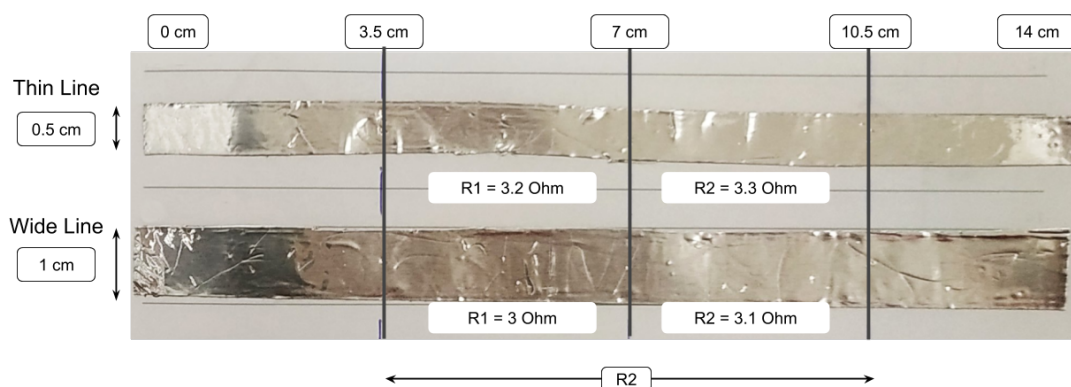
Ξεκινώντας από τον γραφίτη (Σχήμα 2.11) μετρήθηκε πρώτα η λεπτή γραμμή (0,5 εκ.) αποτελούμενη από ένα σύνολο περίπου διακοσίων μολυβιών με χρήση μολυβιού. Το αποτέλεσμα ήταν αρκετά υψηλό καθώς στην πρώτη περίπτωση (3,5 εκ.) η ωμική αντίσταση μετρήθηκε στα 178kOhms, στη διπλάσια απόσταση (7 εκ.) το αποτέλεσμα ήταν 321kOhms. Στην πλατιά γραμμή (1 εκ.) λήφθηκαν αντίστοιχες ωμικές αντιστάσεις των 150kOhms για την μικρή απόσταση (3,5 εκ.) και 306kOhms για την μεγαλύτερη (7 εκ.). Τέλος, στην τρίτη και τελευταία γραμμή οι μολυβιές ήταν λιγότερες και η αντίσταση που μετρήθηκε (3,5 εκ.) ήταν 5,32MOhms και 12,3MOhms (7 εκ.).

Μεγάλη διαφορά παρατηρήθηκε κατά την μέτρηση της αλουμινοταινίας (Σχήμα 2.12) στην οποία το αποτέλεσμα όσον αφορά τη λεπτή γραμμή (0,5 εκ.) ήταν 3,2Ohm (3,5 εκ.) και 3,3Ohm (7 εκ.) αντιστοίχως των αποστάσεων. Στην πλατιά γραμμή (1 εκ.) οι ανάλογες



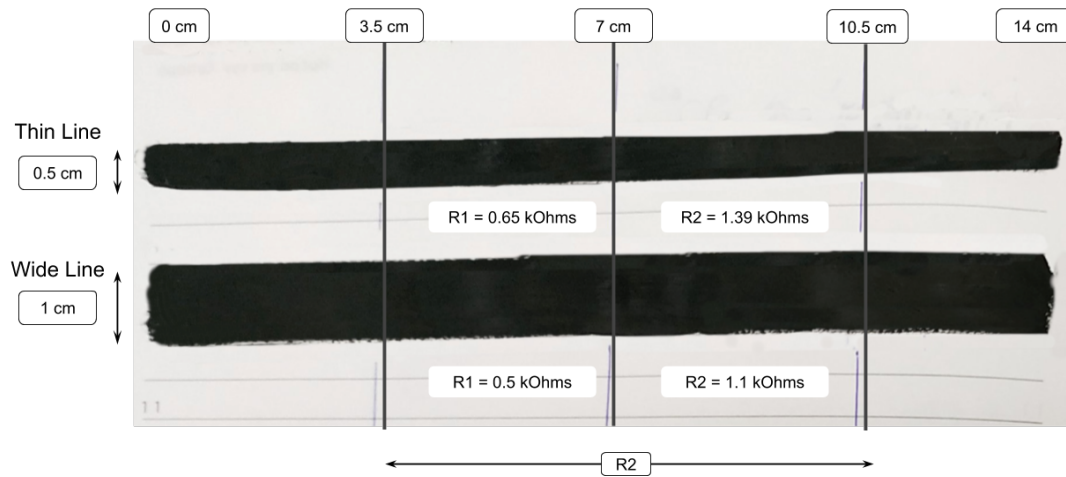
Σχήμα 2.11: Γραφίτης

μετρήσεις δεν παρουσίασαν μεγάλες διακυμάνσεις από αυτές της λεπτής γραμμής και ως αποτελέσματα λήφθηκαν 30hm (3,5εκ.) και 3,10hm (7 εκ.) αντίστοιχα. Συμπεραίνοντας πως η ποσότητα του υλικού στην δεδομένη περίπτωση έχει ελάχιστη επίπτωση στην μεταβολή της αγωγιμότητας του.



Σχήμα 2.12: Αλουμινοταινία

Για την μέτρηση της ωμικής αντίστασης της αγωγικής μπογιάς (Σχήμα 2.13) αρχικά τοποθετήθηκε μία στρώση και αφού στερεοποιήθηκε τοποθετήθηκε και δεύτερη. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αντιστοιχούν σε 0,65kOhms (3,5 εκ.) και 1,39kOhms (7 εκ.) για την λεπτή γραμμή. Για την γραμμή με μεγαλύτερο πλάτος 0,5kOhms (3,5 εκ.) και 1,1kOhms (7 εκ.). Εξετάζοντας τις παραπάνω μετρήσεις επιβεβαιώνονται και επαληθεύονται οι έρευνες βάση της βιβλιογραφίας καταλήγοντας στο συμπέρασμα πως η χρήση μεγαλύτερης ποσότητας υλικού οδηγεί σε καλύτερη αγωγιμότητα.



Σχήμα 2.13: Αγωγή μπογιά

Conductivity Tests				
		Graphite	Aluminum Tape	Conductive Paint
Thin Line	R1	178 kOhms	3,2 Ohm	0,65 kOhms
	R2	321 kOhms	3,3 Ohm	1,39 kOhms
Wide Line	R1	150 kOhms	3 Ohm	0,5 kOhms
	R2	306 kOhms	3,1 Ohm	1,1 kOhms
Light Line	R1	5,32 MOhms	-	-
	R2	12,3 MOhms	-	-

Πίνακας 2.1: Πίνακας αποτελεσμάτων

Έπειτα από την επιτυχή ολοκλήρωση των πειραμάτων για τα παραπάνω τρία υλικά, επήλθε το συμπέρασμα πως η αλουμινοταινία είχε την μικρότερη ωμική αντίσταση άρα και την καλύτερη αγωγιμότητα. Συνεπώς για την κατασκευή των αισθητήρων χρησιμοποιήθηκε η αλουμινοταινία.

Κεφάλαιο 3

Projection Mapping

3.1 Ιστορικά στοιχεία

Ο όρος Projection Mapping αναφέρετε στην χρήση προβολών για χαρτογράφηση φωτός σε οποιαδήποτε επιφάνεια, μετατρέποντας κοινά αντικείμενα σε διαδραστικές οθόνες. Παρότι ο όρος Projection Mapping είναι σχετικά νέος, η τεχνική αυτή χρονολογείται πίσω στα τέλη της δεκαετίας του 1990, όπου εκεί αναφέρεται ως Video Mapping, Spatial Augmented Reality (SAR) ή Shader Lamps. Μία από τις πρώτες δημόσιες απεικονίσεις προβολών σε μη επίπεδη επιφάνεια χρονολογείται από το 1969 με το άνοιγμα της διαδρομής Haunted Mansion στη Disneyland. Η σκοτεινή διαδρομή περιείχε μια σειρά από ενδιαφέρουσες οπτικές ψευδαισθήσεις, συμπεριλαμβανομένου ενός κεφαλιού χωρίς σώμα της Madame Leota και πέντε προτομές, τα Grim Grinning Ghosts (Σχήμα 3.1) που τραγουδούσαν το θεματικό τραγούδι της διαδρομής. Αυτά επιτεύχθηκαν με τη βιντεοσκόπηση των κεφαλιών των τραγουδιστών και στη συνέχεια προβάλλοντας τα βίντεο στις προτομές των προσώπων τους. [33]



Σχήμα 3.1: Grim Grinning Ghosts [33]

Ένα ακόμη παράδειγμα Projection Mapping ήταν η κινηματογραφική ταινία Magical Mystery Tour το 1967 όπου κατά τη διάρκεια της σκηνής Blue Jay Way, προβαλλόταν επάνω στον George Harrison εικόνες μίας γάτας και ενός κορμού χωρίς κεφάλι με τις λέξεις Magical Mystery Boy γραμμένες στο στήθος του. Επόμενη εφαρμογή χρονολογείται το 1980, με την εντυπωσιακή εγκατάσταση ταινιών Displacements από τον Michael Naimark. Σε αυτή την εγκατάσταση ένα σαλόνι με ερμηνευτές κινηματογραφήθηκαν με μια περιστρεφόμενη κάμερα



(α')



(β')

Σχήμα 3.2: (α') Βιντεοσκόπηση ερμηνευτή (β') Δημιουργία σκηνής

και στη συνέχεια η κάμερα αντικαταστάθηκε από έναν προβολέα. Το αποτέλεσμα είναι μία περιστρεφόμενη χαρτογράφηση προβολής. [33]



Σχήμα 3.3: Αποτέλεσμα περιστρεφόμενης χαρτογράφησης προβολής [33]

Η πρώτη φορά που η έννοια της χαρτογράφησης προβολής διερευνήθηκε σε ακαδημαϊκό επίπεδο ήταν στο Πανεπιστήμιο της Βόρειας Καρολίνας στο Chapel Hill στα τέλη της δεκαετίας του 1990, όταν μία ομάδα με επικεφαλής τον Ramesh Raskar εργάστηκε σε ένα έργο που ονομάζεται Office of the Future (Σχήμα 3.4) για να συνδέσει γραφεία από διαφορετικές τοποθεσίες προβάλλοντας ανθρώπους στο χώρο σαν να ήταν πραγματικά εκεί. Έως το 2001, περισσότεροι καλλιτέχνες άρχισαν να χρησιμοποιούν χαρτογράφηση προβολών σε έργα τέχνης και ομάδες όπως η Microsoft άρχισαν να πειραματίζονται με αυτό το μέσο τεχνολογικής προόδου.



Σχήμα 3.4: Office of the Future

3.2 Εξέλιξη έως σήμερα

Κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας το Projection Mapping διαδόθηκε εξαιρετικά γρήγορα σε ολόκληρο τον κόσμο. Βασικός στόχος της τεχνικής είναι ο απρόσκοπτος συνδυασμός του φυσικού και εικονικού κόσμου με χρήση κινούμενων γραφικών (motion graphics) και δημιουργικού προγραμματισμού. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείτε εντυπωσιακό περιεχόμενο και ουσιαστικά αντικαθιστά την πραγματική επιφάνεια του αντικειμένου. Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά το οποίο διαφέρει σε σύγκριση με άλλες τεχνικές εικονικής πραγματικότητας είναι η δυνατότητα χαρτογράφησης προβολής όπου επιτρέπει σε πολλούς χρήστες ταυτόχρονα να βιώσουν την εικονική πραγματικότητα χωρίς να φορούν γυαλιά ή άλλες βοηθητικές συσκευές. Επίσης οι συνεχείς βελτιώσεις στην τιμολόγηση, το μέγεθος και τη φωτεινότητα των προβολών έδωσαν την δυνατότητα σε μεγάλο αριθμό ανθρώπων να πειραματιστούν, εξερευνήσουν και αναπτύξουν δικά τους έργα χαρτογραφημένης προβολής. [8]

Μεγάλη ποικιλία αντικειμένων και επιφανειών διαφορετικής κλίμακας χρησιμοποιήθηκαν ως στόχοι προβολής σε υλοποιήσεις μέχρι σήμερα, όπως πολύπλοκα βιομηχανικά τοπία, κτίρια, προσόψεις και μικρογραφίες αυτών, μικρά εσωτερικά αντικείμενα, θεατρικές σκηνές, έπιπλα, αυτοκίνητα ακόμη και ζωντανοί οργανισμοί για παράδειγμα ψάρια σε ένα ενυδρείο και ανθρωπογενείς. Το Projection Mapping μπορεί να αλλάξει την εμφάνιση ενός αντικειμένου σε πραγματικό χρόνο. Για να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις, ερευνητές ανέπτυξαν υπολογιστικούς αλγόριθμους ώστε να προβάλλουν γεωμετρικά και φωτομετρικά σωστά εικόνες, εφαρμόζοντας συστήματα προβολέα-κάμερας (*procams systems*). Τα συστήματα προβολέα-κάμερας χρησιμοποιούν κάμερες με στόχο να παρατηρήσουν και καταγράψουν την προβολή στην εκάστοτε επιφάνεια και να εκτιμήσουν με ποιον τρόπο πρέπει να προσαρμοστεί ώστε να ληφθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. [8]



Σχήμα 3.5: Χαρτογράφηση προβολής πρόσοψης κτιρίου

Η τεχνολογική εξέλιξη και η διάδοση της χαρτογραφημένης προβολής γέννησε την ανάγκη για δημιουργία λογισμικών αποκλειστικά για την υλοποίηση προβολών τέτοιου είδους. Έτσι, εξειδικευμένα προγράμματα που καθιστούν εύκολη και προσβάσιμη την χαρτογραφημένη προβολή έχουν αναπτυχθεί. Με την βοήθεια των προγραμμάτων, ένα αντικείμενο ή επιφάνεια, δύο

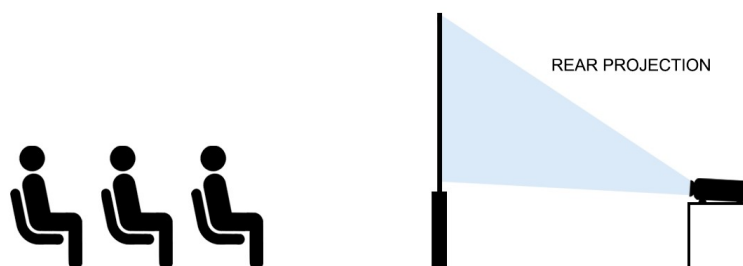
ή τριών διαστάσεων όπως αναφέρθηκαν παραπάνω, χαρτογραφούνται χωρικά στο λογισμικό το οποίο μιμείται το πραγματικό περιβάλλον στο οποίο πρόκειται να προβληθεί. Το λογισμικό αλληλεπιδρά με έναν ή περισσότερους προβολείς με σκοπό την οριοθέτηση οποιασδήποτε επιθυμητής εικόνας ή βίντεο στην επιφάνεια του αντικειμένου. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται πολύ συχνά από καλλιτέχνες και διαφημιστές οι οποίοι μπορούν να προσθέσουν επιπλέον διαστάσεις, οπτικές ψευδαισθήσεις και έννοιες κίνησης σε παλαιότερα στατικά αντικείμενα. Συνήθως σε μία ολοκληρωμένη υλοποίηση υπάρχει συνδυασμός εικόνας, ήχου και βίντεο για να είναι εφικτή μια οπτικοακουστική αφήγηση.

3.3 Εμπρόσθια και Οπίσθια προβολή

Η εμπρόσθια και οπίσθια προβολή αποτέλεσε ένα μικρό σταθμό διερεύνησης για την παρούσα εργασία. Χωρίς να υπάρχει ιστορικό στην οπίσθια προβολή έπρεπε να ληφθούν υπόψιν τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και να αποφασιστεί ποια τεχνική ήταν η ιδανική.

Η οπίσθια προβολή φάνταζε μια λύση με πολλά πλεονεκτήματα και δυνατότητες συγκριτικά με την εμπρόσθια. Η ιδέα ήταν πως τοποθετώντας τον προβολέα πίσω από την οθόνη θα υπήρχε μεγαλύτερος έλεγχος στις φυσικές παρεμβολές (σκιές κ.α.) και θα μπορούσε να επιτευχθεί καλύτερη ανάλυση του προβαλλόμενου περιεχόμενου. Το φως του περιβάλλοντος που πιθανά θα χτυπούσε την μπροστινή επιφάνεια της οθόνης δεν θα έπαιζε σημαντικό ρόλο με αποτέλεσμα η εικόνα να είναι περισσότερο ανθεκτική σε αυτό και με καλύτερη ανάλυση. Συγκριτικά με την εμπρόσθια προβολή όπου θα πρέπει στον χώρο στον οποίο λαμβάνει χώρα να μην εισέρχεται αρκετό φως διότι αυτό εξασθενεί την εικόνα που προβάλλεται.

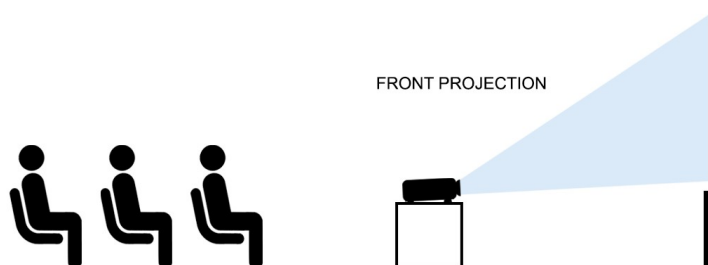
Αναλυτικότερα, για την οπίσθια προβολή (Σχήμα 3.6) όλος ο εξοπλισμός πρέπει να τοποθετηθεί στο πίσω μέρος της οθόνης. Επομένως, θα πρέπει πίσω από την οθόνη να δημιουργηθεί ο κατάλληλος χώρος για να εγκατασταθεί ο απαραίτητος εξοπλισμός. Η επιλογή αυτή προϋποθέτει την ύπαρξη μιας μεγάλης αίθουσας όπου θα μπορεί να καλύψει τις ανάγκες της εγκατάστασης καθώς μειώνει αισθητά τον χώρο στην αίθουσα. Ο χώρος που απαιτείται για την εγκατάσταση πίσω από την οθόνη μπορεί να ποικίλει. Αυτό οφείλεται κυρίως στο μέγεθος της οθόνης, τον προβολέα και τον φακό που θα χρησιμοποιηθεί. Το πλεονέκτημα ωστόσο, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω είναι πως εξαλείφει τυχόν προβλήματα με τις σκιές, όπως άτομα που ίσως περάσουν μπροστά από τον προβολέα ή άλλα φυσικά αντικείμενα.



Σχήμα 3.6: Οπίσθια προβολή

Σε αντίθεση, η επιφάνεια προβολής για εμπρόσθια προβολή (Σχήμα 3.7) μπορεί να τοποθετηθεί μπροστά από κάποιον τοίχο, δεδομένου πως όλος ο εξοπλισμός θα βρίσκεται μπροστά

από αυτή, επιτυγχάνοντας με αυτόν τον τρόπο μεγαλύτερη εξοικονόμηση χώρου. Οι θέσεις του προβολέα ποικίλουν ανάλογα με τις ανάγκες της εκάστοτε υλοποίησης και τις δυνατότητες του. Ο προβολέας θα μπορούσε να τοποθετηθεί στο πάτωμα ή στην οροφή της αίθουσας, ακόμη και στο πίσω μέρος αυτής μαζί με τον επιπλέον εξοπλισμό εάν υφίσταται (υπολογιστική μονάδα, ηχεία, καλώδια κ.α.). Με την εμπρόσθια προβολή γίνεται η εκμετάλλευση ολόκληρης της αίθουσας επιτρέποντας έτσι μεγαλύτερη χωρητικότητα κοινού ή άλλων δραστηριοτήτων. Η διάταξη αυτή όμως έχει ως μειονέκτημα την εμφάνιση σκιών στην οθόνη. Οτιδήποτε παρεμβάλλεται μεταξύ του προβολέα και της οθόνης για παράδειγμα άτομα, δομικά χαρακτηριστικά όπως κολώνες ή πολυέλαιοι θα δημιουργήσει σκιές.



Σχήμα 3.7: Εμπρόσθια προβολή

Το περιβαλλοντικό φως παίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στο αποτέλεσμα του περιεχομένου που προβάλλεται. Εάν το φως είναι αρκετό στην εμπρόσθια προβολή, η συνολική εικόνα που παράγεται μπορεί να αποδυναμωθεί σημαντικά. Σε αυτή την περίπτωση θα χρειαστεί να βρεθεί ένας τρόπος για να μειωθεί ο θόρυβος από το εισερχόμενο φως, έτσι η εικόνα θα δείξει περισσότερο φωτεινή και καθαρή. Αντιθέτως, με την οπίσθια προβολή το περιβαλλοντικό φως ίσως μπορεί να βελτιώσει την προβαλλόμενη εικόνα αυξάνοντας την αντίθεση και τον κορεσμό. Αυτή η τεχνική αποτελεί την μόνη επιλογή σε χώρους (εξωτερικούς κατά την διάρκεια της ημέρας) ή δωμάτια (με μεγάλα παράθυρα χωρίς κουρτίνες/στόρια) όπου δεν είναι δυνατή η εξάλειψη του φυσικού φωτός.

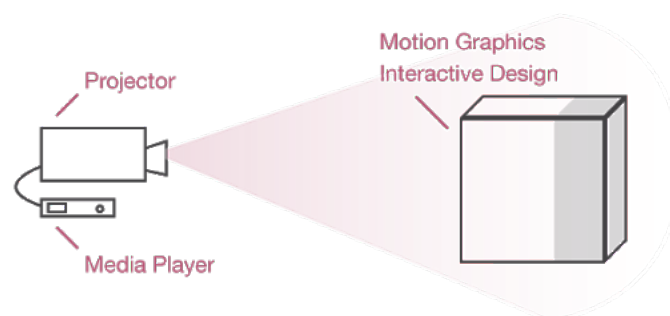
Ένας ακόμη παράγοντας ο οποίος πρέπει να ληφθεί υπόψιν είναι η θέση των θεατών/χρηστών σε σχέση με την επιφάνεια προβολής. Στην εμπρόσθια προβολή η γωνία θέασης παίζει σημαντικό ρόλο καθώς όσο μεγαλύτερη είναι η γωνία από το κέντρο της επιφάνειας τόσο περισσότερο παραμορφώνεται η εικόνα. Με την οπίσθια προβολή η γωνία δεν είναι τόσο επιτακτική. Αυτό που έχει ιδιαίτερη σημασία είναι το υλικό από το οποίο η επιφάνεια προβολής είναι κατασκευασμένη, καθώς αυτό μπορεί να επηρεάσει την σαφήνεια και ποιότητα του περιεχομένου που θα προβάλλεται.

Το υλικό με το οποίο κατασκευάζονται οι οθόνες για οπίσθια προβολή είναι διαφορετικό από αυτό της εμπρόσθιας. Συγκεκριμένα, οι οπίσθιες οθόνες προβολής πρέπει να κατασκευαστούν από κάποιο ημιδιαφανές ύφασμα και συνήθως σκουρόχρωμο, όπως γκρι. Σε αντίθεση με τις οθόνες για εμπρόσθια προβολή όπου η μπροστινή πλευρά της οθόνης είναι συνήθως από κάποιο λευκό ματ υλικό. Το υλικό θα πρέπει να είναι αδιαφανές ώστε να μην επιτρέπει στο φως να διεισδύσει μέσα από αυτό. Η χρησιμότητα αυτού είναι πως σε περίπτωση που η επιφάνεια προβολής πρέπει να τοποθετηθεί μπροστά από κάποια πηγή φωτός για παράδειγμα ένα παράθυρο τότε το υλικό αποτρέπει το φως να περάσει μέσα και έτσι δεν επηρεάζεται το περιεχόμενο που προβάλλεται.

Έπειτα από τα παραπάνω επήλθε το συμπέρασμα πως για την παρούσα πτυχιακή εργασία η καλύτερη επιλογή ήταν να χρησιμοποιηθεί η εμπρόσθια προβολή. Ο βασικότερος λόγος για τον οποίο επιλέχθηκε αυτό ήταν το υλικό με το οποίο θα γινόταν η κατασκευή της επιφάνειας. Για την υλοποίηση χρειαζόταν ένα σταθερό υλικό στο οποίο θα τοποθετηθούν οι αισθητήρες και θα ακουμπούν οι χρήστες. Στην προκειμένη περίπτωση υλικό όπως το ύφασμα δεν μπορούσε να εξυπηρετήσει τον σκοπό της εργασίας.

3.4 Μέθοδοι υλοποίησης Projection Mapping

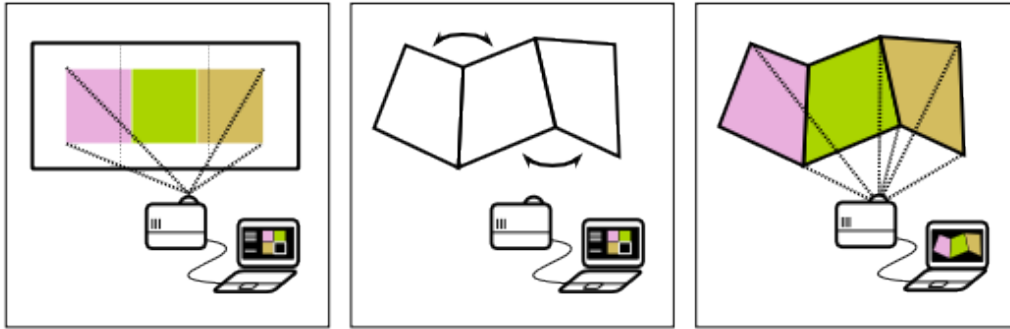
Η ομαλή επίτευξη μιας παρουσίασης δεν είναι εύκολη υπόθεση αφού πολλοί παράγοντες πρέπει να ληφθούν υπόψιν πριν ξεκινήσει η διαδικασία. Ποιο θα είναι το μέγεθος και το σχήμα της περιοχής προβολής, η τοποθέτηση της προβολής θα πραγματοποιηθεί σε εσωτερικό ή εξωτερικό χώρο, η φωτεινότητα, η γωνία θέασης, το μέγεθος των κινούμενων γραφικών καθώς και ο τύπος αυτών. Όλα τα παραπάνω επηρεάζουν το αποτέλεσμα του τελικού έργου.



Σχήμα 3.8: Χαρτογράφηση προβολής σε αντικείμενο τριών διαστάσεων (3D)

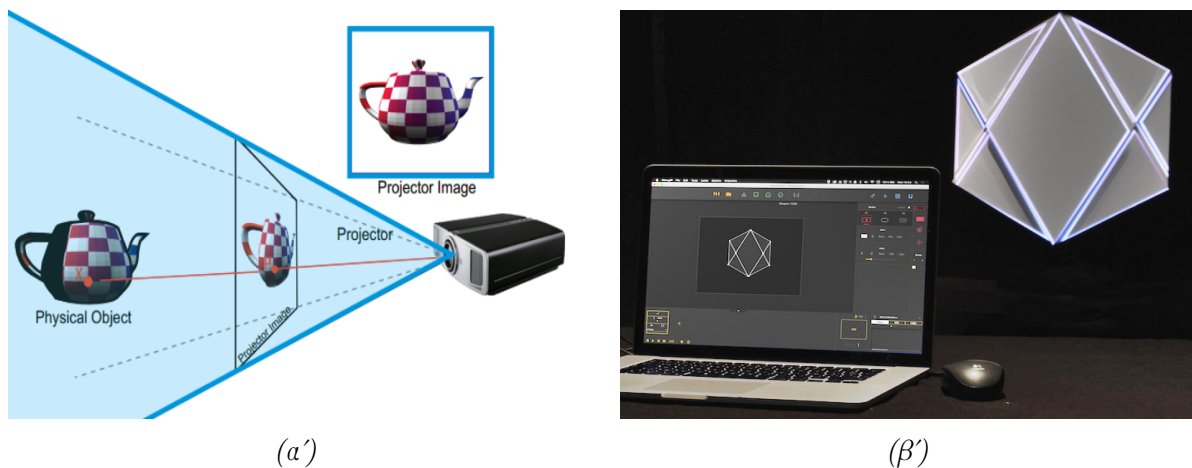
Η διαδικασία συνήθως ξεκινά από την εύρεση της επιφάνειας στην οποία θα γίνει η προβολή. Σε περίπτωση που η επιφάνεια δεν υφίσταται τότε απαιτείται η κατασκευή και σχεδιασμός της εξ' ολοκλήρου από την αρχή. Επομένως, η εύρεση και επιλογή του καμβά είναι ένα από τα βασικότερα κομμάτια της υλοποίησης (καμβάς θεωρείται το υλικό ή αντικείμενο επάνω στο οποίο θα πραγματοποιηθεί η προβολή). Εκτός από τις επιφάνειες που αναφέρθηκαν παραπάνω κάποιος μπορεί να επιλέξει να δημιουργήσει την σκηνή χρησιμοποιώντας υλικά όπως το χαρτί/χαρτόνι, σεντόνι, πλαστικά φύλλα, πόρτες, παράθυρα κ.α.

Έπειτα, με την χρήση ειδικευμένου λογισμικού χαρτογραφείται το αντικείμενο ή η επιφάνεια ώστε να προβληθεί σωστά το περιεχόμενο. Η επιλογή του περιεχόμενου αφορά το πιο διασκεδαστικό, παραγωγικό αλλά χρονοβόρο κομμάτι της υλοποίησης. Μπορεί να επιλεγθεί η δημιουργία περιεχομένου συνολικά από την αρχή σε τέτοια περίπτωση απαιτούνται προγράμματα δημιουργίας γραφικών 2D/3D. Σε άλλη περίπτωση εφικτή είναι η λήψη υλικού διαθέσιμου στο διαδίκτυο όπου θα μπορέσει να εξυπηρετήσει τον σκοπό και σενάριο της υλοποίησης. Έγτερα από τις παραπάνω ενέργειες και με την βοήθεια του λογισμικού όπου προηγουμένως έγινε η χαρτογράφηση, όλο το περιεχόμενο τοποθετείται απευθείας επάνω στις προκαθορισμένες επιφάνειες οι οποίες στις περισσότερες περιπτώσεις παραμένουν σταθερές καθ' όλη την διάρκεια της προβολής (Σχήμα 3.9).



Σχήμα 3.9: Τοποθέτηση περιεχομένου στις προκαθορισμένες επιφάνειες

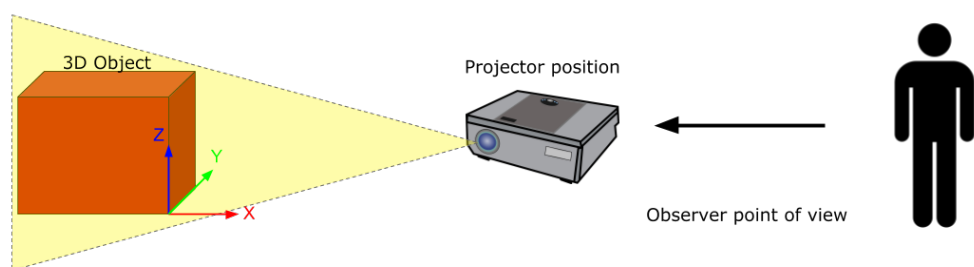
Εναλλακτικά, η μέθοδος η οποία ακολουθείται είναι η σάρωση και σχεδίαση ολόκληρης της σκηνής σε ένα εικονικό μοντέλο τριών διαστάσεων (3D). Η εικονική σκηνή στρεβλώνεται και παραμορφώνεται με τρόπο ώστε να εμφανίζεται ορθά κατανοημένο το περιεχόμενο που προβάλλεται στην πραγματική επιφάνεια. Η μέθοδος αυτή συχνά επιδιώκεται σε περιπτώσεις όπου η σκηνή είναι μεγάλης κλίμακας ή/και πολύπλοκων γεωμετρικών σχηματισμών. Έτσι, η δημιουργία ενός 3D εικονικού μοντέλου αντίστοιχο με την πραγματική σκηνή είναι ένα αναπόσπαστο κομμάτι για το βέλτιστο αποτέλεσμα. Η χαρτογράφηση ξεκινά δοκιμαστικά στο εικονικό περιβάλλον και αναζητείται η καλύτερη εκδοχή του σεναρίου. Έπειτα από την ολοκλήρωση των δοκιμών στην εικονική σκηνή επέρχεται η προσπάθεια προβολής της ψηφιακής υλοποίησης στο πραγματικό μοντέλο (Σχήμα 3.8). Στη συνέχεια ορίζεται η λεγόμενη μάσκα που βασικός της ρόλος είναι η χρήση πρότυπων αδιαφάνειας για την αποτύπωση λεπτομερών σχημάτων και των θέσεων των διάφορων στοιχείων της προβολής.



Σχήμα 3.10: (α') Αντιστοίχιση εικόνας (β') Σάρωση και σχεδίαση

Αν η χαρτογράφηση γίνεται σε τρεις διαστάσεις (3D), οι συντεταγμένες πρέπει να ορίζουν την τοποθέτηση του αντικειμένου σε σχέση με τον προβολέα αλλά και την θέση του θεατή. Ο προσανατολισμός XYZ, η θέση και οι προδιαγραφές του προβολέα θα πρέπει να αποτελέσουν τα βασικά συστατικά για τον καθορισμό μιας εικονικής σκηνής. Για το βέλτιστο αποτέλεσμα, συνήθως χρήζουν αλλαγές οι οποίες πραγματοποιούνται χειροκίνητα είτε στον πραγματικό κόσμο (σκηνή), είτε στον εικονικό. Για υλοποιήσεις μεγάλης κλίμακας όπως κτίρια, ουρανοξύστες, χρειάζονται μεγάλοι προβολείς με έξοδο 20.000 lumens ή περισσότερο. Διαφορετικά, χρησιμοποιούνται μικρότεροι προβολείς με μικρότερη απόδοση. Για

παράδειγμα στις περισσότερες περιπτώσεις ένας προβολέας των 2.200 lumens είναι ιδανικός για προβολές σε εσωτερικούς χώρους (μικρή κλίμακα).



Σχήμα 3.11: Τοποθέτηση προβολέα και θεατή σε σχέση με το αντικείμενο

3.5 Λογισμικά χαρτογράφησης προβολής

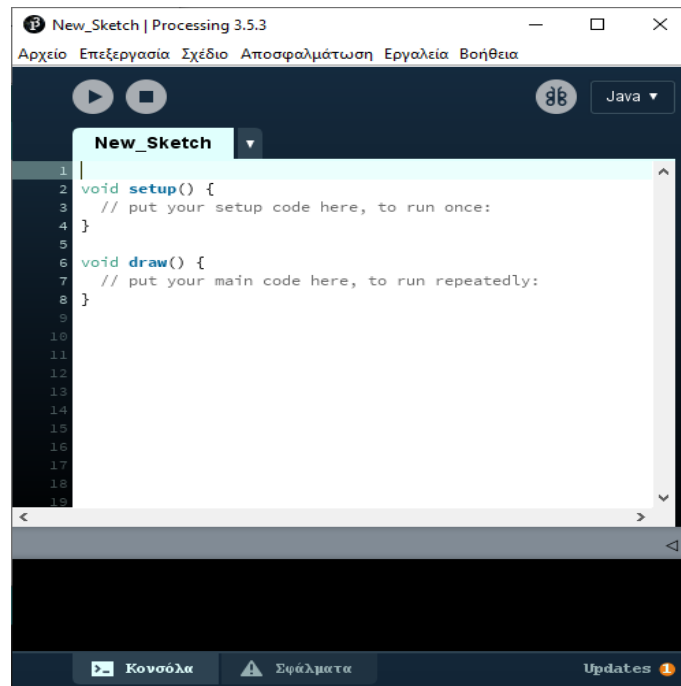
3.5.1 Processing

Το **Processing** (Σχήμα 3.12,[39]) είναι γλώσσα προγραμματισμού ανοικτού κώδικα και παράλληλα προγραμματιστικό περιβάλλον για άτομα που θέλουν να προγραμματίσουν εικόνες, animation και ήχο. Ξεκίνησε ως εκπαιδευτικό εργαλείο και σύντομα εξελίχθηκε σε επαγγελματικό προγραμματιστικό περιβάλλον. Δημιουργήθηκε την άνοιξη του 2001 όταν δύο απόφοιτοι του MIT Media Lab, Benjamin Fry και Casey Reas ξεκίνησαν την ανάπτυξη της γλώσσας Processing πάνω σε Java. Παρόλο που η γλώσσα αναπτύχθηκε στη Java, το συντακτικό της είναι απλουστευμένο και το προγραμματιστικό της μοντέλο βασίζεται στα γραφικά. Διαθέτει τη δυνατότητα ενσωμάτωσης κώδικα OpenGL για την επιτάχυνση της απόδοσης τρισδιάστατων γραφικών. Είναι συμβατή με τα λειτουργικά συστήματα GNU/Linux, Mac και Windows. Έχει εμπλουτιστεί με περισσότερες από 100 βιβλιοθήκες. Σήμερα, η Processing υποστηρίζεται από μια κοινότητα εθελοντών προγραμματιστών.

Το Processing δίνει την δυνατότητα χαρτογραφημένης προβολής μέσω της Keystone βιβλιοθήκης γραμμένης συγκεκριμένα για τον σκοπό αυτό. Η χρήση της βιβλιοθήκης και η λειτουργικότητα της είναι αρκετά ικανοποιητική για υλοποιήσεις όπως αυτής της εργασίας. Εύκολη στην χρήση με αρκετές δυνατότητες και παραμετροποιήσεις ώστε να είναι εφικτή μια αξιόλογη χαρτογράφηση προβολής.

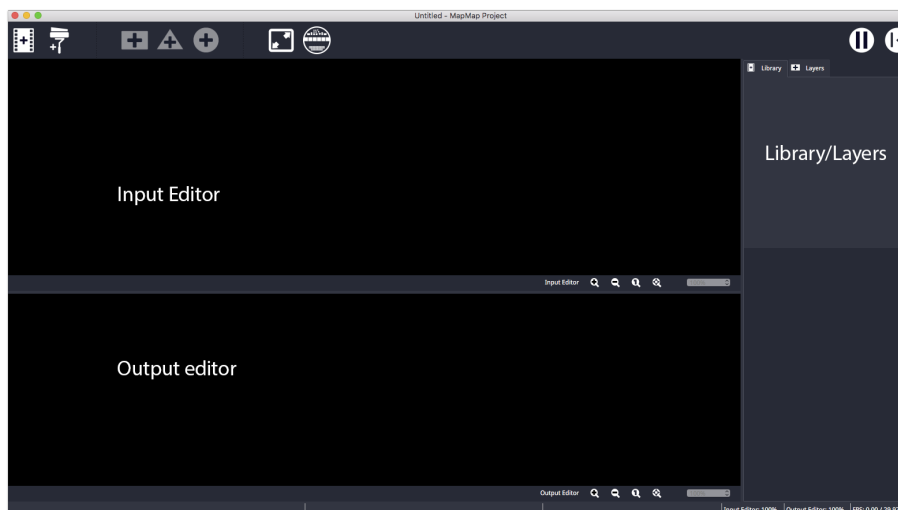
3.5.2 MapMap

Το **MapMap** (Σχήμα 3.13, [38]) είναι ένα δωρεάν λογισμικό ανοικτού κώδικα για χαρτογραφημένες προβολές που απευθύνεται κυρίως σε καλλιτέχνες και μικρές ομάδες. Το περιβάλλον εργασίας της διευκολύνει την εκμάθηση και προωθεί την καλλιτεχνική έκφραση. Είναι διαθέσιμο για Windows, Mac και Linux. Το MapMap δίνει στους χρήστες την δυνατότητα χαρτογράφησης οποιασδήποτε επιφάνειας. Δέχεται αρχεία πολυμέσων σε πολλά διαφορετικά μορφότυπα και δίνει στους χρήστες τη δυνατότητα να χειρίζονται τα διάφορα πολυμέσα σε



Σχήμα 3.12: Προγραμματιστικό περιβάλλον Processing

διαφορετικά σχήματα και θέσεις. Με ένα εύκολα κατανοητό περιβάλλον εργασίας, οι νέοι χρήστες μπορούν να εξοικειωθούν πολύ εύκολα.

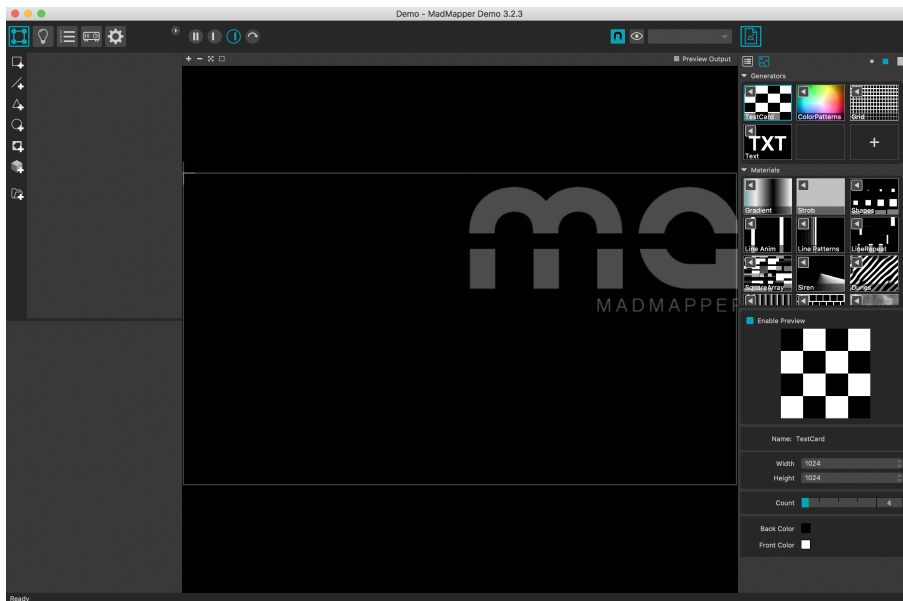


Σχήμα 3.13: Περιβάλλον εργασίας MapMap

3.5.3 MadMapper

Το **MadMapper** (Σχήμα 3.14, [40]) αποτελεί ένα προηγμένο εργαλείο για χαρτογράφηση φωτός και βίντεο με συνδρομή, είναι εύκολο και γρήγορο στη χρήση και είναι συμβατό με Mac αλλά και Windows. Δίνει την δυνατότητα δοκιμής για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Το MadMapper παρέχει την δυνατότητα χαρτογράφησης απεριόριστου αριθμού βίντεο σε οποιαδήποτε πραγματική επιφάνεια, με χρήση ενός ή πολλαπλών προβολέων. Επίσης, δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να έχει τον έλεγχο συστοιχιών LED αλλά και κινούμενα φώτα.



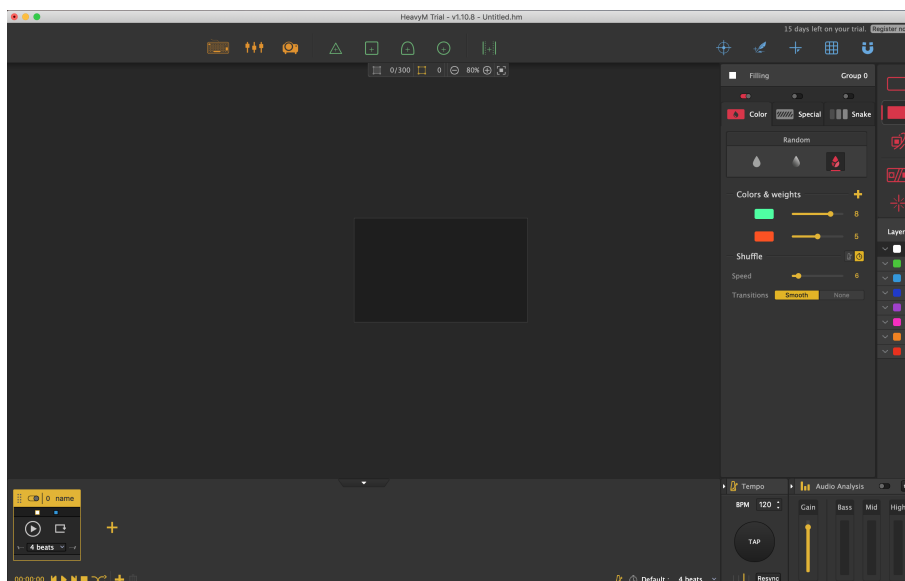
Σχήμα 3.14: Περιβάλλον εργασίας MadMapper

3.5.4 HeavyM

Το **HeavyM** (Σχήμα 3.15, [41]) φαίνεται να είναι το ευκολότερο λογισμικό χαρτογράφησης προβολής για τη δημιουργία εντυπωσιακών σκηνακών σχεδίων. Δίνει δυνατότητες εύκολης προσαρμογής των εικόνων του χρήστη και δίνει την επιλογή για δωρεάν δοκιμή τριάντα ημερών. Παρέχει έτοιμα σχήματα για προβολή εξοικονομώντας έτσι χρόνο, αλλά και την δυνατότητα δημιουργίας προσωπικών σχημάτων για προσαρμοσμένες εφαρμογές. Όταν γίνεται χαρτογράφηση προβολής σκοπός είναι να δημιουργηθούν γρήγορα εντυπωσιακά κινούμενα σχέδια που ταιριάζουν στο κοινό αλλά και την αίσθηση που θέλει ο κάθε χρήστης να δώσει στην υλοποίησή του. Το λογισμικό δίνει την ελευθερία εισαγωγής προσωπικού περιεχομένου βίντεο. Επίσης, διαθέτει την μεγαλύτερη βιβλιοθήκη με εφέ απεικόνισης σε σχέση με τα υπόλοιπα εργαλεία που μελετήθηκαν.

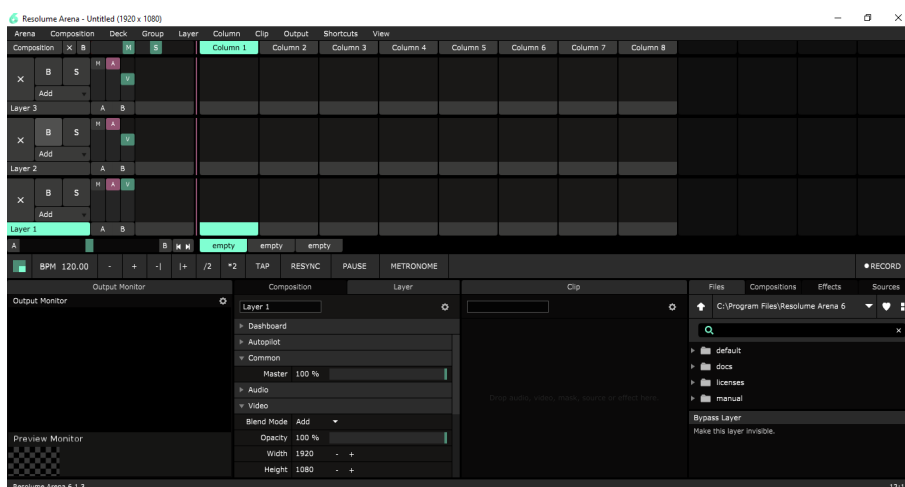
3.5.5 Resolume

Ακόμη ένα αξιόλογο λογισμικό χαρτογράφησης προβολής είναι το **Resolume** (Σχήμα 3.16, [42]) το οποίο μπορεί κάποιος να χρησιμοποιήσει με περιορισμένες δυνατότητες για απεριόριστο χρόνο, όμως οι υλοποιήσεις θα φέρουν το λογότυπο της εφαρμογής. Το λογισμικό αυτό προσφέρει στον χρήστη ένα απλό και εύκολο περιβάλλον εργασίας ώστε η δημιουργία επιτυχημένων προβολών να είναι εφικτή. Ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει πολλά βίντεο και εφέ έχοντας για όριο την επεξεργαστική δύναμη του υπολογιστή. Έχει δυνατότητα αναπαραγωγής σε οποιαδήποτε οθόνη εφόσον το εκάστοτε υπολογιστικό σύστημα μπορεί να



Σχήμα 3.15: Περιβάλλον εργασίας HeavyM

την αναγνωρίζει ως έξοδο. Στην χαρτογραφημένη προβολή το Resolume μπορεί να διαχειριστεί πολύπλοκες γεωμετρικές κατασκευές αλλά και ολόκληρα κτίρια εύκολα καθώς επίσης αυτοκίνητα, γιγαντιαίες οθόνες.



Σχήμα 3.16: Περιβάλλον εργασίας Resolume

3.5.6 Video Projection Tool

Το **Video Projection Tool (VPT 8)** (Σχήμα 3.17, [43]) είναι ένα δωρεάν λογισμικό χαρτογράφησης προβολής σε πραγματικό χρόνο για Mac και Windows. Μεταξύ άλλων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για χαρτογράφηση προβολής σε σύνθετα αντικείμενα, προσαρμογή μιας προβολής σε συγκεκριμένο χώρο ή επιφάνεια, συνδυασμός εγγεγραμμένων και ζωντανών βίντεο. Επίσης, για αναπαραγωγή πολλαπλών οθονών HD και διαδραστικές εγκαταστάσεις. Είναι αρκετά ευέλικτο όσον αφορά τον έλεγχο, με προεπιλογές και ενσωματωμένη λίστα,

καθώς και έλεγχο σχεδόν κάθε παραμέτρου χρησιμοποιώντας πρωτόκολλα όπως OSC, midi, σειριακή επικοινωνία. Υποστηρίζει επίσης, siphon (Mac) και sprout (Windows) για κοινή χρήση βίντεο μεταξύ εφαρμογών.

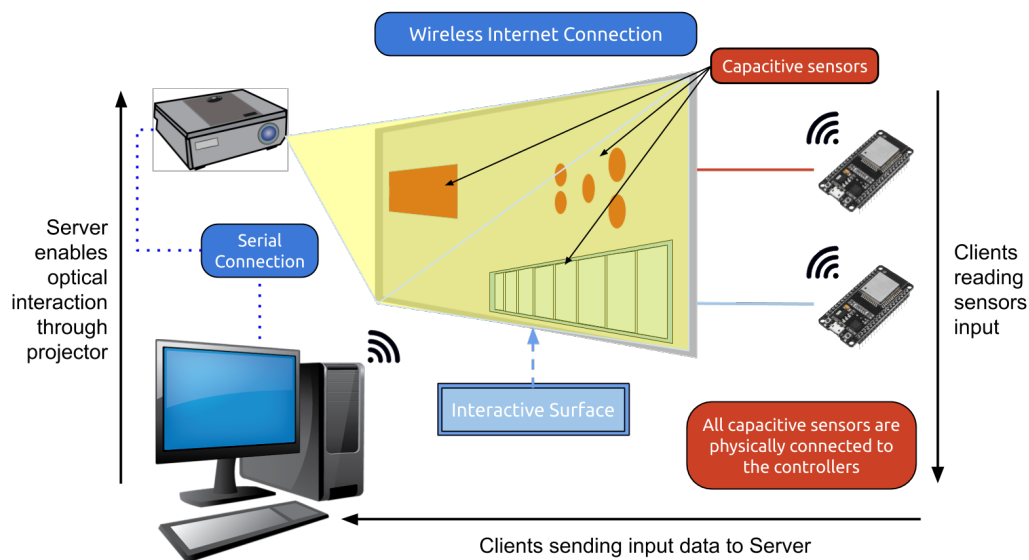


Σχήμα 3.17: Περιβάλλον εργασίας VPT

Κεφάλαιο 4

Αρχιτεκτονική της Υλοποίησης

Η παρούσα εργασία επικεντρώθηκε στη μελέτη, σχεδίαση και κατασκευή διαδραστικής επιφάνειας προσανατολισμένη κυρίως σε παιδικές ηλικίες. Για την διεκπεραίωση της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν αυτοσχέδιοι αισθητήρες χωρητικότητας όπου όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο δημιουργήθηκαν εξ' ολοκλήρου από αυτοκόλλητη ταινία αλουμινίου. Οι αισθητήρες χωρητικότητας σε συνδυασμό με την τεχνική του Projection Mapping αποτέλεσαν ένα πλήρως λειτουργικό σύστημα. Για την βάση της επιφάνειας χρησιμοποιήθηκε ένα κομμάτι παχύ καφέ χαρτόνι περίπου $70cm \times 150cm$, το οποίο αποτέλεσε λύση οικονομική και παράλληλα εύκολα διαχειρίσιμη.

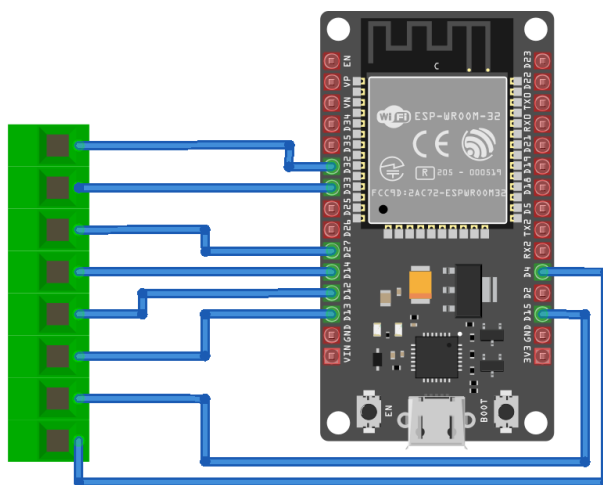


Σχήμα 4.1: Αρχιτεκτονική του συστήματος που υλοποιήθηκε

Επάνω στο χαρτόνι και στην εμπρόσθια πλευρά τοποθετήθηκαν κομμάτια από την αυτοκόλλητη ταινία αλουμινίου που πλέον αποτελούν τους αισθητήρες χωρητικότητας. Για να παραμείνει η εμπρόσθια πλευρά όσο το δυνατό λιτότερη δημιουργήθηκαν σχισμές διαμέτρου όσο και η αυτοκόλλητη ταινία αλουμινίου όπου έκαναν εφικτή την επικοινωνία της εμπρόσθιας πλευράς με την οπίσθια όπου εκεί συνδεόταν με τους μικροελεγκτές, με τον τρόπο αυτό η

εμπρόσθια όψη της επιφάνειας παρέμεινε τακτοποιημένη. Επιθυμητό επίσης για την τελική υλοποίηση ήταν η εύκολη μετακίνηση της, το χαρτόνι προσφέρει αυτή την δυνατότητα καθώς μπορεί να τυλιχθεί σε ρολό χωρίς αυτό να επηρεάσει τους αισθητήρες. Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται η αρχιτεκτονική του συστήματος και παρουσιάζονται όλα τα απαραίτητα διαγράμματα υλοποίησης του.

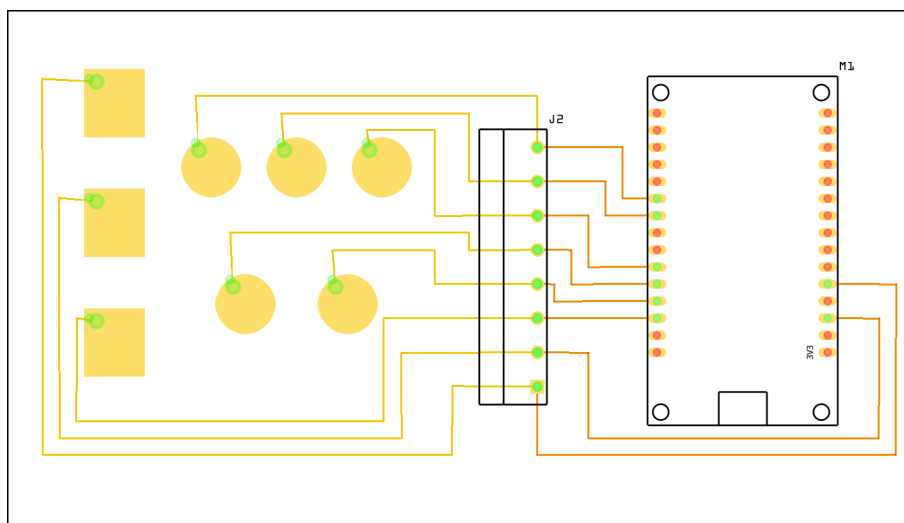
Για την ορθή ανάπτυξη της εργασίας ήταν απαραίτητο να χωριστεί σε τρία επιμέρους τμήματα μελέτης. Το πρώτο περιελάμβανε την δημιουργία και αξιολόγηση της λειτουργικότητας των αισθητήρων. Δοκιμαστικά δημιουργήθηκε μία προσομοίωση σε μικρότερη κλίμακα όπου ελέγχθηκε η απόδοση και το πως αποκρίνονται οι αισθητήρες σε κάθε πάτημα από τον χρήστη. Ακολούθησε η αναζήτηση και επιλογή του κατάλληλου μικροελεγκτή βάση των απαιτήσεων του συστήματος εκμεταλλευόμενοι το πλήθος των δυνατοτήτων του. Βασική απαίτηση στην παρούσα εργασία ήταν ο μικροελεγκτής που θα χρησιμοποιηθεί να έχει ενσωματωμένο σύστημα Wi-Fi κάτι το οποίο πληρεί ο μικροελεγκτής ESP32. Στο τρίτο μέρος έγινε αναζήτηση και εύρεση λογισμικού το οποίο θα αναλάμβανε τα γραφικά και το Projection Mapping. Το Processing αποτέλεσε ένα πρόγραμμα με αρκετά εμπλουτισμένες βιβλιοθήκες και δυνατότητες που βοήθησαν στην ολοκλήρωση της εργασίας. Ο συνδυασμός των παραπάνω και η άρτια επικοινωνία των επιμέρους συστημάτων καθόρισε εφικτή την ορθή λειτουργία της εφαρμογής.



Σχήμα 4.2: Συνδεσμολογία μικροελεγκτή με αισθητήρες

Σύμφωνα με την αρχιτεκτονική που υιοθετήθηκε, η επικοινωνία των μικροελεγκτών με το Processing βασίζεται σε συστήματα Server - Client με την βοήθεια ασύρματου δικτύου (Wi-Fi). Τον ρόλο του Server έχει αναλάβει το λογισμικό Processing και τον ρόλο των Clients οι μικροελεγκτές ESP32 που χρησιμοποιήθηκαν. Κάθε μικροελεγκτής είναι υπεύθυνος για τον εντοπισμό της αλλαγής στην χωρητικότητα, την λήψη της κατάστασης των αισθητήρων και στη συνέχεια την αποστολή των δεδομένων στο Processing. Το Processing μόλις λάβει τα δεδομένα είναι υπεύθυνο για την διαχείριση της κάθε διάδρασης, αναπαραγωγή ήχου και γραφικών. Η ανάγνωση των αισθητήρων πραγματοποιείται με ρυθμό δειγματοληψίας 112500kbps ώστε να γίνεται αντιληπτή κάθε αλλαγή κατάστασης σε πολύ μικρό χρονικό περιθώριο. Η αποστολή των δεδομένων πραγματοποιείται μόνο όταν η αλλαγή της χωρητικότητας πληρεί

τις προϋποθέσεις (μικρότερη από το προκαθορισμένο threshold).



Σχήμα 4.3: Συνδεσμολογία αισθητήρων

Ο προβολέας που χρησιμοποιήθηκε για να αναπαράγει το γραφικό περιεχόμενο επάνω στην διαδραστική επιφάνεια συνδέεται σειριακά με την υπολογιστική μονάδα (προσωπικό υπολογιστή). Αρκετές δοκιμές υλοποιήθηκαν για να βρεθεί η βέλτιστη θέση και προσανατολισμός του προβολέα. Τα προβαλλόμενα περιεχόμενα δοκιμάστηκαν σε πολλές διαφορετικές διατάξεις ώστε να βρεθεί η καλύτερη. Στη συνέχεια, χαρτογραφήθηκαν με την βοήθεια του Processing ώστε να γίνει αντιστοίχιση του κάθε αισθητήρα με το διαδραστικό περιεχόμενο. Οι δοκιμές ολοκληρώθηκαν και η θέση, το ύψος και ο προσανατολισμός του προβολέα σημειώθηκαν με απλή καφέ ταινία στο πάτωμα της αίθουσας με σκοπό την εύκολη επανατοποθέτηση του για μελλοντικές χρήσεις. Η αναπαραγωγή του ήχου επιτυγχάνεται μέσω των ηχείων της υπολογιστής μονάδας, το οποίο ήταν αρκετά βολικό.

Αρχικά, στην δοκιμαστική εφαρμογή η παροχή ρεύματος στους μικροελεγκτές γινόταν μέσω του υπολογιστή από τις θύρες USB. Αυτό όμως δεν ήταν εφικτό στην τελική υλοποίηση καθώς ο προσωπικός υπολογιστής ήταν τοποθετημένος τουλάχιστον δύο μέτρα μακριά από την επιφάνεια όποτε και από τους μικροελεγκτές. Για τον λόγο αυτό αποφασίστηκε η παροχή ενέργειας να γίνεται με την βοήθεια αποθηκών ενέργειας powerbank, οι οποίες τοποθετήθηκαν στο πίσω μέρος της κατασκευής μαζί με την καλωδίωση και τους μικροελεγκτές.

Κεφάλαιο 5

Εξοπλισμός και Λογισμικά

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικότερα ο σχεδιασμός, η διάταξη και η δημιουργία της επιφάνειας συνδυάζοντας όλα τα απαραίτητα υλικά. Επίσης, αναλύεται η επικοινωνία μεταξύ των μικροελεγκτών (clients) και του Processing (server) καθώς τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για την διεκπεραίωση της.

5.1 Αισθητήρες, Διάδραση, Projection Mapping

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο το υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία των αισθητήρων χωρητικότητας ήταν η αυτοκόλλητη ταινία αλουμινίου. Αρχικό αλλά σημαντικό βήμα ήταν η κατασκευή μιας δοκιμαστικής επιφάνειας σε μικρότερη κλίμακα. Στόχος της δοκιμαστικής επιφάνειας ήταν να αποτελέσει μια ολοκληρωμένη προσομοίωση της τελικής υλοποίησης. Δοκιμές και τεστ υλοποιήθηκαν στην επιφάνεια για να εκτιμηθεί η λειτουργικότητα και η απόδοση των αισθητήρων. Το κύκλωμα της δοκιμαστικής επιφάνειας αποτελούνταν αρχικά από πέντε αισθητήρες οι οποίοι συνδεόταν με τον μικροελεγκτή και η λειτουργία και αποκρισμότητα τους αναδείχθηκε επαρκώς. Στη συνέχεια αποφασίστηκε να προστεθούν ακόμα τρεις αισθητήρες, οκτώ στο σύνολο, εκμεταλλευόμενοι όλα τα διαθέσιμα pin αφής κάθε μικροελεγκτή, ο συνολικός αριθμός αισθητήρων ανέρχεται στους δέκα έξι.

Σε πρώτο στάδιο διαπιστώθηκε πως υπήρχε μια μικρή καθυστέρηση στα σήματα τα οποία διαβαζόταν από τον μικροελεγκτή η οποία οφειλόταν στην ταχύτητα δειγματοληψίας του. Όταν τα πατήματα από τον χρήστη ήταν πάρα πολλά και στιγμιαία ο μικροελεγκτής καθυστέρουσε στην μετάδοση τους και έτσι δεν υπήρχε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Το πρόβλημα αυτό επιλύθηκε με την αύξηση στην ταχύτητα της δειγματοληψίας, έτσι υπήρχε περισσότερη ακρίβεια σε κάθε πάτημα του χρήστη. Έχοντας υλοποιήσει σχολαστικά τις παραπάνω δοκιμές τα αποτελέσματα των οποίων ήταν τα βέλτιστα επήλθε το συμπέρασμα πως η προσομοίωση ήταν αρκετά ικανοποιητική.

Η επικοινωνία του μικροελεγκτή με το Processing που έχει την ιδιότητα του server ήταν το επόμενο σημαντικό κομμάτι. Το Processing έπρεπε να συνδεθεί στο δίκτυο και να επιτρέψει στον μικροελεγκτή να επικοινωνήσει μαζί του, για τον λόγο αυτό έπρεπε να υλοποιηθούν

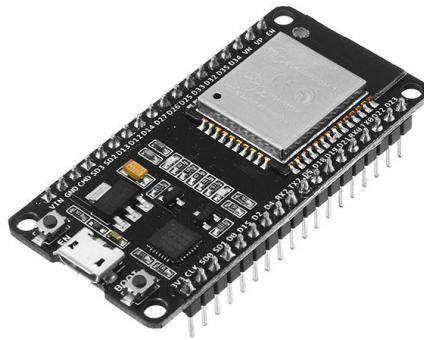
νέοι κανόνες στο τείχος προστασίας για την συγκεκριμένη πόρτα που απαιτείται για την διασύνδεση. Ο μικροελεγκτής στέλνει τα απαραίτητα σήματα από τους αισθητήρες έτσι ώστε να επιτευχθούν οι διαδράσεις. Κάθε αισθητήρας είναι υπεύθυνος για την ενεργοποίηση τουλάχιστον μιας διάδρασης, έτσι όταν κάποιο σήμα από τον μικροελεγκτή (client) φτάσει στον server τότε εκείνος πρέπει στιγμιαία το διαχειριστεί. Στο συγκεκριμένο κομμάτι δεν παρουσιάστηκαν ιδιαίτερα προβλήματα, η επικοινωνία μεταξύ client-server δεν εμφάνισε κάποιο σφάλμα.

Οι διαδράσεις απαρτίζονται από ακουστικό και οπτικό περιεχόμενο το οποίο διαχειρίζεται εξ' ολοκλήρου το Processing και με την βοήθεια του προβολέα επιτεύχθηκε η προβολή στις οριοθετημένες περιοχές. Κάθε ήχος, εικόνα και βίντεο έχει εισαχθεί στο πρόγραμμα του Processing και είναι έτοιμο να ενεργοποιηθεί με το άγγιγμα των αισθητήρων. Το πρόβλημα το οποίο αντιμετωπίστηκε στην προκειμένη περίπτωση αφορά τον όγκο και το σύνολο των αρχείων που θα έπρεπε κάθε φορά να διαχειριστεί το Processing. Τα απαραίτητα αρχεία γραφικών και ήχου φορτώνονται μία φορά στην αρχή του προγράμματος (setup) και το πρόγραμμα ανατρέχει σε αυτά κάθε φορά που λαμβάνει σήμα ενεργοποίησης από κάποιον αισθητήρα. Αντιληπτή έγινε η καθυστέρηση αναπαραγωγής των βίντεο η οποία σχετίζεται με τον τρόπο που λειτουργεί το Processing.

Τα σενάρια τα οποία επιλέχθηκαν ήταν τρία, το πρώτο αποτελούνταν από διάφορα μουσικά όργανα τα οποία έκαναν τους αντίστοιχους ήχους και άλλαζαν χρώμα σε κάθε άγγιγμα. Το δεύτερο ήταν το αγγλικό αλφάβητο όπου σε κάθε πάτημα ενός γράμματος εμφανιζόταν μία λέξη με αρχικό γράμμα εκείνο που πατήθηκε και μια σχετική εικόνα. Το τρίτο σενάριο αφορά την αναπαραγωγή βίντεο επάνω σε ένα αντικείμενο τριών διαστάσεων. Κάθε σενάριο έχει τον δικό του αισθητήρα ενεργοποίησης και κάθε φορά μπορεί να είναι ενεργό μόνο ένα. Το περιεχόμενο κάθε σεναρίου αποτελείται από έτοιμες εικόνες και βίντεο που βρέθηκαν στο διαδίκτυο και με την κατάλληλη επεξεργασία και χρήση μασκών χρησιμοποιήθηκαν για την χαρτογραφημένη προβολή.

5.2 Ο μικροελεγκτής ESP32

Στην τελική υλοποίηση χρησιμοποιήθηκαν δύο μικροελεγκτές **ESP32** (Σχήμα 5.1) οι οποίοι ήταν υπεύθυνοι για την ορθή λειτουργία και έλεγχο της κατάστασης των αισθητήρων χωρητικότητας. Οι συγκεκριμένοι ελεγκτές αποτελούν μια σειρά συστημάτων μικροελεγκτών χαμηλού κόστους και χαμηλής κατανάλωσης. Έχουν ενσωματωμένο WiFi, Bluetooth διπλής λειτουργίας και για πρώτη φορά κυκλοφόρησαν τον Σεπτέμβριο του 2016. Αποτελούν μια βελτιωμένη έκδοση του ESP8266 το οποίο χρησιμοποιείται παγκοσμίως για ανάπτυξη εφαρμογών βασιζόμενες στο Internet of Things. Η σειρά ESP32 χρησιμοποιεί τον μικροεπεξεργαστή Tensilica Xtensa LX6 τόσο σε παραλλαγές διπλού πυρήνα όσο και σε μονό πυρήνα. Περιλαμβάνει ενσωματωμένους διακόπτες κεραίας, ενισχυτή ισχύος χαμηλού θορύβου, φίλτρα, μονάδες διαχείρισης ενέργειας και σημαντικότερα διαθέτει ενσωματωμένα pin αφής τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία. Μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά του ESP32 αναφέρονται αναλυτικότερα παρακάτω:



Σχήμα 5.1: Μικροελεγκτής ESP32

- **Processors:**

- **Main processor:** Tensilica Xtensa 32-bit LX6 microprocessor
 - * **Cores:** 2 or 1 (depending on variation)
 - * **Clock frequency:** up to 240 MHz
 - * **Performance:** up to 600 DMIPS
- **Ultra low power co-processor:** allows you to do ADC conversions, computation, and level thresholds while in deep sleep.

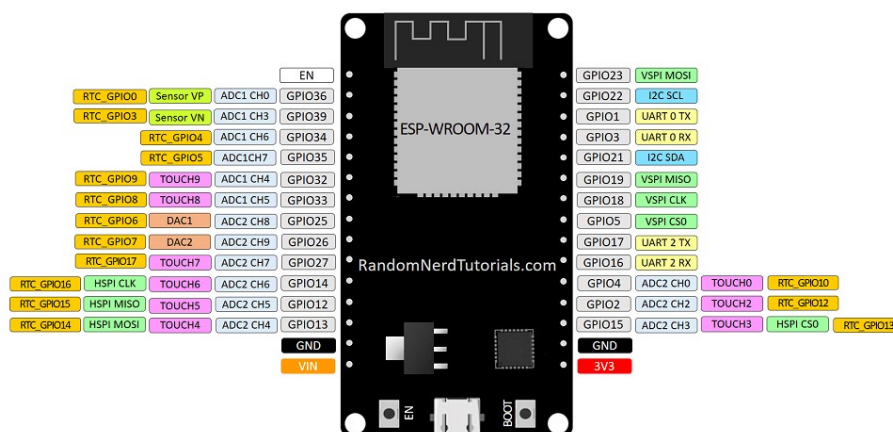
- **Wireless connectivity:**

- **Wi-Fi:** 802.11 b/g/n (802.11 @ 2.4 GHz up to 150 Mbit/s)
- **Bluetooth:** v4.2 BR/EDR and Bluetooth Low Energy (BLE)

- **Memory:**

- **Internal memory:**
 - * **ROM:** 448 KiB
 - * **SRAM:** 520 KiB
 - * **RTC fast SRAM:** 8 KiB
 - * **RTC slow SRAM:** 8 KiB
 - * **eFuse:** 1 Kibit
 - * **Embedded Flash:**
 - 0 MiB (ESP32-D0WDQ6, ESP32-D0WD, and ESP32-S0WD chips)
 - 2 MiB (ESP32-D2WD chip)
 - 4 MiB (ESP32-PICO-D4 SiP module)
- **External flash & SRAM:** ESP32 supports up to four 16 MiB external QSPI flashes and SRAMs with hardware encryption based on AES to protect developers' programs and data. ESP32 can access the external QSPI flash and SRAM through high-speed caches.

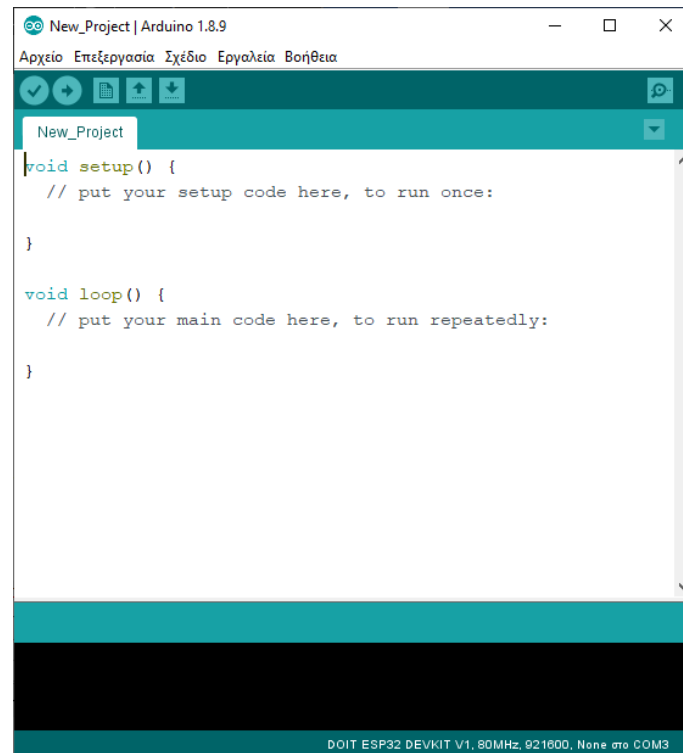
- * Up to 16 MiB of external flash are memory-mapped onto the CPU code space, supporting 8-bit, 16-bit and 32-bit access. Code execution is supported.
 - * Up to 8 MiB of external flash/SRAM memory are mapped onto the CPU data space, supporting 8-bit, 16-bit and 32-bit access. Data-read is supported on the flash and SRAM. Data-write is supported on the SRAM.
- **Peripheral input/output:** Rich peripheral interface with DMA that includes **cap active touch**, ADCs (analog-to-digital converter), DACs (digital-to-analog converter), I²C (Inter-Integrated Circuit), UART (universal asynchronous receiver/transmitter), CAN 2.0 (Controller Area Network), SPI (Serial Peripheral Interface), I²S (Integrated Inter-IC Sound), RMI (Reduced Media-Independent Interface), PWM (pulse width modulation), and more [30].



Σχήμα 5.2: ESP32 DEVKIT V1 - DOIT version with 30 GPIOs [31]

5.3 Arduino IDE

Το Arduino IDE (Integrated Development Environment, Σχήμα 5.3) είναι μία εφαρμογή (για Windows, MacOS, Linux) που περιέχει ένα πρόγραμμα επεξεργασίας κειμένου για εγγραφή κώδικα, μία περιοχή μηνυμάτων, μία κονσόλα κειμένου, μία γραμμή εργαλείων με κουμπιά για κοινές λειτουργίες και μία σειρά από μενού. Συνδέεται με το υλικό Arduino και Genuino για να φορτώνει προγράμματα και να επικοινωνεί μαζί τους. Υποστηρίζει τις γλώσσες C και C++ χρησιμοποιώντας ειδικούς κανόνες για την δομή του κώδικα. Στην παρούσα εργασία το Arduino IDE χρησιμοποιήθηκε ως η προγραμματιστική πλατφόρμα για τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή ESP32 το οποίο παίζει τον ρόλο του πελάτη στην εφαρμογή. Από εκεί γινόταν κάθε έλεγχος αλλαγής της χωρητικότητας των αισθητήρων, εάν τα κριτήρια πληρούσαν τις προϋποθέσεις τότε ο μικροελεγκτής έστελνε τα απαραίτητα δεδομένα στο server (Processing) μέσω του δικτύου.



Σχήμα 5.3: Προγραμματιστικό περιβάλλον Arduino IDE

5.3.1 Βιβλιοθήκη Wi-Fi

Σημαντικό πλεονέκτημα του μικροελεγκτή είναι το ενσωματωμένο σύστημα Wi-Fi, έτσι η σύνδεση του στο δίκτυο και η επικοινωνία με άλλες συσκευές καθίσταται εύκολη. Ρυθμίζοντας τις κατάλληλες παραμέτρους ο μικροελεγκτής μπορεί να συνδεθεί στο δίκτυο ώστε να ανταλλάσσει δεδομένα με κάποιον server ή άλλες συσκευές.

```
const char* ssid = "yourNetworkName";
const char* password = "yourNetworkPassword";
```

Αφού η σύνδεση του μικροελεγκτή στο δίκτυο ολοκληρωθεί, στη συνέχεια ορίζεται η επικοινωνία με τον server. Παρέχονται τα απαραίτητα στοιχεία για την ολοκλήρωση αυτού του βήματος είναι τα οποία είναι:

- IP διεύθυνση
- port επικοινωνίας του server

και ορίζονται όπως παρακάτω.

```
const uint16_t port = 5204;
IPAddress host(192, 0, xxx, xxx);
```

Έπειτα ο μικροελεγκτής στον ρόλο του client καλεί την παρακάτω συνάρτηση για την σύνδεση του με τον server δίνοντας τα απαραίτητα στοιχεία αυθεντικοποίησης που ορίστηκαν προηγουμένως.

```
client_connect = (client.connect(host, port));
```

5.3.2 Βιβλιοθήκη Median Filter

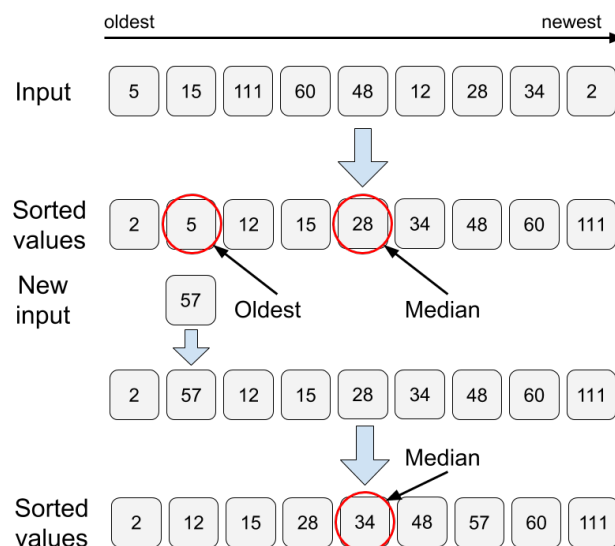
Το Median Filter είναι μια μη γραμμική τεχνική ψηφιακού φιλτραρίσματος, που χρησιμοποιείται συχνά για την απομάκρυνση θορύβου από μία εικόνα ή ένα σήμα. Μια τέτοια μείωση θορύβου είναι ένα τυπικό στάδιο προ επεξεργασίας για τη βελτίωση των αποτελεσμάτων της μεταγενέστερης επεξεργασίας. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται για την μείωση θορύβου του κάθε σήματος που στέλνεται στον server.

Αρχικά δημιουργείται το αντικείμενο το οποίο πρέπει να φιλτραριστεί.

```
MedianFilter filterObject(size, seed);
```

Για να υπάρξει αποτέλεσμα από το φίλτρο μεσαίας τιμής είναι απαραίτητες κάποιες εισόδους. Τιμές εισόδων λαμβάνονται συνεχόμενα από τους αισθητήρες χωρητικότητας (touch sensors). Το φιλτράρισμα των τιμών εισόδων γίνεται από τις συναρτήσεις `in(newValue)` και `out()`.

```
filterResult = filterObject.in(newValue);
filterResult = filterObject.out();
```



Σχήμα 5.4: Median Filter

5.4 Processing

Όπως αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο το Processing είναι μια γλώσσα και παράλληλα προγραμματιστικό εργαλείο για προγραμματισμό γραφικών όπως εικόνες, animation αλλά και ήχο. Παρακάτω περιγράφονται οι κύριες βιβλιοθήκες που χρησιμοποιήθηκαν για τον άρτιο προγραμματισμό της εφαρμογής.

5.4.1 Βιβλιοθήκη Keystone

Η Keystone βιβλιοθήκη γραμμένη από τον David Bouchard, είναι μια βιβλιοθήκη χαρτογράφησης προβολής. Επιτρέπει την προβολή των Processing προγραμμάτων σε οποιαδήποτε επίπεδη επιφάνεια ανεξάρτητα από τη θέση και τον προσανατολισμό του προβολέα. Για να υπάρχει ορθό αποτέλεσμα πρέπει πρώτα να ρυθμιστούν το μέγεθος του σκίτσου στην έξοδο του προβολέα, πλάτος και ύψος και να οριστεί πλήρη οθόνη.

```
fullscreen(800, 600, P3D);
```

Στη συνέχεια, η επόμενη παράμετρος δημιουργεί την επιφάνεια της γωνιακής ακίδας.

```
surface = ks.createCornerPinSurface(400, 300, 20);
```

Η πρώτη παράμετρος είναι το πλάτος, η δεύτερη το ύψος και η τρίτη η ανάλυση της επιφάνειας. Οι παρακάτω τιμές θα πρέπει να αντιστοιχούν με την επόμενη παράμετρο που πρέπει προσαρμοστεί.

```
offscreen = createGraphics(400, 300, P3D);
```

Αυτό είναι το μέγεθος των γραφικών το οποίο θα δημιουργηθεί με το Processing. Δεν δημιουργείται τίποτα απευθείας στο αρχικό παράθυρο. Έτσι η βιβλιοθήκη χρησιμοποιεί μία διαφορετική γραφική έξοδο και στρεβλώνει αυτή στην επιφάνεια της γωνίας. Αυτό σημαίνει ότι κάθε γραφική έξοδος που πρέπει να παραμορφωθεί πρέπει να καλείται ως παιδί του offscreen PGraphics αντικείμενου. Παρακάτω παρατίθεται ένα παράδειγμα για την καλύτερη κατανόηση της βιβλιοθήκης.

```
PVector surfaceMouse = surface.getTransformedMouse();  
offscreen.beginDraw();  
offscreen.background(255);  
offscreen.fill(0, 255, 0);  
offscreen.ellipse(surfaceMouse.x, surfaceMouse.y, 75, 75);  
offscreen.endDraw();
```

Οτιδήποτε χρειάζεται μέσα στο offscreen αντικείμενο που δημιουργείται με την βοήθεια του PGraphics πρέπει να είναι μεταξύ των γραμμών **offscreen.beginDraw();** και **offscreen.endDraw();**. Έπειτα, πρέπει να σταλεί το PGraphics αντικείμενο μας στην επι-

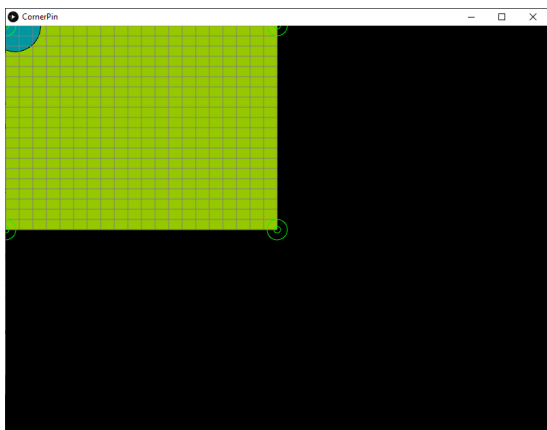
φάνεια (surface) της Keystone, όπως φαίνεται παρακάτω.

```
surface.render(offscreen);
```

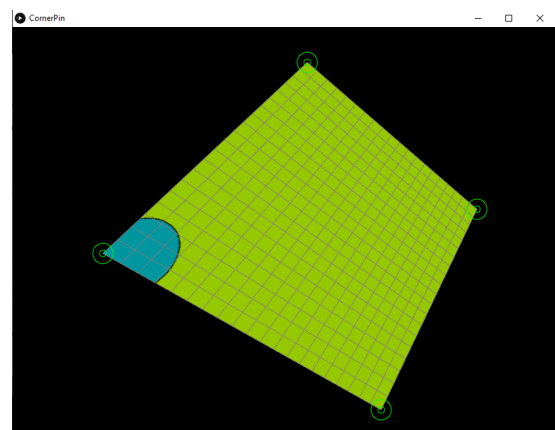
Αφού τα παραπάνω έχουν υλοποιηθεί με επιτυχία, η επιφάνεια μπορεί να στρεβλωθεί ώστε να ταιριάζει απόλυτα με τα αντικείμενα της σκηνής του φυσικού κόσμου. Η βιβλιοθήκη δίνει την δυνατότητα επεξεργασίας χρησιμοποιώντας τρία πλήκτρα ελέγχου. Πατώντας το πλήκτρο 'c' στο πληκτρολόγιο της υπολογιστικής μονάδας δίνεται η δυνατότητα να επεξεργαστούν οι γωνίες τις επιφάνειας. Το πλήκτρο 's' αποθηκεύει την τρέχουσα θέση για να μπορεί αυτή να ανακληθεί. Με το πλήκτρο 'l' γίνεται η ανάκληση της θέσης που αποθηκεύτηκε.

- Πλήκτρο 'c' → Επεξεργασία θέσης
- Πλήκτρο 's' → Αποθήκευση θέσης
- Πλήκτρο 'l' → Ανάκληση θέσης

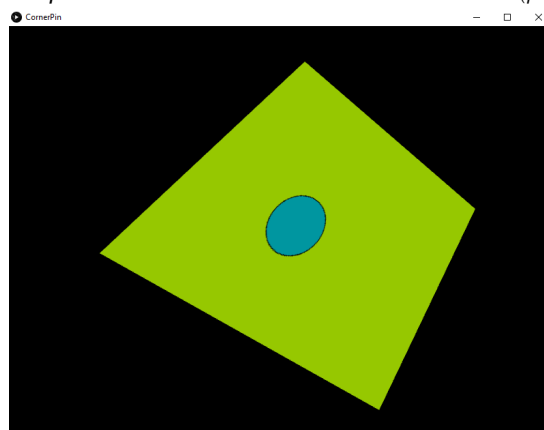
Παρακάτω παρατίθεται ένα παράδειγμα το οποίο απεικονίζει τον τρόπο που λειτουργεί η βιβλιοθήκη μετατοπίζοντας τις γωνίες του υποκαμβά.



(α) Αρχική θέση



(β) Μετατόπιση

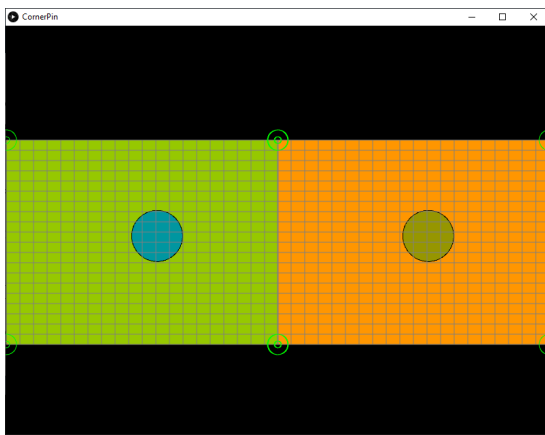


(γ) Τελική απεικόνιση

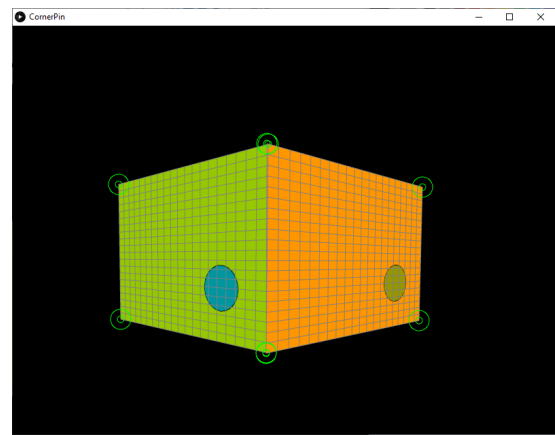
Σχήμα 5.5: Παράδειγμα βιβλιοθήκης Keystone

Συνήθως περισσότερες από μία επιφάνειες χρειάζεται να χαρτογραφηθούν στις περίπτωση αυτή περισσότερες επιφάνειες μπορούν να προστεθούν με τον παρακάτω τρόπο:

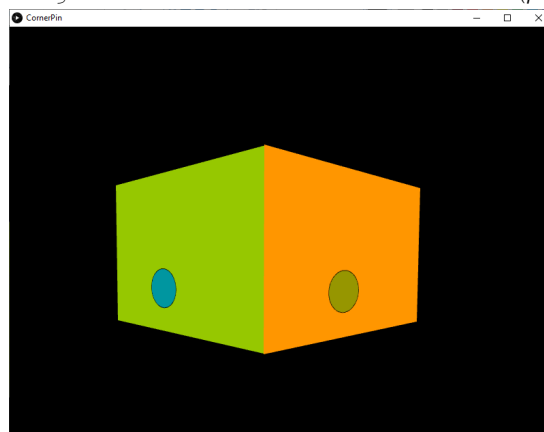
1. δημιουργία ενός PGraphics αντικειμένου
2. και ενός CornerPinSurface αντικείμενο για κάθε επιφάνεια
3. ορίζονται οι αρχικές τιμές τους
4. ζωγραφίζονται κάθε ένα από αυτά
5. και τέλος προβάλλονται με στην εντολή `surface.render(PGraphics);`



(α') Αρχικές θέσεις



(β') Μετατόπιση



(γ') Τελική απεικόνιση

Σχήμα 5.6: Παράδειγμα βιβλιοθήκης *Keystone* με πολλαπλούς υποκαμβάδες

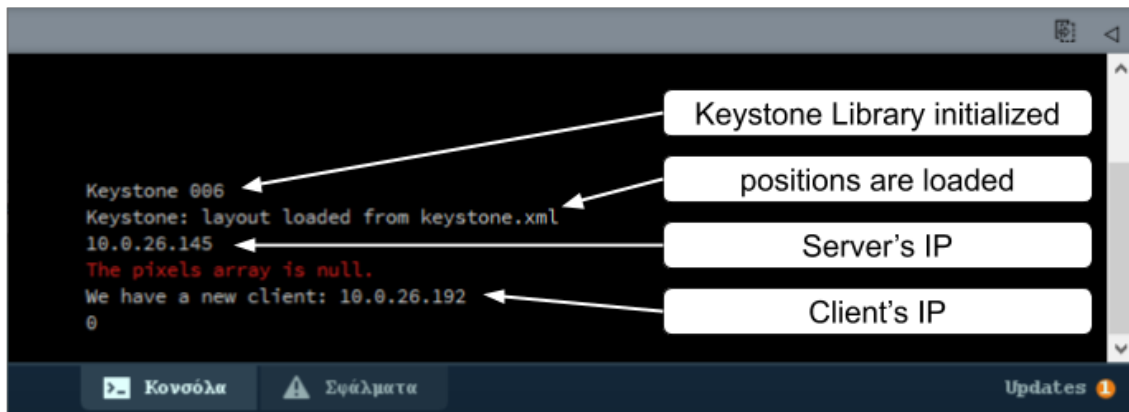
5.4.2 Βιβλιοθήκη Δικτύου

Η βιβλιοθήκη καθιστά εφικτή την επικοινωνία μεταξύ συσκευών στο Ίντερνετ, έτσι οι συσκευές θα μπορούν να λαμβάνουν και να στέλνουν δεδομένα. Επιτρέπει την δημιουργία clients και servers. Ένας server μπορεί να συνδέεται με μία λίστα πελατών για την ανάγνωση και τη σύνταξη δεδομένων. Αντίστοιχα, ένας client είναι σε θέση να γράφει και να διαβάζει

δεδομένα σε έναν server. Για να υπάρξει επικοινωνία θα πρέπει αρχικά να δημιουργηθεί ένας server όπου θα συνδέονται οι clients.

```
myServer = new Server(this, 5204);
```

Σε αυτή την εργασία τον ρόλο των clients τον έχουν οι μικροελεγκτές ESP32 που χρησιμοποιήθηκαν. Αφού πλέον ένας server έχει δημιουργηθεί και είναι έτοιμος για επικοινωνία οι μικροελεγκτές μπορούν να στείλουν τα απαραίτητα δεδομένα για την ορθή λειτουργία των ελέγχων και λειτουργιών της επιφάνειας.



Σχήμα 5.7: Κουσόλα Processing

5.4.3 Βιβλιοθήκες βίντεο και ήχου

Το Processing παρέχει την βιβλιοθήκη Video με δυνατότητες αναπαραγωγής αρχείων βίντεο και καταγραφής βίντεο από κάμερα. Η καταγραφή βίντεο μπορεί να γίνει από κάμερες USB, κάμερες IEEE 1394 (Firewire), ή κάρτες βίντεο με σύνθετες συσκευές εισόδου. Η συγκεκριμένη εργασία ασχολείται με υπάρχοντα αρχεία βίντεο και την προβολή αυτών. Τα βίντεο μπορούν να φορτωθούν από αρχεία που βρίσκονται τοπικά στον υπολογιστή ή οπουδήποτε στο Διαδίκτυο.

Για τον ήχο χρησιμοποιήθηκε η Minim βιβλιοθήκη, όπου χρησιμοποιεί το JavaSound API, ένα κομμάτι του Tritonus και το MP3SPI της Javazoom για να παρέχει μία εύχρηστη βιβλιοθήκη ήχου, την οποία δημιούργησε ο Damien Quartz. Η φιλοσοφία είναι να κάνει την ενσωμάτωση του ήχου στα σκίτσα του Processing όσο το δυνατόν απλούστερη, παρέχοντας ταυτόχρονα μία λογική ευελιξία για πιο προηγμένους χρήστες.

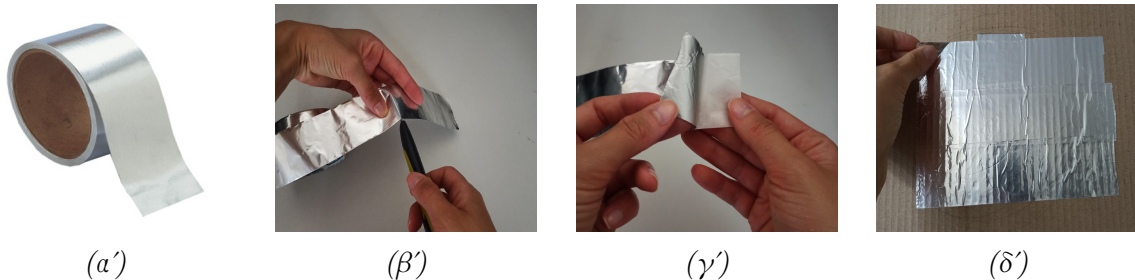
Κεφάλαιο 6

Λεπτομερής ανάλυση εφαρμογής

Στο παρόν κεφάλαιο, αναλύεται εκτεταμένα ο τρόπος κατασκευής των αισθητήρων και της διαδραστικής επιφάνειας, τα σενάρια που υλοποιήθηκαν και οι διαθέσιμες διαδράσεις που μπορεί να χρησιμοποιήσει ο χρήστης. Έπειτα περιγράφεται ο προγραμματισμός των μικροελεγκτών για τον έλεγχο των αισθητήρων και η ομαδοποίηση των εισόδων. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί το Processing, οι δυνατότητες τις οποίες προσφέρει καθώς και ο προγραμματισμός του για τον έλεγχο των γραφικών και ακουστικών διαδράσεων. Τέλος, αναλύεται η επικοινωνία μεταξύ των μικροελεγκτών και του Processing.

6.1 Σχεδιασμός και Κατασκευή της επιφάνειας

Η κατασκευή της επιφάνειας ήταν το πιο διασκεδαστικό κομμάτι της υλοποίησης καθώς αποτέλεσε μια μεγάλη δημιουργική χειροτεχνία. Αρχικά, έπρεπε να δημιουργηθούν οι αισθητήρες χωρητικότητας, αυτό απαιτούσε τον σχεδιασμό του κάθε αισθητήρα ξεχωριστά βασιζόμενοι στα σενάρια που θα υλοποιηθούν. Γνωρίζοντας τα σενάρια που απαρτίζουν την εφαρμογή επικτό ήταν να βρεθούν πόσες και ποιες είναι οι διαδράσεις που αντιστοιχούν στον κάθε αισθητήρα. Έχοντας τις παραπάνω απαραίτητες πληροφορίες επόμενο βήμα ήταν να οριστεί το μέγεθος, το σχήμα και η θέση επάνω στην επιφάνεια ώστε να καλύψει την απαραίτητη περιοχή.



Σχήμα 6.1: (α') Αυτοκόλλητη ταινία αλουμινίου (β') Κοπή ταινίας (γ') Προετοιμασία τοποθέτησης (δ') Τοποθέτηση στην επιφάνεια

Αναλυτικότερα, οι αισθητήρες επάνω στην επιφάνεια είναι δεκαέξι και είναι ομαδοποιημένοι σύμφωνα με τα σενάρια για την εξοικονόμηση εισόδων. Τα σενάρια είναι τρία και το καθένα έχει έναν μοναδικό αισθητήρα ενεργοποίησης.

- Σενάριο 1: Μουσικός τοίχος
- Σενάριο 2: Αγγλικό αλφάβητο
- Σενάριο 3: Χαρτογραφημένη προβολή

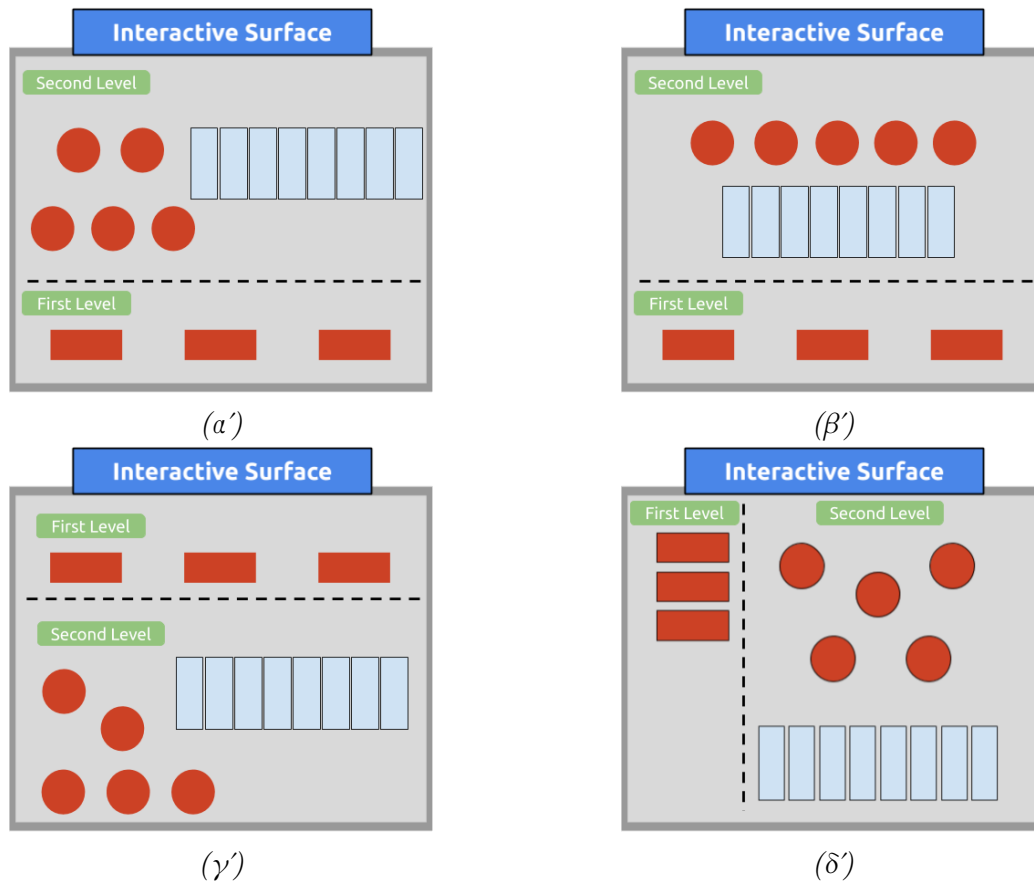
Για παράδειγμα, όταν το σενάριο ένα ενεργοποιηθεί δίνεται η δυνατότητα για δεκατρείς διαφορετικές διαδράσεις (δεκατρείς αισθητήρες είναι ο μέγιστος αριθμός διαδράσεων σε κάθε σενάριο). Οι ίδιοι αισθητήρες είναι διαθέσιμοι στα σενάρια δύο και τρία, έτσι οι συνολικές διαδράσεις που μπορούν να επιτευχθούν ανέρχονται στις τριάντα εννιά, παρόλα αυτά δεν υλοποιήθηκαν τόσες.

6.1.1 Εύρεση διάταξης και θέσης προβολέα

Στη συνέχεια, έπρεπε να βρεθεί η βέλτιστη διάταξη και τοποθέτηση των αισθητήρων για να εξυπηρετούνται όλα τα σενάρια σύμφωνα με την θέση του προβολέα, έτσι έπρεπε να δοκιμαστούν πολλές και διαφορετικές διατάξεις. Η θέση του προβολέα ήταν σχεδόν δεδομένη από την αρχή καθώς στην αίθουσα υπήρχε υπερυψωμένο έπιπλο για την τοποθέτηση του (Σχήμα 6.2). Βασιζόμενοι στην θέση του προβολέα το κατάλληλο ύψος για την εγκατάσταση της επιφάνειας ήταν το ύψος του πίνακα διδασκαλίας της αίθουσας. Οι διατάξεις που δοκιμάστηκαν φαίνονται παρακάτω (Σχήμα 6.3).



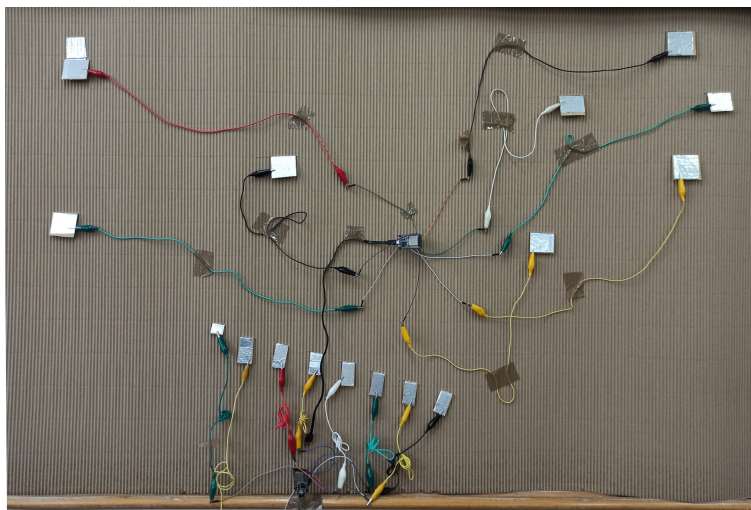
Σχήμα 6.2: Υπερυψωμένο έπιπλο προβολέα



Σχήμα 6.3: Διαφορετικές διατάξεις

Έπειτα από τις δοκιμές η διάταξη που επιλέχθηκε είναι η τελευταία (Σχήμα 6.3δ'). Αρχικά, κολλήθηκαν μικρότερα κομμάτια αλουμινοταινίας στην επιφάνεια που αποτέλεσαν την βάση για την ολοκλήρωση των αισθητήρων. Στα κομμάτια της αλουμινοταινίας έγιναν προληπτικά δοκιμαστικά τεστ για να σιγουρευτεί η σωστή λειτουργία τους πριν συνεχιστεί η κατασκευή ολόκληρης της διεπαφής. Οι δοκιμές ολοκληρώθηκαν με επιτυχία χωρίς σφάλματα. Συνεχίζοντας, συμπληρωματικά κομμάτια αλουμινοταινίας κόπηκαν και τοποθετήθηκαν για να καλύψουν το αναγκαίο μέγεθος. Ακολούθησαν τα παρακάτω βήματα για την ολοκλήρωση της κατασκευής.

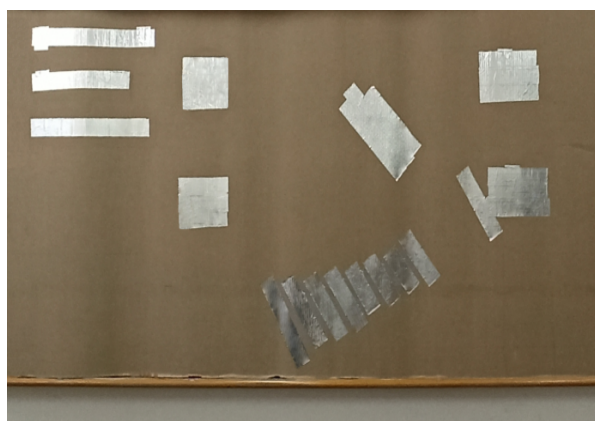
- Κόλληση αλουμινοταινίας μικρότερου μεγέθους από το προβλεπόμενο στη θέση που ορίζεται για τον κάθε αισθητήρα.
- Εισχώρηση της στο πίσω μέρος της επιφάνειας (Σχήμα 6.4).
- Σύνδεση με την καλωδίωση που βρίσκεται στο πίσω μέρος (Σχήμα 6.4).
- Σύνδεση καλωδίωσης με τον μικροελεγκτή (Σχήμα 6.4).
- Ολοκλήρωση δοκιμών.
- Ενίσχυση αισθητήρων με αλουμινοταινία για επίτευξη του προβλεπόμενου μεγέθους.



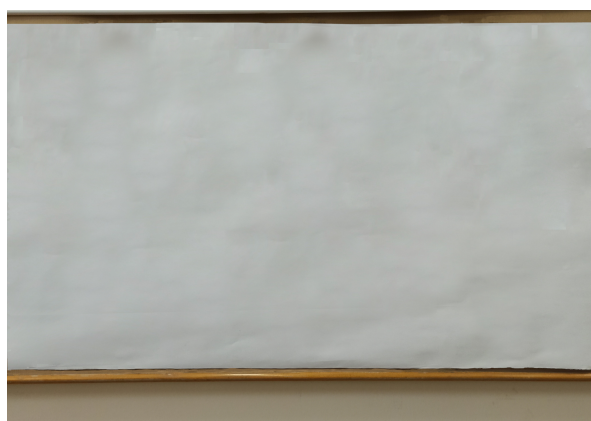
Σχήμα 6.4: Πίσω μέρος επιφάνειας

6.1.2 Ανάλυση επιπέδων

Η ιδέα ήταν πως θα υπάρχουν δύο διαφορετικά επίπεδα, στο πρώτο επίπεδο θα δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει με ποιο σενάριο θέλει να αλληλεπιδράσει. Ο χρήστης επιλέγει έναν από τους τρεις αισθητήρες (Σχήμα 6.5α' επάνω αριστερά) και οδηγείτε στο δεύτερο επίπεδο όπου συμβαίνουν οι βασικές διαδράσεις (Σχήμα 6.5α'). Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η κατανομή αυτή υλοποιήθηκε για την εξοικονόμηση εισόδων των μικροελεγκτών, έτσι σε κάθε αισθητήρα δεν θα αντιστοιχούσε μόνο μια δράδραση. Με την χρήση του οπτικού διαχωρισμού σε επίπεδα δόθηκε έμφαση στους αισθητήρες των βασικών διαδράσεων για μεγαλύτερη ευκολία και προσβασιμότητα από τους χρήστες. Στη συνέχεια η επιφάνεια καλύφθηκε με λευκό χαρτί για την σωστή και καθαρή προβολή των γραφικών (Σχήμα 6.5β').



(α')

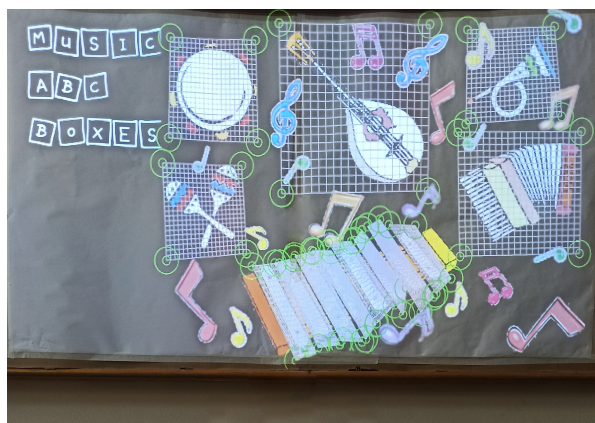


(β')

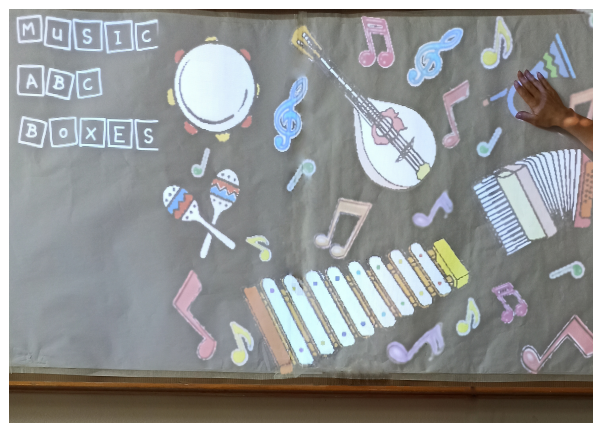
Σχήμα 6.5: (α') Τελική διάταξη αισθητήρων (β') Επιφάνεια προβολής

6.1.3 Μουσικός τοίχος

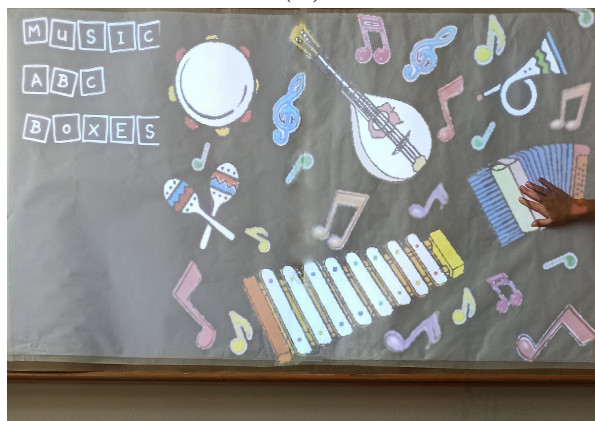
Ξεκινώντας από το πρώτο σενάριο ονόματι *μουσικός τοίχος* αναλύεται η δομή και οι λειτουργίες του, χωρίς πολλές εξηγήσεις μπορεί κάποιος να καταλάβει τι πρόκειται να συναντήσει. Ο μουσικός τοίχος αποτελείται από έξι διαδραστικά μουσικά όργανα (ντέφι, μαντολίνο, τρομπέτα, μαράκες, ακορντεόν και μεταλλόφωνο) (Σχήμα 6.6β') που προβάλλονται από τον προβολέα. Τα πρώτα πέντε χρησιμοποιούν έναν αισθητήρα το καθένα σε αντίθεση με το τελευταίο που χρησιμοποιεί οκτώ, έναν αισθητήρα για κάθε νότα του μεταλλόφωνου. Κάθε αισθητήρας ενεργοποιεί μία ακουστική και μία οπτική διάδραση. Η μουσική διάδραση είναι αντίστοιχη με τον ήχο του κάθε μουσικού οργάνου στην πραγματικότητα και η αναπαραγωγή γίνεται με την βοήθεια των ηχείων της υπολογιστικής μονάδας. Η οπτική διάδραση επιτυγχάνεται με την βοήθεια του προβολέα και κάνει το κάθε αντικείμενο να αλλάζει χρώμα με κάθε άγγιγμα. Ο μουσικός τοίχος αποτελεί ένα αρκετά ενδιαφέρον παιχνίδι αλληλεπίδρασης για παιδιά αλλά και ενήλικες, είναι διασκεδαστικό και ταυτόχρονα εύκολα κατανοητό.



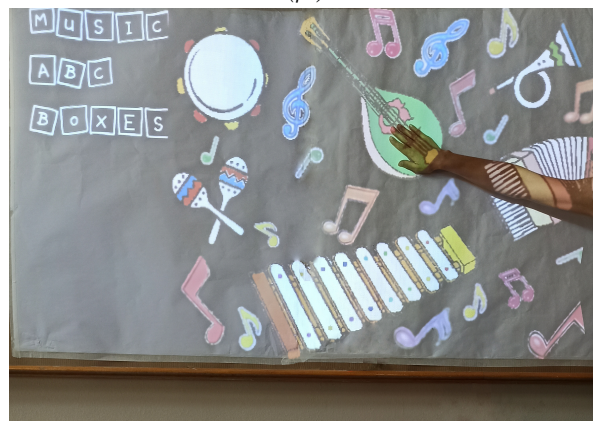
(α')



(β')



(γ')



(δ')

Σχήμα 6.6: Εικόνες από την υλοποίηση του πρώτου σεναρίου

6.1.4 Αγγλικό αλφάβητο

Συνεχίζοντας, το δεύτερο σενάριο βασίζεται στο αλφάβητο της αγγλικής γλώσσας (Σχήμα 6.8α'). Σκοπός του σεναρίου ήταν η αλληλεπίδραση των παιδιών με το αγγλικό αλφάβητο για

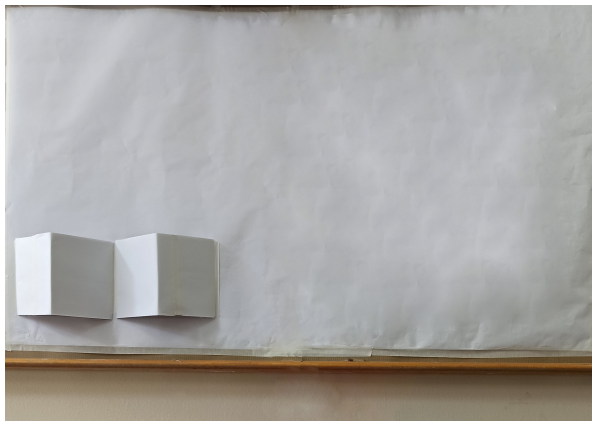
την εκμάθηση αγγλικών λέξεων με διαδραστικό τρόπο. Το σενάριο αποτελείται από τέσσερις αισθητήρες και ο κάθε ένας σχετίζεται με ένα γράμμα του αγγλικού αλφάβητου. Τα γράμματα προβάλλονται από τον προβολέα σε συγκεκριμένες θέσεις και κάθε φορά επιλέγονται τυχαία. Σε αυτή την περίπτωση ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ένα από τα τέσσερα γράμματα και να αποκαλύψει την λέξη που του αντιστοιχεί. Η λέξη εμφανίζεται στην οθόνη και μαζί της και μία σχετική εικόνα.



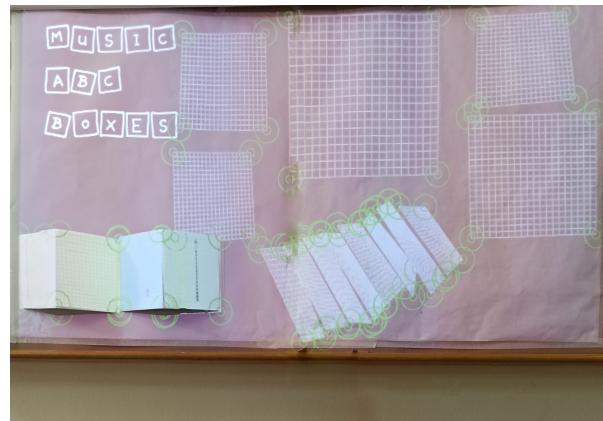
Σχήμα 6.7: Εικόνες από την υλοποίηση του δεύτερου σεναρίου

6.1.5 Χαρτογράφηση προβολής

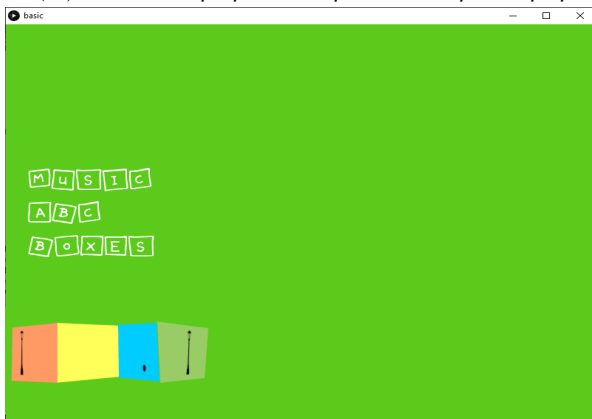
Το τρίτο και τελευταίο σενάριο αφιερώθηκε στην τεχνική του Projection Mapping. Στόχος του ήταν η ανάδειξη των δυνατοτήτων της χαρτογράφησης προβολής σε επιφάνειες με διαφορετικές θέσεις, γωνίες και κλίσεις σε σχέση με τον προβολέα. Επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί ένα απλό 2D animation που λήφθηκε από το διαδίκτυο. Για την ολοκλήρωση του σεναρίου χρησιμοποιήθηκαν τετράγωνα χαρτόνια τα οποία τοποθετήθηκαν σε διαφορετικές θέσεις και κλίσεις. Επίσης έπρεπε να ληφθούν υπόψιν οι θέσεις των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στα προηγούμενα σενάρια ώστε τα χαρτόνια να τοποθετηθούν σε σημεία που δεν καλύπτουν τους αισθητήρες και δεν εμποδίζουν στην χρήση της επιφάνειας όταν κάποιο άλλο σενάριο είναι ενεργό. Σε κάθε χαρτόνι προβάλλεται ένα μέρος του animation σύμφωνα με την πορεία που ακολουθεί.



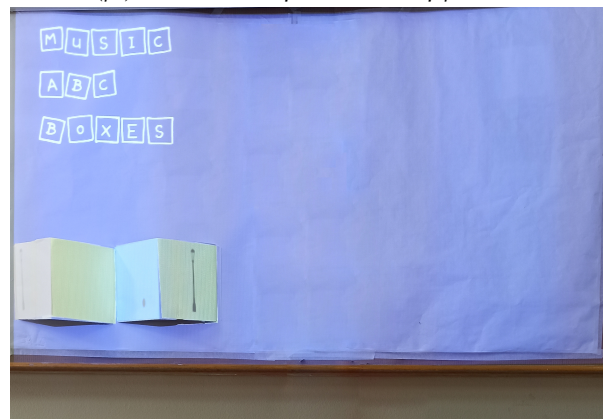
(α') Τοποθέτηση αντικειμένων στην σκηνή



(β') Μετατόπιση των υποκαμβάδων



(γ') Παράθυρο εξόδου του Processing

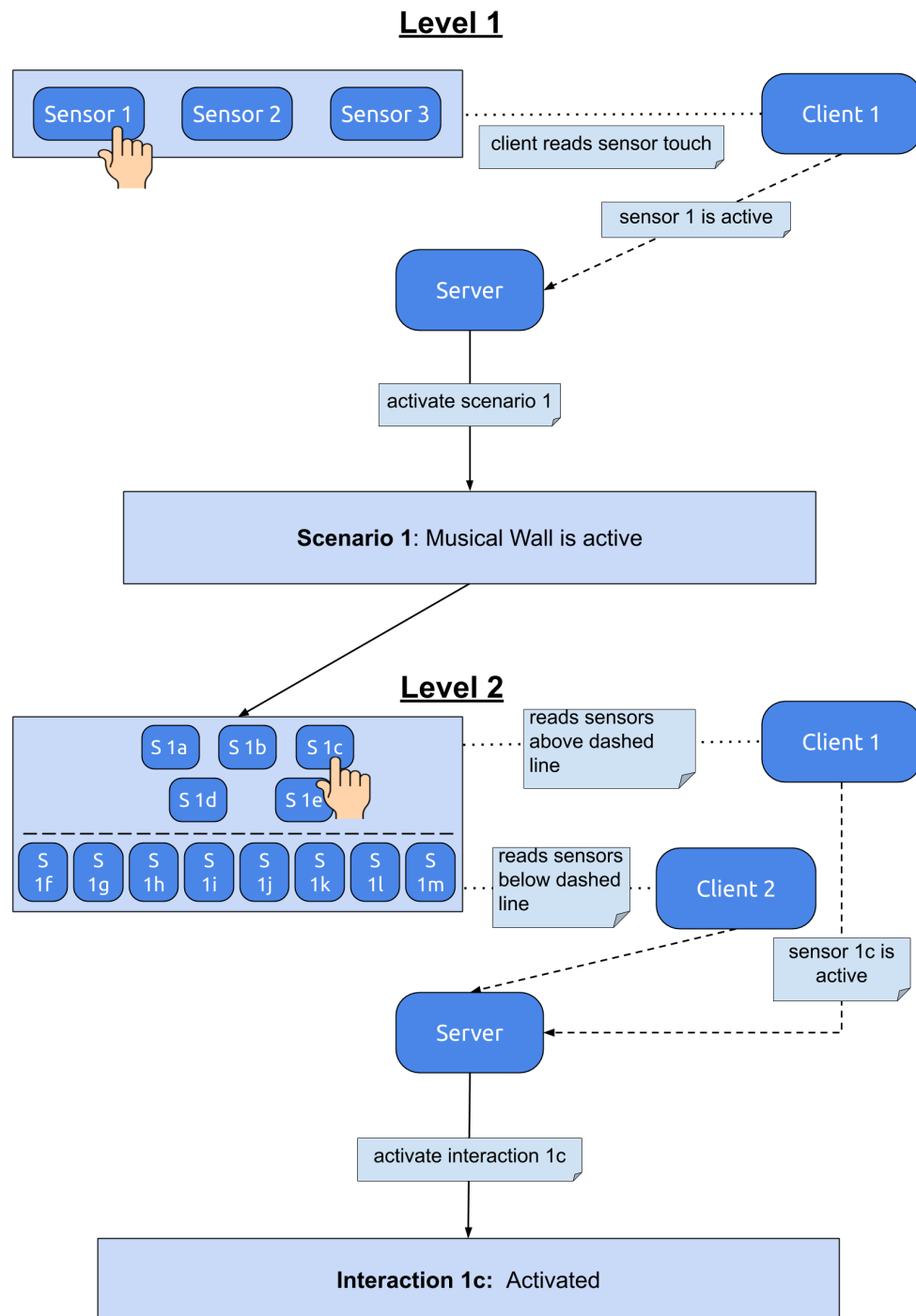


(δ') Τελική εικόνα

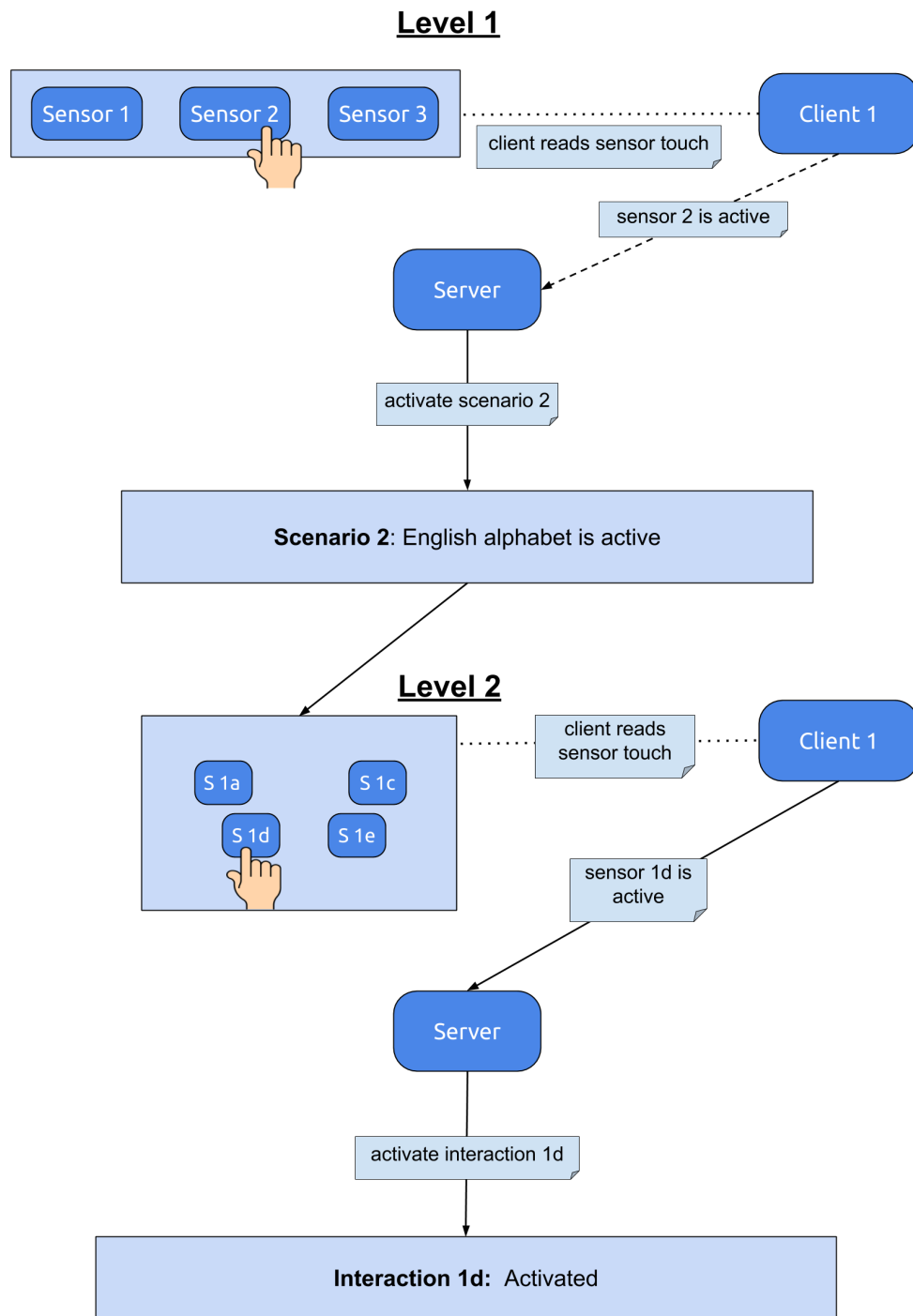
Σχήμα 6.8: Εικόνες από την υλοποίηση του τρίτου σεναρίου

6.2 Σχηματική αναπαράσταση ροής της επιφάνειας

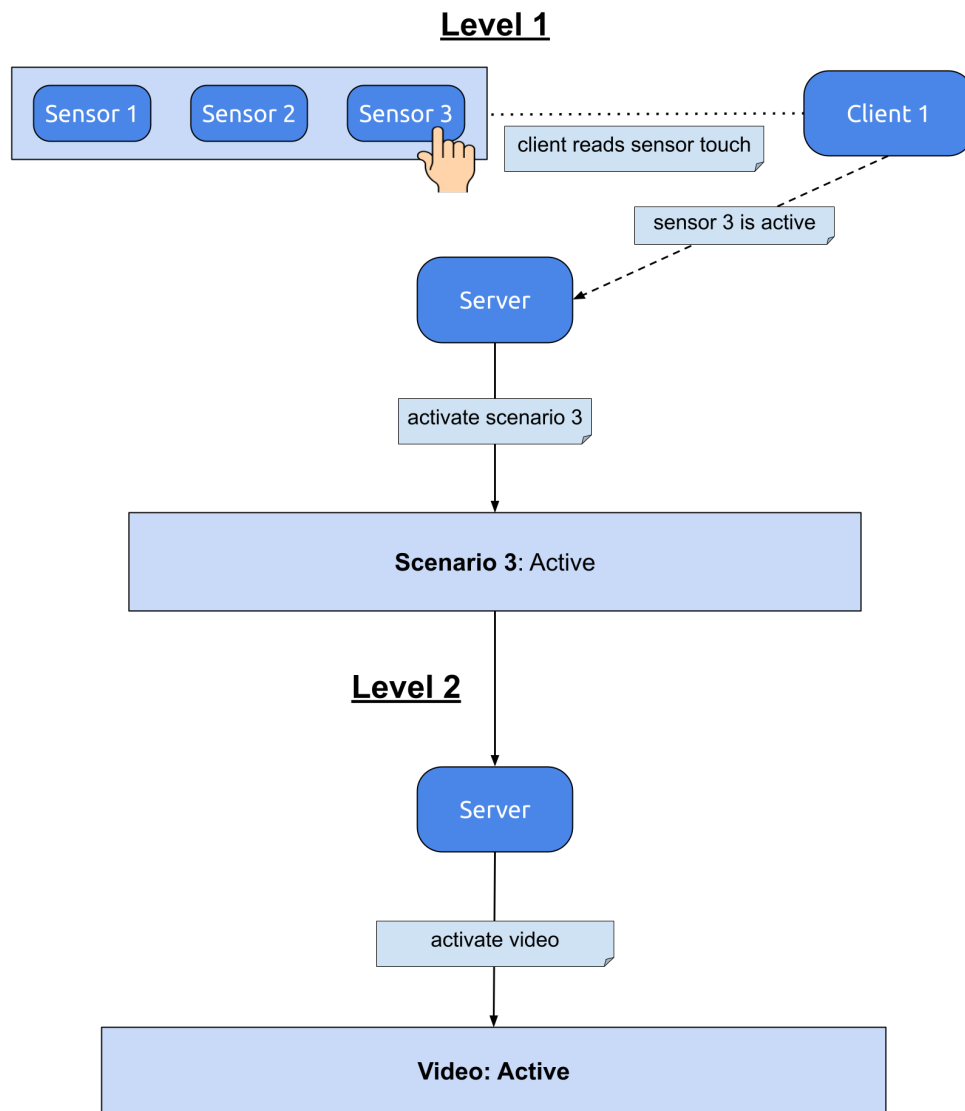
Τα βήματα που ακολουθούνται από την αρχή ως το τέλος για να αποδοθεί η κάθε διάδραση αναπαριστώνται στα παρακάτω σχήματα 6.9, 6.10, 6.11. Με λίγα λόγια στο επίπεδο ένα ο πρώτος μικροελεγκτής περιμένει να διαβάσει ποιος αισθητήρας σεναρίου θα ενεργοποιηθεί και να ενημερώσει τον server. Ο server με την σειρά του ενεργοποιεί το αντίστοιχο σενάριο και τις διαδράσεις του δίνοντας πρόσβαση στον χρήστη για να αλληλεπιδράσει. Στη συνέχεια, στο επίπεδο δύο οι μικροελεγκτές αναμένουν να διαβάσουν το άγγιγμα του χρήστη και να προβούν στην αποστολή των δεδομένων ώστε ο server να ενεργοποιήσει την κάθε διάδραση.



Σχήμα 6.9: Διάγραμμα ροής διαδραστικής επιφάνειας πρώτου σεναρίου



Σχήμα 6.10: Διάγραμμα ροής διαδραστικής επιφάνειας δεύτερου σεναρίου

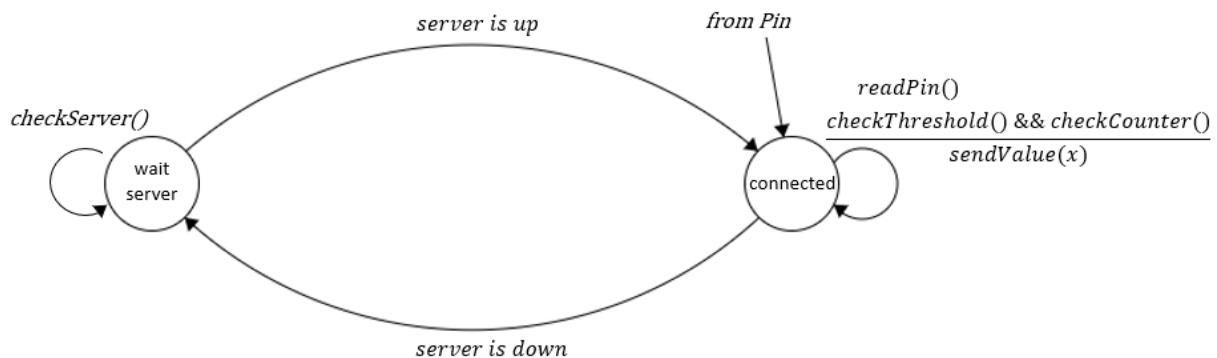


Σχήμα 6.11: Διάγραμμα ροής διαδραστικής επιφάνειας τρίτου σεναρίου

Από την πλευρά των μικροελεγκτών όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.12 συμβαίνουν τα εξής βήματα:

- Αναμονή για σύνδεση στον server.
- Αναμονή για λήψη κατάστασης των εισόδων (touch pins).
- Αποστολή κατάστασης (touch pins).

Οι μικροελεγκτές στο πρώτο state ελέγχουν συνεχώς την κατάσταση του server (Processing) και παραμένουν σε αυτό το στάδιο μέχρι να επιτευχθεί η σύνδεση. Μόλις υπάρξει επιτυχής σύνδεση γίνεται μετάβαση στο δεύτερο state. Οι μικροελεγκτές αναμένουν την λήψη της κατάστασης των εισόδων που είναι συνδεδεμένοι οι αισθητήρες χωρητικότητας. Γίνεται συνεχής ανάγνωση των δεδομένων από τα pin και ελέγχεται το threshold και ο μετρητής. Στη περίπτωση που πληρούνται οι δύο συνθήκες τότε και μόνο αποστέλλονται τα αντίστοιχα δεδομένα στο server. Η συγκεκριμένη διαδικασία παραμένει η ίδια και για τα τρία σενάρια.



Σχήμα 6.12: Finite State Machine (FSM) of sender

Ο server από την πλευρά του είναι σε κατάσταση αναμονής δεδομένων από τους μικροελεγκτές (state menu). Όταν ληφθεί τιμή ίση με '1', ο server ενεργοποιεί το σενάριο ένα (state sc1). Όσο το state sc1 είναι ενεργό τότε τα δεδομένα που λαμβάνονται από τους μικροελεγκτές αφορούν το συγκεκριμένο και μόνο σενάριο. Έχουν δημιουργηθεί δύο σύνολα τιμών.

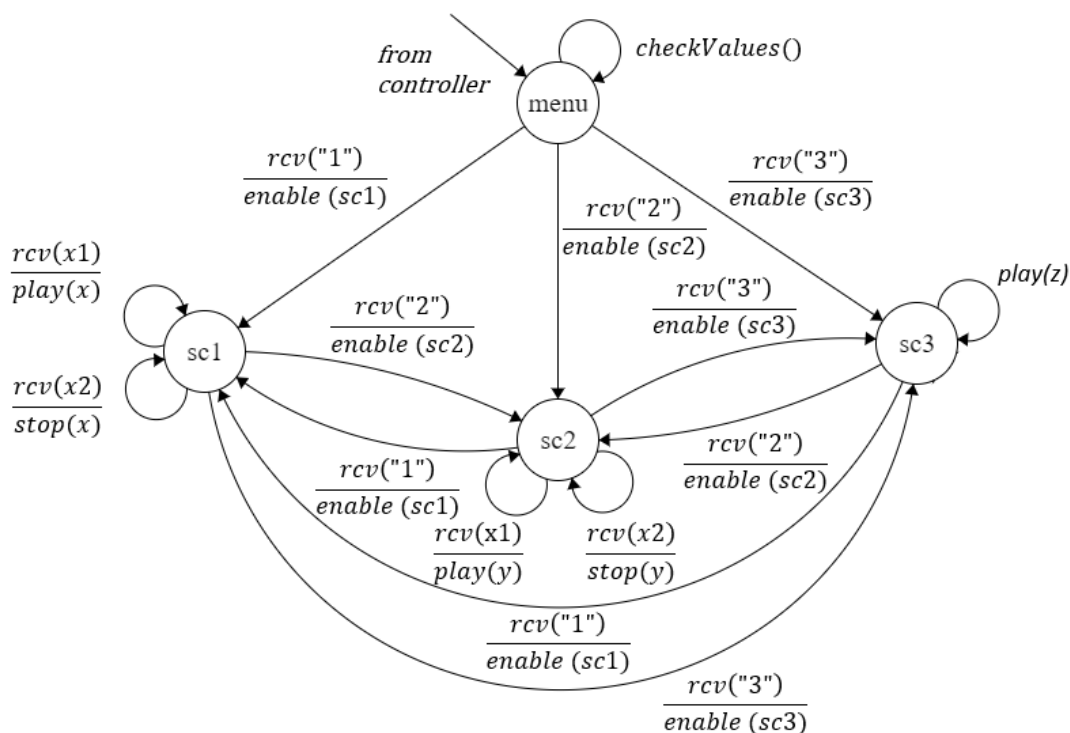
- $x1 = \{ '1', '2', '3', '4', '5', '6', '7', '8', 'a', 'b', 'c', 'd', 'e', 'f', 'g', 'h' \}$ → Πατήθηκε αισθητήρας
- $x2 = \{ 'A', 'B', 'C', 'D', 'E', 'F', 'G', 'H', 'I', 'J', 'K', 'L', 'M' \}$ → Αφέθηκε αισθητήρας

Όσο οι τιμές που λαμβάνονται ανήκουν στο πρώτο σύνολο ($x1$) τότε ενεργοποιείται η αντίστοιχη διάδραση. Σε αντίθετη περίπτωση που οι τιμές ανήκουν στο δεύτερο σύνολο ($x2$)

τότε η διάδραση σταματά. Για παράδειγμα, εάν η τιμή που ληφθεί είναι πεζό γράμμα τότε ανήκει το πρώτο σύνολο $x1$, σημαίνει πως κάποιος αισθητήρας έχει πατηθεί και ενεργοποιείται η διάδραση. Όταν ο αισθητήρας αφηθεί, η τιμή που λαμβάνεται είναι κεφαλαίο γράμμα που ανήκει στο σύνολο $x2$ και τερματίζει την διάδραση. Οι τιμές '1', '2', '3' του συνόλου $x1$ ενεργοποιούν τα σενάρια 1, 2, 3, αντίστοιχα. Για το λόγο αυτό στο σύνολο $x2$ οι τιμές είναι λιγότερες κατά τρεις.

Αντίστοιχα όταν στο state menu ληφθεί τιμή ίση με '2' γίνεται μετάβαση στο σενάριο δύο (state sc2). Η μετάβαση στα υπόλοιπα σενάρια μπορεί να γίνει από το σενάριο δύο όταν ληφθούν τιμές '1' για το σενάριο ένα και '3' για το σενάριο τρία αντίστοιχα. Όσο το state sc2 είναι ενεργό τότε τα δεδομένα που λαμβάνονται από τους μικροελεγκτές αφορούν το συγκεκριμένο και μόνο σενάριο. Τα σύνολα $x1$ και $x2$ λειτουργούν τώρα μόνο για το σενάριο δύο. Όσο οι τιμές που λαμβάνονται ανήκουν στο πρώτο σύνολο ($x1$) τότε η διάδραση ενεργοποιείται. Αντίθετα αν οι τιμές ανήκουν στο δεύτερο σύνολο ($x2$) τότε η διάδραση σταματά. Τα σύνολα είναι τα ίδια για όλα τα σενάρια και το κάθε σενάριο τα μεταφράζει με διαφορετικό τρόπο για να πετύχει το επιθυμητό αποτέλεσμα.

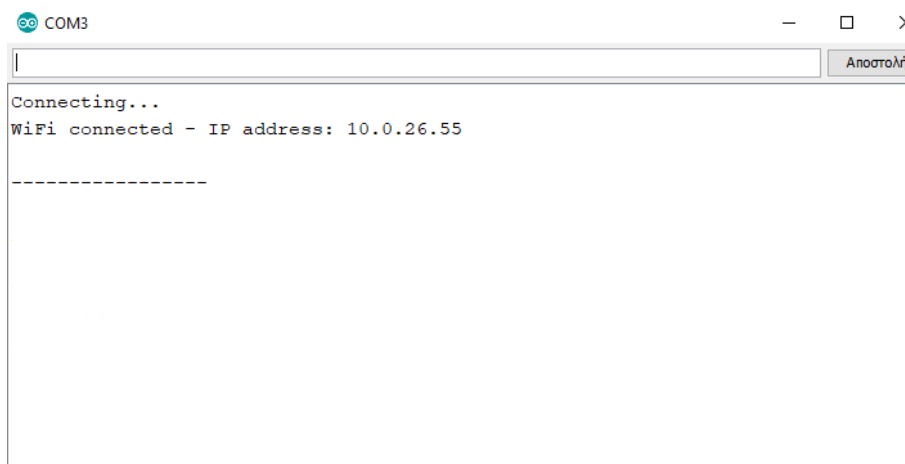
Με τον ίδιο τρόπο όταν ληφθεί τιμή ίση με '3' πραγματοποιείται η μετάβαση από το state menu στο σενάριο τρία. Η διαφορά του σεναρίου τρία είναι πως η διάδραση ξεκινά αμέσως και δεν ελέγχεται από τα σύνολα $x1$ και $x2$. Όταν το σενάριο τρία ενεργοποιηθεί ξεκινά η αναπαραγωγή ενός βίντεο όσο το σενάριο τρία παραμένει ενεργό. Όταν γίνει η μετάβαση από το state menu σε οποιοδήποτε από τα τρία σενάρια δεν είναι εφικτή η επιστροφή στην αρχική κατάσταση (state menu). Οι εναλλαγές των σεναρίων πραγματοποιούνται μέσα από το εκάστοτε σενάριο όπως αναφέρθηκε και στις παραπάνω παραγράφους. Παρομοίως και από το σενάριο τρία οι τιμές '1' και '2' αντιστοιχούν στα σενάρια ένα και δύο αντίστοιχα.



Σχήμα 6.13: Finite State Machine (FSM) of receiver

6.3 Προγραμματισμός μικροελεγκτών

Όπως παρουσιάστηκε σε προηγούμενα κεφάλαια η υλοποίηση βασίζεται σε συστήματα client-server. Στην παρούσα εργασία τον ρόλο του client τον έχει ο μικροελεγκτής και αντίστοιχα του server το Processing. Ο μικροελεγκτής είναι υπεύθυνος για την λήψη της κατάστασης κάθε αισθητήρα και την αποστολή της στον server. Η πρώτη ενέργεια που πραγματοποιεί ο μικροελεγκτής όταν του δοθεί ρεύμα είναι η σύνδεση του στο δίκτυο, εάν είναι επιτυχής, σχετικό μήνυμα εκτυπώνεται στη σειριακή οθόνη του Arduino IDE καθώς και η IP διεύθυνση που του αποδόθηκε από το access point. Αν και η διεύθυνση ορίζεται από DHCP server παραμένει η ίδια καθώς επαληθεύεται μέσω της MAC address. Σε περίπτωση που η σύνδεση στο δίκτυο δεν ολοκληρωθεί, απαιτείται επανεκκίνηση του μικροελεγκτή και έλεγχος των στοιχείων σύνδεσης (όνομα δικτύου, κωδικός πρόσβασης).

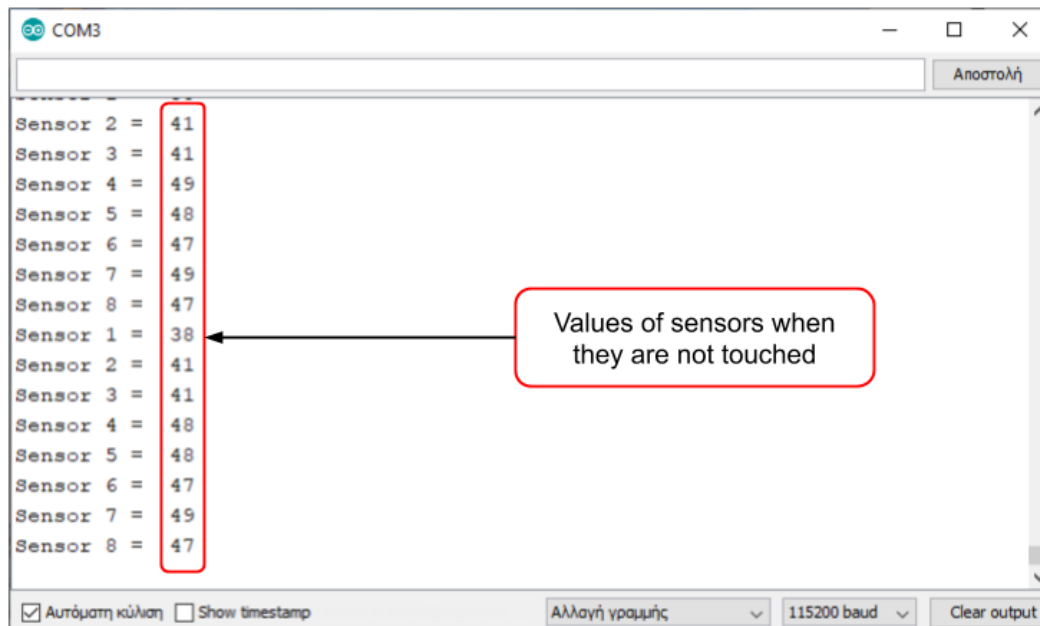


Σχήμα 6.14: Σειριακή οθόνη

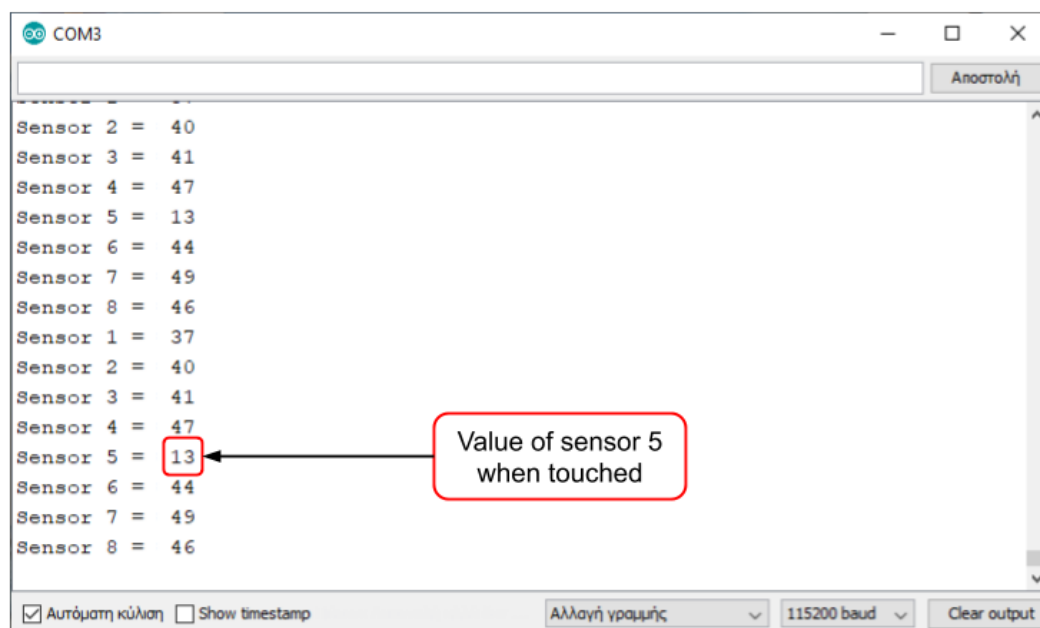
Η ορθή επικοινωνία με τον server (η σύνδεση του Processing στο δίκτυο θα αναλυθεί στην επόμενη ενότητα) ήταν το επόμενο σημαντικό βήμα. Ο μικροελεγκτής χρησιμοποιεί την IP διεύθυνση και πόρτα που αποδόθηκε στον server για να μπορεί να στέλνει και να λαμβάνει τα απαραίτητα δεδομένα. Η δυνατότητα σύνδεσης του μικροελεγκτή και του Processing στο ίδιο δίκτυο καθόρισε εφικτή την επικοινωνία μεταξύ τους.

Η επιτυχής σύνδεση στο δίκτυο όμως δεν καθορίζει και την σωστή λήψη δεδομένων από τις εισόδους του μικροελεγκτή, την δουλειά αυτή έχει αναλάβει η βιβλιοθήκη μεσαίας τιμής. Επειδή η φύση των αισθητήρων τους κάνει επιρρεπείς στους θορύβους χρειαζόταν ένας τρόπος για την εξάλειψή τους. Η βιβλιοθήκη μεσαίας τιμής αποτελεί μια μη γραμμική τεχνική ψηφιακού φιλτραρίσματος των θορύβων. Ουσιαστικά, τιμές λαμβάνονται συνεχόμενα, το φίλτρο αποθηκεύει σε μια λίστα τις τελευταίες N τιμές σύμφωνα με τον χρόνο λήψης, τις κατατάσσει από την μικρότερη στην μεγαλύτερη, υπολογίζει τη διάμεση και την αποθηκεύει σε μια μεταβλητή. Η μεταβλητή περνάει από διαφορετικούς ελέγχους και εάν η τιμή της είναι μικρότερη του προκαθορισμένου κατωφλιού (threshold), τότε ο μικροελεγκτής καταλαβαίνει πως κάποιος αισθητήρας ενεργοποιήθηκε. Κάθε φορά που μια νέα τιμή λαμβάνεται αντικαθιστά την παλαιότερη χρονικά τιμή στην ταξινομημένη λίστα και στη συνέχεια μετατοπίζεται για να έρθει στην σωστή θέση (Σχήμα 5.4). Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.20 όπου κανένας αισθητήρας δεν έχει πατηθεί οι τιμές τους κυμαίνονται κοντά στο 40 και πάνω. Αντίθετα, στο Σχήμα 6.21 ο αισθητήρας 5 έχει πατηθεί και έχει τιμή 13. Σύμφωνα με τις τιμές όλων

των αισθητήρων και έπειτα από αρκετές δοκιμές αποφασίστηκε πως η κατάλληλη τιμή για το threshold είναι 30.



Σχήμα 6.15: Τιμές αισθητήρων



Σχήμα 6.16: Τιμή αισθητήρα 5 όταν πατήθηκε

```
// Insert median filter library
#include <MedianFilter.h>

// Initialize size and seed for object number 0.
MedianFilter test0(10, 40);
```

```
// Initialize input pin
#define touch_pin1 T0 //GPIO4

// Set threshold
const int thres = 30;

// Set variable for one sensor and initialize it
int touch_sensor_value1 = 100;

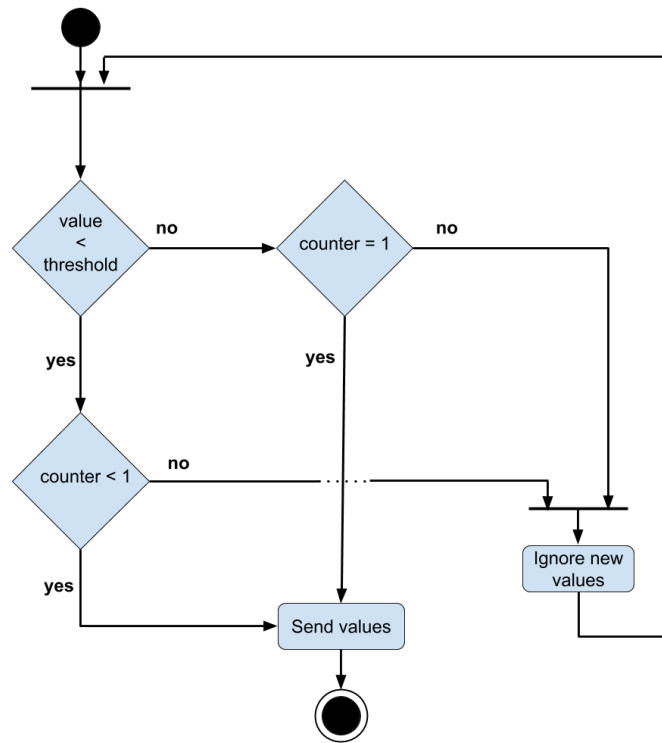
int valueBefore = -1, value = 0;

void loop() {
  // Apply median filter on every loop
  touch_sensor_value1 = touchRead(touch_pin1);
  test0.in(touch_sensor_value1);
  touch_sensor_value1 = test0.out();
}
```

Για κάθε αισθητήρα έχει αποδοθεί ξεχωριστή μεταβλητή, με τον τρόπο αυτό ο server μπορεί ανά πάσα στιγμή να αναγνωρίσει ποιος αισθητήρας έχει αλλάξει κατάσταση. Πραγματοποιούνται δύο έλεγχοι:

- Έλεγχος κατωφλιού
- Έλεγχος μετρητή

Για να γίνει αποστολή της κατάστασης πρέπει να πληρούνται και οι δύο συνθήκες. Αναλυτικότερα, κάθε φορά ελέγχονται οι μεταβλητές όλων των αισθητήρων. Εάν κάποιος από τους αισθητήρες πατηθεί τότε η τιμή αποθηκεύεται στην μεταβλητή του όπως αναφέρθηκε. Έπειτα, ένας μετρητής με αρχική τιμή μηδέν συσχετισμένος με τον αισθητήρα που ενεργοποιήθηκε αυξάνεται κατά ένα. Ο μετρητής ελέγχεται κάθε φορά πριν την αποστολή των δεδομένων στον server, εάν είναι < 1 και η τιμή της μεταβλητής είναι $< \text{threshold}$ τότε οι συνθήκες πληρούνται και η αντίστοιχη τιμή του συνόλου $x1$ αποστέλλεται. Όταν ο μετρητής είναι $= 1$ και η τιμή της μεταβλητής είναι $> \text{threshold}$ τότε η αντίστοιχη τιμή του συνόλου $x2$ αποστέλλεται. Σε περίπτωση που καμία από τις δύο περιπτώσεις δεν πληρείτε οι νέες τιμές δεν λαμβάνονται υπόψιν. Όταν ο αισθητήρας αφευθεί η τιμή της μεταβλητής αυξάνεται και ο μετρητής μηδενίζεται.



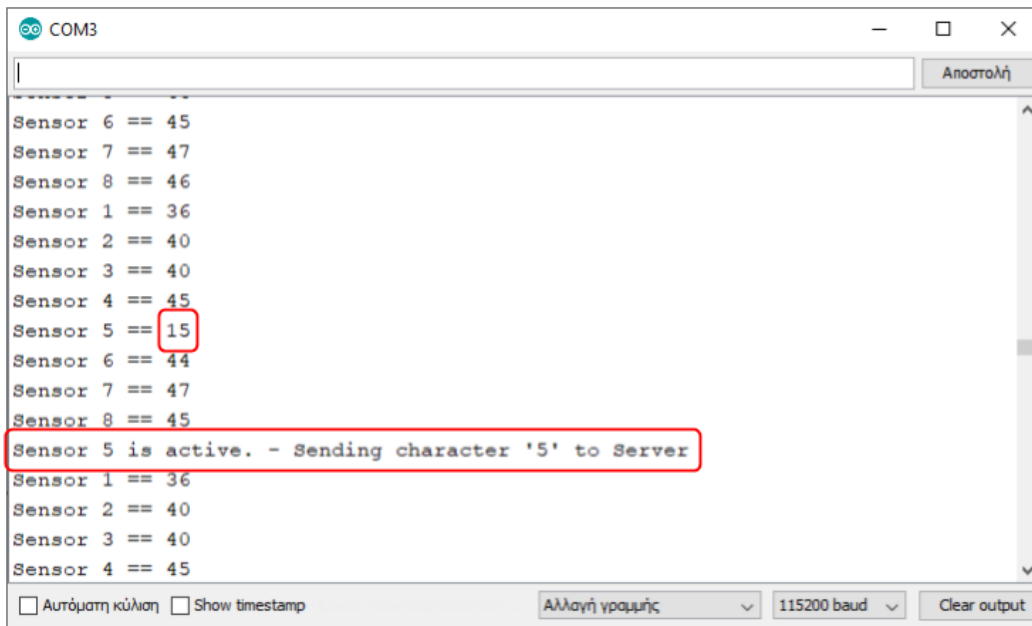
Σχήμα 6.17: Διάγραμμα UML

```

// Checking if client is connected to server
if (client_connect == 1) {

// Checking if sensor 1 is on
if ((touch_sensor_value1 < thres) && (cnt[0] < 1)) {
  for (i = 0; i < 1; i++) {
    // sending character "a" to server
    client.print("a");
    Serial.println("a");
    cnt[0]++;
  }
} else if ((touch_sensor_value1 > thres) && (cnt[0] == 1)) {
  cnt[0] = 0;
  // sending character "A" to server
  client.print("A");
}
}
  
```

Επειδή νέες τιμές διαβάζονται αδιάλειπτα οι παραπάνω έλεγχοι εξυπηρετούν την περίπτωση που κάποιος αισθητήρας λαμβάνει συνεχόμενο πάτημα, καθορίζετε με αυτόν τον τρόπο ότι πρέπει να το αντιμετωπίσει ως ένα πάτημα και όχι ως πολλαπλά. Στα παρακάτω Σχήματα φαίνεται η σειριακή οθόνη και τα αντίστοιχα μηνύματα για την καλύτερη κατανόηση των παραπάνω.

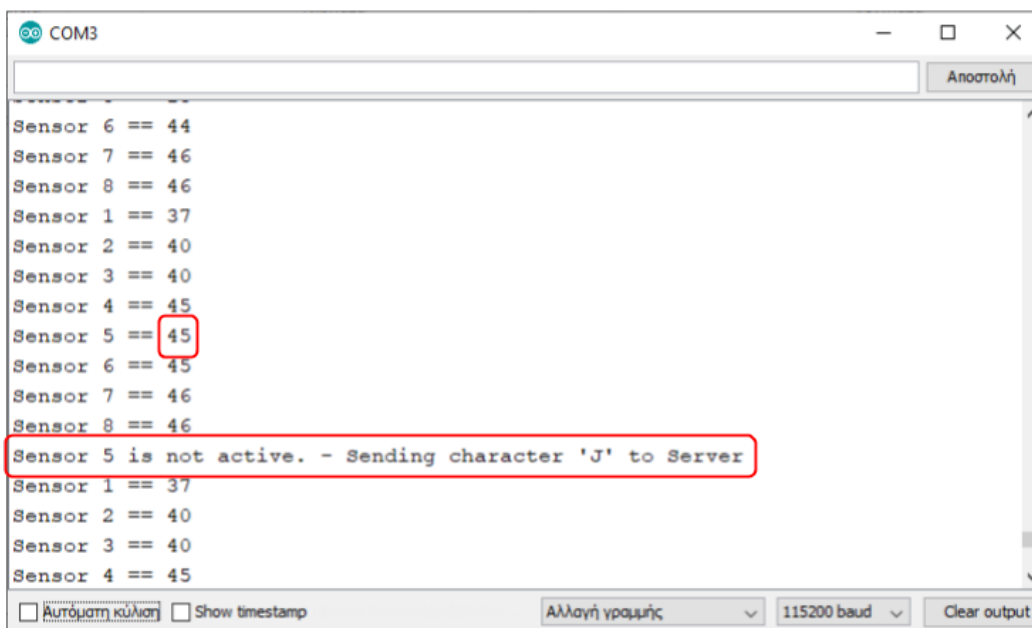


The screenshot shows a serial terminal window titled 'COM3'. The output text is as follows:

```
Sensor 6 == 45  
Sensor 7 == 47  
Sensor 8 == 46  
Sensor 1 == 36  
Sensor 2 == 40  
Sensor 3 == 40  
Sensor 4 == 45  
Sensor 5 == 15  
Sensor 6 == 44  
Sensor 7 == 47  
Sensor 8 == 45  
Sensor 5 is active. - Sending character '5' to Server  
Sensor 1 == 36  
Sensor 2 == 40  
Sensor 3 == 40  
Sensor 4 == 45
```

The value '15' for Sensor 5 and the message 'Sensor 5 is active. - Sending character '5' to Server' are highlighted with red boxes. The terminal interface includes a 'Send' button (Αποστολή), checkboxes for 'Automatic carriage return' (Αυτόματη κύλιση) and 'Show timestamp', a 'Change line' dropdown (Αλλαγή γραμμής), a baud rate of 115200, and a 'Clear output' button.

Σχήμα 6.18: Σειριακή οθόνη

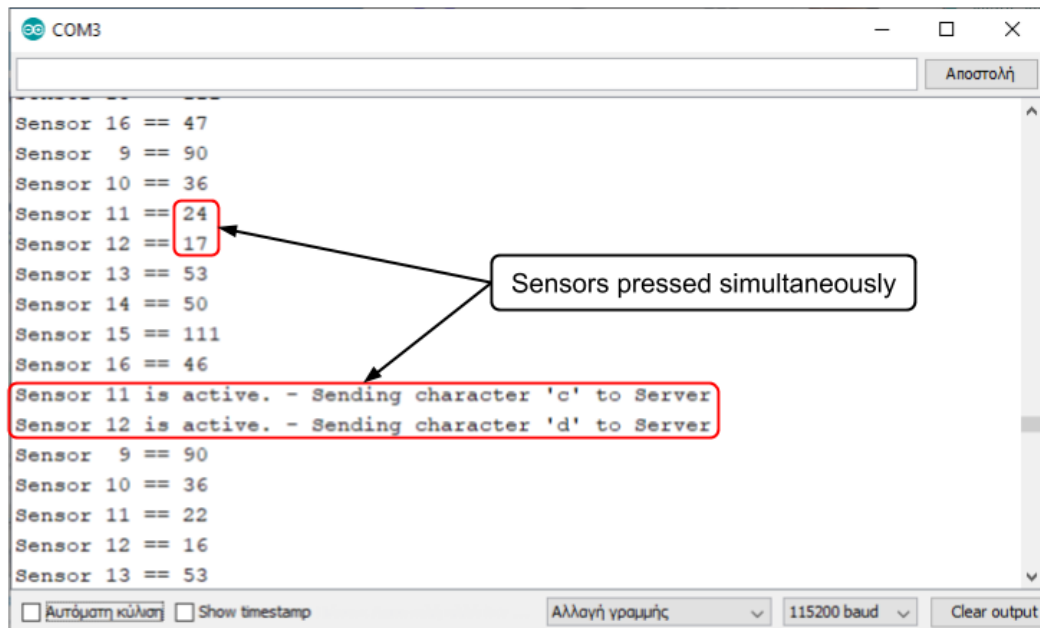


The screenshot shows a serial terminal window titled 'COM3'. The output text is as follows:

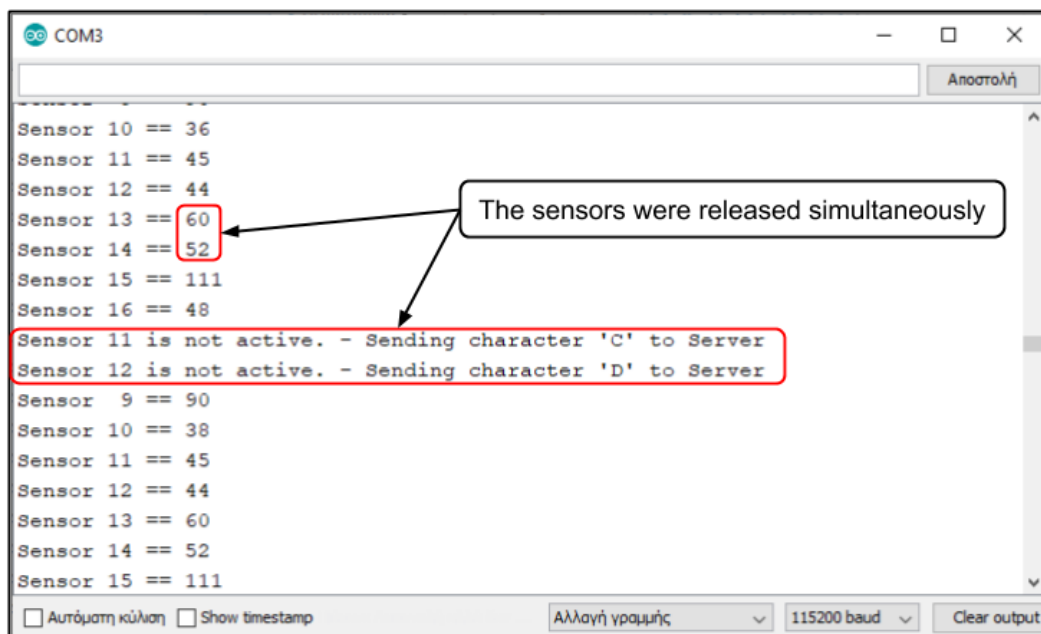
```
Sensor 6 == 44  
Sensor 7 == 46  
Sensor 8 == 46  
Sensor 1 == 37  
Sensor 2 == 40  
Sensor 3 == 40  
Sensor 4 == 45  
Sensor 5 == 45  
Sensor 6 == 45  
Sensor 7 == 46  
Sensor 8 == 46  
Sensor 5 is not active. - Sending character 'J' to Server  
Sensor 1 == 37  
Sensor 2 == 40  
Sensor 3 == 40  
Sensor 4 == 45
```

The value '45' for Sensor 5 and the message 'Sensor 5 is not active. - Sending character 'J' to Server' are highlighted with red boxes. The terminal interface includes a 'Send' button (Αποστολή), checkboxes for 'Automatic carriage return' (Αυτόματη κύλιση) and 'Show timestamp', a 'Change line' dropdown (Αλλαγή γραμμής), a baud rate of 115200, and a 'Clear output' button.

Σχήμα 6.19: Σειριακή οθόνη



Σχήμα 6.20: Ταυτόχρονη αποστολή δεδομένων στο server από σύνολο $x1$



Σχήμα 6.21: Ταυτόχρονη αποστολή δεδομένων στο server από σύνολο $x2$

6.4 Προγραμματισμός Processing

Το Processing είναι ένα πρόγραμμα στο οποίο δεν υπήρχε προηγούμενη γνώση και ιστορικό για τον προγραμματισμό και τον τρόπο λειτουργίας του. Ο προγραμματισμός της επιφάνειας μέσω Processing αποδείχθηκε μεγάλη πρόκληση. Αρχικά, προηγήθηκε ένα χρονικό διάστημα το οποίο αφιερώθηκε στην εξοικείωση με το περιβάλλον εργασίας, την γλώσσα προγραμματι-

μού και τον ιδιαίτερο τρόπο με τον οποίο λειτουργεί. Σταδιακά επήλθε ο προγραμματισμός των διαδράσεων. Αρχικά δημιουργήθηκαν ξεχωριστά sketches με σκοπό τον ευκολότερο έλεγχο λειτουργίας και διαχείρισης τους.

Βασική προϋπόθεση πριν την έναρξη του προγραμματισμού των σεναρίων ήταν η επιβεβαίωση της ορθής επικοινωνία του Processing με τον κάθε μικροελεγκτή. Για να επιτευχθεί αυτό, το Processing πρέπει να αποκτήσει πρόσβαση στο τοπικό δίκτυο και στη συνέχεια να δημιουργηθεί ο server για να έχουν την δυνατότητα οι μικροελεγκτές να επικοινωνούν μαζί του. Η πρόσβαση στο δίκτυο είναι μια αυτοματοποιημένη διαδικασία, δηλαδή η υπολογιστική μονάδα λειτουργεί ως γέφυρα για την πρόσβαση του Processing στο ίντερνετ. Οι παρακάτω γραμμές κώδικα αρχικοποιούν τον server.

```
// Network library
import processing.net.*;

// Initialize server
Server myServer;

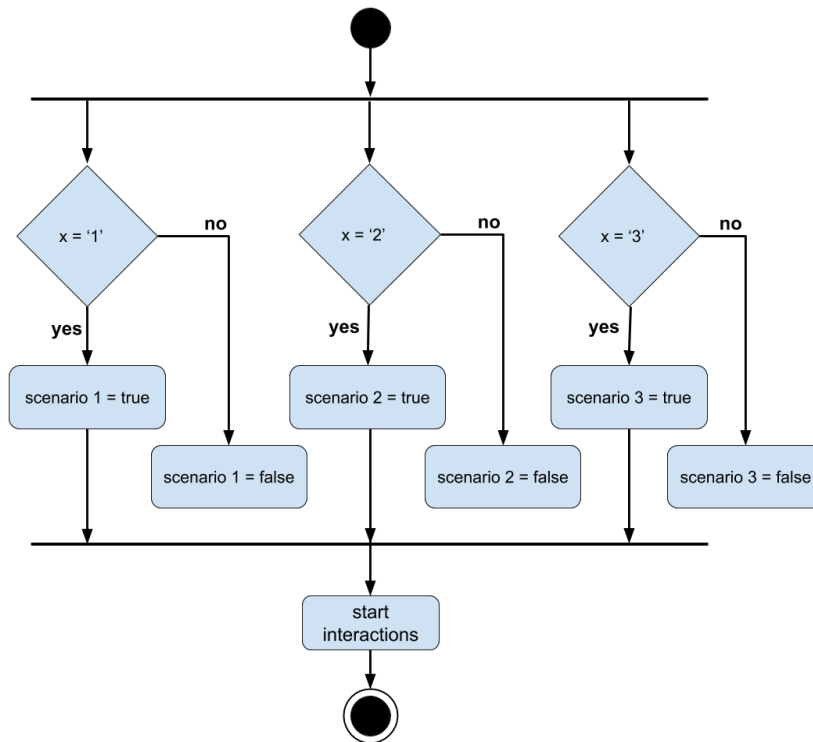
// Create server
myServer = new Server(this, 5204);
println(Server.ip());
```

Με την έναρξη του sketch εκτελούνται τα εξής:

- Σύνδεση Processing στο ίντερνετ.
- Ορισμός μεταβλητών.
- Αρχικοποίηση μεταβλητών και φόρτωση αρχείων.
- Δημιουργία server.
- Αναμονή και έλεγχος για νέους clients.
- Λήψη δεδομένων από συνδεδεμένους clients.
- Αναπαραγωγή διαδράσεων

Όταν κάποιος client συνδεθεί επιτυχώς στον server τότε ένα σχετικό μήνυμα εμφανίζεται συμπεριλαμβάνοντας την IP διεύθυνση του, έπειτα ο server αρχίζει να διαβάζει τα δεδομένα που στέλνουν οι clients. Τα δεδομένα περνούν από μια σειρά ελέγχων και όταν πληρούν τις συνθήκες που έχουν οριστεί τότε ξεκινά η αλληλεπίδραση μεταξύ του χρήστη και της επιφάνειας.

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 6.2 και συγκεκριμένα στα σχήματα 6.9, 6.10, 6.11, παρακάτω απεικονίζονται σε μορφή UML οι μεταβλητές και οι τιμές που ορίζονται σε αυτές για την ροή του προγράμματος. Στη συνέχεια επισυνάπτεται ένα μέρος του κώδικα που επιτυγχάνει την επιθυμητή ροή.



Σχήμα 6.22: Διάγραμμα UML

```

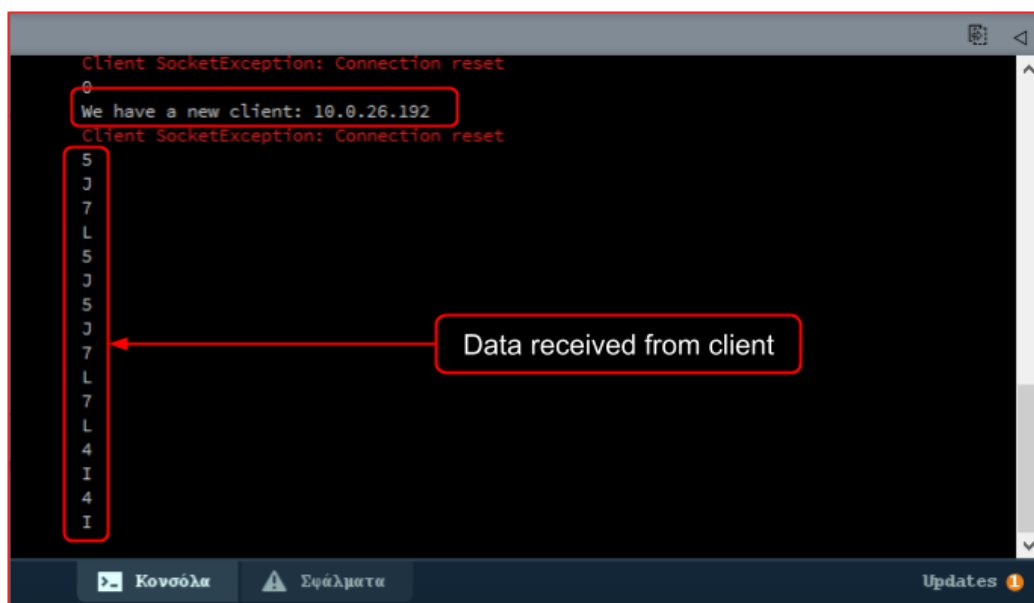
Client client = myServer.available();
// if clients connection is successful
if ((client != null) {
  // reads sensors values
  whatClientSaid = client.readChar();
  while (whatClientSaidBefore != whatClientSaid) {
    whatClientSaidBefore = whatClientSaid;
    println(whatClientSaid);
    if (whatClientSaid != '0') {
      // stores new value from client
      var = whatClientSaid;
    }
    // Scenario 1 activation
    if (whatClientSaid == '1') {
      // initialization of metallophone keys
      for (int i = 0; i<tiles.length; i++)
        nofilltiles(i);
      scenario1 = true;
      scenario2 = false;
      scenario3 = false;
    }
    // Scenario 2 activation
    if (whatClientSaid == '2') {
      scenario1 = false;
      scenario2 = true;
      scenario3 = false;
    }
  }
}

```

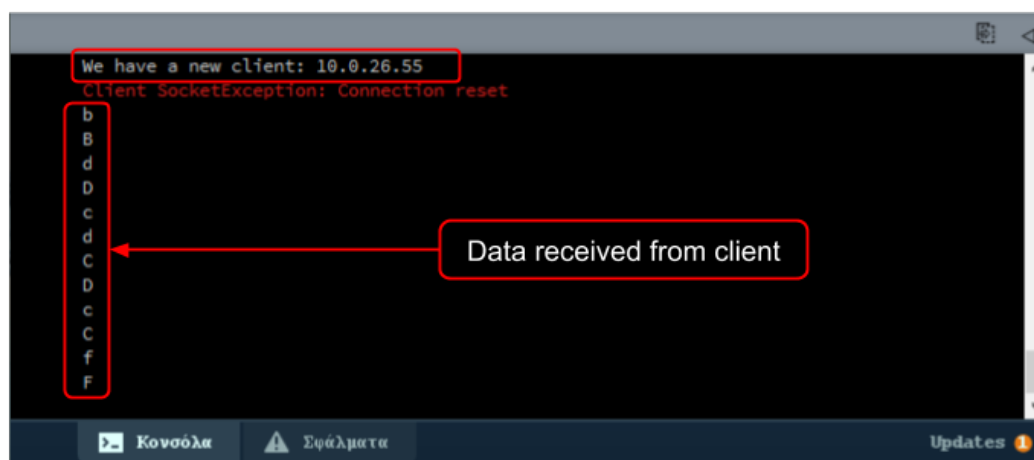


```
}  
// Scenario 3 activation  
if (whatClientSaid == '3') {  
  scenario1 = false;  
  scenario2 = false;  
  scenario3 = true;  
}  
}
```

Κάθε σενάριο αποτελείται από συναρτήσεις που διαχειρίζονται τους ήχους και τα γραφικά. Όταν ένα σενάριο ενεργοποιηθεί καλεί τις αντίστοιχες συναρτήσεις και πραγματοποιείται η εκάστοτε διάδραση.



Σχήμα 6.23: Κουσόλα Processing



Σχήμα 6.24: Κουσόλα Processing

6.4.1 Ανάλυση σεναρίων

Το Processing έχει έναν ιδιαίτερο τρόπο λειτουργίας που έπρεπε να κατανοηθεί στο βέλτιστο για τον προγραμματισμό των πολυμέσων. Το παράθυρο εξόδου του Processing θεωρείται ένας καμβάς όπου εκεί αποτυπώνεται ότι έχει προγραμματιστεί στο Processing sketch και λειτουργεί όπως ο καμβάς ενός ζωγράφου, δηλαδή όταν κάτι ζωγραφιστεί επάνω του δεν μπορεί να διαγραφεί, σβηστεί ή αναιρεθεί. Στην περίπτωση που ο ζωγράφος δεν είναι ικανοποιημένος με το αποτέλεσμα και θέλει να το αλλάξει, αυτό που μπορεί να κάνει είναι να το επικαλύψει με λευκή μπογιά (ή άλλο χρώμα) πάνω από την υπάρχουσα ζωγραφιά. Αυτό θα του δώσει έναν λευκό καμβά για να ζωγραφίσει από την αρχή. Με τον ίδιο τρόπο λειτουργεί και το Processing, ότι δημιουργείται στον βασικό καμβά του δεν μπορεί να αναιρεθεί. Έτσι κάθε φορά ο βασικός καμβάς θα πρέπει να ζωγραφιστεί με το επιθυμητό χρώμα (όχι απαραίτητα λευκό) πριν απεικονίσει την επόμενη προγραμματισμένη έξοδο.

Για να εξαλειφθεί ο παραπάνω περιορισμός χρησιμοποιούνται υποκαμβάδες (PGraphics αντικείμενα). Σε αντίθεση με τα παραπάνω, οι υποκαμβάδες έχουν το πλεονέκτημα πως μπορούν να καθαρίσουν ότι έχει ζωγραφιστεί επάνω τους, λειτουργούν όπως ένας πίνακας διδασκαλίας με μαρκαδόρο, ότι έχει γραφτεί μπορεί εύκολα να σβηστεί με το σφουγγάρι. Για τον λόγο αυτό οι υποκαμβάδες ήταν απαραίτητοι για την διεκπεραίωση της παρούσας εργασίας.

Ξεκινώντας από το πρώτο σενάριο το οποίο είναι και το πιο περίπλοκο αναλύεται ο τρόπος προγραμματισμού και παραθέτονται μερικά παραδείγματα. Το σενάριο ένα ακολουθεί την εξής ροή:

- Αναμονή για σήμα ενεργοποίησης σεναρίου.
- Αρχικοποίηση όλων των PGraphic layer σε λευκό χρώμα.
- Κάλесμα συνάρτησης πρώτων πέντε μουσικών οργάνων.
- Κάλесμα συνάρτησης μεταλλόφωνου.
- Αναμονή για πάτημα αισθητήρα διάδρασης.

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο για να χρησιμοποιηθεί η βιβλιοθήκη χαρτογράφησης είναι απαραίτητο να δημιουργηθούν υποκαμβάδες, τόσοι όσα και τα αντικείμενα στα οποία είναι επιθυμητό να γίνει η χαρτογράφηση προβολής. Το σενάριο ένα αποτελείται από έξι αντικείμενα (μουσικά όργανα) αλλά οι υποκαμβάδες είναι δέκα τρεις, όσες και οι διαδράσεις. Με τον τρόπο αυτό κάθε μουσικό όργανο είναι ανεξάρτητο από τα υπόλοιπα.

Τα μουσικά όργανα στο αρχικό στάδιο και όταν δεν αγγίζεται κάποιο από αυτά αποφασίστηκε να έχουν λευκή επιφάνεια. Οπότε γίνεται αρχικοποίηση των υποκαμβάδων με λευκό χρώμα όσο το σενάριο ένα είναι ενεργό. Όταν κάποιος αισθητήρας πατηθεί τότε ο αντίστοιχος υποκαμβάς αλλάζει χρώμα οπότε αλλάζει και το χρώμα του εκάστοτε μουσικού οργάνου. Σε κάθε άγγιγμα το χρώμα του καμβά είναι τυχαίο και γίνεται ξανά λευκό όταν ο αισθητήρας αφευθεί. Για την διαχείριση αυτών των ενεργειών δημιουργήθηκαν τέσσερις συναρτήσεις, που εκτός από τις αλλαγές χρωμάτων των υποκαμβάδων διαχειρίζονται και τους αντίστοιχους

ήχους των μουσικών οργάνων. Οι υποκαμβάδες καθαρίζονται μόνο στην περίπτωση που κάποιο άλλο σενάριο ενεργοποιηθεί. Παρακάτω αναφέρονται οι συναρτήσεις ονομαστικά:

- **whiteCanvas()** → Αρχικοποιεί όλους τους καμβάδες με λευκό χρώμα και καλείται όταν ενεργοποιηθεί το σενάριο και κάθε φορά που κάποιος αισθητήρας αφηθεί.
- **colorOfCanvas()** → Επιλέγει τυχαία το χρώμα που θα αποδοθεί στον καμβά όταν ένας αισθητήρας πατηθεί.
- **instrumentsInteractions()** → Διαχειρίζεται όλες τις δραδράσεις οπτικές και ακουστικές για τα μουσικά όργανα εκτός του μεταλλόφωνου.
- **metalophoneInteractions()** → Διαχειρίζεται τις οπτικές και ακουστικές διαδράσεις του μεταλλόφωνου.

Σε μια μεταβλητή (var) αποθηκεύεται κάθε φορά η νέα τιμή που λαμβάνεται από τον κάθε client και εισάγεται ως όρισμα στις συναρτήσεις **instrumentsInteractions()** και **metalophoneInteractions()**. Κάθε φορά που το σενάριο ένα είναι ενεργό καλούνται οι συναρτήσεις με όρισμα την νέα τιμή, με αυτόν τον τρόπο το Processing αναγνωρίζει ποιος αισθητήρας έχει ενεργοποιηθεί και ποια διάδραση του αντιστοιχεί ώστε να την ενεργοποιήσει. Παρακάτω δίνονται δύο παραδείγματα από τον κώδικα που χρησιμοποιείτε στις δύο συναρτήσεις αντίστοιχα για την διαχείριση των μουσικών οργάνων:

```
void instrumentsInteractions(char var) {
  if (var == '4') {
    // play audio file
    play_audio[0].loop(0);
    // pick random color of canvas and draw it
    colorOfCanvas(8);
  }
}
```

```
void metalophoneInteractions(char var) {
  if (var == 'a') {
    // play audio file
    play_audio_notes[0].loop(0);
    // pick random color of canvas and draw it
    colorOfCanvas(0);
  }
}
```

Συνεχίζοντας στο δεύτερο σενάριο της αγγλικής αλφαβήτου ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

- Αναμονή για σήμα ενεργοποίησης σεναρίου.
- Κάλεσμα συνάρτησης.

- Αρχικοποίηση καμβάδων στις οριοθετημένες θέσεις.
- Αναμονή για πάτημα αισθητήρα διάδρασης.

Αμέσως μόλις ενεργοποιηθεί το σενάριο η συνάρτηση αρχικοποιεί την γραμματοσειρά, το μέγεθος των γραμμάτων και επιλέγει τυχαία τέσσερα γράμματα από όλο το αλφάβητο. Οφείλει κάθε φορά να ελέγχει ποια γράμματα έχουν επιλεγθεί ώστε να μην τα εμφανίσει διπλά την ίδια χρονική στιγμή. Το κάθε γράμμα έχει δύο διαφορετικούς χρωματισμούς οι οποίοι κάθε φορά επιλέγονται στην τύχη και εναλλάσσονται συνεχόμενα. Η εναλλαγή μεταξύ των χρωματισμών γίνεται σύμφωνα με χρονικές τιμές που επιλέχθηκαν μέσω της συνάρτησης `millis()`. Έπειτα από τις παραπάνω διαδικασίες τα γράμματα τοποθετούνται σε προκαθορισμένες θέσεις στον υποκαμβά και προβάλλονται στην επιφάνεια. Στο κάθε γράμμα αντιστοιχεί μια λέξη και μια εικόνα που την περιγράφει και εμφανίζονται όταν ένα από τα γράμματα πατηθεί. Παρακάτω αναφέρονται οι βασικές συναρτήσεις ονομαστικά:

- `letters()` → Διαχειρίζεται τον προγραμματισμό του σεναρίου, επιλέγει τα γράμματα, τα τοποθετεί στις σωστές θέσεις και εμφανίζει τις εικόνες.
- `masking()` → Δημιουργεί τις μάσκες που εφαρμόζονται στις εικόνες.
- `drawWords()` → Καλείται μέσα από την `letters()` και είναι υπεύθυνη για την αποτύπωση της εκάστοτε λέξης στην επιφάνεια.

Η ίδια μεταβλητή (`var`) χρησιμοποιείται και σε αυτό το σενάριο όταν καλείται η συνάρτηση `letters()`. Έτσι ενημερώνεται η συνάρτηση για το ποιος αισθητήρας είναι ενεργός και πραγματοποιεί την προβολή της λέξης και της εικόνας. Στο συγκεκριμένο σενάριο οι υποκαμβάδες που χρησιμοποιήθηκαν είναι δύο. Στο πρώτο αναπαράγονται τα γράμματα και στο δεύτερο οι λέξεις και οι εικόνες. Παρακάτω παρατίθεται ένα κομμάτι από τον κώδικα που χρησιμοποιήθηκε:

```
void letters(char var) {
  // font initialization of canvas 1
  alphabet[1].textFont(font);
  // text size initialization of canvas 1
  alphabet[1].textSize(32);
  // font initialization of canvas 2
  alphabet[0].textFont(font);

  // num and state are local variables
  if (num<4) {
    state = false;
    // from a letter list pick its random number and store on a temporary
    // variable
    temp = int(random(letters.length));
    // check for doubles
    if ((status == false) && (rand[0]!=temp) && (rand[1]!=temp) &&
        (rand[2]!=temp) && (rand[3]!=temp)) {
      // store letter on final variable
```

```
    rand[num]=temp;
    if (num==N)
        status = true;
    num++;
}
}

if (num==N) {
    alphabet[0].beginDraw();
    // clear everything before adding new content
    alphabet[0].clear();
    alphabet[0].endDraw();
    for (int i=0; i<N; i++) {
        // start drawing letters
        alphabet[0].beginDraw();
        // alternation between two color of letters
        if ((timer[i]+ delayTime [i] )<millis()) {
            brightColors[i]=!brightColors[i];
            timer[i]=millis();
        }
        if (brightColors[i]) {
            alphabet[0].fill ( inputColors[i] );
        } else {
            alphabet[0].fill ( inputColors2[i] );
        }

        // positioning letters
        alphabet[0].text(letters[rand[i]], letterPosition[i].x,
            letterPosition[i].y );
        alphabet[0].endDraw();
    }

    alphabet[1].beginDraw();
    // clear everything before adding new content
    alphabet[1].clear();
    if (var=='4') {
        // set size of image
        imageSize = 0;
        word[0] = true;
        word[1] = false;
        word[2] = false;
        word[3] = false;
        state = true;
        // pick word to display
        displayWord(int(rand[0]));
        letnum = 0;
    }
    if (word[0]==true) {
        // choose mask for image
        mask = masking(alphabet[1], ab[rand[0]].width, ab[rand[0]].height,
            "ellipse");
    }
}
```

```

// set mask on the image before projection
ab[rand[0]].mask(mask);
// display image on surface
alphabet[1].image(ab[rand[0]], 0, 0, ab[rand[0]].width, imageSize);
// zoom in the image
if (imageSize < 280)
    imageSize += 5;
// draw the word
drawWords();
}

```

Με την παρακάτω συνάρτηση δημιουργούνται οι διαφορετικές μάσκες που εφαρμόζονται στις εικόνες.

```

// this function returns a PGraphic object (mask)
PGraphics masking(PGraphics maskImage, int w, int h, String mask) {
    // create PGraphics layer
    maskImage = createGraphics(w, h);
    maskImage.beginDraw();
    switch (mask) {
    case "triangle":
        maskImage.triangle(0-60, h-20, w/2, 0-50, w+60, h-20);
        break;
    case "ellipse":
        maskImage.ellipse(w/2, h/2, 280, 280);
        break;
    case "rect":
        maskImage.rect(w/2, h/2, 300, 500);
        break;
    case "arc":
        maskImage.arc(w/2, h/2, 300, 300, 0, PI+QUARTER_PI, PIE);
        break;
    }
    maskImage.endDraw();
    return maskImage;
}

```

Το σενάριο τρία όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενες ενότητες δεν περιέχει διαδράσεις παρά μόνο προβολή οριοθετημένου βίντεο σε αντικείμενα της σκηνής. Το αρχικό βίντεο έχει διαιρεθεί σε μικρότερα και δημιουργήθηκαν τέσσερις υποκαμβάδες για την αποτύπωση του. Οι υποκαμβάδες τοποθετήθηκαν στις πλευρές των αντικειμένων στη πραγματική σκηνή. Η συνάρτηση που καλείται είναι η παρακάτω:

- **scenario3()** → Ενεργοποιεί και διαχειρίζεται την προβολή επάνω στα σκηνικά αντικείμενα.

Σκοπός του σεναρίου ήταν να εφαρμοστεί χαρτογράφηση προβολής σε πολλαπλές επιφάνειες με διαφορετικές γωνίες θέασης και κλίσεις ως προς τον προβολέα. Όταν κληθεί η συνάρτηση

Ξεκινά η αναπαραγωγή των βίντεο σύμφωνα με τον χρόνο που είναι ενεργό το κάθε ένα. Για παράδειγμα ξεκινώντας από τον πρώτο υποκαμβά ενεργοποιείται και αναπαράγεται το αντίστοιχο κλιπ. Μόλις τερματίσει τότε ενεργοποιείται το επόμενο κλιπ όπου λαμβάνει χώρα στον επόμενο υποκαμβά. Στη συνέχεια παρατίθεται κομμάτι κώδικα που χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο των χρονισμών:

```
void scenario3() {
  switch(counter) {
  case 0:
    switch(st) {
    case 0:
      // play clip on canvas 0
      mov[0].play();
      // check duration of clip
      if (mov[0].time() < mov[0].duration()-0.1) {
        // set canvas
        boxLayer[0].beginDraw();
        // draw clip frame by frame
        // on positions x=0,y=0, and all over canvas
        boxLayer[0].image(mov[0], 0, 0, box, box);
        // end canvas draw
        boxLayer[0].endDraw();
      } else if ((mov[0].time() > mov[0].duration()-0.1) && (mov[1].time() <
        mov[1].duration())) {
        // play clip on canvas 1
        boxLayer[1].beginDraw();
        mov[1].play();
        boxLayer[1].image(mov[1], 0, 0, box, box);
        boxLayer[1].endDraw();
      } else if ((mov[1].time() >= mov[1].duration()) && (mov[2].time() <
        mov[2].duration())) {
        // play clip on canvas 0
        boxLayer[0].beginDraw();
        mov[2].play();
        boxLayer[0].image(mov[2], 0, 0, box, box);
        boxLayer[0].endDraw();
      } else if ((mov[2].time() > mov[2].duration()-0.1) && (mov2.time() <
        mov2.duration())) {
        // play clip on canvas 2
        boxLayer[2].beginDraw();
        mov2.play();
        boxLayer[2].image(mov2, 0, 0, box, box);
        boxLayer[2].endDraw();
      } else if ((mov2.time() >= mov2.duration()-0.1) && ((mov[3].time()) <=
        1.416)) {
        // play clip on canvas 3
        boxLayer[3].beginDraw();
        mov[3].play();
        boxLayer[3].image(mov[3], 0, 0, box, box);
        boxLayer[3].endDraw();
      }
    }
  }
}
```

```
}  
else {  
  // play clip on canvas 0  
  boxLayer[0].beginDraw();  
  mov[4].play();  
  boxLayer[0].image(mov[4], 0, 0, box, box);  
  boxLayer[0].endDraw();  
}  
}
```

Κεφάλαιο 7

Σχόλια, Συμπεράσματα και Προτάσεις για Μελλοντική Εξέλιξη

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η κατασκευή μιας ολοκληρωμένης διαδραστικής επιφάνειας προσανατολισμένη σε παιδιά, απαρτιζόμενη από αυτοσχέδιους χωρητικούς αισθητήρες. Βασικός στόχος ήταν η διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης αγώγιμων αξιόπιστων υλικών τα οποία είναι εύκολα προσβάσιμα για την δημιουργία των αισθητήρων χωρητικότητας. Συνολικά η επιφάνεια που δημιουργήθηκε ικανοποιεί πλήρως τις προδιαγραφές που είχαν τεθεί αρχικά και αποτελεί μια εύχρηστη και ενδιαφέρουσα εφαρμογή. Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα κύρια συμπεράσματα που προέκυψαν από την μελέτη και την κατασκευή της επιφάνειας καθώς και μια σειρά από προτάσεις για μελλοντικές βελτιώσεις του συστήματος.

7.1 Σχόλια και Συμπεράσματα

Σαν αποτέλεσμα της παρούσας εφαρμογής είναι πως χρησιμοποιώντας απλά υλικά χαμηλού κόστους σε συνδυασμό με το πρόγραμμα ανοιχτού λογισμικού Processing είναι εφικτή η κατασκευή μιας λειτουργικής διαδραστικής επιφάνειας.

Πιο συγκεκριμένα, κατά το πρώτο στάδιο της πτυχιακής έγινε μελέτη διαφορετικών υλικών με χωρητικές ιδιότητες και υλοποιήθηκαν αντίστοιχες δοκιμές για την εύρεση του βέλτιστου υλικού για την παρούσα εργασία. Έπειτα από την ολοκλήρωση των δοκιμών επιλέχθηκε η χρήση αλουμινοταινίας για την κατασκευή των αισθητήρων μέσω των οποίων γίνεται η μετάδοση του κάθε σήματος από τους μικροελεγκτές (ESP32) στον server (Processing). Απαραίτητη προσθήκη για τον προγραμματισμό των μικροελεγκτών αποτέλεσε η βιβλιοθήκη μεσαίας τιμής που χρησιμοποιήθηκε για την εξάλειψη τυχόν θορύβων κατά την λήψη των σημάτων από τους αισθητήρες. Χωρίς την χρήση της βιβλιοθήκης τα δεδομένα κάποιες φορές θα ήταν εσφαλμένα και το διαδραστικό αποτέλεσμα δεν θα ήταν το επιθυμητό.

Σχετικά με την κατασκευή της επιφάνειας το υλικό που επιλέχθηκε ήταν το χαρτόνι κυρίως για λόγους εύκολης διαχείρισης και μετακίνησης. Το χαρτόνι πρόσφερε στην κατασκευή

πολλά πλεονεκτήματα και έκανε την συνδεσμολογία του συστήματος εύκολη καθώς ήταν εφικτή η επικοινωνία της εμπρόσθιας με την οπίσθια πλευρά όπου όλη η καλωδίωση συνδεόταν με τους μικροελεγκτές. Με τον τρόπο αυτό η εμπρόσθια πλευρά δεν επιβαρύνθηκε με περιττό υλικό και καλώδια. Παρόλα αυτά η επιλογή του χαρτονιού με τον τρόπο που χρησιμοποιήθηκε αποδείχθηκε όχι και τόσο καλή επιλογή όσον αφορά το τελικό αποτέλεσμα. Ο λόγος ήταν πως επειδή όλη η καλωδίωση ήταν στο πίσω μέρος της επιφάνειας, το χαρτόνι δεν είχε καλή επαφή με τον πίνακα διδασκαλίας όπου είχε τοποθετηθεί. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα σε συγκεκριμένες περιπτώσεις τα πατήματα των αισθητήρων να ήταν ασταθή.

Όσον αφορά τον προγραμματισμό των μικροελεγκτών, κατά την διαδικασία λήψης της κατάστασης των αισθητήρων, παρατηρήθηκε σε μερικές περιπτώσεις η κακή απόκριση του μικροελεγκτή όταν γινόταν γρήγορες επαναλαμβανόμενες μετρήσεις από τα pin εισόδων. Με την αύξηση της ταχύτητας δειγματοληψίας του μικροελεγκτή σε 112500kbps επιτεύχθηκε καλύτερη αποκρισιμότητα στην λήψη και καταγραφή των εισόδων. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τα δεδομένα που λάμβανε ο server ήταν περισσότερο αντιπροσωπευτικά για κάθε πάτημα χωρίς καθυστερήσεις.

Κατά την διαδικασία προγραμματισμού του server (Processing), η επικοινωνία με τους μικροελεγκτές αποδείχθηκε αρκετά ικανοποιητική χωρίς σφάλματα και η διαχείριση των ληφθέντων δεδομένων ήταν εύκολη. Αντιθέτως ιδιαίτερη πρόκληση αποτέλεσε η σχεδίαση και ο προγραμματισμός των διαδράσεων μέσω του Processing καθώς ο ιδιαίτερος τρόπος ο οποίος λειτουργεί εμφάνισε δυσκολίες σε μερικά κρίσιμα σημεία της εφαρμογής. Η αναπαραγωγή πολλαπλών βίντεο ταυτοχρόνως σημείωσε σημαντικές καθυστερήσεις με αποτέλεσμα να περιοριστούν τα περιεχόμενα βίντεο που προβάλλονται στην τελική υλοποίηση.

7.2 Μελλοντική Εξέλιξη

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται μια σειρά από προτεινόμενες βελτιώσεις και επεκτάσεις που μπορούν να πραγματοποιηθούν στο συνολικό σύστημα που αναπτύχθηκε κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Ειδικότερα, βελτιώσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν στην φυσική κατασκευή της διαδραστικής επιφάνειας. Σημαντικό ρόλο θα έπαιζε η προσθήκη ενός πλαισίου όπου μπορεί να τοποθετηθεί το χαρτόνι και θα βελτίωνε αισθητά την σταθερότητα της επιφάνειας με αποτέλεσμα να υπάρχει καλύτερη απόκριση στα πατήματα του χρήστη. Επιπλέον μία ακόμη προτεινόμενη λύση είναι η επιλογή ενός διαφορετικού δύσκαμπτου υλικού για παράδειγμα φύλλα κόντρα πλακέ ή πλεξιγκλάς. Με αυτές τις επιλογές η επιφάνεια θα είναι περισσότερο σταθερή και αποδοτική αλλά θα δυσκολέψει η διαχείριση και μετακίνηση της. Παρόλα αυτά είναι σημαντικότερη η σταθερότητα της επιφάνειας που έχει ως αποτέλεσμα την βέλτιστη απόδοση τη εφαρμογής.

Μια επιπλέον προτεινόμενη λύση, θα ήταν να ερευνηθεί η προοπτική χρήσης μικρουπολογιστών με μεγάλη επεξεργαστική ισχύ και μνήμη για να μπορέσουν να αντικαταστήσουν την υπολογιστική μονάδα και έτσι να δημιουργηθεί ένα compact σύστημα.

Προτείνεται επίσης η χρήση προγραμμάτων σχεδιασμού γραφικών (2D/3D) για την δημιουρ-

γία των γραφικών εξ' ολοκλήρου από την αρχή. Παρόλο που στο διαδίκτυο υπάρχει μεγάλη ποικιλία διαθέσιμου δωρεάν υλικού ο σχεδιασμός από την αρχή προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία και καθιστά ευκολότερη την προσαρμογή τους στα εκάστοτε σενάρια.

Μία άλλη προτεινομένη βελτίωση είναι η επέκταση της επιφάνειας σε μεγαλύτερη κλίμακα. Για παράδειγμα θα μπορούσε να γίνει εφαρμογή στους τοίχους ενός δωματίου και σε συνδυασμό με γραφικά εικονικής πραγματικότητας να αποδοθεί η αίσθηση στον χρήστη πως βρίσκεται σε έναν εικονικό κόσμο και συμμετέχει σε αυτόν μέσω των διαφορετικών διαδράσεων. Αυτό προϋποθέτει την δημιουργία προσαρμοσμένων γραφικών με αντίστοιχα προγράμματα όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο. Σε μία τέτοια περίπτωση απαραίτητη θα είναι η χρήση περισσότερων προβολέων ώστε να καλύψουν την επιθυμητή περιοχή αλλά και σε μία πιο απλή εφαρμογή θα μπορούσαν συνδυαστικά να αποτελέσουν ένα πιο εντυπωσιακό αποτέλεσμα.

Βιβλιογραφία

- [1] Yang Zhang, Chouchang (Jack) Yang, Scott E. Hudson, Chris Harrison and Alanson Sample, *Wall++: Room-Scale Interactive and Context-Aware Sensing*, 2018.
- [2] Tobias Grosse-Puppenthal, Christian Holz, Gabe Cohn, Raphael Wimmer, Oskar Bechtold, Steve Hodges, Matthew S. Reynolds, Joshua R. Smith, *Finding Common Ground: A Survey of Capacitive Sensing in Human-Computer Interaction*, 2018.
- [3] Sam Jacoby, Leah Buechley, *Drawing the Electric: Storytelling with Conductive Ink*, 2013.
- [4] Leah Buechley, David Mellis, Hannah Perner-Wilson, Emily Lovell, Bonifaz Kaufmann *Living Wall: Programmable Wallpaper for Interactive Spaces*, 2010.
- [5] Jie Qi, Leah Buechley, *Electronic Popables: Exploring Paper-Based Computing through an Interactive Pop-Up Book*, 2010.
- [6] Analisa Russo, Bok Yeop Ahn , Jacob J. Adams, Eric B. Duoss, Jennifer T. Bernhard, Jennifer A. Lewis, *Pen-on-Paper Flexible Electronics*, 2011.
- [7] Natalie Freed, Jie Qi, Adam Setapen, Cynthia Breazeal, Leah Buechley, Hayes Raffle, *Sticking Together: Handcrafting Personalized Communication Interfaces*, 2011.
- [8] A. Grundhöfer D. Iwai, *Recent Advances in Projection Mapping Algorithms, Hardware and Applications*, 2018.
- [9] S. Panagiotakis, J. Vakintis, H. Andrioti, A. Stamoulias, K. Kapetanakis, A.Malamos, “Towards ubiquitous and adaptive web-based multimedia communications via the cloud”, contribution to the collaborative book entitled: “Resource Management of Mobile Cloud Computing Networks and Environments”, edited by George Mastorakis, Constandinos Mavromoustakis, Evangelos Pallis, pp. 307-360, DOI: 10.4018/978-1-4666-8225-2.ch011, IGI Global, 2015.
- [10] Koralia Papadokostaki, George Mastorakis, Spyros Panagiotakis, “Handling Big Data in the era of IoT”, chapter contribution in the “Advances in Mobile Cloud Computing and Big Data in the 5G Era”, Editors: Mavromoustakis Constandinos X., Mastorakis George, Dobre Ciprian, Springer-Verlag, pp. 3-22., 2017.
- [11] Papadokostaki, K., Panagiotakis, S., Malamos, A., & Vassilakis, K., *Mobile Learning in the Era of IoT: Is Ubiquitous Learning the Future of Learning?*. In S. Papadakis, & M. Kalogiannakis (Eds.), *Mobile Learning Applications in Early Childhood Education* (pp. 252-280). Hershey, PA: IGI Global. doi:10.4018/978-1-7998-1486-3.ch013, 2020.

- [12] Georgia Atsali, Spyros Panagiotakis, Evangelos Markakis, George Mastorakis, Constantinos X. Mavromoustakis, Evangelos Pallis, Athanasios Malamos, “A mixed reality 3D system for the integration of X3DoM graphics with real-time data”, *Multimedia Tools and Applications*, 77(4), 4731-4752, DOI: 10.1007/s11042-017-4988-z, 2017.
- [13] Nikos Pinikas, Spyros Panagiotakis, Despina Athanasaki, Athanasios G. Malamos, “A Device Independent Platform for Synchronous Internet of Things Collaboration and Mobile Devices Screen Casting”, *Science Publishing Group International Journal of Information and Communication Sciences*, Vol. 2, Issue 5, pp. 59-67. doi: 10.11648/j.ijics.20170205.12, 2017.
- [14] ΤΟΠΑΛΟΓΛΟΥ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ, *Απτικές Επιφάνειες*, 2006.
- [15] Definition - What does Haptic mean?, <https://www.techopedia.com/definition/3637/haptic>. Last Accessed: 26-4-2019.
- [16] Electrical Conductivity Definition, <https://www.thoughtco.com/definition-of-electrical-conductivity-605064>. Last Accessed: 26-11-2019.
- [17] Properties of Copper, <https://copperalliance.org.uk/about-copper/copper-alloys/properties-copper/>. Last Accessed: 12-4-2020.
- [18] What Is the Conductivity of Copper, <https://sciencing.com/conductivity-copper-6307070.html>. Last Accessed: 12-4-2020.
- [19] How to make an Arduino capacitance meter, <https://www.circuitbasics.com/how-to-make-an-arduino-capacitance-meter/>. Last Accessed: 19-3-2020.
- [20] Gold - Physical, Mechanical, Thermal, and Electrical Properties, <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=5147>. Last Accessed: 12-4-2020.
- [21] Dielectric Materials, <https://www.electrical4u.com/dielectric-materials/>. Last Accessed: 19-3-2020.
- [22] Capacitive Sensor Operation and Optimization, <https://www.lionprecision.com/capacitive-sensor-operation-and-optimization-how-capacitive-sensors-work-and-how-to-use-them-effectively/>. Last Accessed: 26-11-2019.
- [23] Sensing Types of Capacitive Sensors, <https://automation-insights.blog/2017/07/05/sensing-types-of-capacitive-sensors/>. Last Accessed: 28-1-2020.
- [24] Making Conductive Paint, https://www.youtube.com/watch?v=phEke_LZJlk. Last Accessed: 12-1-2020.
- [25] Interactive Touch Wall, <https://www.core77.com/posts/35697/How-Dalziel-and-Pow-Realized-This-Awesome-Interactive-Touch-Wall>. Last Accessed: 10-9-2019
- [26] Zippy, <https://www.dalziel-pow.com/news/zippy-digital-installations-making>. Last Accessed: 15-4-2020.
- [27] Projection Mapping, <https://www.instructables.com/id/Projection-mapping/>. Last Accessed: 17-5-2019.

-
- [28] Sensing Types of Capacitive Sensors, <https://automation-insights.blog/2017/07/05/sensing-types-of-capacitive-sensors/>. Last Accessed: 28-1-2020.
- [29] A Capacitive Measurement System, <https://www.sensorland.com/HowPage070.html>. Last Accessed: 28-1-2020.
- [30] The Internet of Things with ESP32, <http://esp32.net/>. Last Accessed: 4-2-2020.
- [31] ESP32 Capacitive Touch Sensor Pins with Arduino IDE, <https://randomnerdtutorials.com/esp32-touch-pins-arduino-ide/>. Last Accessed: 4-2-2020.
- [32] Capacitive Sensing Library, <https://playground.arduino.cc/Main/CapacitiveSensor/> Last Accessed: 2-6-2020.
- [33] The Illustrated History of Projection Mapping, <http://projection-mapping.org/the-history-of-projection-mapping/>. Last Accessed: 30-1-2020.
- [34] Front and Rear Projection, <https://www.channelaudiogroup.com/single-post/Front-or-Rear-Projection>. Last Accessed: 3-6-2020.
- [35] Rear projection effect, https://en.wikipedia.org/wiki/Rear_projection_effect. Last Accessed: 3-6-2020.
- [36] What is Projection Mapping, <https://www.youtube.com/watch?v=E-I7Q5HEZQs>. Last Accessed: 9-6-2020.
- [37] Keystone Library, <https://fh-potsdam.github.io/doing-projection-mapping/processing-keystone/>. Last Accessed: 3-7-2020.
- [38] MapMap, <https://mapmapteam.github.io/>. Last Accessed: 5-6-2020.
- [39] Processing, <https://processing.org/>. Last Accessed: 3-7-2020.
- [40] MadMapper, <https://madmapper.com/>. Last Accessed: 5-6-2020.
- [41] HeavyM, <https://heavym.net/en/>. Last Accessed: 5-6-2020.
- [42] Resolume Arena, <https://resolume.com/software>. Last Accessed: 5-6-2020.
- [43] Video Projection Tool, <https://hcgilje.wordpress.com/vpt/>. Last Accessed: 8-6-2020.