



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

Σχολή Κοινωνικών, Ανθρωπιστικών Επιστημών και Τεχνών

Τμήμα Εκπαιδευτικής & Κοινωνικής Πολιτικής

Π.Μ.Σ. στις Επιστήμες της Αγωγής: Εφαρμογές Τεχνολογιών Πληροφορίας και Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση και τη Διά Βίου Μάθηση

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Κατασκευή Πρότυπου Απτικού Συστήματος
Αλληλεπίδρασης Ανθρώπου - Κοινωνικού Ρομπότ
με χρήση Χωρητικής Τεχνολογίας**

ΤΟΥ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΤΣΙΡΚΑ

Υποβλήθηκε ως απαιτούμενο για την απόκτηση του
Διπλώματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στις
**Επιστήμες της Αγωγής: Εφαρμογές Τεχνολογιών Πληροφορίας
και Επικοινωνιών (Τ.Π.Ε.) στην Εκπαίδευση και τη Δια Βίου Μάθηση**
Ειδίκευση STEM και Ρομποτική στην Εκπαίδευση

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2022

© ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ, 2022

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία (ΜΔΕ), η οποία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακού Σπουδών στις Επιστήμες της Αγωγής: Εφαρμογές Τεχνολογιών Πληροφορίας και Επικοινωνιών (Τ.Π.Ε.) στην Εκπαίδευση και τη Δια Βίου Μάθηση (Ειδίκευση STEM και Ρομποτική στην Εκπαίδευση), και τα λοιπά αποτελέσματα αυτής αποτελούν συνιδιοκτησία του Πανεπιστημίου Μακεδονίας και του φοιτητή, ο καθένας από τους οποίους έχει το δικαίωμα ανεξάρτητης χρήσης και αναπαραγωγής τους (στο σύνολο ή τμηματικά) για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, σε κάθε περίπτωση αναφέροντας τον τίτλο και το συγγραφέα και το Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, όπου εκπονήθηκε η ΜΔΕ καθώς και τον Επιβλέποντα Καθηγητή και την Επιτροπή Αξιολόγησης.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

Σχολή Κοινωνικών, Ανθρωπιστικών Επιστημών και Τεχνών

Τμήμα Εκπαιδευτικής & Κοινωνικής Πολιτικής

Π.Μ.Σ. στις Επιστήμες της Αγωγής: Εφαρμογές Τεχνολογιών Πληροφορίας και
Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση και τη Διά Βίου Μάθηση
Ειδίκευση STEM και Ρομποτική στην Εκπαίδευση

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Κατασκευή Πρότυπου Απτικού Συστήματος
Αλληλεπίδρασης Ανθρώπου - Κοινωνικού Ρομπότ
με χρήση Χωρητικής Τεχνολογίας**

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΤΣΙΡΚΑΣ

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Επιβλέπων Καθηγητής

Νικόλαος Φαχαντίδης

Αναπληρωτής Καθηγητής

Τμήμα Εκπαιδευτικής & Κοινωνικής Πολιτικής

Πανεπιστήμιο Μακεδονίας

Μέλη

Αντώνιος Δημητρίου

Θεόδωρος Κασκάλης

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2022

Περίληψη

Η παρούσα εργασία θα ασχοληθεί με την μελέτη και την κατασκευή ενός πρότυπου και χαμηλού κόστους απτικού συστήματος αλληλεπίδρασης ανθρώπου - κοινωνικού ρομπότ, σύμφωνα με τις προτεινόμενες ανάγκες που προκύπτουν από την μελέτη επιστημονικών πηγών. Αφού μελετηθούν οι ανάγκες, οι υπάρχουσες λύσεις, οι προτάσεις και οι προκλήσεις των τεχνολογιών που αφορούν την απτική αλληλεπίδραση ανθρώπου - κοινωνικού ρομπότ, θα υπάρξει κατάλληλη κατασκευή πρότυπου απτικού συστήματος χαμηλού κόστους για χρήση σε τμήματα κοινωνικών ρομπότ (κεφάλι, άκρα, σώμα) με έμφαση σε υλικά που προκύπτουν από τρισδιάστατο εκτυπωτή, χρησιμοποιώντας αισθητήρες που θα είναι τοποθετημένοι εσωτερικά του κελύφους των τμημάτων, οι οποίοι θα αποστέλλουν τα δεδομένα σε μικροεπεξεργαστή ή μικροϋπολογιστή.

Συνεπώς, σκοπός της εργασίας είναι η κατασκευή του παραπάνω πρότυπου συστήματος, του οποίου η αρχιτεκτονική θα είναι τέτοια ώστε είτε το σύνολο του πρότυπου συστήματος, είτε κάποια από τα υποσυστήματά του, να είναι τροποποιήσιμα και εύκολα προσαρμοζόμενα, προκειμένου να μπορεί να υπάρξει μελλοντική αξιοποίηση από πρότυπα κοινωνικά ρομπότ χαμηλού κόστους. Το πρότυπο σύστημα θα υλοποιηθεί και θα δοκιμαστεί σε υλικά τρισδιάστατης εκτύπωσης, των οποίων τα χαρακτηριστικά θα προσομοιώνουν αυτά του κελύφους ενός τμήματος κοινωνικού ρομπότ χαμηλού κόστους. Θα επιλεγεί να γίνει χρήση της χωρητικής τεχνολογίας, δεδομένου ότι οι αισθητήρες θα είναι μη ορατοί, τοποθετημένοι εσωτερικά του κελύφους των τμημάτων. Η διαδικασία της αξιολόγησης θα έχει δύο κατευθύνσεις:

Λειτουργία: Αξιολόγηση ακρίβειας με την επανάληψη συγκεκριμένων tasks και καταγραφή των αποτελεσμάτων.

Χρήστες: Να μελετήσουν τα βήματα και να αξιολογήσουν πόσο εύκολα θα μπορούσαν να οδηγηθούν σε μια τέτοια κατασκευή, καθώς και να εκφράσουν την άποψή τους για την μελλοντική χρήση σε πρότυπα κοινωνικά ρομπότ χαμηλού κόστους.

Περιεχόμενα

<u>Εισαγωγή</u>	6
<u>1. Η αλληλεπίδραση ανθρώπου με κοινωνικά ρομπότ</u>	
1.1 Τα κοινωνικά ρομπότ	8
1.2 Ανθρώπινες προσδοκίες και αντιλήψεις για τα κοινωνικά ρομπότ	9
<u>2. Μελέτη των εφαρμογών της απτικής τεχνολογίας σε κοινωνικά ρομπότ</u>	
2.1 Οι εφαρμογές της απτικής τεχνολογίας σε πρότυπα κοινωνικά ρομπότ	9
2.2 Οι εφαρμογές της χωρητικής απτικής τεχνολογίας σε πρότυπα κοινωνικά ρομπότ	12
<u>3. Υλοποίηση του πρότυπου συστήματος χωρητικής απτικής τεχνολογίας</u>	
3.1 Σχεδιασμός του πρότυπου συστήματος	13
3.2 Δοκιμές του Adafruit MPR121 σε Πολυπροπυλένιο PP	14
3.3 Δοκιμές του Adafruit MPR121 σε PLA	17
3.4 Δημιουργία κελύφους δοκιμών με υλικό PLA	20
3.5 Συναρμολόγηση και δοκιμή του πρότυπου απτικού συστήματος	22
<u>4. Η διαδικασία της αξιολόγησης του συστήματος</u>	
4.1 Αξιολόγηση λειτουργίας του συστήματος	30
4.2 Αξιολόγηση αντίληψης της λειτουργίας του συστήματος από χρήστες	31
<u>5. Συμπεράσματα</u>	33

Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια, η έρευνα στον τομέα των κοινωνικών ρομπότ έχει αναπτυχθεί σημαντικά, καθώς η μελέτη τους αποτελεί ένα σύνθετο διεπιστημονικό εγχείρημα. Πολλά εργαστήρια επιστήμης υπολογιστών σε διάφορα πανεπιστήμια ερευνούν την ιδανική μορφή, τις λειτουργίες, αλλά και το πλαίσιο επικοινωνίας με ένα κοινωνικό ρομπότ, ώστε να μπορεί να επιτυγχάνεται η βέλτιστη αλληλεπίδραση ανθρώπου - ρομπότ (HRI) [1].

Κάποια από αυτά είναι αυτόνομα ρομπότ, ώστε να είναι σε θέση να αλληλεπιδρούν και να επικοινωνούν μεταξύ τους, με τους ανθρώπους και με το περιβάλλον. Τα κοινωνικά ρομπότ είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν σύμφωνα με τα καθιερωμένα κοινωνικά και πολιτιστικά πρότυπα [1], [2], [3]. Κάποια από αυτά έχουν την δυνατότητα να ενθαρρύνουν τους ανθρώπους να ξεκινήσουν να αλληλεπιδρούν αυθόρμητα μαζί τους [4].

Η ανάπτυξη των κοινωνικών ρομπότ επικεντρώνεται στο σχεδιασμό μηχανών που οι άνθρωποι μπορούν να επικοινωνούν και να συνεργάζονται μαζί τους όσο το δυνατόν πιο φυσικά [5], [6], [7], [8], [9]. Τα κοινωνικά ρομπότ αναμένεται να διεισδύουν όλο και περισσότερο στην καθημερινότητα των ανθρώπων και η αποδοχή τους να αυξηθεί ακόμη περισσότερο [8], [10].

Μελετώντας σχετικές επιστημονικές πηγές, ένας από τους πιο ενδιαφέροντες τρόπους αλληλεπίδρασης ανθρώπου με ρομπότ αφορά την απτική επικοινωνία (haptic). Η χρήση κοινωνικών ρομπότ πρέπει να κάνει τους ανθρώπους να νιώθουν σωματικά και ψυχολογικά οικεία μαζί τους. Η αφή ως μια από τις ανθρώπινες αισθήσεις φαίνεται να συνδέεται άμεσα με την οικειότητα [11], [12]. Ουσιαστικά, το άγγιγμα αποτελεί ένα πολύ βασικό κανάλι μη λεκτικής επικοινωνίας για τη μετάδοση οικείων συναισθημάτων [12].

Η απτική αλληλεπίδραση ανθρώπου με ρομπότ αποτελεί ένα πολλά υποσχόμενο ερευνητικό πεδίο, εμπλέκοντας πολλούς διαφορετικούς κλάδους, μερικοί από τους οποίους είναι οι τομείς της Εμβιομηχανικής, της Ψυχολογίας, της Νευροφυσιολογίας, της Μηχανικής και της Επιστήμης των Υπολογιστών [13], [14], [15]. Για να πραγματοποιηθεί αυτή η αλληλεπίδραση απαιτούνται κατάλληλες απτικές διεπαφές. Η επιλογή των κατάλληλων διεπαφών εξαρτάται από την απτική τεχνολογία που θα επιλεγεί.

Δεδομένου ότι η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία θα ασχοληθεί με την κατάλληλη κατασκευή πρότυπου απτικού συστήματος χαμηλού κόστους σε τμήματα κοινωνικών ρομπότ χρησιμοποιώντας αισθητήρες που θα είναι τοποθετημένοι εσωτερικά του κελύφους των τμημάτων, θα επιλεγεί η χρήση της χωρητικής τεχνολογίας.

Οι χωρητικές μέθοδοι μέτρησης έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε πολλές εφαρμογές για τη μέτρηση φυσικών τιμών όπως απόσταση, πίεση, στάθμη υγρού, επιτάχυνση, υγρασία και

σύνθεση υλικού κ.λ.π. Οι νεότερες εφαρμογές, που χρησιμοποιούν την τεχνολογία αφής capacitive, περιλαμβάνουν και πολλές πολύ διαδεδομένες διεπαφές ανθρώπου - υπολογιστή (HCI), όπως για παράδειγμα οι επιφάνειες αφής των laptops και τα κινητά τηλέφωνα [16].

Η χωρητική απτική τεχνολογία έχει επίσης χρησιμοποιηθεί στη ρομποτική για την ανίχνευση επαφής σε περιοχές του σώματος ενός ρομπότ (HRI) [16]. Η συγκεκριμένη τεχνολογία αποτελεί μια πολύ καλή λύση για απτικές εφαρμογές που χρησιμοποιούνται σε ρομπότ σκληρού περιβλήματος (hard cover) [17], [18], όπου πολλές φορές συνδυάζεται με χρήση επιταχυνσιόμετρου για καταγραφή των δονήσεων. Υπάρχουν αρκετά chips που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πρότυπες ρομποτικές χωρητικές απτικές εφαρμογές χαμηλού κόστους. Μια πολύ καλή επιλογή αποτελεί η χρήση του Adafruit MPR121 [19], [20], [21], [22].

Τέλος, για την συλλογή των δεδομένων που θα προκύψουν ως έξοδο από ένα τέτοιο chip μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο ο μικροεπεξεργαστής Arduino, όσο και ο μικροϋπολογιστής Raspberry Pi. Η τελική επιλογή για την συλλογή των δεδομένων του πρότυπου συστήματος που θα υλοποιηθεί στην συγκεκριμένη εργασία θα γίνει με βάση την περαιτέρω μελέτη της αντίστοιχης βιβλιογραφίας.

1. Η αλληλεπίδραση ανθρώπου με κοινωνικά ρομπότ

1.1 Τα κοινωνικά ρομπότ

Σε σύγκριση με την γενική έννοια του ρομπότ, ένα κοινωνικό ρομπότ συνδυάζει τόσο τις έννοιες που σχετίζονται με τις τεχνικές λειτουργίες, όσο και εκείνες που αφορούν τα κοινωνικά του χαρακτηριστικά. Ουσιαστικά, ένα ρομπότ δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως κοινωνικό ρομπότ, αν δεν διαθέτει συγκεκριμένες ικανότητες κοινωνικής αλληλεπίδρασης [1], [2], [3], [4].

Στο παρελθόν, οι έννοιες που αφορούσαν τα κοινωνικά χαρακτηριστικά θεωρούνταν ως στοιχείο που σχετιζόταν αποκλειστικά με τους ανθρώπους, όχι με τις άψυχες μηχανές. Πλέον, δεδομένου ότι οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις κατέστησαν δυνατή τη μάλλον λεπτομερή τεχνητή μίμηση των ανθρώπων και των κοινωνικών τους χαρακτηριστικών και την ενσωμάτωσή τους σε τσιπ πυριτίου, υπάρχει έντονη ανάγκη να γίνει κατανοητό σε ποιο βαθμό η ανθρώπινη φύση μπορεί να εμφυτευτεί στα κοινωνικά ρομπότ. Μέχρι πριν μερικά χρόνια, οι μελέτες σχετικά με θέματα αλληλεπίδρασης ανθρώπων και μηχανών ήταν εστιασμένες στην αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή (HCI) [9], [10].

Παρά τα πολλά δυνατά τους σημεία, οι μελέτες HCI δεν εμπνέονταν από τις κοινωνικές και ανθρωπιστικές επιστήμες, όπως γίνεται πλέον στις μέρες μας. Ως εκ τούτου, οι μελέτες HCI παρέχουν ένα σχετικά ανεπαρκές ερευνητικό παράθυρο για την κοινωνική πλευρά ενός τεχνολογικού αντικειμένου. Συνεπώς, αντίστοιχες ελλείψεις εντοπίζονται και στους τομείς της αλληλεπίδρασης ανθρώπου-ρομπότ (HRI) [9]. Η κατανόηση της σημασίας των κοινωνικών και ανθρωπιστικών επιστημών στους τομείς της αλληλεπίδρασης του ανθρώπου με ένα κοινωνικό ρομπότ ανοίγει νέες δυνατότητες για νέα ρομπότ, όπου τα κοινωνικά τους χαρακτηριστικά αποτελούν βασικό μέρος της λειτουργικότητάς τους [1], [2].

Τα κοινωνικά ρομπότ έχουν σχεδιαστεί να αξιοποιούν τα κοινωνικά τους χαρακτηριστικά για να παρακινούν, να καθοδηγούν, να εκπαιδεύουν και να διευκολύνουν τους ανθρώπους [3]. Τέτοιες εφαρμογές παρατηρούνται ακόμη και σε τομείς που σχετίζονται με την υγεία, όπως η φροντίδα ηλικιωμένων, οι θεραπευτικές παρεμβάσεις για παιδιά με αυτισμό, η διαχείριση χρόνιων ασθενειών, αλλά και σε τομείς που σχετίζονται με την τηλεϊατρική [2]. Τα κοινωνικά ρομπότ είναι σε θέση να αλληλεπιδρούν και να επικοινωνούν μεταξύ τους, με τους ανθρώπους και με το περιβάλλον. Για παράδειγμα, να μπορούν να αναγνωρίζουν την παρουσία ενός ανθρώπου μέσω των αισθήσεών τους, όπως η όραση, η αφή και ο ήχος, να αναγνωρίζουν καταστάσεις όπως το κράτημα ή το άγγιγμα, να χρησιμοποιούν σωματικές κινήσεις και χειρονομίες, να εκφράζουν ή/και να αντιλαμβάνονται συναισθήματα, αλλά και να μπορούν να συμμετέχουν με φυσικό τρόπο σε ανθρώπινες καταστάσεις επικοινωνίας, όπως μια συζήτηση [3].

Ακόμη, κάποια κοινωνικά ρομπότ μπορούν όχι μόνο να ανταποκρίνονται στα αιτήματα και τις ανάγκες των ανθρώπων, αλλά έχουν την δυνατότητα να ενθαρρύνουν τους ανθρώπους να ξεκινήσουν να αλληλεπιδρούν αυθόρμητα μαζί τους. Για ένα τέτοιο ρομπότ, η έναρξη της αλληλεπίδρασης είναι μία από τις πιο θεμελιώδεις δυνατότητές του, αφού είναι εξοπλισμένο με την ικανότητα να μπορεί να ενθαρρύνει τους ανθρώπους ώστε να ξεκινήσουν την αλληλεπίδραση μαζί του [4].

Συνεπώς, γίνεται κατανοητό ότι η ανάπτυξη των κοινωνικών ρομπότ επικεντρώνεται στο σχεδιασμό μηχανών που οι άνθρωποι πρέπει να αντιλαμβάνονται ως αποτελεσματικούς συνεργάτες, ικανούς να επικοινωνούν και να αλληλεπιδρούν μαζί τους όσο το δυνατόν πιο φυσικά [5], [6], [7], [8], [9].

1.2 Ανθρώπινες προσδοκίες και αντιλήψεις για τα κοινωνικά ρομπότ

Μια βασική υπόθεση που καθοδηγεί μεγάλο μέρος της έρευνας HRI είναι ότι η αλληλεπίδραση με τα κοινωνικά ρομπότ μπορεί να βελτιωθεί με την δημιουργία εξελιγμένων δυνατοτήτων. Πολλές φορές, διαδικασίες και τεχνολογίες που αφορούν μια τέτοια υπόθεση, θα πρέπει να μελετώνται προσεκτικά, καθώς η αύξηση των κοινωνικών δυνατοτήτων στα ρομπότ μπορεί να δημιουργήσει ένα χάσμα προσδοκιών, όπου οι άνθρωποι αναπτύσσουν υψηλές και μη ρεαλιστικές προσδοκίες από τα κοινωνικά ρομπότ λόγω γενίκευσης από ανθρώπινα νοητικά μοντέλα. Τόσο η φυσική εμφάνιση ενός τέτοιου ρομπότ, όσο και η συμπεριφορά του επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι αντιλαμβάνονται τη λειτουργία του [1], [5], [6], [7].

Με άλλα λόγια, πολλές φορές τα εξελιγμένα κοινωνικά ρομπότ δίνουν την εντύπωση ότι είναι πιο έξυπνα από ό,τι στην πραγματικότητα. Οπότε εισάγουμε τον όρο χάσμα προσδοκιών (expectations gap) για να περιγράψουμε αυτό το υπό μελέτη φαινόμενο που συμβαίνει όταν οι άνθρωποι αλληλεπιδρούν με τέτοια πολύπλοκα μηχανικά συστήματα. Οι μηχανικοί κατασκευάζουν τα ρομπότ για να είναι αποτελεσματικά σε συγκεκριμένες διαδικασίες. Αντίθετα, οι άνθρωποι είναι γενικά ικανοί σε ένα ευρύ σύνολο ικανοτήτων. Οι άνθρωποι όταν βλέπουν ρομπότ που φαίνονται κοινωνικά ή ανθρωπόμορφα, τείνουν να γενικεύουν και να αναμένουν ενέργειες τις οποίες θα έκανε ένας άνθρωπος [5], [6], [7].

Επομένως, γίνεται κατανοητό ότι σε τέτοιες περιπτώσεις είναι λογικό ότι οι άνθρωποι ίσως αρχικά να υπερεκτιμήσουν το πραγματικό εύρος των δυνατοτήτων αυτών των ρομπότ. Το κακό έγκειται στο γεγονός ότι η εσφαλμένη γενίκευση των ικανοτήτων του ανθρώπου στα κοινωνικά ρομπότ δημιουργεί μια σύγχυση λόγω ψευδών προσδοκιών, φέρνοντας τους ανθρώπους σε απογοήτευση και τελικά σε έλλειψη εμπιστοσύνης. Αυτοί οι παράγοντες μπορούν να οδηγήσουν σε δυσαρέσκεια των χρηστών, μειωμένη αποτελεσματικότητα σε θέματα ομαδικής εργασίας, ακόμη και επικίνδυνες καταστάσεις, καθώς πλέον τα ρομπότ υποστηρίζουν όλο και περισσότερο κρίσιμες για την ασφάλεια εργασίες, όπως διαδικασίες που σχετίζονται με ιατρικά ζητήματα [6].

2. Μελέτη των εφαρμογών της απτικής τεχνολογίας σε κοινωνικά ρομπότ

2.1 Οι εφαρμογές της απτικής τεχνολογίας σε πρότυπα κοινωνικά ρομπότ

Σε αυτή την ενότητα θα περιγραφούν μερικές από τις πιο αξιόλογες εφαρμογές αλληλεπίδρασης ανθρώπου - κοινωνικού ρομπότ, οι οποίες χρησιμοποιούν πρότυπα συστήματα απτικής τεχνολογίας.

Οι [23] περιγράφουν την αλληλεπίδραση ανθρώπου - κοινωνικού ρομπότ μέσω της χειραψίας, χρησιμοποιώντας ένα ανθρωπόμορφο ρομπότ. Όσον αφορά τα άκρα του, τα μέγεθρά της παλάμης και των δακτύλων, αλλά και ο αριθμός των αρθρώσεων είναι επίσης παρόμοια με ένα ενήλικο άτομο (αν και λίγο μεγαλύτερο), αλλά το χέρι έχει μόνο τέσσερα δάχτυλα ικανά να πιάσουν αντικείμενα. Ο αντίχειρας και ο δείκτης ενεργοποιούνται ο καθένας από έναν μοναδικό κινητήρα, ενώ ο μεσαίος και ο παράμεσος συνδέονται σε έναν κινητήρα. Ο κινητήρας ενός δακτύλου συνδέεται με μια τροχαλία, που τραβάει μια χορδή πετονιάς, η οποία συνδέεται στην τελευταία άρθρωση του δακτύλου, έτσι ώστε η κίνηση ενός κινητήρα να κινεί τις τρεις αρθρώσεις κάθε δακτύλου. Σχετικά με τους αισθητήρες, ο αντίχειρας έχει τρεις αισθητήρες και τα υπόλοιπα δάχτυλα έχουν τέσσερις αισθητήρες το καθένα, που αποτελούνται από ένα μαλακό ελαστομερές σώμα με έναν μικρό μόνιμο μαγνήτη εσωτερικά. Κάτω από τον μαγνήτη, υπάρχει ένα στοιχείο ανίχνευσης μαγνητικού πεδίου (δηλαδή αισθητήρας Hall Effect), ώστε όταν εφαρμόζεται εξωτερική δύναμη στο ελαστομερές, η σχετική θέση του μαγνήτη αλλάζει και ο αισθητήρας ανιχνεύει τη διακύμανση του μαγνητικού πεδίου. Ένα κενό αέρα αφήνεται μεταξύ του ελαστομερούς και του μαγνητικού αισθητήρα προκειμένου να αυξηθεί η ευαισθησία για μικρές δυνάμεις. Αυτοί οι αισθητήρες είναι ικανοί να ανιχνεύουν ελάχιστες δυνάμεις της τάξης των 10 mN. Οι [24], όπως και οι [23], μελετούν το θέμα της χειραψίας, με την εργασία τους να εστιάζει στο να αναλύει την πίεση που ασκούν οι συμμετέχοντες ανάλογα με τη διάθεσή τους. Δημιουργήθηκε ένα σύνολο καθημερινών επαναλαμβανόμενων χειραψιών 11 συμμετεχόντων. Κατασκευάστηκαν ειδικά γάντια με 23 piezo-resistive αισθητήρες, στα οποία είχε προσαρμοστεί και ένα επιταχυνσιόμετρο.

Οι [25] μελετούν την δημιουργία ενός εύκαμπτου αισθητήρα, που επιτρέπει να χρησιμοποιείται σε διάφορα σχήματα, βασισμένος σε piezo-resistive τεχνικές. Είναι ικανός να αποτυπώσει ολόκληρο το πλαίσιο της αλληλεπίδρασης. Η μαλακή φύση του αισθητήρα τον καθιστά προσαρμόσιμο σε πολύπλοκα και παραμορφώσιμα σώματα. Αναφέρουν ότι ο αισθητήρας που προτείνεται σε αυτή την εργασία αποτελείται από μονωτικά στρώματα που είναι κατασκευασμένα από σιλικόνη Cine-Skin, ενώ το αισθητήριο είναι κατασκευασμένο από Elastosil LR 3162 A/B, ένα πολυμερές σιλικόνης με πρόσμιξη με σωματίδια άνθρακα.

Οι [26] αναφέρονται σε ένα σύστημα απτικής αλληλεπίδρασης για κοινωνικά ρομπότ που χρησιμοποιεί μια επιφάνεια αφής 1.5" τεχνολογίας FSR (Force Sensing Resistor). Ο στόχος τους είναι να διερευνηθεί εάν οι θυμωμένες, ουδέτερες και χαρούμενες εκφράσεις προσώπου έχουν διαφορετικά αποτελέσματα στις απτικές αποκρίσεις. Το σύστημά τους μετράει την ποσότητα της ασκούμενης δύναμης σε μονάδες Newton και τη διάρκεια της αφής σε χιλιοστά του δευτερολέπτου. Συμπεραίνουν ότι η δύναμη της επαφής θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως ένα από τα εργαλεία για να γίνονται αντιληπτές οι πληροφορίες σχετικά

με την κατάσταση του χρήστη όταν αλληλεπιδρά με απτικές διεπαφές.

Οι [27] δημιούργησαν έναν αισθητήρα που βασίζεται σε αγώγιμη γούνα, ο οποίος είναι ευαίσθητος σε κινήσεις που δεν είναι διαθέσιμες στους συμβατικούς αισθητήρες πίεσης. Ο αισθητήρας καταγράφει την κίνηση μετρώντας το μεταβαλλόμενο ρεύμα από τα αγώγιμα νήματα της γούνας. Στη συνέχεια, χρησιμοποιούν τη μηχανική μάθηση για να ταξινομήσουν τις χειρονομίες. Μια αξιολόγηση με επτά συμμετέχοντες έδειξε ότι η ακρίβεια της αναγνώρισης ήταν 82%. Οι [28], όπως και οι [27], κατασκεύασαν ένα είδος γούνινο αισθητήρα αφής. Αναφέρουν ότι έχουν δημιουργήσει ένα νέο σύστημα για χρήση σε κοινωνικά ρομπότ, όπου συνδυάζουν τους αισθητήρες αφής που βασίζονται στην γούνα και στην τεχνολογία τεχνητής όρασης για να αντιληφθούν τη συναισθηματική κατάσταση του χρήστη. Αυτά τα δεδομένα συνδυάζονται σε έναν λογικό πίνακα για να παράγουν μια κατάλληλη απόκριση. Για τη μέτρηση του ρεύματος και τη μετάδοση των δεδομένων σε έναν υπολογιστή χρησιμοποιήθηκε το Arduino nano, καθώς προσέφερε δυνατότητες μέτρησης αναλογικής τάσης. Ο ίδιος ο κώδικας είναι απλός. Το Arduino μετρά την τάση στον αισθητήρα γούνας και τη μετατρέπει σε κατάλληλη τιμή. Καθώς διαβάζονται οι τιμές, αποστέλλονται στον υπολογιστή μέσω σειριακής επικοινωνίας.

Οι [29] παρουσιάζουν ένα ρομπότ που έχει την μορφή μικρού ζώου, ως μια πλατφόρμα για μελέτη της αλληλεπίδρασης με τα κοινωνικά ρομπότ. Ουσιαστικά, κατασκεύασαν ένα σύστημα που εντοπίζει τα είδη αφής με έναν χαμηλού κόστους αισθητήρα αγώγιμου υφάσματος EeonTex και έναν μικροεπεξεργαστή Arduino Mega, αξιοποιώντας τις αναλογικές ακίδες εισόδου και ψηφιακές ακίδες εξόδου. Οι αναλογικές ακίδες διαβάζουν ρεύμα. Η αντίσταση (και επομένως το ρεύμα) ποικίλλει ανάλογα με την πίεση.

Οι [30] αναλύουν τη λειτουργία του Haptic Creature, το οποίο είναι ένα γούνινο ρομπότ που μοιάζει με ζώακι. Οι αισθήσεις του προέρχονται από ένα επιταχυνσιόμετρο και ένα δίκτυο 56 επιφανειακών ανιστάσεων ανίχνευσης δύναμης (FSR). Το επιταχυνσιόμετρο μπορεί να ανιχνεύσει τόσο την κίνηση του ρομπότ όσο και τις μικρές δονήσεις που σχετίζονται με ένα άγγιγμα. Αναλύουν τα δεδομένα των αισθητήρων αφής και του επιταχυνσιόμετρου που συλλέχθηκαν πειραματικά, για να μπορέσουν να αξιοποιήσουν στο έπακρο αυτούς τους φθηνούς αισθητήρες χρησιμοποιώντας έναν εξελιγμένο αλγόριθμο μηχανικής εκμάθησης, ώστε να ανιχνεύονται 9 βασικά συναισθήματα. Οι δυνατότητες ανίχνευσης περιορίζονται από την κάλυψη των FSR, αλλά και από το γεγονός ότι οι αισθητήρες αυτοί είναι ευαίσθητοι σε δυνάμεις κάθετες προς την επιφάνεια, ενώ πολλά αγγίγματα περιλαμβάνουν εφαπτομενικές δυνάμεις.

Οι [31] αναφέρουν την δυνατότητα που μπορεί να έχει ένα αρκουδάκι με απτικούς αισθητήρες να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θεραπεία ασθενών, υποστηρίζοντας ότι πολλές έρευνες έχουν δείξει τα τεράστια οφέλη για την υγεία από την παρουσία ζώων συντροφιάς. Τα ζώα αυτά δεν είναι πάντα διαθέσιμα στους ασθενείς λόγω αλλεργιών, κινδύνου ασθένειας ή άλλων λόγων. Το ρομπότ τους διαθέτει ένα μεγάλο αριθμό αισθητήρων (ηλεκτρικό πεδίο, θερμοκρασία και δύναμη) σε ολόκληρη την επιφάνεια του ρομπότ, κάτω από ένα μαλακό κάλυμμα από δέρμα σιλκόνης και γούνινο ύφασμα.

Οι [32] μελετούν την σημασία της αγκαλιάς ως τρόπο αλληλεπίδρασης ανθρώπου με ένα ανθρωπόμορφο κοινωνικό ρομπότ. Με βάση προηγούμενες έρευνες, τόσο εντός όσο και εκτός του HRI, προτείνουν έξι αρχές φυσικής και ευχάριστης ρομποτικής αγκαλιάς: ένα

ρομπότ αγκαλιάς πρέπει να είναι μαλακό, ζεστό, να έχει ανθρώπινο μέγεθος, να αντιλαμβάνεται οπτικά τον χρήστη του, να προσαρμόζει την αγκαλιά του, το μέγεθος και τη θέση του, αλλά και να καταλαβαίνει πότε πρέπει να τερματίσει την αγκαλιά. Έτσι δημιουργούν μια νέα ρομποτική πλατφόρμα, το HuggieBot 2.0, με το οποίο πραγματοποίησαν ένα πείραμα, στο οποίο 32 χρήστες αντάλλαξαν οκτώ αγκαλιές με το HuggieBot 2.0. Για την αίσθηση της αφής χρησιμοποιούν δύο αερόσακους στον κορμό του ρομπότ, ενώ ο χρήστης έρχεται σε επαφή με μαλακά υλικά, τα οποία καλύπτονται από κατάλληλα ρούχα. Οι [33], όπως και οι [32], αναφέρονται στην αλληλεπίδραση μέσω της αγκαλιάς, χρησιμοποιώντας ένα αρκουδάκι σε μέγεθος ανθρώπου και μελετώντας την αλληλεπίδραση με 48 συμμετέχοντες. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι οι αγκαλιές αύξησαν τους χρόνους αλληλεπίδρασης. Χρησιμοποίησαν σερβοκινητήρες (MG996R) και έναν Shokkaku Cub (Touchence Inc.) ως αισθητήρα αφής με 16 σημεία μέτρησης σε μέγιστη συχνότητα 100 Hz.

Οι [34] αναφέρονται στην απτική αλληλεπίδραση με ένα κοινωνικό ρομπότ μέσω της καταγραφής των δονήσεων με χρήση τριών ειδικών μικροφώνων επαφής εγκατεστημένα μέσα σε ορισμένα τμήματά του. Τα μικρόφωνα αυτά ανιχνεύουν τα ηχητικά σήματα που παράγονται όταν ο χρήστης αγγίζει το ρομπότ. Οι δοκιμές τους έγιναν σε δύο κοινωνικά ρομπότ, το Maggie και το Mini (και τα δύο αναπτύχθηκαν από το RoboticsLab στο Πανεπιστήμιο Carlos III της Μαδρίτης). Το σύστημα επιτρέπει στο ρομπότ να αντιληφθεί αν το έχουν αγγίξει ή όχι, να αναγνωρίσει το είδος της αφής και την κατά προσέγγιση θέση του. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι αυτό το σύστημα είναι ανθεκτικό στις πιθανές παρεμβολές από θορύβους του περιβάλλοντος, όπως ανθρώπινη φωνή, τηλεόραση και μουσική, με την ακρίβεια που προκύπτει και για τα δύο ρομπότ να είναι περίπου 86%.

2.2 Οι εφαρμογές της χωρητικής απτικής τεχνολογίας σε πρότυπα κοινωνικά ρομπότ

Σε αυτή την ενότητα θα περιγραφούν εφαρμογές αλληλεπίδρασης ανθρώπου - κοινωνικού ρομπότ, οι οποίες χρησιμοποιούν πρότυπα συστήματα χωρητικής απτικής τεχνολογίας.

Οι [35] αναφέρονται στην δημιουργία ενός συστήματος απτικής αλληλεπίδρασης χαμηλού κόστους σε κοινωνικά ρομπότ. Πρόκειται για την ανάπτυξη ενός συστήματος που βασίζεται σε συστοιχία απτικών αισθητήρων χαμηλού κόστους που εφαρμόζεται σε ολόκληρο το σώμα του κοινωνικού ρομπότ. Επιτυγχάνουν συνολικό μέσο ποσοστό ακρίβειας άνω του 68%, με ατομικό ποσοστό ακρίβειας άνω του 80%. Η έρευνά παρέχει νέες κατευθύνσεις για την επίτευξη χαμηλού κόστους έξυπνης απτικής αλληλεπίδρασης για κοινωνικά ρομπότ σε πραγματικό περιβάλλον. Σε ότι αφορά τη τεχνολογία που εφαρμόζουν στο hardware, χρησιμοποιούν χωρητικούς απτικούς αισθητήρες και κέλυφος ρομπότ από υλικό ABS.

Οι [36] παρουσιάζουν ένα ανθρωποειδές ρομπότ με ύψος 1.35 μέτρα, που αναπτύχθηκε στο RoboticsLab για έρευνα σχετικά με την αλληλεπίδραση ανθρώπου - κοινωνικού ρομπότ, το οποίο αξιοποιεί την χωρητική τεχνολογία. Το ρομπότ ονομάζεται Maggie και χρησιμοποιεί πολλούς και διαφορετικούς αισθητήρες. Η βάση του είναι ένα κινητό ρομπότ Magellan Pro που παράγεται από την iRobot, εξοπλισμένο με 12 οπτικούς αισθητήρες υπερύθρων και 12 αισθητήρες υπερήχων. Πάνω από τη βάση, έχει προστεθεί ένας ανιχνευτής απόστασης λέιζερ (Sick LMS 200). Το κεφάλι έχει δύο βαθμούς ελευθερίας (DOF) και είναι εξοπλισμένο με δύο μαύρα μάτια, στόμα, αόρατη κάμερα web, συγχρονισμένα φώτα με την ομιλία πίσω

από το στόμα, αλλά και δύο ελεγχόμενα κινητά βλέφαρα. Η θέση των διαφόρων μερών ελέγχεται από τέσσερις σερβοκινητήρες.

Οι [17] μελετούν την χρήση αισθητήρων που χρησιμοποιούν την χωρητική τεχνολογία για την χρήση σε ρομπότ σκληρού περιβλήματος. Αναφέρουν ότι η εργασία τους παρουσιάζει έναν νέο αλγόριθμο για την αναγνώριση τύπων αφής, αλλά και την αναγνώριση των συναισθημάτων. Εκτός από την χωρητική τεχνολογία, χρησιμοποιούν επιταχυνσιόμετρο, ώστε να μπορούν να αξιοποιούν τα αποτελέσματα από τις δονήσεις που προκαλεί το άγγιγμα του χρήστη. Σε ότι αφορά την κατασκευή του συστήματος οι αισθητήρες τοποθετήθηκαν εσωτερικά ενός πλαστικού περιβλήματος το οποίο μοιάζει με το επάνω μέρος ενός κεφαλιού. Οι αισθητήρες αφής μπορούν να ανιχνεύσουν την επαφή, ενώ η χρήση του επιταχυνσιόμετρου χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της δύναμης ανιχνεύοντας τη δόνηση του πλαστικού. Παρουσιάζουν το σύστημά τους στο ρομπότ KaMERO, το οποίο προσπαθεί να κατανοήσει τις ανταμοιβές ή τις τιμωρίες στα αποτελέσματα ενός παιχνιδιού. Οι [18] αναφέρονται στην ίδια υλοποίηση με τους [17], αλλά εστιάζουν στο τομέα των μετρήσεων της απόδοσης του συστήματος. Ουσιαστικά, σε σχέση με τους [17], απουσιάζει η διαδικασία της τοποθέτησης του συστήματος σε ένα ολοκληρωμένο κοινωνικό ρομπότ. Η αξιολόγηση περιλαμβάνει μόνο την ακρίβεια της λειτουργίας του συστήματος, χωρίς να μελετά θέματα που αφορούν την αξιοποίηση των δεδομένων για τον εντοπισμό συγκεκριμένων συναισθημάτων του χρήστη.

3. Υλοποίηση του πρότυπου συστήματος χωρητικής απτικής τεχνολογίας

Η αρχιτεκτονική θα είναι τέτοια ώστε είτε το σύνολο του πρότυπου συστήματος, είτε κάποια από τα υποσυστήματά του, να είναι τροποποιήσιμα και εύκολα προσαρμοζόμενα, προκειμένου να μπορεί να υπάρξει μελλοντική αξιοποίηση από πρότυπα κοινωνικά ρομπότ χαμηλού κόστους. Το πρότυπο σύστημα χρησιμοποιεί υλικό τρισδιάστατης εκτύπωσης PLA. Έχει επιλεγεί να γίνει χρήση της χωρητικής τεχνολογίας, χρησιμοποιώντας τον αισθητήρα αφής Adafruit MPR121, δεδομένου ότι στόχος είναι οι αισθητήρες να είναι μη ορατοί, τοποθετημένοι εσωτερικά του σκληρού κελύφους των τμημάτων. Επίσης, για την καταγραφή των δονήσεων του κελύφους, χρησιμοποιείται το επιταχυνσιόμετρο Adafruit ADXL345, ώστε να μπορεί να υπάρξει καταγραφή του τρόπου με τον οποίο ο χρήστης αγγίζει το κέλυφος. Για την συλλογή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ο μικροελεγκτής Arduino Leonardo.

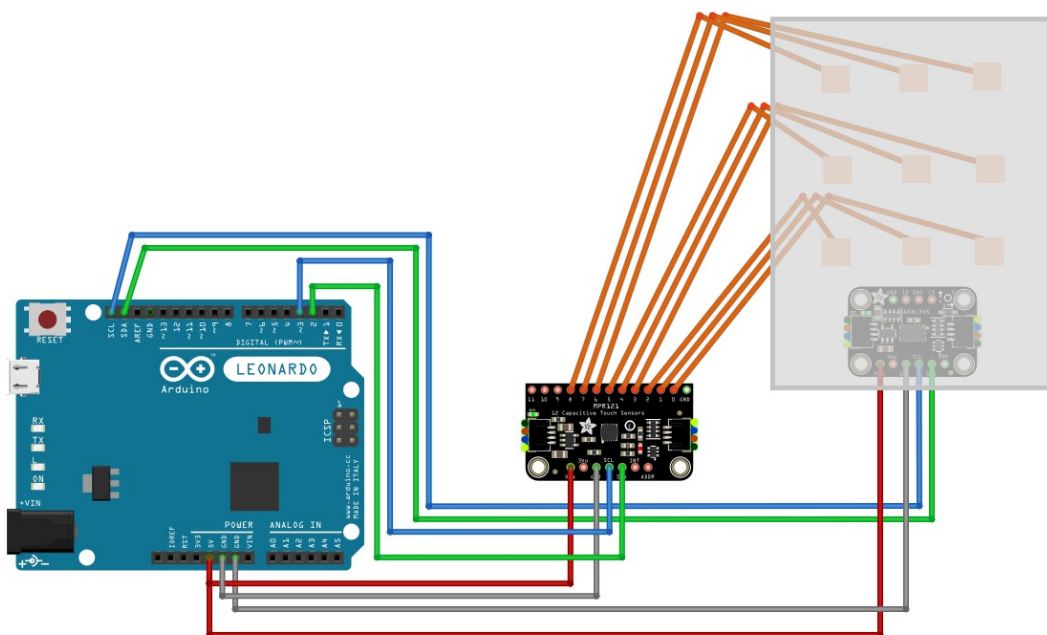
3.1 Σχεδιασμός του πρότυπου συστήματος

Για την διαδικασία σχεδιασμού του προτεινόμενου συστήματος επιλέχθηκε το πρόγραμμα σχεδιασμού Fritzing. Το Fritzing δίνει την δυνατότητα σχεδιασμού κυκλωμάτων, τα οποία αποτελούν ένα τρόπο που συνδυάζει την παρουσίαση της πραγματικής εικόνας του hardware, με όλα τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η απλοποίηση κάποιων διαδικασιών που στην παρούσα φάση θα αποτελούν λεπτομέρειες, οι οποίες θα μείωναν την πλήρη κατανόηση της προτεινόμενης ιδέας.

Αρχικά, επιλέχθηκε από την βιβλιοθήκη σχεδίων του Fritzing η συσκευή Arduino Leonardo. Τα σχέδια των Adafruit MPR121 και Adafruit ADXL345 δεν υπήρχαν διαθέσιμα στην

βιβλιοθήκη. Για το λόγο αυτό έγινε αναζήτηση στην σελίδα της Adafruit στο github.com, ώστε να γίνει εντοπισμός των κατάλληλων αρχείων .fzpz για να φορτωθούν στη βιβλιοθήκη του προγράμματος Fritzing.

Στη συνέχεια, αφού έγινε ο κατάλληλος σχεδιασμός της καλωδίωσης του συστήματος, το σχέδιο μεταφορτώθηκε σε πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνας, ώστε να προστεθούν τα ηλεκτρόδια και η επιφάνεια στην οποία θα γινόταν η τοποθέτησή τους. Στην ίδια επιφάνεια θα τοποθετηθεί και το επιταχυνσιόμετρο, ώστε να μπορεί να καταγράφει με ακρίβεια τις δονήσεις που μεταφέρονται από το κέλυφος κατά την αλληλεπίδραση με το σύστημα.



Εικόνα 1: Σχεδιασμός του πρότυπου συστήματος

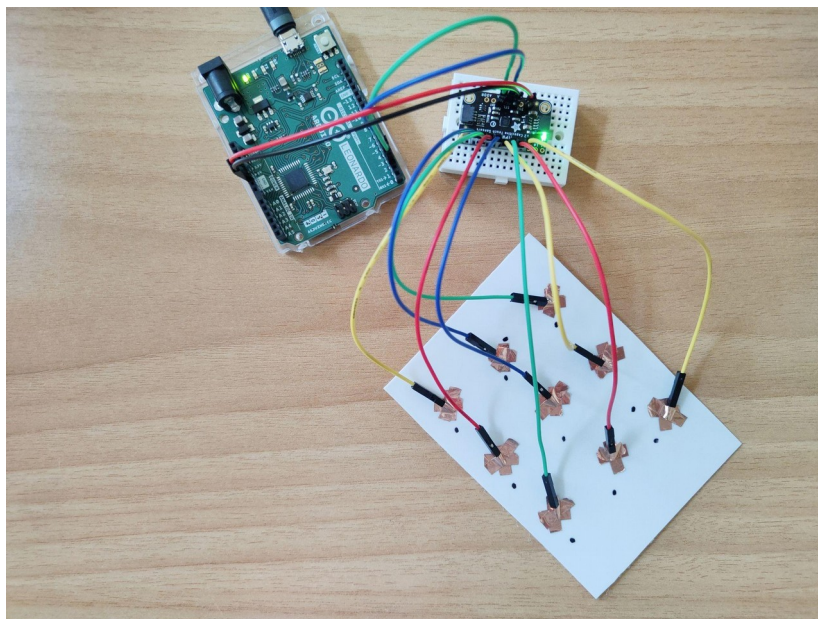
3.2 Δοκιμές του Adafruit MPR121 σε Πολυπροπυλένιο PP

Για να δοκιμαστεί η ορθότητα της παραπάνω προτεινόμενης υλοποίησης χρησιμοποιήθηκε το υλικό Πολυπροπυλένιο. Η επιλογή αυτού του υλικού επιλέχθηκε λόγω των ιδιοτήτων του συγκεκριμένου πλαστικού σε ότι αφορά την σχέση του πάχους του στρώματος με τις ιδιότητες στρέβλωσης. Λόγω των ιδιοτήτων του σε ότι αφορά τα πρότυπα για τρόφιμα, είναι πολύ εύκολο να βρεθεί σε διάφορα σχήματα συσκευασιών, κάτι που βοηθά πολύ σε διαδικασίες άμεσης δοκιμής.

Οι διαστάσεις της επιφάνειας αφής είναι 120mm x 85mm x 0.7mm. Αν και το πάχος της είναι μικρό, η στρέβλωση είναι ικανοποιητική, ώστε η επιφάνεια να θεωρείται σκληρή. Στην επιφάνεια αυτή τοποθετήθηκαν κατάλληλα ηλεκτρόδια, τα οποία δημιουργήθηκαν με την

χρήση ταινίας χαλκού. Η ταινία αυτή έχει πλάτος 5mm και είναι ιδανική για τέτοιες εφαρμογές διότι, όπως περιγράφεται στις οδηγίες του κατασκευαστή, χρησιμοποιεί αγωγίμη κόλλα. Συνεπώς, μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε παραπάνω από μια στρώσεις, αλλά και να χρησιμοποιηθεί για την συγκράτηση των καλωδίων στα ηλεκτρόδια.

Στην βιβλιογραφία δεν εντοπίστηκε μελέτη που να αφορά τον τρόπο τοποθέτησης ταινίας χαλκού πίσω από υλικά για χρήση της χωρητικής τεχνολογίας. Συνεπώς, επιλέχθηκε η χρήση της διάταξης αστέρα. Στην φάση των δοκιμών αυτών, δεν δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στην άρτια τοποθέτηση των ηλεκτροδίων, διότι αποτελούσε την πρώτη δοκιμή για να γίνει αντιληπτό αν ο συγκεκριμένος αισθητήρας, σε συνδυασμό με τα πρότυπα ηλεκτρόδια, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ώστε να αντιληφθεί την επαφή του χρήστη. Το Arduino είναι συνδεδεμένο με το laptop ώστε να πραγματοποιείται άμεση τροποποίηση του κώδικα, όσο και real-time καταγραφή των αποτελεσμάτων.



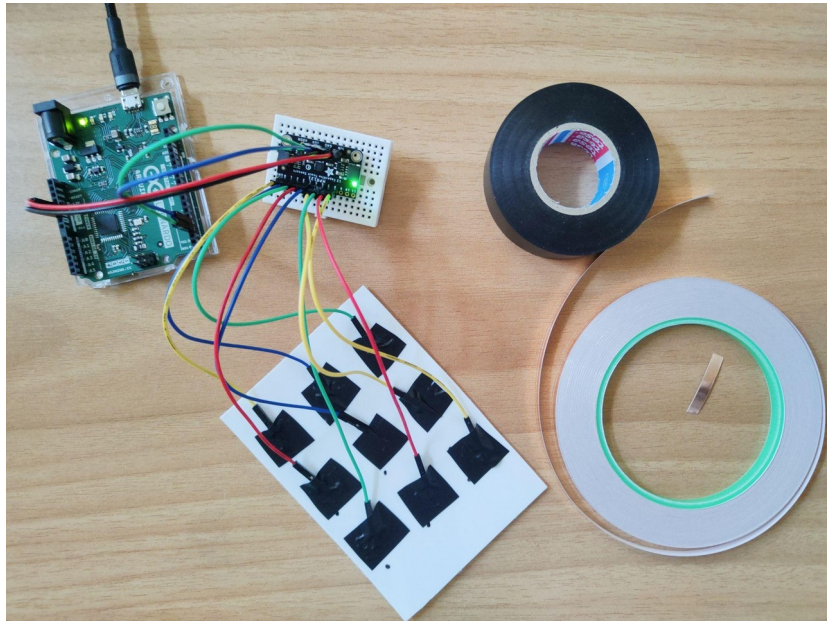
Εικόνα 2: Adafruit MPR121 σε Πολυπροπυλένιο PP (βήμα 1)

Ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε στην τρέχουσα φάση είναι αυτός που δίνεται από την Adafruit ως κώδικας δοκιμών. Κατά την διάρκεια των δοκιμών, φάνηκε ότι το σύστημα δεν μπορούσε να καταγράψει την επαφή του χρήστη με το πλαστικό. Στην αρχή, επιλέχθηκαν να γίνουν αλλαγές στα ηλεκτρόδια, κάτι το οποίο δεν διόρθωσε καθόλου το πρόβλημα.

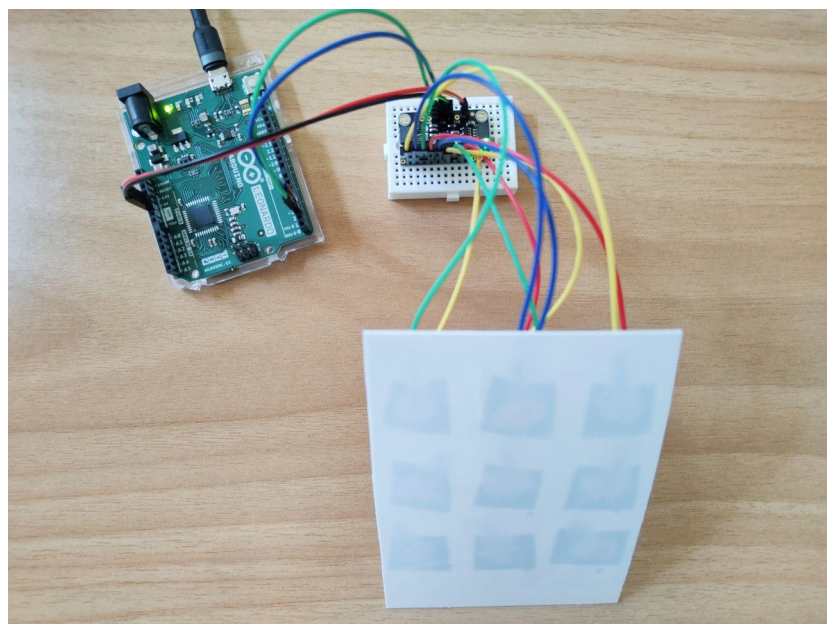
Μετά από έναν τεράστιο αριθμό δοκιμών, διαπιστώθηκε ότι το πρόβλημα ήταν στην ρύθμιση της ευαισθησίας του MPR121. Η Adafruit δεν διαθέτει σαφής οδηγίες για αυτή τη διαδικασία. Οι περισσότεροι αισθητήρες που αφορούν τέτοιες εφαρμογές, περιλαμβάνουν στον κώδικά τους κατάλληλα σχόλια με τις εντολές που αφορούν την συγκεκριμένη διαδικασία.

Για να μπορέσει να λειτουργήσει κανονικά για την συγκεκριμένη εφαρμογή, τοποθετήθηκε στον κώδικα της Adafruit μια ειδική εντολή η οποία διόρθωσε πλήρως το πρόβλημα. Η εντολή ήταν η `cap.setThresholds(1,0)`. Η πληροφορία αυτή εντοπίστηκε στο Adafruit MPR121 Class Reference του adafruit.github.io. Σύμφωνα με αυτή τη σελίδα, στην εντολή `setThresholds(touch,release)` μπορούν να δοθούν τιμές από 0 έως 255, τόσο για το touch,

όσο και για το release. Η ρύθμιση αυτών των δύο τιμών εξαρτάται από την εφαρμογή.

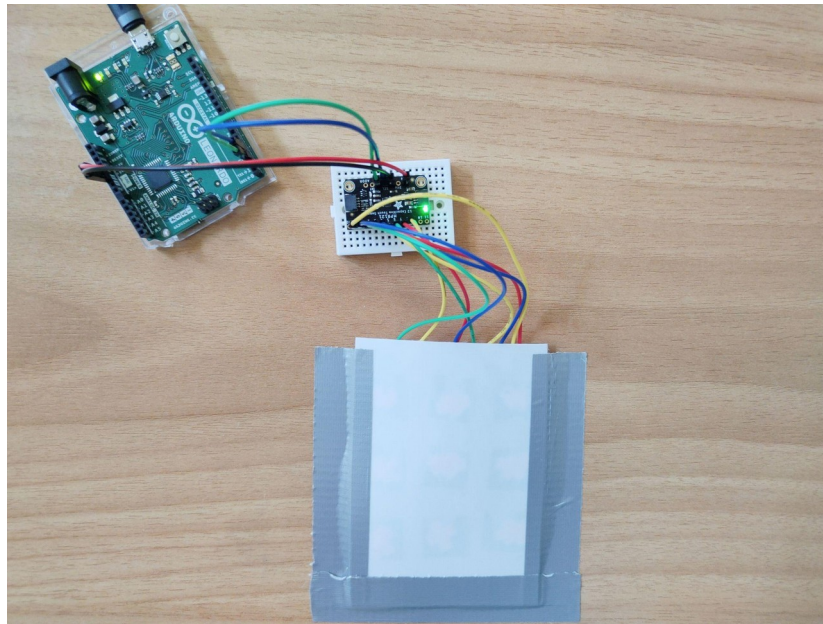


Εικόνα 3: Adafruit MPR121 σε Πολυπροπυλένιο PP (βήμα 2)

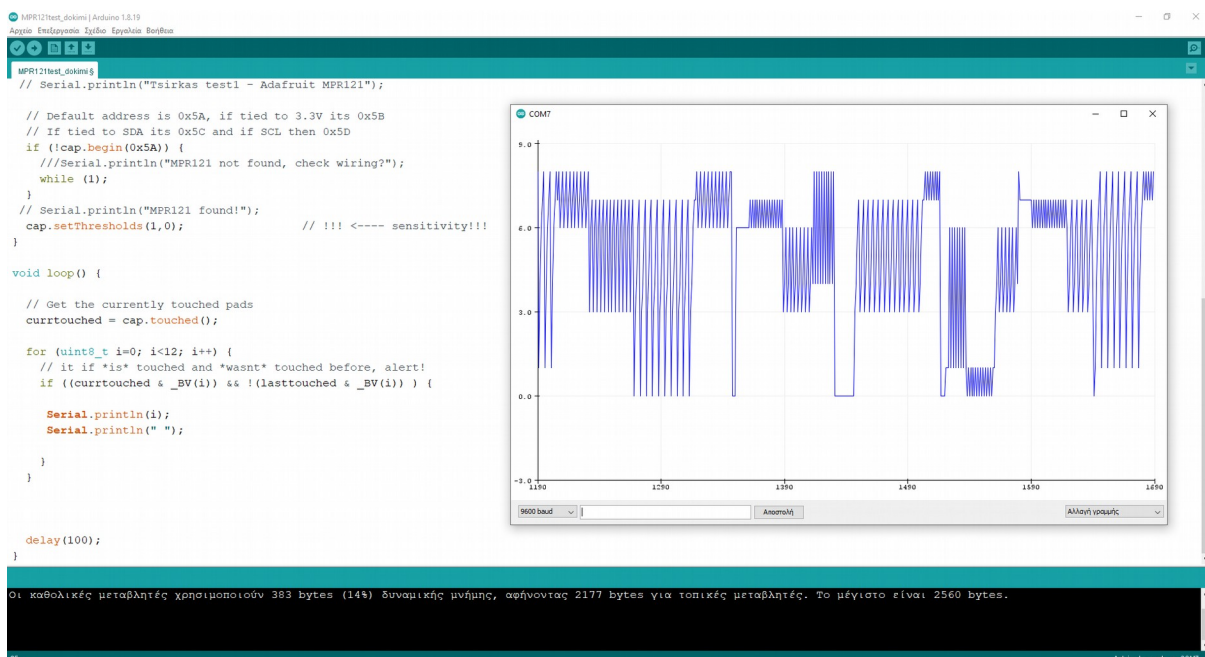


Εικόνα 4: Adafruit MPR121 σε Πολυπροπυλένιο PP (βήμα 3)

Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται μια από τις πρώτες επιτυχείς δοκιμές του Adafruit MPR121 σε PP. Τα τμήματα που παρουσιάζονται με έντονη απεικόνιση, είναι αυτά στα οποία υπάρχει ενεργοποίηση παραπάνω του ενός ηλεκτροδίου. Δηλαδή σημεία που ο χρήστης αγγίζει μεγαλύτερη επιφάνεια, διότι στην κατακόρυφη στήλη παρουσιάζονται τα ηλεκτρόδια.



Εικόνα 5: Adafruit MPR121 σε Πολυπροτυλένιο PP (βήμα 4)



Εικόνα 6: Δοκιμές του Adafruit MPR121 σε Πολυπροτυλένιο PP

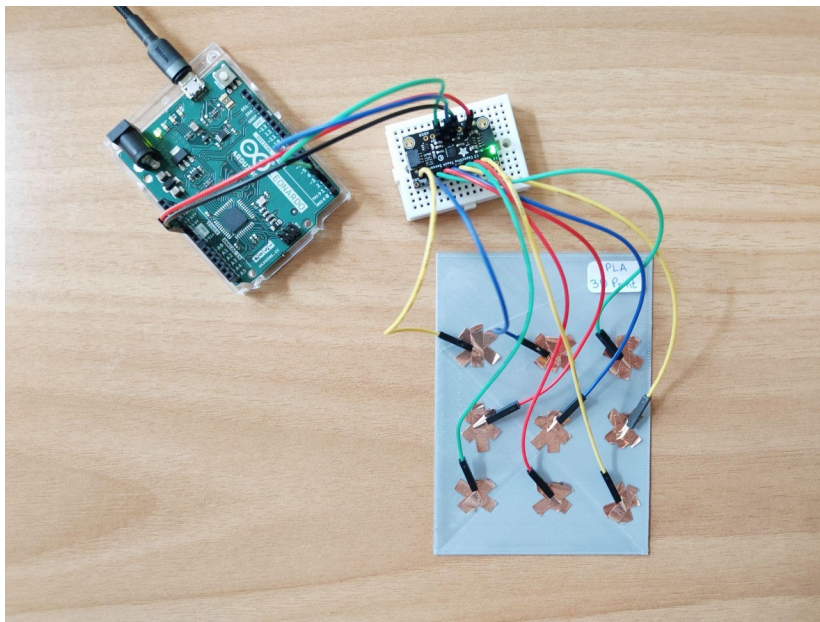
3.3 Δοκιμές του Adafruit MPR121 σε PLA

Στη συνέχεια, επιλέχθηκε η αντικατάσταση της επιφάνειας PP με μια νέα 3D εκτύπωση χρησιμοποιώντας το υλικό PLA. Αφού μετρήθηκαν οι διαστάσεις της προηγούμενης επιφάνειας PP, η νέα επιφάνεια σχεδιάστηκε στο πρόγραμμα Tinkercad. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα είναι online και για να μπορέσει κάποιος να συνδεθεί μπορεί απλά να χρησιμοποιήσει τον Google λογαριασμό του.



Εικόνα 7: Επιφάνεια PLA

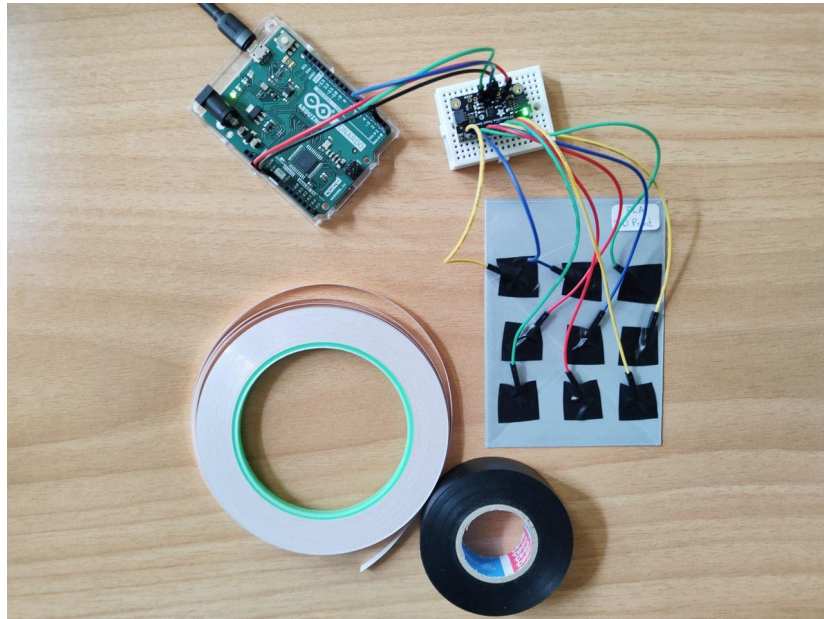
Μετά από τη σχεδίαση ακολουθεί η διαδικασία μετατροπής των αρχείων .stl σε .gcode προκειμένου να μπορούν να εκτυπωθούν. Ο εκτυπωτής που χρησιμοποιήθηκε είναι ο Creality Ender 3 Pro. Ο συγκεκριμένος εκτυπωτής διαθέτει ακρίβεια 0.1mm.



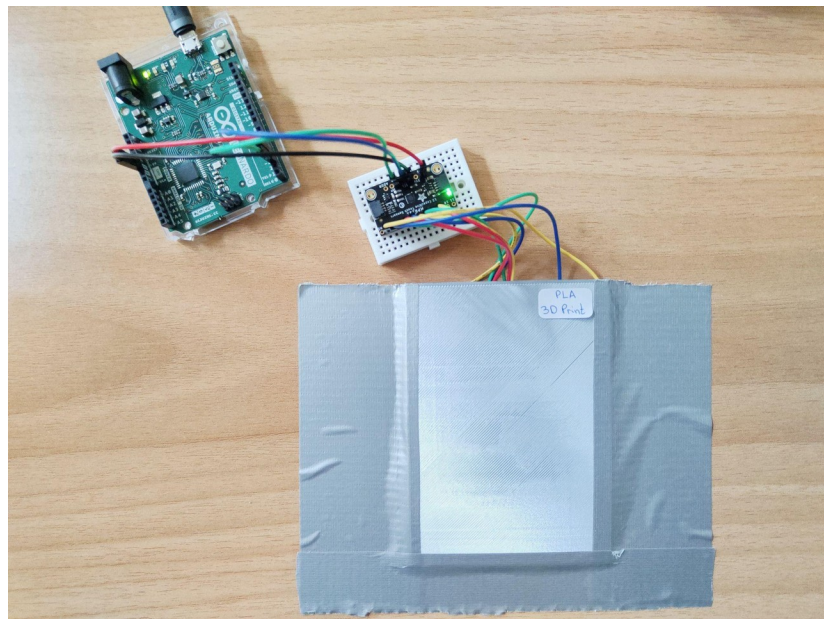
Εικόνα 8: Adafruit MPR121 σε PLA (βήμα 1)

Ακολουθεί η ίδια διαδικασία που έγινε με το υλικό PP. Δηλαδή επιλέχθηκε η τοποθέτηση ηλεκτροδίων χαλκού σε σχήμα αστέρα. Όπως και στην προηγούμενη φάση του PP, έτσι και τώρα, χρησιμοποιήθηκε μονωτική ταινία πίσω από κάθε ένα από τα ηλεκτρόδια. Η μονωτική ταινία χρησιμοποιήθηκε διότι η ταινία χαλκού είναι αρκετά ευαίσθητη, με αποτέλεσμα να κόβεται όταν προσπαθεί κάποιος να μετακινήσει τα καλώδια. Επίσης, επειδή η αγώγιμη κόλλα που χρησιμοποιεί η ταινία χαλκού δεν είναι τόσο ικανή στο να συγκρατεί τα καλώδια

που καταλήγουν στα ηλεκτρόδια, η μονωτική ταινία βοηθά πάρα πολύ στο να μπορούν να συγκρατούνται στη θέση τους.

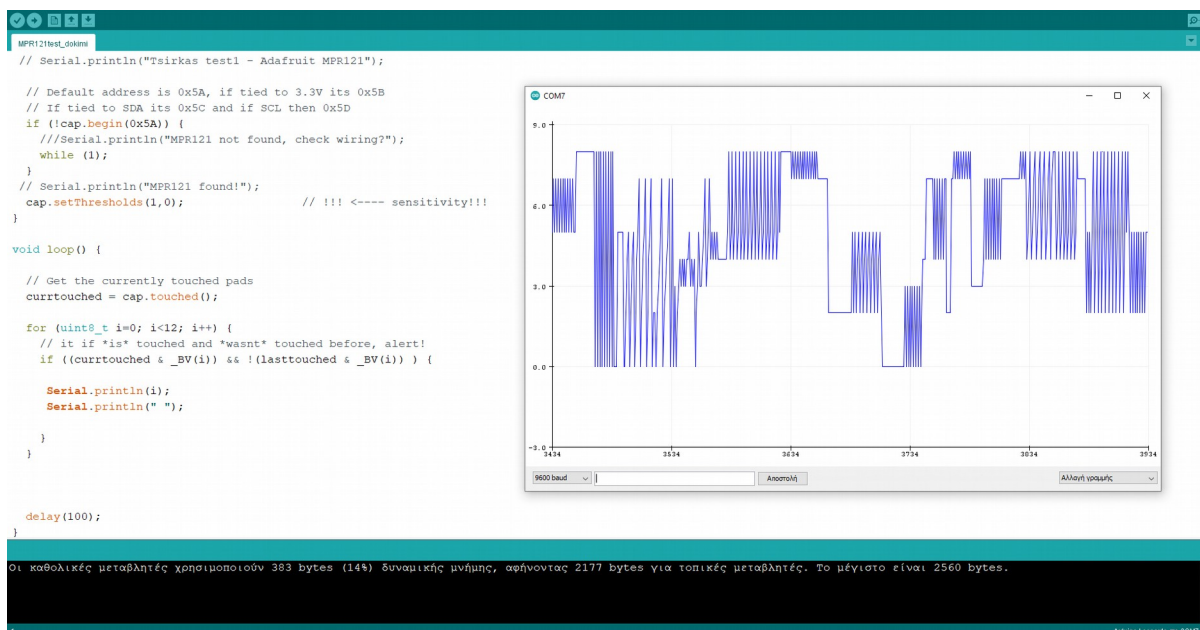


Εικόνα 9: Adafruit MPR121 σε PLA (βήμα 2)



Εικόνα 10: Adafruit MPR121 σε PLA (βήμα 3)

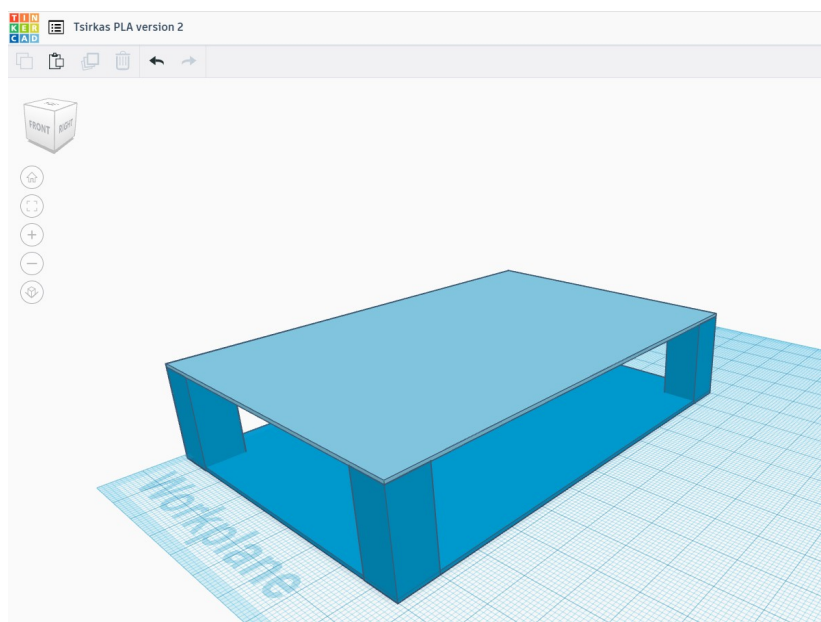
Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται μια από τις επιτυχείς δοκιμές του Adafruit MPR121 σε PLA. Ομοίως με τις προηγούμενες δοκιμές με το PP, εκτός από την αλλαγή της `setThresholds`, έχει γίνει μικρή τροποποίηση του κώδικα, ώστε να μην παρουσιάζονται ξεχωριστά οι διαδικασίες που αφορούν το `release`.



Εικόνα 11: Δοκιμές του Adafruit MPR121 σε PLA

3.4 Δημιουργία κελύφους δοκιμών με υλικό PLA

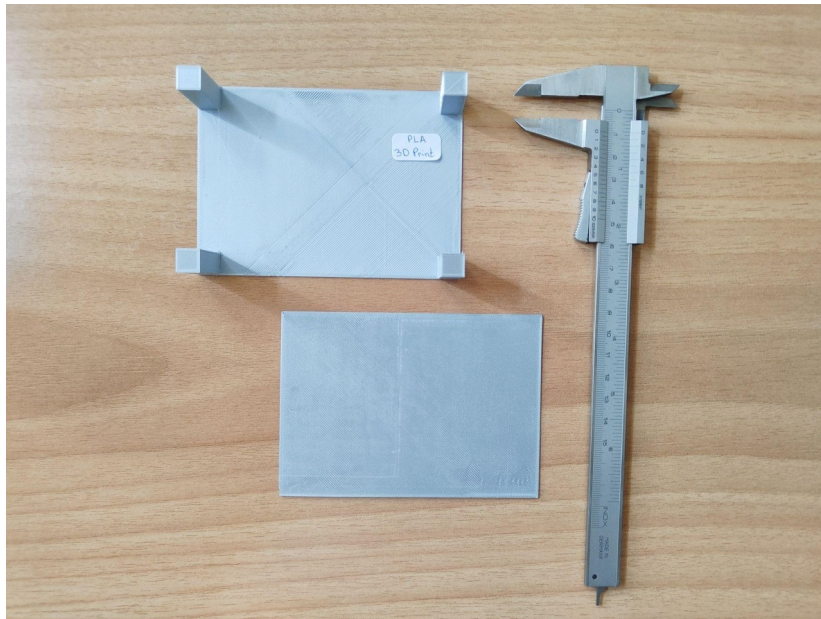
Για την ορθότερη δοκιμή των διαδικασιών της απτικής επαφής, σχεδιάστηκε μία βάση για την προηγούμενη επιφάνεια, ώστε να αποτελέσουν το κέλυφος των δοκιμών.



Εικόνα 12: Σχεδίαση κελύφους δοκιμών με υλικό PLA

Η ανάγκη προέκυψε κυρίως για την δοκιμή του επιταχυνσιόμετρου, ώστε οι δονήσεις από την επαφή του χρήστη με την επιφάνεια να μην επηρεάζονται από άλλους παράγοντες.

Όπως και στην επιφάνεια επαφής, το υλικό που επιλέχθηκε είναι PLA της PrimaSelect. Οι διαστάσεις του κάτω τμήματος της βάσης είναι 120mm x 85mm x 0.7mm και καθένας από τους 4 στύλους είναι διαστάσεων 10mm x 10mm x 25mm.



Εικόνα 13: Συναρμολόγηση κελύφους με υλικό PLA (βήμα 1)



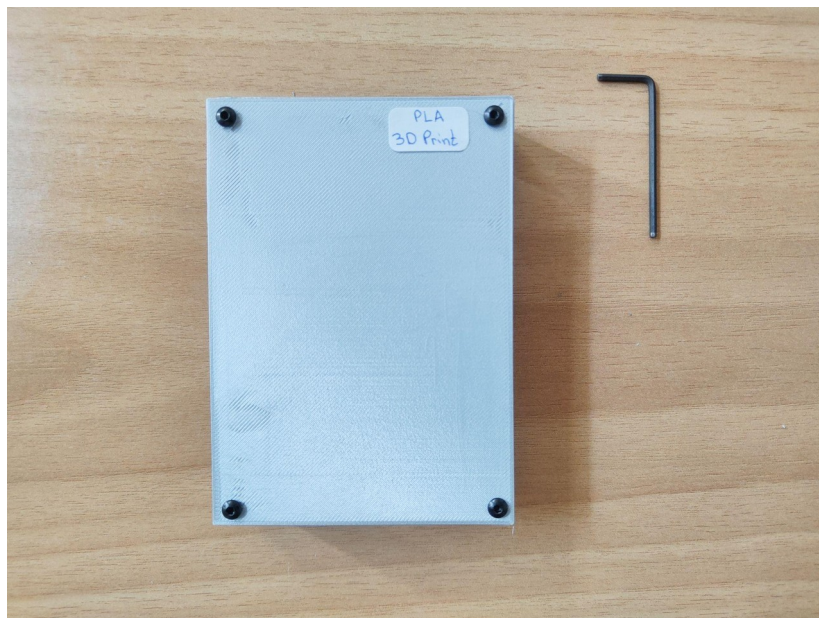
Εικόνα 14: Συναρμολόγηση κελύφους με υλικό PLA (βήμα 2)

Για να ενωθούν τα δύο αυτά τμήματα επιλέχθηκε η στερέωση με βίδες M3 - L10mm. Η επιλογή έγινε ώστε να μπορεί να υπάρχει άμεση αποσυναρμολόγηση κατά την διαδικασία των δοκιμών. Για να μπορέσουν οι βίδες αυτές να τοποθετηθούν, έγινε κατάλληλη διάτρηση των δύο επιφανειών με την χρήση driller.



Εικόνα 15: Συναρμολόγηση κελύφους με υλικό PLA (βήμα 3)

Πρέπει να γίνει κατανοητό ότι η συχνή αποσυναρμολόγηση του κελύφους μπορεί να οδηγήσει σε χαλάρωση της συγκράτησης των δύο τμημάτων. Λόγω της φύσης του PLA, όσο και της δόμησης των layers από τον εκτυπωτή, η διαδικασία της αποσυναρμολόγηση θα πρέπει να αποφεύγεται να γίνεται άσκοπα.

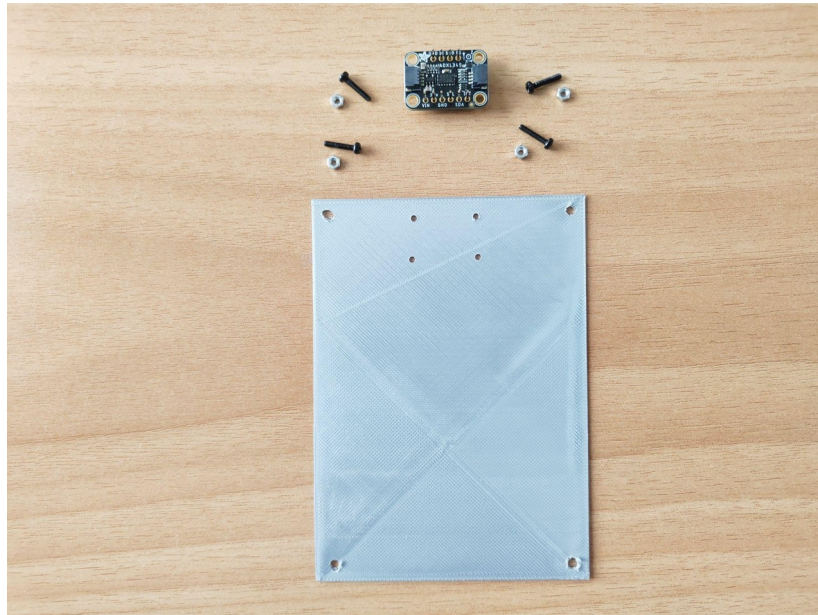


Εικόνα 16: Συναρμολόγηση κελύφους με υλικό PLA (βήμα 4)

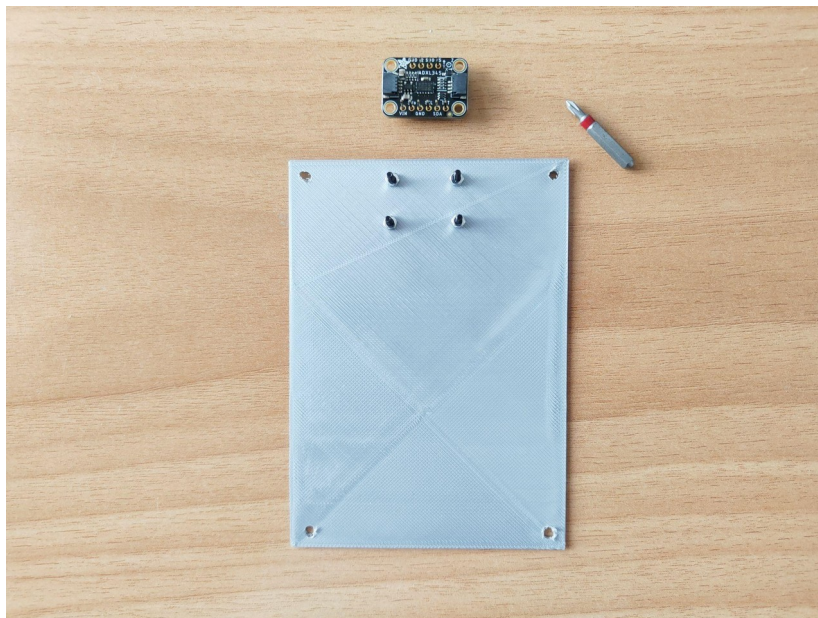
3.5 Συναρμολόγηση και δοκιμή του πρότυπου απτικού συστήματος

Σε αυτή την ενότητα, θα περιγραφεί αναλυτικά η διαδικασία συναρμολόγησης του πρότυπου απτικού συστήματος. Εκτός από το βασικό υποσύστημα το οποίο αφορά την χωρητική

απτική τεχνολογία, θα περιγραφεί και η τοποθέτηση του επιταχυνσιόμετρου για την καταγραφή των δονήσεων που προκύπτουν από την αφή, ώστε να μπορεί μελλοντικά να αξιοποιηθούν τα δεδομένα από ένα έξυπνο σύστημα αναγνώρισης των συναισθημάτων. Η τοποθέτηση των εξαρτημάτων γίνεται με τρόπο που να φαίνεται όσο το δυνατόν πιο ξεκάθαρα η λειτουργία του κάθε υποσυστήματος.



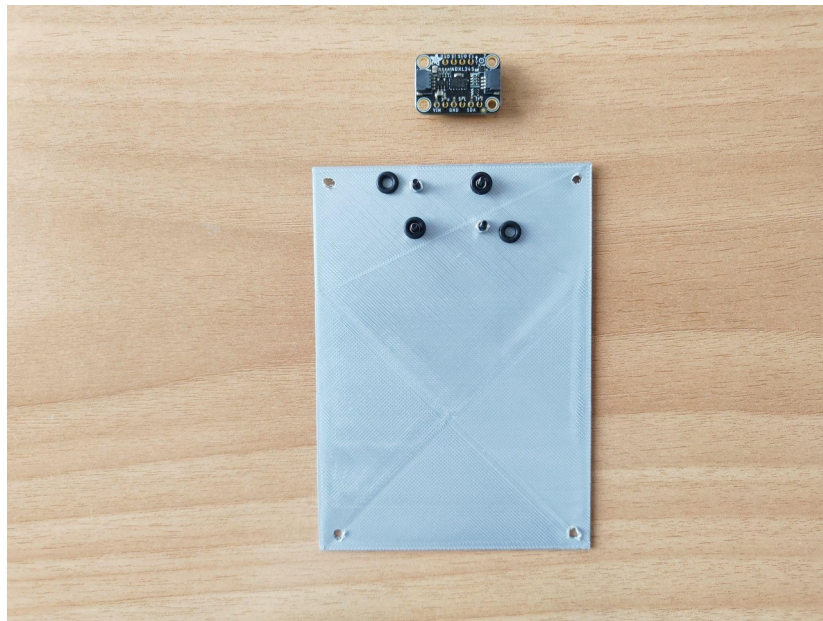
Εικόνα 17: Τοποθέτηση του Adafruit ADXL345 (βήμα 1)



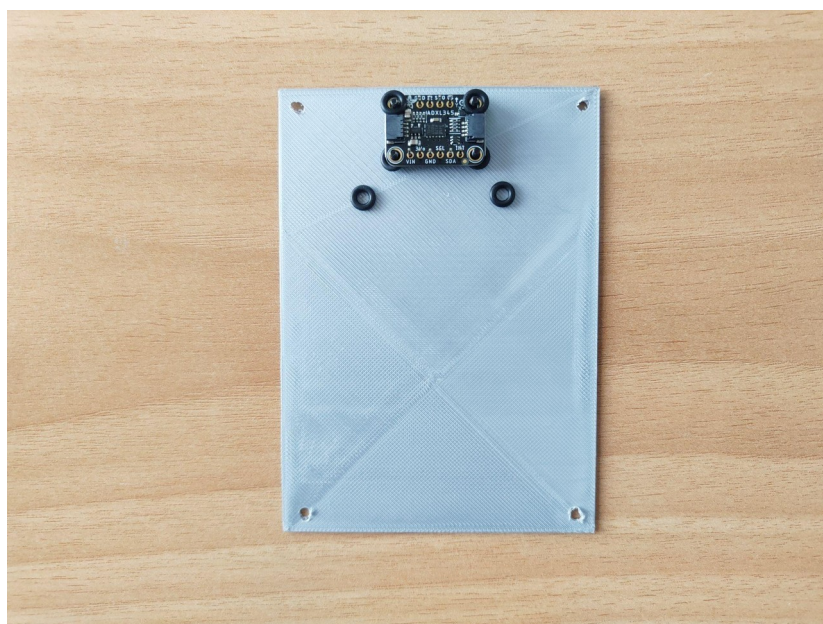
Εικόνα 18: Τοποθέτηση του Adafruit ADXL345 (βήμα 2)

Αρχικά, γίνεται η τοποθέτηση του αισθητήρα Adafruit ADXL345 πίσω από την επιφάνεια αφής, στην ίδια δηλαδή πλευρά που τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια χαλκού. Η τοποθέτηση γίνεται με βίδες M2 - L14mm, παξιμάδια M2 - H1.6mm και ροδέλες M2. Ακόμη, επιλέχθηκε

να τοποθετηθούν κατάλληλης διαμέτρου ελαστικοί δακτύλιοι, οι οποίοι βοηθούν στο να μην υπάρχει επαφή της κάθε μεταλλικής ροδέλας με τα αγωγικά τμήματα του chip. Η τοποθέτηση των ελαστικών δακτύλιων φάνηκε να μην επηρεάζει καθόλου την καταγραφή των δονήσεων από το επιταχυνσιόμετρο. Αξίζει να σημειωθεί ότι το υποσύστημα αυτό είναι ικανό να καταγράψει ακόμη και ένα ήρεμο scratching της επιφάνειας. Επίσης, οι δακτύλιοι αυτοί βοηθούν στην πιο σωστή σύσφιξη, ώστε να μην καταστραφεί το chip. Η σωστή σύσφιξη είναι απαραίτητη ώστε να μην υπάρχουν κενά στις ενώσεις που πιθανόν να οδηγήσουν σε ελλειπείς μετρήσεις.

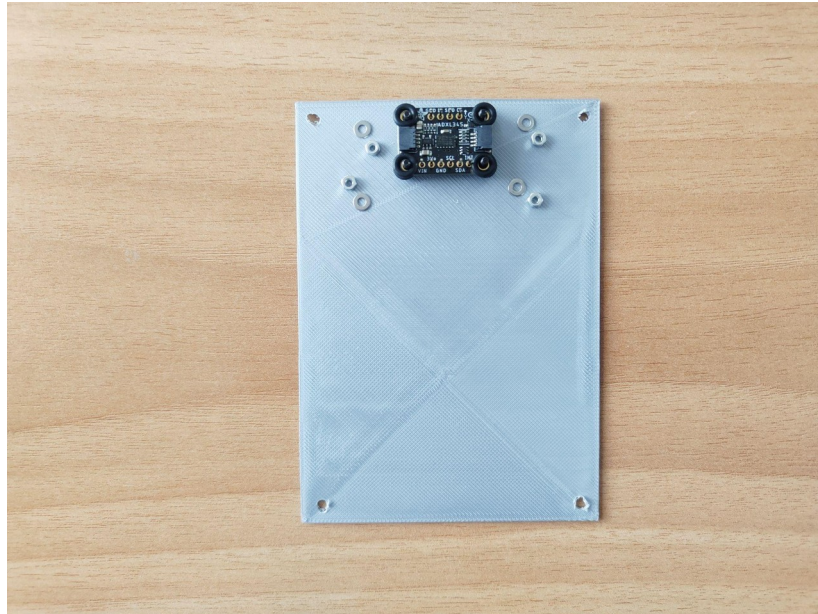


Εικόνα 19: Τοποθέτηση του Adafruit ADXL345 (βήμα 3)

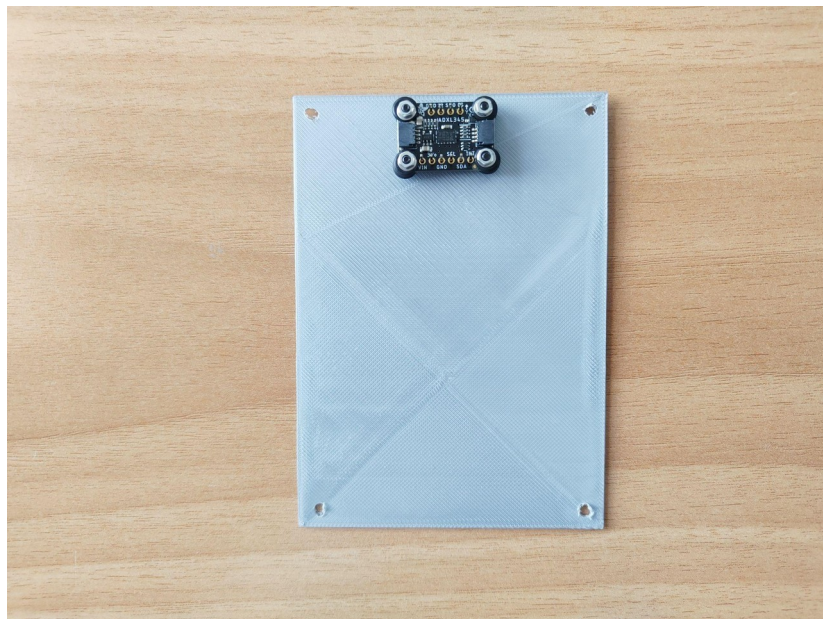


Εικόνα 20: Τοποθέτηση του Adafruit ADXL345 (βήμα 4)

Η τοποθέτηση του ADXL345 έγινε με βάση τις ανάγκες της πρότυπης κατασκευής για συνεχείς τροποποιήσεις και βελτιώσεις. Συνεπώς, επιλέχθηκε να μην υπάρχουν κολλήσεις των καλωδίων που συνδέονται στον αισθητήρα, αλλά κατάλληλοι σύνδεσμοι για female jumper wires.



Εικόνα 21: Τοποθέτηση του Adafruit ADXL345 (βήμα 5)

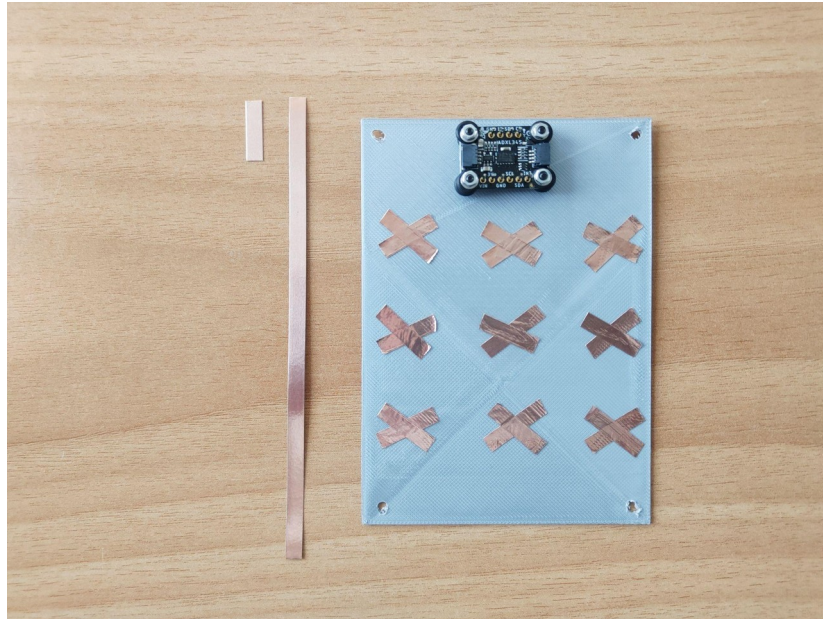


Εικόνα 22: Τοποθέτηση του Adafruit ADXL345 (βήμα 6)

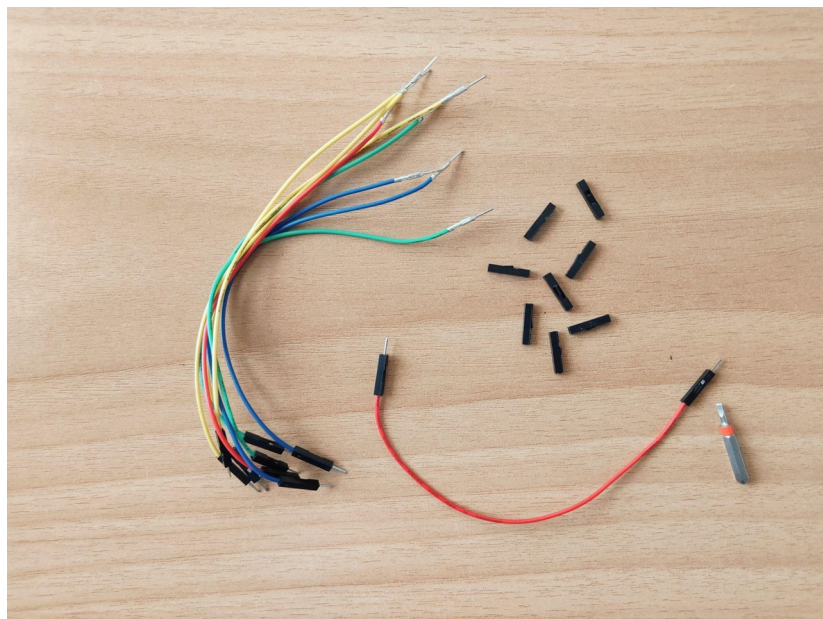
Η εναλλακτική θα ήταν να γίνει η τοποθέτηση των καλωδίων στις ειδικές υποδοχές του chip. Η Adafruit προσφέρει δύο εκδόσεις αυτού του chip. Η μία είναι η κλασική, και η άλλη διαθέτει υποδοχές STEMMA QT για το δίαυλο I2C, ώστε να μην χρειάζονται κολλήσεις. Αν και το chip των δοκιμών διαθέτει τις συγκεκριμένες υποδοχές, δεν επιλέχθηκαν διότι η πλειοψηφία των chip που χρησιμοποιούνται για πρότυπες εφαρμογές δεν διαθέτουν αυτή την

εναλλακτική και σκοπός της εργασίας είναι να καλύψει όλα τα πιθανά σενάρια. Το μόνο αρνητικό είναι ότι η χρήση χωρίς τις κολλήσεις αποτελεί μια διαδικασία που οδηγεί πολλές φορές σε αποσυνδέσεις. Αλλά στην παρούσα φάση είναι η μόνη επιλογή για συχνή αλλαγή των setup, ώστε να βρεθεί η βέλτιστη τοποθέτηση των υπόλοιπων υποσυστημάτων.

Στη συνέχεια, τοποθετήθηκαν και πάλι τα ηλεκτρόδια στις ίδιες θέσεις με αυτές που περιγράφονται στην προηγούμενη ενότητα. Με την χρήση αυτής της διάταξης δίνεται η δυνατότητα κάλυψης ενός μεγάλου τμήματος της επιφάνειας, αλλά ταυτόχρονα το σύστημα μπορεί να γνωρίζει την ακριβή θέση της επαφής.

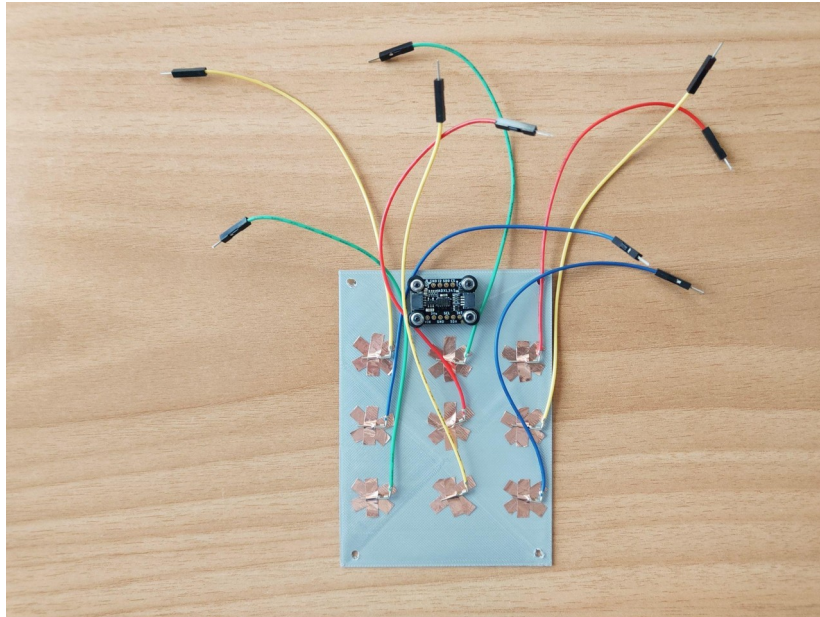


Εικόνα 23: Τοποθέτηση ηλεκτροδίων (βήμα 1)

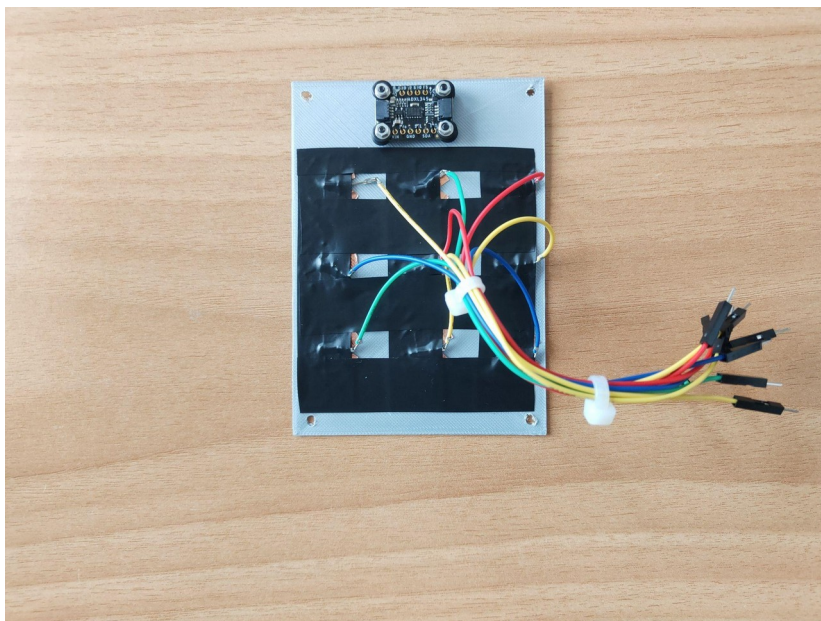


Εικόνα 24: Τοποθέτηση ηλεκτροδίων (βήμα 2)

Είναι κατανοητό ότι όσο μεγαλώνει ο αριθμός των ηλεκτροδίων κρατώντας σταθερές τις διαστάσεις της επιφάνειας, τόσο μεγαλώνει και η ακρίβεια. Ο κατάλληλος αριθμός ηλεκτροδίων διαφέρει ανάλογα με τον σκοπό του συστήματος. Η αρχιτεκτονική του πρότυπου συστήματος είναι τέτοια ώστε είτε το σύνολο του πρότυπου συστήματος, είτε κάποια από τα υποσυστήματά του, να είναι τροποποιήσιμα και εύκολα προσαρμοζόμενα, προκειμένου να μπορεί να υπάρξει μελλοντική αξιοποίηση από πρότυπα κοινωνικά ρομπότ χαμηλού κόστους. Συνεπώς, η μελέτη για τον κατάλληλο αριθμό ηλεκτροδίων πρέπει να γίνεται ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής.



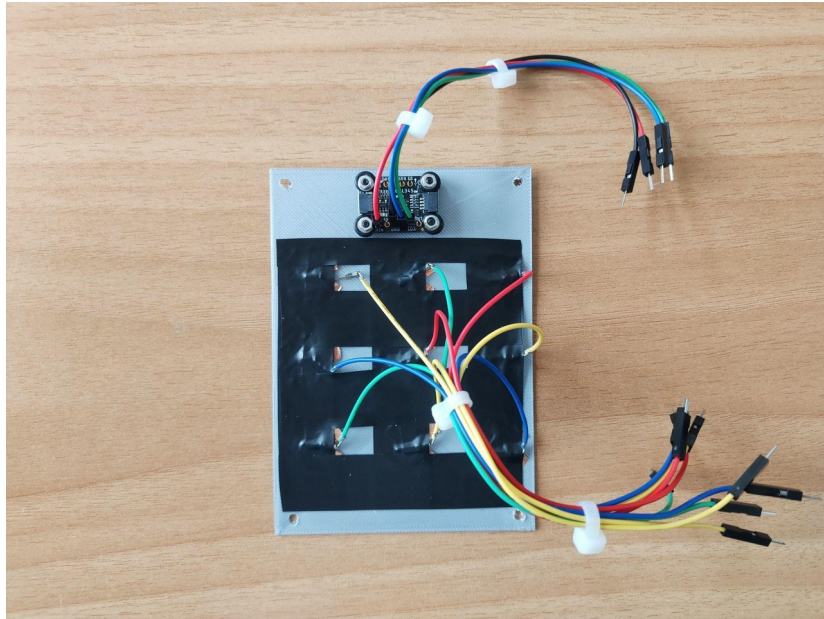
Εικόνα 25: Τοποθέτηση ηλεκτροδίων (βήμα 3)



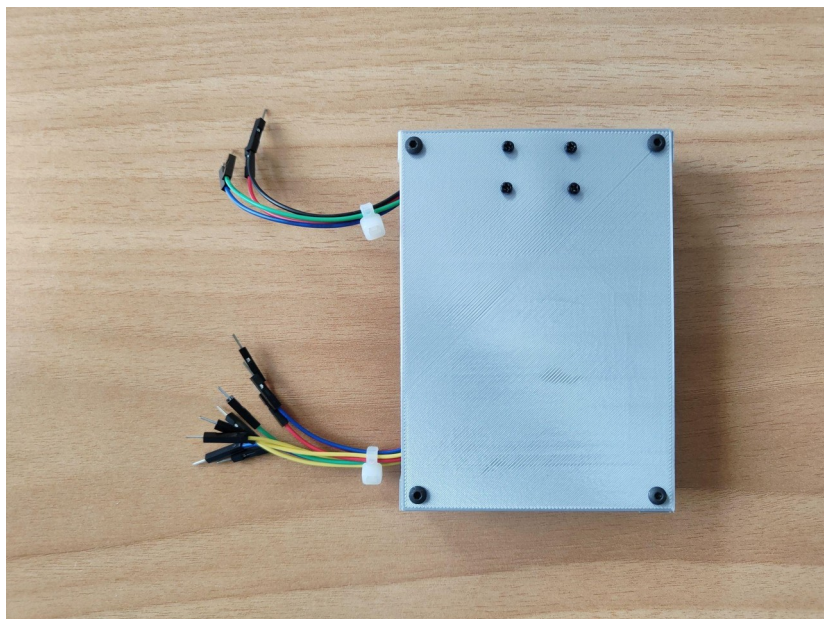
Εικόνα 26: Τοποθέτηση ηλεκτροδίων (βήμα 4)

Για την καλύτερη τοποθέτηση των jumper wires, επιλέχθηκε η αποσυναρμολόγηση του male μέρους τους. Αυτό επιτυγχάνεται με ανασήκωση της πλαστικής ασφάλειας με τη χρήση ενός μικρού κατσαβιδιού. Η διαδικασία της αφαίρεσης του πλαστικού καλύμματος αποτελεί μια απλή διαδικασία.

Τα jumper wires δεν είναι υπερβολικά εύκαμπτα, με αποτέλεσμα μια λάθος κίνηση στην συναρμολόγηση να προκαλέσει δυσλειτουργία. Προκειμένου να μην υπάρχουν πιθανότητες αποκόλλησης των ηλεκτροδίων επιλέχθηκε να γίνει τοποθέτηση μονωτικής ταινίας σε όλο το μέρος της πίσω επιφάνειας.



Εικόνα 27: Καλωδίωση των MPR121 και ADXL345 (βήμα 1)



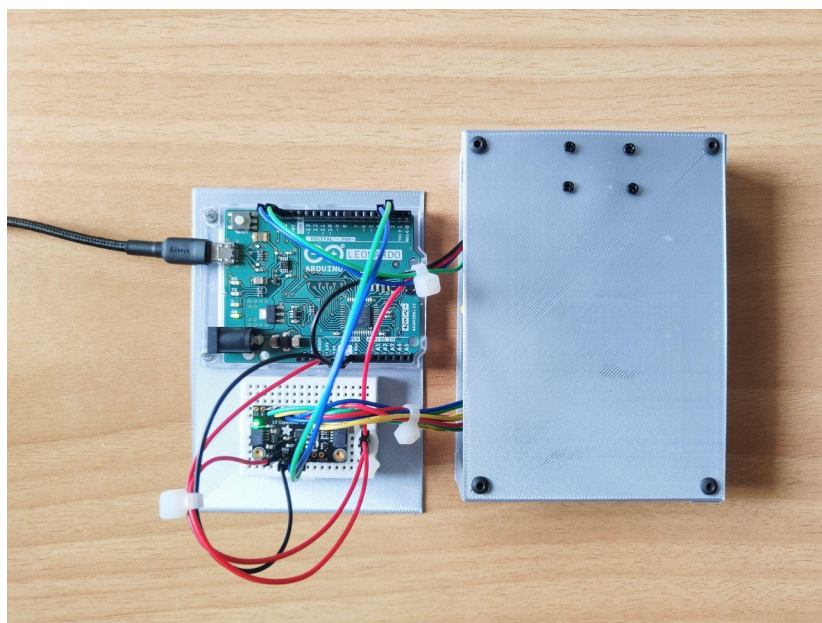
Εικόνα 28: Καλωδίωση των MPR121 και ADXL345 (βήμα 2)

Έπειτα, τοποθετήθηκε και η καλωδίωση που αφορούσε τον αισθητήρα ADXL345. Στην συνέχεια, όλα τα καλώδια του κάθε υποσυστήματος δέθηκαν με πλαστικούς σφιγκτήρες. Στο σημείο αυτό, η πίσω όψη της επιφάνεια επαφής είναι έτοιμη προκειμένου να τοποθετηθεί ξανά στην βάση. Τα καλώδια των ηλεκτροδίων τοποθετούνται στον Adafruit MPR121 στις θέσεις από 0 έως 8, όπως φαίνεται και στον αρχικό σχεδιασμό του συστήματος στο Fritzing.



Εικόνα 29: Καλωδίωση των MPR121 και ADXL345 (βημα 3)

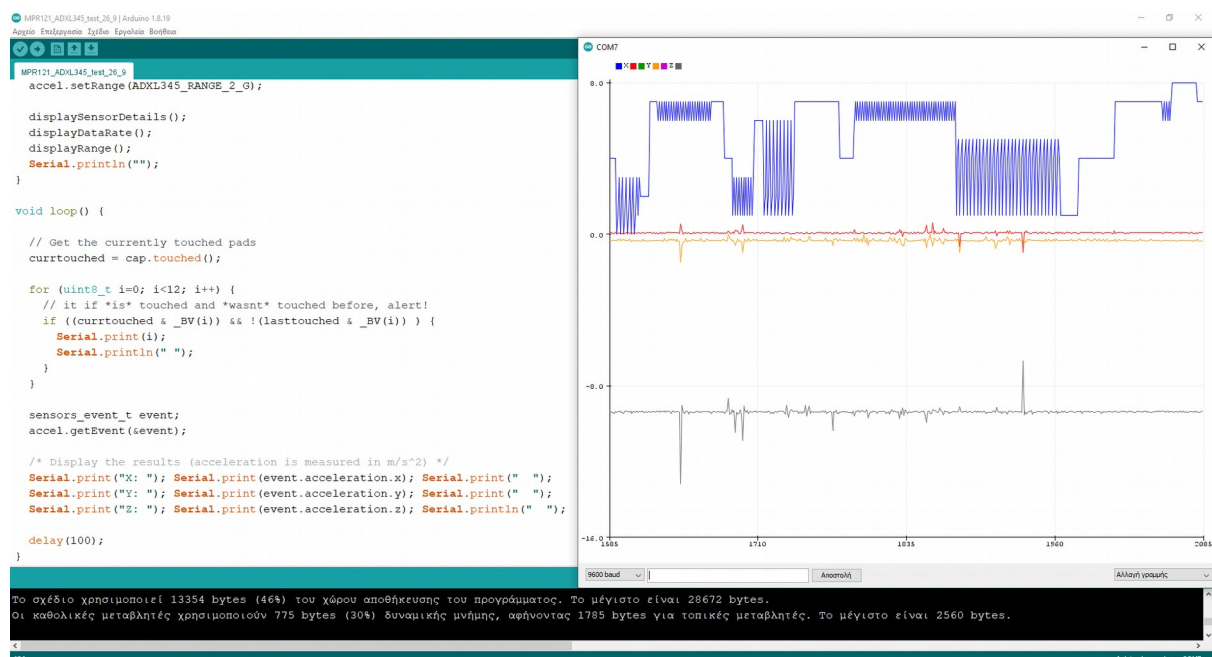
Για να μπορέσει να υπάρξει τροφοδοσία 5V από το Arduino και για τα δύο υποσυστήματα, αξιοποιήθηκαν κάποιες υποδοχές του breadboard. Σε ότι αφορά την γείωση, κάθε ένα από τα υποσυστήματα συνδέεται σε ξεχωριστή υποδοχή του Arduino.



Εικόνα 30: Η μορφή του πρότυπου απτικού συστήματος

Το εξαιρετικά σημαντικό είναι ότι σε έναν κοινό κώδικα που τρέχει στην ίδια συσκευή, οι αισθητήρες MPR121 και ADXL345 λειτουργούν ταυτόχρονα, χωρίς η λειτουργία του ενός να επικαλύπτει την λειτουργία του άλλου. Αυτό συμβαίνει διότι οι δύο συσκευές χρησιμοποιούν το I2C (SCL και SDA) με διευθύνσεις 0x5A και 0x53 αντίστοιχα.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται μια πρώτη δοκιμή του ολοκληρωμένου συστήματος. Σε ότι αφορά τον MPR121, η επεξήγηση είναι η ίδια με την προηγούμενη ενότητα, δηλαδή τροποποίηση στον κώδικα της Adafruit της `cap.setThresholds(1,0)`. Σχετικά με τον ADXL345, για να υπάρξει η απαραίτητη ευαισθησία, επιλέχθηκε η χρήση της εντολής `accel.setRange(ADXL345_RANGE_2_G)`. Η επιλογή αυτή προσφέρεται έτοιμη από τον κώδικα δοκιμών της Adafruit για το συγκεκριμένο επιταχυνσίμετρο.



Εικόνα 31: Δοκιμή του πρότυπου απτικού συστήματος

4. Η διαδικασία της αξιολόγησης του συστήματος

Σε αυτή την ενότητα θα περιγραφεί η διαδικασία της αξιολόγησης του πρότυπου απτικού συστήματος. Η αξιολόγηση έχει δύο κατευθύνσεις:

Λειτουργία: Αξιολόγηση ακρίβειας με την επανάληψη συγκεκριμένων tasks και καταγραφή των αποτελεσμάτων.

Χρήστες: Μελετούν τις οδηγίες της εργασίας και αξιολογούν πόσο εύκολα θα μπορούσαν να οδηγηθούν σε μια τέτοια κατασκευή, αλλά και εκφράζουν την άποψή τους για την μελλοντική χρήση σε πρότυπα κοινωνικά ρομπότ χαμηλού κόστους.

4.1 Αξιολόγηση λειτουργίας του συστήματος

Σε ότι αφορά την αξιολόγηση της λειτουργίας του συστήματος, η διαδικασία θα επικεντρωθεί στην αλληλεπίδραση με τη χρήση της χωρητικής τεχνολογίας. Η μελέτη της ακριβούς συμπεριφοράς του επιταχυνσιόμετρου σε απτικές εφαρμογές εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι οποίοι σχετίζονται με την τελική χρήση ενός πρότυπου συστήματος (όπως το calibration). Ουσιαστικά, το επιταχυνσιόμετρο τοποθετήθηκε κυρίως για την μελλοντική επέκταση, όπου θα μπορεί να γίνει αξιοποίηση των δεδομένων από ένα έξυπνο σύστημα αναγνώρισης των συναισθημάτων του χρήστη. Στην ενότητα αυτή, θα αξιολογηθεί η λειτουργία του πρότυπου απτικού συστήματος αλληλεπίδρασης ανθρώπου και κοινωνικού ρομπότ στον τομέα της χωρητικής τεχνολογίας.

Συνολικά, επιλέχθηκαν 9 διαφορετικά tasks. Πιο συγκεκριμένα, τα tasks χωρίζονται σε 3 κατηγορίες. Η κατηγορία Α σχετίζεται με δοκιμές με ένα δάχτυλο (δείκτη), η κατηγορία Β με 3 δάχτυλα (δείκτης, μέσος, παράμεσος) και η Γ με το εξωτερικό τμήμα της παλάμης. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τις 3 διαφορετικές περιοχές δοκιμών (πορτοκαλί, μπλε και γκρι), ώστε να γίνει κατανοητή η διαδικασία που ακολουθήθηκε. Η παρακάτω εικόνα αναφέρεται στην αρίθμηση των ηλεκτροδίων που τοποθετήθηκαν στην επιφάνεια επαφής, όπως περιγράφηκε στην διαδικασία του σχεδιασμού στο κεφάλαιο 3.

0	1	2
3	4	5
6	7	8

Εικόνα 32: Αρίθμηση και ομαδοποίηση των ηλεκτροδίων για την αξιολόγηση

Η κατηγορία Α χωρίζεται στις υποκατηγορίες Α1, Α2 και Α3. Η Α1 (πορτοκαλί) σχετίζεται με τα ηλεκτρόδια 0,3,6, η Α2 (μπλε) με τα ηλεκτρόδια 1,4,7 και η Α3 (γκρι) με τα ηλεκτρόδια 2,5,8. Σε κάθε μία από αυτές τις υποκατηγορίες, πραγματοποιήθηκε επαφή ακουμπώντας διαδοχικά τα αντίστοιχα ηλεκτρόδια με το δάχτυλο. Δηλαδή η σειρά για την Α1 ήταν 6,3,0, 6,3,0, 6,3,0, 6,3,0... μέχρι να ολοκληρωθούν οι 25 επαναλήψεις. Η κάθε επανάληψη της Α1 αφορούσε μία τριάδα 6,3,0. Ομοίως για την Α2 και Α3. Οι διαδικασίες αυτές έδειξαν ακρίβεια που έφτανε το 25/25. Δηλαδή σε κάθε κατηγορία πραγματοποιήθηκαν αρκετές δοκιμές, όπου η μέγιστη ακρίβεια ήταν 25/25 (και στις 4 κατηγορίες). Η ελάχιστη ήταν 23/25 και αφορούσε την Α2.

Η κατηγορία Β χωρίζεται σε Β1, Β2 και Β3. Η Β1 (πορτοκαλί) σχετίζεται με τα ηλεκτρόδια 0,3,6, η Β2 (μπλε) με τα 1,4,7 και η Β3 (γκρι) με τα 2,5,8. Σε κάθε μία από αυτές τις υποκατηγορίες, πραγματοποιήθηκε επαφή χαϊδεύοντας τα αντίστοιχα ηλεκτρόδια με 3 δάχτυλα (δείκτης, μέσος, παράμεσος). Δηλαδή η σειρά για την Β1 ήταν 6,3,0, 6,3,0, 6,3,0, 6,3,0... μέχρι να ολοκληρωθούν οι 25 επαναλήψεις. Η κάθε επανάληψη της Β1 αφορούσε μία τριάδα 6,3,0. Ομοίως για την Β2 και Β3. Οι διαδικασίες αυτές έδειξαν ακρίβεια που έφτανε το 25/25 (και στις 4 κατηγορίες). Η ελάχιστη ήταν 21/25 και αφορούσε την Β2.

Η κατηγορία Γ χωρίζεται σε Γ1, Γ2 και Γ3. Η Γ1 (πορτοκαλί) σχετίζεται με τα ηλεκτρόδια 0,3,6, η Γ2 (μπλε) με τα 1,4,7 και η Γ3 (γκρι) με τα 2,5,8. Σε κάθε μία από αυτές τις τρεις υποκατηγορίες, πραγματοποιήθηκε επαφή με το εξωτερικό τμήμα της παλάμης για 25 επαναλήψεις. Οι διαδικασίες αυτές έδειξαν ακρίβεια που έφτανε το 25/25 (και στις 4 κατηγορίες). Η ελάχιστη ήταν 18/25 και αφορούσε την Γ2.

Γίνεται κατανοητό ότι η ακρίβεια μπορεί να φτάσει έως 100%. Οι αστοχίες εντοπίζονται στις μικρές αποσυνδέσεις των jumper wires από τον MPR121. Διότι επιλέχθηκε η σύνδεση των εξαρτημάτων χωρίς τις κολλήσεις, το οποίο αποτελεί μια διαδικασία που οδηγεί πολλές φορές σε αποσυνδέσεις. Η επιλογή αυτή αιτιολογείται στην περιγραφή της συναρμολόγησης του κεφαλαίου 3.

4.2 Αξιολόγηση αντίληψης της λειτουργίας του συστήματος από χρήστες

Για την αξιολόγηση του συστήματος από χρήστες επιλέχθηκε η χρήση ερωτηματολογίου, το οποίο συνοδευόταν από τις οδηγίες κατασκευής του πρότυπου συστήματος. Το αρχείο με τις οδηγίες κατασκευής, το οποίο ήταν σε ηλεκτρονική μορφή, επισυνάφθηκε με σύνδεσμο στο Google Forms. Στην περιγραφή του ερωτηματολογίου, αφού έγινε μια σύντομη εισαγωγή σε ότι αφορά την εργασία, τους ζητήθηκε να μελετήσουν τις οδηγίες κατασκευής που υπάρχουν στον σύνδεσμο, και στην συνέχεια να συμπληρώσουν το ερωτηματολόγιο. Η κατασκευή του ερωτηματολογίου έγινε σύμφωνα με τους [37] και [38].

Οι ερωτήσεις ήταν οι εξείς:

1. Πιστεύω ότι μπορεί να υπάρξει μελλοντική αξιοποίηση του συστήματος από πρότυπα κοινωνικά ρομπότ χαμηλού κόστους.
2. Θεωρώ ότι το σύστημα είναι περίπλοκο για την χρήση που προορίζεται.
3. Νομίζω ότι το σύστημα θα μπορούσε να ήταν πιο απλό.
4. Νομίζω ότι για την πλήρη κατανόηση του συστήματος θα χρειαζόμουν περισσότερα βήματα από αυτά που περιγράφονται στις οδηγίες κατασκευής.
5. Θεωρώ ότι οι εικόνες που περιγράφονται στις οδηγίες κατασκευής είναι επαρκείς για την κατανόηση του συστήματος.
6. Πιστεύω ότι υπάρχει υπερβολική ασυνέπεια σε αυτό το σύστημα.
7. Θεωρώ ότι έχω κατανοήσει πλήρως την λειτουργία του συστήματος.
8. Πιστεύω ότι η περιγραφή του συστήματος είναι σαφής.
9. Νιώθω πολύ σίγουρος ότι εάν χρειαζόταν θα μπορούσα να αξιοποιήσω το συγκεκριμένο σύστημα.
10. Πιστεύω ότι χρειάζομαι αρκετά πιο απλές οδηγίες ώστε να κατανοήσω πλήρως την λειτουργία του συστήματος.

Η διαμοίραση του συνδέσμου του ερωτηματολογίου έγινε ηλεκτρονικά. Στάλθηκε σε φοιτητές του “Π.Μ.Σ. στις Επιστήμες της Αγωγής: Εφαρμογές Τεχνολογιών Πληροφορίας και Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση και τη Διά Βίου Μάθηση”. Τα ερωτηματολόγια που συλλέχθηκαν ήταν 35. Σε ότι αφορά το φύλλο, οι 32 ήταν γυναίκες και οι 3 άνδρες, με ηλικίες από 25 έως 49. Σε ότι αφορά το υπόβαθρο, οι 16 δήλωσαν “Θεωρητικό”, οι 8 “Θετικό”, οι 9 “Τεχνολογικό” και οι 2 “Καλλιτεχνικό”.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Οι αριθμοί 1 έως 10 αφορούν τις παραπάνω ερωτήσεις που απαντήθηκαν από τους φοιτητές.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Διαφωνώ Απόλυτα	-	5.7%	-	5.7%	-	17.1%	-	-	-	5.7%
Διαφωνώ	5.7%	42.9%	28.6%	57.1%	-	62.9%	11.4%	-	17.1%	48.6%
Ούτε Συμφωνώ Ούτε Διαφωνώ	5.7%	48.6%	45.7%	8.6%	17.1%	14.3%	22.9%	11.4%	34.3%	20%
Συμφωνώ	65.7%	-	20%	28.6%	71.4%	5.7%	60%	77.1%	40%	20%
Συμφωνώ Απόλυτα	22.9%	2.9%	5.7%	-	11.4%	-	5.7%	11.4%	8.6%	5.7%

5. Συμπεράσματα

Η εργασία αυτή παρουσίασε την μελέτη και την κατασκευή ενός πρότυπου και χαμηλού κόστους απτικού συστήματος αλληλεπίδρασης ανθρώπου - κοινωνικού ρομπότ, σύμφωνα με τις προτεινόμενες ανάγκες που προέκυψαν από την μελέτη επιστημονικών πηγών. Σκοπός της προτεινόμενης εργασίας ήταν η αρχιτεκτονική του συστήματος να είναι τέτοια ώστε είτε το σύνολο του πρότυπου συστήματος, είτε κάποια από τα υποσυστήματά του, να είναι τροποποιήσιμα και εύκολα προσαρμοζόμενα, ώστε να μπορεί να υπάρξει μελλοντική αξιοποίηση από πρότυπα κοινωνικά ρομπότ χαμηλού κόστους.

Η αξιολόγηση της λειτουργίας μέσω της επανάληψης συγκεκριμένων tasks και της λεπτομερής καταγραφής των αποτελεσμάτων έδειξε ότι το σύστημα διαθέτει μεγάλο ποσοστό ακρίβειας. Ως μελλοντική εργασία θα μπορούσε να γίνει αξιοποίηση των δεδομένων από ένα έξυπνο σύστημα αναγνώρισης των συναισθημάτων του χρήστη. Η διαδικασία αυτή θα στηρίζεται στην συσχέτιση των δεδομένων που λαμβάνονται από τον MPR121 και τον ADXL345.

Τέλος, σε ότι αφορά την αξιολόγηση από τους χρήστες, το 88.6% απάντησε “Συμφωνώ” ή “Συμφωνώ Απόλυτα” ότι μπορεί να υπάρξει μελλοντική αξιοποίηση του συστήματος από πρότυπα κοινωνικά ρομπότ χαμηλού κόστους. Επίσης, το 62.8% επέλεξε “Διαφωνώ” ή “Διαφωνώ Απόλυτα” στην ερώτηση ότι για την πλήρη κατανόηση του συστήματος θα χρειαζόταν περισσότερα βήματα από αυτά που περιγράφονται στις οδηγίες κατασκευής, αλλά και το 88.5% απάντησε “Συμφωνώ” ή “Συμφωνώ Απόλυτα” ότι η περιγραφή του συστήματος είναι σαφής.

Βιβλιογραφία

- [1] Hegel, F., Muhl, C., Wrede, B., Hielscher-Fastabend, M., & Sagerer, G. (2009, February). Understanding social robots. In *2009 Second International Conferences on Advances in Computer-Human Interactions* (pp. 169-174). IEEE.
- [2] Breazeal, C. (2011, August). Social robots for health applications. In *2011 Annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology society* (pp. 5368-5371). IEEE.
- [3] Li, H., John-John, C., & Tan, Y. K. (2011). Towards an effective design of social robots. *International Journal of Social Robotics*, 3(4), 333-335.
- [4] Satake, S., Kanda, T., Glas, D. F., Imai, M., Ishiguro, H., & Hagita, N. (2009, March). How to approach humans? Strategies for social robots to initiate interaction. In *Proceedings of the 4th ACM/IEEE international conference on Human robot interaction* (pp. 109-116).
- [5] Anzalone, S. M., Boucenna, S., Ivaldi, S., & Chetouani, M. (2015). Evaluating the engagement with social robots. *International Journal of Social Robotics*, 7(4), 465-478.
- [6] Kwon, M., Jung, M. F., & Knepper, R. A. (2016, March). Human expectations of social robots. In *2016 11th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)* (pp. 463-464). IEEE.
- [7] Riether, N., Hegel, F., Wrede, B., & Horstmann, G. (2012, March). Social facilitation with social robots?. In *2012 7th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)* (pp. 41-47). IEEE.
- [8] Korn, O. (Ed.). (2019). *Social robots: technological, societal and ethical aspects of human-robot interaction*. Berlin/Heidelberg, Germany: Springer.
- [9] Vincent, J., Taipale, S., Sapio, B., Lugano, G., & Fortunati, L. (Eds.). (2015). *Social robots from a human perspective* (pp. 1-10). Berlin: Springer.
- [10] De Graaf, M. M., & Allouch, S. B. (2013). Exploring influencing variables for the acceptance of social robots. *Robotics and autonomous systems*, 61(12), 1476-1486.
- [11] Kerruish, E. (2017). Affective Touch in Social Robots. *Transformations (14443775)*, (29).
- [12] Van Erp, J. B., & Toet, A. (2015). Social touch in human–computer interaction. *Frontiers in digital humanities*, 2, 2.
- [13] Hirano, T., Shiomi, M., Iio, T., Kimoto, M., Tanev, I., Shimohara, K., & Hagita, N. (2018). How do communication cues change impressions of human–robot touch interaction?. *International Journal of Social Robotics*, 10(1), 21-31.
- [14] Andreasson, R., Alenljung, B., Billing, E., & Lowe, R. (2018). Affective touch in human–robot interaction: conveying emotion to the Nao robot. *International Journal of Social Robotics*, 10(4), 473-491.

- [15] Eid, M. A., & Al Osman, H. (2015). Affective haptics: Current research and future directions. *IEEE Access*, 4, 26-40.
- [16] Dahiya, R. S., & Valle, M. (2013). *Robotic tactile sensing: technologies and system* (pp. 1-245). New York, NY, USA:: Springer.
- [17] Online touch behavior recognition of hard-cover robot using temporal decision tree classifier. In *RO-MAN 2008-The 17th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication* (pp. 425-429). IEEE.
- [18] Kim, Y. M., Koo, S. Y., Lim, J. G., & Kwon, D. S. (2010). A robust online touch pattern recognition for dynamic human-robot interaction. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 56(3), 1979-1987.
- [19] Kim, T., Park, J., Yoon, S. J., Park, H. W., & Park, Y. L. (2019, April). Design of a lightweight inflatable sensing sleeve for increased adaptability and safety of legged robots. In *2019 2nd IEEE International Conference on Soft Robotics (RoboSoft)* (pp. 257-264). IEEE.
- [20] Gonzalez-Gomez, J., Gonzalez-Quijano, J., Zhang, H., & Abderrahim, M. (2010, May). Toward the sense of touch in snake modular robots for search and rescue operations. In *Proc. ICRA 2010 Workshop "Modular Robots: State of the Art* (pp. 63-68).
- [21] Gbouna, Z. V., Pang, G., Yang, G., Hou, Z., Lv, H., Yu, Z., & Pang, Z. (2021). User-interactive robot skin with large-area scalability for safer and natural human-robot collaboration in future telehealthcare. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, 25(12), 4276-4288.
- [22] Šekoranja, B., Bašić, D., Švaco, M., Šuligoj, F., & Jerbić, B. (2014). Human-robot interaction based on use of capacitive sensors. *Procedia Engineering*, 69, 464-468.
- [23] Avelino, J., Paulino, T., Cardoso, C., Nunes, R., Moreno, P., & Bernardino, A. (2018). Towards natural handshakes for social robots: human-aware hand grasps using tactile sensors. *Paladyn, Journal of Behavioral Robotics*, 9(1), 221-234.
- [24] Orefice, P. H., Ammi, M., Hafez, M., & Tapus, A. (2018, August). Pressure variation study in human-human and human-robot handshakes: Impact of the mood. In *2018 27th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)* (pp. 247-254). IEEE.
- [25] Mazzei, D., De Maria, C., & Vozzi, G. (2016). Touch sensor for social robots and interactive objects affective interaction. *Sensors and Actuators A: Physical*, 251, 92-99.
- [26] Vasara, D., & Surakka, V. (2021). Haptic responses to angry and happy faces. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 37(17), 1625-1635.
- [27] Flagg, A., Tam, D., MacLean, K., & Flagg, R. (2012, March). Conductive fur sensing for a gesture-aware furry robot. In *2012 IEEE Haptics Symposium (HAPTICS)* (pp. 99-104). IEEE.
- [28] Hefter, E., Perry, C., Coiro, N., Parsons, H., Zhu, S., & Li, C. (2021, September). Development of a Multi-sensor Emotional Response System for Social Robots. In *International Conference on Interactive Collaborative Robotics* (pp. 88-99). Springer, Cham.
- [29] Cang, X. L., Bucci, P., Strang, A., Allen, J., MacLean, K., & Liu, H. S. (2015, November). Different strokes and different folks: Economical dynamic surface sensing and affect-related touch recognition. In *Proceedings of the 2015 ACM on International Conference on Multimodal Interaction* (pp. 147-154).

- [30] Altun, K., & MacLean, K. E. (2015). Recognizing affect in human touch of a robot. *Pattern Recognition Letters*, 66, 31-40.
- [31] Stiehl, W. D., Lieberman, J., Breazeal, C., Basel, L., Lalla, L., & Wolf, M. (2005, August). Design of a therapeutic robotic companion for relational, affective touch. In *ROMAN 2005. IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, 2005*. (pp. 408-415). IEEE.
- [32] Block, A. E., Christen, S., Gassert, R., Hilliges, O., & Kuchenbecker, K. J. (2021, March). The six hug commandments: design and evaluation of a human-sized hugging robot with visual and haptic perception. In *Proceedings of the 2021 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction* (pp. 380-388).
- [33] Shiomi, M., Nakata, A., Kanbara, M., & Hagita, N. (2021). Robot reciprocation of hugs increases both interacting times and self-disclosures. *International Journal of Social Robotics*, 13(2), 353-361.
- [34] Gamboa-Montero, J. J., Alonso-Martin, F., Castillo, J. C., Malfaz, M., & Salichs, M. A. (2020). Detecting, locating and recognising human touches in social robots with contact microphones. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 92, 103670.
- [35] Lin, S., Su, J., Song, S., & Zhang, J. (2021). An event-triggered low-cost tactile perception system for social robot's whole body interaction. *IEEE Access*, 9, 80986-80995.
- [36] Salichs, M. A., Barber, R., Khamis, A. M., Malfaz, M., Gorostiza, J. F., Pacheco, R., ... & Garcia, D. (2006, June). Maggie: A robotic platform for human-robot social inter.
- [37] Sharfina, Z., & Santoso, H. B. (2016, October). An Indonesian adaptation of the system usability scale (SUS). In *2016 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACSIS)* (pp. 145-148). IEEE.
- [38] Schmidler, J., Bengler, K., Dimeas, F., & Campeau-Lecours, A. (2017, October). A questionnaire for the evaluation of physical assistive devices (quead): Testing usability and acceptance in physical human-robot interaction. In *2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)* (pp. 876-881). IEEE.