



ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Απομακρυσμένη καθοδήγηση τυφλών με σύστημα
οπτικής αλληλεπίδρασης»

Του φοιτητή
...Σταύρου Δημητριάδη...
Αρ. Μητρώου:
.....164654.....

Επιβλέπων
Ονοματεπώνυμο
...Κοκκώνης Γεώργιος...
Βαθμίδα
...Επίκουρος Καθηγητής...

ΗμερομηνίαΜάιος 2025.....

Τίτλος Δ.Ε. Απομακρυσμένη καθοδήγηση τυφλών με σύστημα απτικής αλληλεπίδρασης.

Κωδικός Δ.Ε. ...25138

Όνοματεπώνυμο φοιτητή/τών ...Σταύρος Δημητριάδης.

Όνοματεπώνυμο εισηγητή ...Επίκουρος Καθηγητής Κοκκώνης Γεώργιος

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε. ...05-03-2025

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε. ...31-5-2025

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Σταύρου Δημητριάδη που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

«Αφιέρωση»

Πρόλογος

Ο κύριος μου στόχος που ανέλαβα την συγκεκριμένη εργασία είναι για να με βοηθήσει να μελετήσω και να μάθω περισσότερα πράγματα σχετικά με έναν πολύ ενδιαφέρον κλάδο της επιστήμης των υπολογιστών. Να αφομιώσω γνώσεις ώστε να θέσω μια βάση για την μετέπειτα επαγγελματική μου καριέρα, ενώ παράλληλα μελετάω ένα πολύ ενδιαφέρον και σημαντικό θέμα που αφορά την καθημερινότητα πάρα πολλών ανθρώπων προσπαθώντας να συνεισφέρω στην βελτίωση της καθημερινότητας τους. Επιπλέον, μου προσφέρετε, μέσω αυτής της εργασίας, η ευκαιρία να ανακαλύψω πτυχές του ανθρώπου για τις οποίες δεν γνωρίζω και μέσω της μελέτης της συγκεκριμένης εργασίας μπορώ να μάθω καλύτερα, σχετικά με το πως λειτουργεί το ανθρώπινο σώμα και πως με την χρήση υπολογιστών μπορούμε να παρέχουμε διάφορα ερεθίσματα.

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των σπουδών μου και έχει ως στόχο την ανάπτυξη ενός καινοτόμου συστήματος καθοδήγησης για άτομα με προβλήματα όρασης. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω τεχνολογιών μικροελεγκτών και ασύρματης επικοινωνίας. Συγκεκριμένα, σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε ένα σύστημα βασισμένο σε μικροελεγκτές τύπου Arduino, το οποίο συνδέεται ασύρματα με υπολογιστή μέσω δικτύου Wi-Fi. Μέσω αυτής της σύνδεσης, ο υπολογιστής μπορεί να αποστέλλει εντολές στο Arduino για την ενεργοποίηση ενός κινητήρα δόνησης, με σκοπό την ενεργοποίηση του κινητήρα δόνησης και επομένως την ενημέρωση του χρήστη.

Η ιδέα πίσω από τη συγκεκριμένη υλοποίηση είναι η αξιοποίηση της δόνησης ως μέσο προσανατολισμού και καθοδήγησης σε πραγματικό χρόνο, προσφέροντας έτσι ένα βοηθητικό εργαλείο πλοήγησης για άτομα με προβλήματα όρασης. Η εργασία αυτή συνδυάζει στοιχεία προγραμματισμού, ηλεκτρονικών και συστημάτων ανθρώπου-υπολογιστή, προκειμένου να δημιουργηθεί μια λύση, που βρίσκει εφαρμογή σε καθημερινά προβλήματα.

Στο πλαίσιο της εργασίας πραγματοποιήθηκε επίσης έρευνα με σκοπό την αξιολόγηση της πρακτικής λειτουργίας του συστήματος. Συγκεκριμένα, εξετάστηκε η αποτελεσματικότητα της δόνησης ως μέσο επικοινωνίας, με έμφαση στην ευαισθησία και την αντίληψη του ερεθίσματος από τους χρήστες.

«Remote guidance for people with visual impairments with haptic interaction systems»

«Stavros Dimitriadis»

Abstract

This thesis presents the development of an innovative guidance system designed to assist individuals with visual impairments using microcontrollers and wireless communication technologies. The system is based on Arduino microcontrollers that connect wirelessly to a computer via Wi-Fi. Through this connection, the computer can send commands to activate a vibration motor, providing tactile feedback to the user.

The primary objective is to utilize vibration as a real-time orientation and guidance method, offering a practical assistive navigation tool. The project integrates elements of embedded systems, wireless networking, and human–computer interaction to address real-world accessibility challenges.

To evaluate the system's effectiveness, a user study was conducted focusing on the perception and sensitivity of vibration stimuli. The results highlighted the potential of tactile feedback as a reliable communication channel for visually impaired users.

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, τους γονείς μου και την αδερφή μου, για την στήριξη που μου παρείχαν κατά την διάρκεια των σπουδών μου καθώς επίσης και την περίοδο εκπόνησης της εργασίας μου. Στάθηκαν δίπλα μου προσφέροντας μου ότι ήταν απαραίτητο και περνούσε από το χέρι τους ώστε να με βοηθήσουν από την μεριά τους. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου που στάθηκαν δίπλα μου παρέχοντας μου κίνητρο να συνεχίσω να προσπαθώ για το καλύτερο. Ενώ τέλος, τον καθηγητή μου, κύριο Κοκκώνη, για την συνεχή στήριξη του όσον αφορά το κομμάτι της εργασίας, ο οποίος με την σειρά του, φρόντισε να παρέχει διαρκώς ιδέες και και συμβουλές για την καλύτερη εκπλήρωση της εργασίας, καθώς επίσης και με την ανατροφοδότηση του κατάφερα να την ολοκληρώσω επιτυχώς.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	v
Περίληψη.....	vi
Abstract	vii
Ευχαριστίες	viii
Περιεχόμενα	ix
Κατάλογος Σχημάτων	xi
Κατάλογος Πινάκων.....	xii
Συνομογραφίες.....	xiii
Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή	1
Κεφάλαιο 2ο: Η δόνηση στο ανθρώπινο σώμα	3
2.1 Εισαγωγή.....	3
2.2 Δόνηση στο Ανθρώπινο Σώμα	3
2.3 Η Αίσθηση της Δόνηση στα χέρια	7
Κεφάλαιο 3ο: Το Κύκλωμα του Arduino	8
3.1 Εισαγωγή.....	8
3.2 Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν	9
3.3 Ο τρόπος Διασύνδεσης.....	11
3.4 Περιγραφή του Κώδικα.....	12
3.5 Περιγραφή της Τρισδιάστατης Σχεδίασης	14
Κεφάλαιο 4ο: Ο Διακομιστής ελέγχου	21
4.1 Εισαγωγή.....	21
4.2 Τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν	21
4.3 Η επικοινωνία μέσω UDP πρωτοκόλλου	22
4.4 Δημιουργία API.....	24
4.5 Περιγραφή του Κώδικα.....	26
Κεφάλαιο 5ο: Τρόπος λειτουργίας του Συστήματος.....	32
5.1 Εισαγωγή.....	32
5.2 Βασικές Λειτουργίες	33
5.3 Σύνδεση και Ποιότητα Σύνδεσης.....	36
5.4 Αντιμετώπιση Προβλημάτων	38
Κεφάλαιο 6ο: Υλοποίηση Πειράματος	39
6.1 Εισαγωγή.....	39

6.2	Περιγραφή Πειράματος.....	40
6.3	Το πείραμα σε ακινησία	46
6.3.1	Εφαρμογή στο πάνω μέρος του καρπού	46
6.3.2	Εφαρμογή στο κάτω μέρος του καρπού	47
6.3.3	Εφαρμογή στο ύψος του τρικεφάλου	48
6.3.4	Εφαρμογή στο ύψος του ώμου	49
6.4	Το πείραμα σε κίνηση	50
6.4.1	Εφαρμογή στο πάνω μέρος του καρπού	51
6.4.2	Εφαρμογή στο κάτω μέρος του καρπού	52
6.4.3	Εφαρμογή στο ύψος του τρικεφάλου	53
6.4.4	Εφαρμογή στο ύψος του ώμου	54
6.5	Αποτελέσματα	55
Κεφάλαιο 7ο:	Συμπεράσματα και Προοπτικές	62
7.1	Τελικά Συμπεράσματα	62
7.2	Προοπτικές για εξέλιξη	63
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	66
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : Ο ΚΩΔΙΚΑ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ	69
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β : Ο ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ	78
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ C : Το ερωτηματολόγιο	83

Κατάλογος Σχημάτων

Εικόνα 2-1 Οι κύριοι μηχανικοϋποδοχείς στο δέρμα (Meissner, Pacinian, Merkel, Ruffini) και η διασπορά τους στις στιβάδες της επιδερμίδας.....	5
Εικόνα 2-3 Το προσθιο-κάτω μέρος του εγκεφάλου ενός ανθρώπου με επισημασμένη (κόκκινο) την περιοχή της πρωτογενούς σωματοαισθητικής φλοιού.	6
Εικόνα 3-1 Ο μικροελεγκτής Arduino Nano Esp32[10]	9
Εικόνα 3-2 Οι διεπαφές του Arduino Nano Esp32[10].....	10
Εικόνα 3-3 Σύστημα Κινητήρα Δόνησης[13]	11
Εικόνα 3-4 Το κύκλωμα του Συστήματος.....	12
Εικόνα 3-5 Η μια πλάγια όψη του σχεδίου από το βασικό μέρος της συσκευής.	16
Εικόνα 3-6 Η δεύτερη πλάγια όψη του βασικού μέρους της συσκευής.....	16
Εικόνα 3-7 Η κάτοψη του βασικού μέρους της συσκευής.	17
Εικόνα 3-8 Η κάτοψη του καλύμματος της συσκευής.	18
Εικόνα 3-9 Η πλάγια όψη του καλύμματος της συσκευής.....	19
Εικόνα 4-1 - Διάγραμμα επικοινωνίας πρνοτοκόλλου UDP. [22].....	23
Εικόνα 5-1 Τελική μορφή συσκευών με μικροελεγκτή Arduino. (Ανοιχτές).....	34
Εικόνα 5-2 Τελική μορφή συσκευών με μικροελεγκτή Arduino. (Κλειστές).....	35
Εικόνα 6-1 Εφαρμογή της συσκευής στο ύψος του καρπού από πάνω.....	41
Εικόνα 6-2 Εφαρμογή της συσκευής στο ύψος του καρπού από κάτω.....	42
Εικόνα 6-3 Εφαρμογή της συσκευής στο ύψος του τρικέφαλου.....	43
Εικόνα 6-4 Εφαρμογή της συσκευής στο ύψος του ώμου.	44
Εικόνα 6-5 Αποτελέσματα ΜΟ Έντασης για το πάνω μέρος του καρπού σε ακινησία.....	47
Εικόνα 6-6 Αποτελέσματα ΜΟ Έντασης για το κάτω μέρος του καρπού σε ακινησία.....	48
Εικόνα 6-7 Αποτελέσματα ΜΟ Έντασης για το ύψος του τρικεφάλου σε ακινησία.....	49
Εικόνα 6-8 Αποτελέσματα ΜΟ Έντασης για το ύψος του ώμου σε ακινησία.....	50
Εικόνα 6-9 Αποτελέσματα ΜΟ Έντασης για το πάνω μέρος του καρπού σε κίνηση.	51
Εικόνα 6-10 Αποτελέσματα ΜΟ Έντασης για το κάτω μέρος του καρπού σε κίνηση.	52
Εικόνα 6-11 Αποτελέσματα ΜΟ Έντασης για το ύψος του τρικεφάλου σε κίνηση.	53
Εικόνα 6-12 Αποτελέσματα ΜΟ Έντασης για το ύψος του ώμου σε κίνηση.	54
Εικόνα 6-13 Διάγραμμα απεικόνισης των τιμών της έντασης που αντιλήφθηκε κάθε χρήστης σε κάθε ένα από τα διάφορα σημεία του χεριού που χρησιμοποιήθηκε η συσκευή.....	56
Εικόνα 6-14 ΜΟ Έντασης ανα σημείο χεριού για όλους τους χρήστες σε κατάσταση ακινησίας.	56
Εικόνα 6-15 Διάγραμμα απεικόνισης της εργονομίας της συσκευής για κάθε ένα από τα σημεία του χεριού που αυτή χρησιμοποιήθηκε.....	57
Εικόνα 6-16 Διάγραμμα απεικόνισης των τιμών της έντασης που αντιλήφθηκε κάθε χρήστης σε κάθε ένα από τα διάφορα σημεία του χεριού που χρησιμοποιήθηκε η συσκευή (σε κίνηση).	58
Εικόνα 6-17 ΜΟ Έντασης ανα σημείο χεριού για όλους τους χρήστες σε κατάσταση κίνησης.	59
Εικόνα 6-18 Σύγκριση του ΜΟ Έντασης για τις δύο διαφορετικές μεθόδους διεξαγωγής του πειράματος.....	60

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 4-1 Οι εντολές API του συστήματος.	26
Πίνακας 4-2 Πίνακας εντολών του server από το πληκτρολόγιο.....	30
Πίνακας 6-1 Αποτελέσματα Χρηστών για το πάνω μέρος του καρπού σε ακινησία.....	46
Πίνακας 6-2 Αποτελέσματα Χρηστών για το κάτω μέρος του καρπού σε ακινησία.....	47
Πίνακας 6-3 Αποτελέσματα Χρηστών για το ύψος του τρικεφάλου σε ακινησία.....	48
Πίνακας 6-4 Αποτελέσματα Χρηστών για το ύψος του ώμου σε ακινησία.....	49
Πίνακας 6-5 Αποτελέσματα Χρηστών για το πάνω μέρος του καρπού σε κίνηση.....	51
Πίνακας 6-6 Αποτελέσματα Χρηστών για το κάτω μέρος του καρπού σε κίνηση.....	52
Πίνακας 6-7 Αποτελέσματα Χρηστών για το ύψος του τρικεφάλου σε κίνηση.....	53
Πίνακας 6-8 Αποτελέσματα Χρηστών για το ύψος του ώμου σε κίνηση.....	54

Συντομογραφίες

Δ.Ε.	Διπλωματική Εργασία
ΔΙΠΑΕ	Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος
Π.Ε.	Πτυχιακή Εργασία

Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή

Η τεχνολογία, ιδιαίτερα κατά τις τελευταίες δεκαετίες, έχει εξελιχθεί ραγδαία, επιτρέποντας την ανάπτυξη λύσεων που στοχεύουν στη βελτίωση της καθημερινότητας ευάλωτων κοινωνικών ομάδων. Ένα σημαντικό πεδίο εφαρμογής της αποτελεί η υποστήριξη ατόμων με αναπηρία, και συγκεκριμένα ατόμων με προβλήματα όρασης, τα οποία συχνά αντιμετωπίζουν εμπόδια που μειώνουν την ανεξαρτησία και την αυτονομία τους στην πλοήγηση και τη γενικότερη αλληλεπίδραση με το περιβάλλον.

Η πλοήγηση σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους για άτομα με οπτικά προβλήματα παρουσιάζει πολλαπλές δυσκολίες. Η απουσία οπτικής πληροφορίας καθιστά την αναγνώριση εμποδίων, την εκτίμηση αποστάσεων, τον εντοπισμό κατευθύνσεων και την ανάγνωση πινακίδων ή σημάτων εξαιρετικά δύσκολη. Παρά τη χρήση παραδοσιακών βοηθημάτων, όπως το λευκό μαστούνι ή οι σκύλοι-οδηγοί, τα οποία προσφέρουν σημαντική βοήθεια, παραμένουν σημαντικά περιθώρια βελτίωσης με τη συνδρομή της τεχνολογίας.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία επικεντρώνεται στην ανάπτυξη ενός καινοτόμου ηλεκτρονικού συστήματος καθοδήγησης για άτομα με προβλήματα όρασης, το οποίο βασίζεται στη χρήση μικροελεγκτών τύπου Arduino και στην ασύρματη επικοινωνία μέσω Wi-Fi. Το σύστημα επιτρέπει την απομακρυσμένη ενεργοποίηση ενός κινητήρα δόνησης από έναν υπολογιστή, προσφέροντας στον χρήστη πληροφορίες καθοδήγησης μέσω δόνησης. Η δόνηση λειτουργεί ως εναλλακτική οδός επικοινωνίας, μεταφέροντας πληροφορίες προσανατολισμού με τρόπο άμεσο και αντιληπτό, χωρίς να απαιτείται οπτική ή ακουστική επεξεργασία.

Η εργασία ενσωματώνει τεχνολογίες από τομείς όπως η ενσωματωμένη τεχνολογία (embedded systems), η ασύρματη επικοινωνία, η ανάπτυξη δικτυακών υπηρεσιών (API) και τα συστήματα ανθρώπου-υπολογιστή (Human-Computer Interaction – HCI), ώστε να δημιουργηθεί ένα σύστημα το οποίο να είναι λειτουργικό, επεκτάσιμο και προσβάσιμο.

Πέρα από την τεχνική υλοποίηση, δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στην αξιολόγηση της πρακτικής απόδοσης του συστήματος. Πραγματοποιήθηκε πείραμα με στόχο την ανάλυση της ευαισθησίας των χρηστών στη δόνηση, καθώς και της ικανότητάς τους να αντιληφθούν σωστά την πληροφορία που μεταδίδεται. Η μελέτη αυτή αποτελεί βασικό στοιχείο για τη βελτίωση της εργονομίας και της χρηστικότητας του τελικού προϊόντος.

Η εργασία οργανώνεται στα εξής κεφάλαια:

- Το κύκλωμα του Arduino – Παρουσιάζονται αναλυτικά τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, ο τρόπος με τον οποίο συνδέθηκαν, καθώς και ο πηγαίος κώδικας που αναπτύχθηκε για τον

προγραμματισμό του μικροελεγκτή. Περιγράφονται επίσης οι τεχνικές προκλήσεις που αντιμετωπίστηκαν κατά τη σχεδίαση του κυκλώματος.

- Ο Διακομιστής Ελέγχου – Περιγράφεται η αρχιτεκτονική της εφαρμογής που αναπτύχθηκε στον υπολογιστή για την αποστολή εντολών στο Arduino. Γίνεται αναφορά στις τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν, όπως το UDP πρωτόκολλο και η δημιουργία API, καθώς και αναλυτική παρουσίαση του αντίστοιχου κώδικα.
- Τρόπος Λειτουργίας του Συστήματος – Γίνεται σύνθεση των προηγούμενων κεφαλαίων για να παρουσιαστεί η συνολική λειτουργία του συστήματος. Περιγράφονται οι βασικές δυνατότητες του συστήματος, η διαδικασία σύνδεσης και ο τρόπος με τον οποίο συνεργάζονται οι επιμέρους μονάδες.
- Υλοποίηση Πειράματος – Αναλύεται η μεθοδολογία της πειραματικής διαδικασίας που πραγματοποιήθηκε για την αξιολόγηση της λειτουργίας του συστήματος. Παρουσιάζονται ο σχεδιασμός του πειράματος, ο τρόπος υλοποίησής του και τα αποτελέσματα που προέκυψαν, με έμφαση στην αξιολόγηση της αντίληψης της δόνησης από τους χρήστες.
- Συμπεράσματα και Προοπτικές – Γίνεται αποτίμηση των αποτελεσμάτων της εργασίας, συνοψίζονται τα βασικά συμπεράσματα και προτείνονται πιθανές βελτιώσεις και μελλοντικές επεκτάσεις του συστήματος, τόσο σε επίπεδο υλικού όσο και λογισμικού.

Η φιλοδοξία αυτής της εργασίας είναι να αποτελέσει ένα ακόμη βήμα προς την κατεύθυνση της τεχνολογικής ένταξης και της ισότιμης συμμετοχής των ατόμων με αναπηρία στην κοινωνία, προσφέροντας ένα εργαλείο που μπορεί να εξελιχθεί περαιτέρω και να εφαρμοστεί σε πραγματικές συνθήκες.

Κεφάλαιο 2ο: Η δόνηση στο ανθρώπινο σώμα

2.1 Εισαγωγή

Η δόνηση ορίζεται ως η περιοδική ταλάντωση ενός σώματος γύρω από θέση ισορροπίας, με καθορισμένη συχνότητα (Hz) και πλάτος. Στον άνθρωπο, η αντίληψη των δονήσεων επιτυγχάνεται κυρίως μέσω μηχανικών υποδοχέων στο δέρμα και στους ιστούς, οι οποίοι μετατρέπουν την μηχανική ενέργεια σε νευρικά σήματα. Παράδειγμα είναι η αίσθηση δονήσεων μέσω του ακουστικού συστήματος (μετατροπή δονήσεων σε ήχο), αλλά εδώ εστιάζουμε στην απτική αντίληψη (μέσω αφής).

Οι δονήσεις μπορεί να προέρχονται από το περιβάλλον (π.χ. κραδασμούς εδάφους ή ηχητικά κύματα) και να μεταδίδονται μέσω του σώματος. Η ικανότητα αυτή είναι σημαντική για την αντίληψη του χώρου, του διασκελισμού, αλλά και τη λεπτή χειροτεχνία. Σημαντικό πεδίο εφαρμογής της αίσθησης δόνησης είναι η καθοδήγηση ατόμων με προβλήματα όρασης: διάφορες μελέτες έχουν δείξει ότι συσκευές με ανατροφοδότηση δονήσεων (π.χ. φορητές ζώνες δόνησης ή κινητά τηλέφωνα) μπορούν να αντικαταστήσουν ή να συμπληρώσουν τις ηχητικές οδηγίες στα τυφλά άτομα, ειδικά σε θορυβώδες περιβάλλον. [1]

Για παράδειγμα, σε σύγκριση με ακουστικές οδηγίες, η δονητική καθοδήγηση μέσω ζώνης στην οσφύ διέφερε ελάχιστα στην απόδοση των τυφλών σε πολυσύχναστους χώρους [1], ενώ ερευνητές σχεδίασαν συστήματα που στέλνουν συγκεκριμένα πρότυπα δονήσεων (μέσω κινητού τηλεφώνου) για να μεταφέρουν πληροφορίες πλοήγησης σε τυφλούς χρήστες[2]. Η αίσθηση της δόνησης αποτελεί επομένως ένα ουσιώδες τμήμα της σωματοαισθησίας, με πρακτικές εφαρμογές στην αναπλήρωση του οπτικού αισθήματος.

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο εξετάζονται και αναπτύσσεται το θεωρητικό υπόβαθρο και όλη η λογική πίσω από το πως γίνεται αντιληπτή η δόνηση στο ανθρώπινο σώμα καθώς επίσης και πιο συγκεκριμένα στα χέρια ενός ανθρώπου. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να γίνει περισσότερο αντιληπτό το αντικείμενο της εργασίας καθώς επίσης να μελετηθεί περαιτέρω το σύστημα το οποίο αναπτύσσεται με σκοπο την δόνηση στο ανθρώπινο σώμα.

2.2 Δόνηση στο Ανθρώπινο Σώμα

Όταν ένας μηχανικός κραδασμός φτάνει στο σώμα, διεγείρει εξειδικευμένους μηχανοϋποδοχείς στο δέρμα και τους βαθύτερους ιστούς. Τα σήματα αυτά μεταδίδονται μέσω των μεγάλου εύρους, έντονα μυελινοδεμένων νευρικών ινών A-β (16–100 m/s) στον νωτιαίο μυελό [3]. Κατόπιν, ακολουθούν την πορεία των οπισθίων δεσμών (οπισθίος λημνίσκος) της νωτιαίας στήλης και μέσω του ραβδωτού

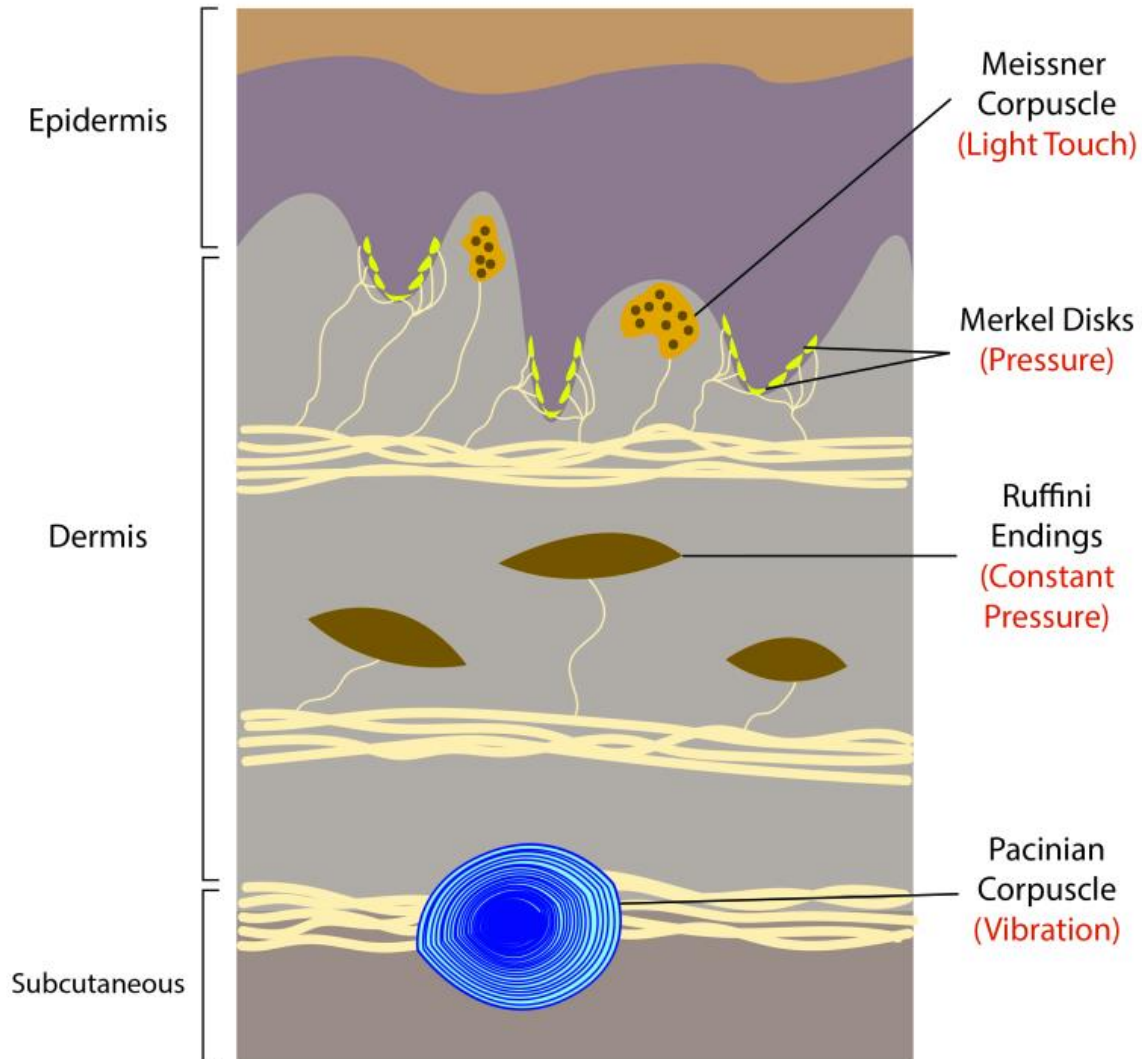
Κεφάλαιο 2

σώματος (*fasciculus gracilis* ή *cuneatus*) φτάνουν στον θάλαμο. Από εκεί προωθούνται στον πρωτογενή σωματοαισθητικό φλοιό, όπου ολοκληρώνεται η συνειδητή αντίληψη της δόνησης [4].

Οι σημαντικότεροι υποδοχείς που ευαισθητοποιούνται σε δονήσεις είναι οι εξής:

- Σώματα Pacinian (Lamellar Corpuscles): βαθιοί, κάψαλοι υποδοχείς στο υποδόριο ιστό. Ανιχνεύουν κυρίως υψηλές συχνότητες δόνησης (περίπου 150–300 Hz), καθώς είναι ταχέως προσαρμοζόμενοι (φασικοί) [1]. Στο χέρι αποτελούν το ~15% των δερματικών υποδοχέων [5].
- Σώματα Meissner (Tactile Corpuscles): επιφανειακοί υποδοχείς στο λείο δέρμα (π.χ. άκρες δακτύλων), ευαίσθητοι σε χαμηλές συχνότητες δόνησης (περίπου 20–50 Hz) και μεταβολές στην αφή [6]. Είναι επίσης ταχέως προσαρμοζόμενοι (φασικοί) και άφθονοι στις παλάμες.
- Απτικοί δίσκοι Merkel: επιφανειακοί υποδοχείς (μη ενσαρκωμένοι) που ανταποκρίνονται σε σταθερή πίεση στο δέρμα. Συνεισφέρουν στην αντίληψη χαμηλής συχνότητας δόνησης και διακριτικής αφής (χαμηλές μεσαίες συχνότητες). Είναι αργά προσαρμοζόμενοι (τονικοί) [3].
- Σώματα Ruffini: βαθύτεροι υποδοχείς (ενσαρκωμένοι) που ανιχνεύουν διατάσεις και «τράβηγμα» στο δέρμα. Αντιδρούν σε παρατεταμένη πίεση/τεντώματα, βοηθώντας στην αίσθηση της κίνησης και θέσης των δακτύλων. Επίσης είναι αργά προσαρμοζόμενοι (τονικοί) [3].

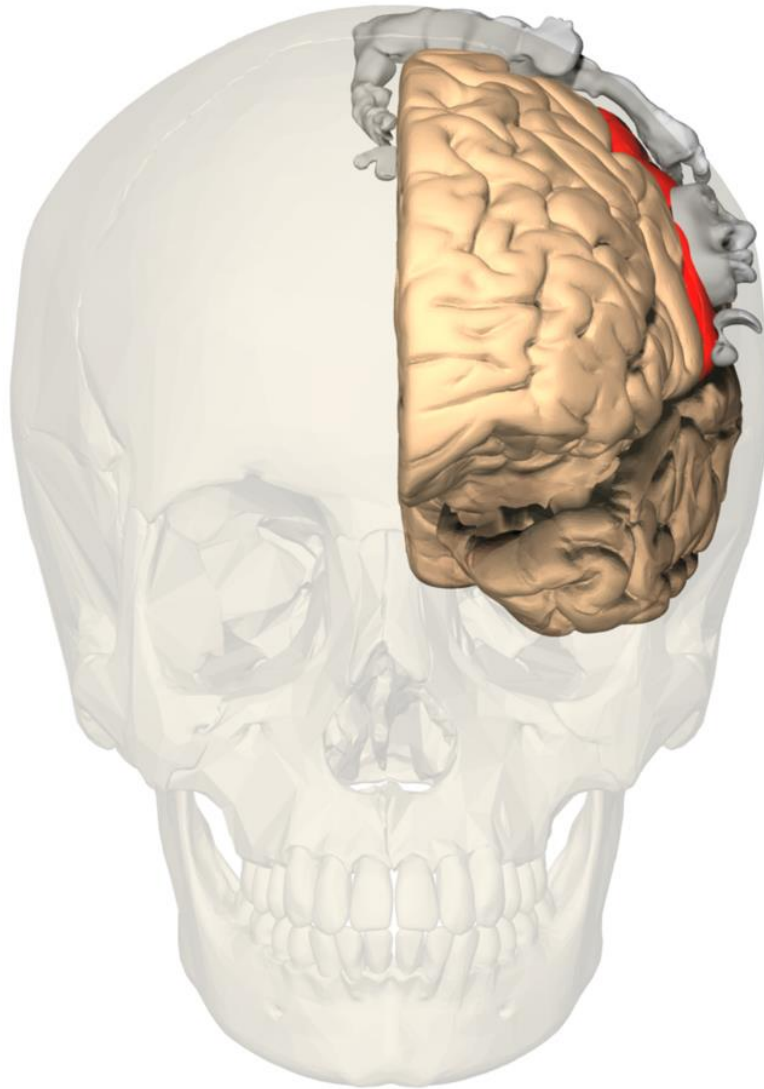
Mechanoreceptors



Εικόνα 2-1 Οι κύριοι μηχανικοϋποδοχείς στο δέρμα (Meissner, Pacinian, Merkel, Ruffini) και η διασπορά τους στις στιβάδες της επιδερμίδας.

Οι Meissner (κόκκινοι) ανιχνεύουν χαμηλές συχνότητες και οι Pacini (μπλε) υψηλές ενώ οι Merkel και Ruffini ανταποκρίνονται σε σταθερή πίεση και επιμήκυνση δέρματος[3].

Τα σήματα από αυτούς τους υποδοχείς κωδικοποιούνται σε συχνότητες διέγερσης. Η πληροφορία μεταφέρεται μέσω νωτιαίου γαγγλίου (δρ. κύτταρα, “first-order neurons”) και συναπτίζεται σε πυρήνες του ραβδωτού σώματος στο κατώτερο τμήμα του μυελού. Έπειτα οι νευράξονες διασταυρώνονται στο κάτω μέρος του στελέχους (μέσω της συγκλίσης των οπισθίων δεσμών στον μέσο εγκέφαλο) και μεταφέρονται προς τον θάλαμο και στη συνέχεια στον φλοιό [3].



Εικόνα 2-2 Το προσθιο-κάτω μέρος του εγκεφάλου ενός ανθρώπου με επισημασμένη (κόκκινο) την περιοχή της πρωτογενούς σωματοαισθητικής φλοιού.

Σ' αυτή την περιοχή φτάνουν οι πληροφορίες από τους απτικούς και δονητικούς υποδοχείς μέσω της σπονδυλικής στήλης και του οπισθίου λημνίσκου [4].

Συνοπτικά, η δόνηση μετατρέπεται σε ηλεκτρικά σήματα στους μηχανικοϋποδοχείς, διατρέχει τη σπονδυλική οδό (ν. υποδοχείς → νωτιαίος μυελός → θάλαμος) και τελικά φτάνει στον πρωτογενή σωματοαισθητικό φλοιό του εγκεφάλου [4]. Εκεί ολοκληρώνεται η αντίληψη της δονητικής πληροφορίας, μαζί με άλλες αισθήσεις της αφής.

2.3 Η Αίσθηση της Δόνηση στα χέρια

Τα χέρια (και ειδικά οι παλάμες και οι άκρες των δακτύλων) έχουν ιδιαίτερα υψηλή ευαισθησία στη δόνηση. Αυτό οφείλεται στην πολύ μεγαλύτερη πυκνότητα μηχανικοϋποδοχέων σε σχέση με άλλες περιοχές. Στο λείο δέρμα των παλαμών υπάρχουν και οι τέσσερις βασικοί τύποι υποδοχέων (Meissner, Pacinian, Merkel, Ruffini) σε πολύ υψηλή συγκέντρωση. Για παράδειγμα, τα σώματα Pacini αντιστοιχούν σε μεγάλο μέρος των υποδοχέων του χεριού [7], επιτρέποντας λεπτομερή αναγνώριση ισχυρών δονήσεων.

- Πυκνότητα υποδοχέων: Οι Meissner και Pacinian είναι άφθονοι στα δάκτυλα και στις παλάμες, προσδίδοντας ευαισθησία σε πολλαπλές κλίμακες συχνότητας. Οι Merkel και Ruffini συνεισφέρουν στην ακρίβεια της ανάγνωσης (π.χ. ανάγνωση Braille) και στη διατήρηση της λαβής. Σύμφωνα με τους Whitehead & Grider (2023), ο ανθρώπινος κορμός διαθέτει πολύ λιγότερους υποδοχείς δόνησης, οπότε η χωρική ανάλυση της δόνησης είναι ελάχιστη συγκριτικά [3].
- Νευρικές οδοί: Οι υποδοχείς στα δάκτυλα συνδέονται με το μέσο ή ωλένιο νεύρο, μεταφέροντας τις πληροφορίες στον νωτιαίο μυελό. Οι ίνες Α-β των δακτύλων (μεσαίας ή μεγάλης ταχύτητας αγωγιμότητα) φέρουν τις δονητικές πληροφορίες στον θάλαμο και τη φλοιώδη περιοχή εισόδου (Brodmann 3,1,2). Αυτό επιτρέπει γρήγορη και ακριβή αναγνώριση δονήσεων από τα χέρια.
- Νευρωνικά μονοπάτια: Συγκεκριμένα, το σήμα από ένα δάκτυλο φτάνει πρώτα στο ομόπλευρο ραβδωτό σώμα (fasciculus cuneatus για άνω άκρα) και συναπτίζεται στον πυρήνα cuneatus. Έπειτα οι νευράξονες διασταυρώνονται στην κροσσωτή συμβολή (decussatio) και συνεχίζουν μέσω της κατιούσας οδού του μεσεγκεφάλου στον θάλαμο. Ο τρίτος νευρώνας («third-order neuron») από τον θάλαμο μεταφέρει την πληροφορία στον αντίστοιχο φλοιό του βρεγματικού λοβού [4].

Οι χερσαίες λειτουργίες που επωφελούνται από αυτή τη ευαισθησία είναι πολλές: η ανάγνωση Braille είναι κλασικό παράδειγμα όπου η αντίληψη πολύ μικρών δονήσεων κρίνει την επιτυχία. Επίσης, οι χειρισμοί λεπτής μηχανικής απαιτούν συνεχή ανατροφοδότηση από τους υποδοχείς δόνησης για ρύθμιση δύναμης. Συσκευές καθοδήγησης τυφλών εκμεταλλεύονται αυτή την ευαισθησία: φορώντας συστήματα δονητών στους καρπούς ή στα δάκτυλα, μπορούν να κατευθύνουν κινητικές εντολές που γίνονται αισθητές με φυσικό τρόπο από το άγγιγμα. Η πολυπλοκότητα και το εύρος του αισθητηριακού χάρτη στα χέρια συντελεί καθοριστικά στη λεπτή αντιληπτική τους ικανότητα. [8,9]

Κεφάλαιο 3ο: Το Κύκλωμα του Arduino

3.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα περιγραφεί το κύκλωμα του Arduino με τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, τον τρόπο με τον οποίο διασυνδέθηκαν καθώς επίσης θα αναλυθεί και ο κώδικας που αναπτύχθηκε. Όλα αυτά με κύριο στόχο την ανάπτυξη του συστήματος το οποίο θα είναι υπεύθυνο να λαμβάνει μηνύματα από το διακομιστή ελέγχου και να εκτελεί τις εντολές τις οποίες λαμβάνει. Με αυτόν τον τρόπο θα επιτυγχάνεται ο ασύρματος και απομακρυσμένος έλεγχος της συσκευής η οποία με την σειρά της θα ειδοποιεί μέσω δόνησης τον χρήστη.

Επίσης, στόχος στην ανάπτυξη του συγκεκριμένου συστήματος ήταν επίσης η δημιουργία ενός κυκλώματος το οποίο θα καλύπτει όλες τις ανάγκες που απαιτούνται για την χρήση της συσκευής. Δηλαδή, θα προσφέρει αρχικά ένα αξιόπιστο σύστημα όσον αφορά την λειτουργικότητα του. Επομένως, η όποια εντολή μεταφέρεται θα θέλουμε να μεταφέρεται γρήγορα και αξιόπιστα καθώς αυτή θα αποτελεί μια πολύ σημαντική οδηγία στην καθοδήγηση ενός ατόμου με προβλήματα όρασης. Οπότε, θα θέλαμε ο χρήστης να μπορεί και να εμπιστευτεί το σύστημα καθώς κάποιο σφάλμα στην λειτουργία του συστήματος θα μπορούσε να αποβεί μοιραίο για την ασφάλεια και την σωματική ακεραιότητα του ατόμου που το χρησιμοποιεί. Επίσης, ακόμα ένας στόχος που έχει τεθεί στην ανάπτυξη του κυκλώματος είναι και ο χρόνος απόκρισης και λειτουργίας για να μπορεί το σύστημα ελέγχου του ενόλογο κυκλώματος να στείλει την όποια πληροφορία απαιτείται όσο το δυνατόν πιο γρήγορα για την ενημέρωση του χρήστη, επομένως και την άμεση ανακατεύθυνσή του. Η αργή επικοινωνία και απόκριση του συστήματος θα μπορούσε να οδηγήσει και αυτή σε προβλήματα και δυσκολίες στην χρήση της συσκευής. Τέλος ακόμα ένα σημείο σταθεράς το οποίο τέθηκε ήταν η εύκολη χρήση του κυκλώματος χωρίς σύνθετο τρόπο διασύνδεσης και δυσκολία στον τρόπο χρήσης. Έτσι, με αυτόν τον τρόπο, ο χρήστης θα μπορεί να χρησιμοποιεί όλες τις λειτουργίες που του παρέχονται χωρίς να απαιτείται κάποια επιπλέον προσπάθεια αλλά αντιθέτως όλα θα μπορούν να γίνονται με μεγαλύτερη ευκολία και γρήγορα.

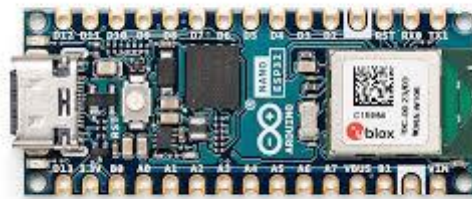
Έχοντας ορίσει τα παραπάνω χαρακτηριστικά, αναπτύχθηκε το κύκλωμα το οποίο θα επιτυγχάνει και τον στόχο της παρούσας εργασίας που είναι η καθοδήγηση ενός ατόμου με δυσκολίες όρασης μέσω υπολογιστή. Επιπλέον, δημιουργήθηκε και ένα πρωτότυπο το οποίο στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε για να μελετηθούν περαιτέρω τα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης υλοποίησης. Δόθηκε βάση, στο να φτιαχτεί μια συσκευή εργονομική που θα μπορεί να εφαρμόζει ο χρήστης στα χέρια του και η οποία θα έχει συμβατό μέγεθος, σχήμα και βάρος. Αυτό θα επιτυγχάνει επιπλέον την καλύτερη εμπειρία του χρήστη και θα κάνει την όλη χρήση της συσκευής ακόμα ευκολότερη χωρίς να προσφέρει έξτρα δυσκολίες στην χρήση της.

3.2 Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν

Τα βασικά υλικά της συσκευής τα οποία ταυτόχρονα εξυπηρετούν τον βασικό σκοπό της εργασίας καθώς και όλα όσα περιγράφηκαν παραπάνω είναι:

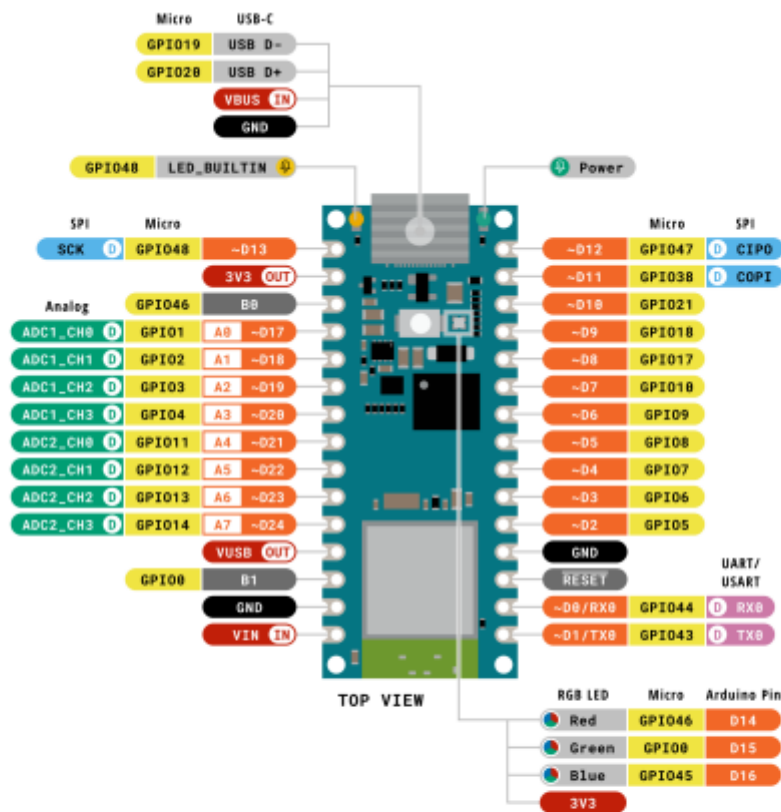
- Arduino Nano ESP32 (WiFi)
- Κινητήρας Δόνησης
- Μπαταρία τροφοδοσίας 9V
- Διακόπτης
- Καλώδια

Αρχικά όσον αφορά την συσκευή του μικροελεγκτή, Arduino Nano, έγινε επιλογή κυρίως με βάση την κάλυψη των βασικών αναγκών όσον αφορά το μέγεθος, την συνδεσιμότητα και την ταχύτητα που παρέχεται από την ενόλογο συσκευή. Με την συγκεκριμένη έκδοση του μικροελεγκτή Arduino, μπορούν να καλυφθούν σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό τα παραπάνω χαρακτηριστικά καθώς το μέγεθος (18mm x 45mm) του είναι εργονομικό και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις λειτουργίες και χρήσεις που χρειάζονται. Επιπλέον, ο μικροεπεξεργαστής που είναι ενσωματωμένος, ESP32-S3, παρέχει όλα αυτά τα χαρακτηριστικά που είναι απαραίτητα χωρίς να χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν έξτρα εργαλεία πράγμα που θα επιβαρύνει το σύστημα και την εργονομία του επιπλέον.



Εικόνα 3-1 Ο μικροελεγκτής Arduino Nano Esp32[10]

Επιπλέον, τα χαρακτηριστικά με βάση τα οποία η πλακέτα κρήθηκε κατάλληλη είναι το γεγονός ότι αυτή διαθέτει διπύρρηνο επεξεργαστή με συχνότητα έως 240 MHz, προσφέροντας υψηλές επιδόσεις για εφαρμογές Internet of Things (IoT). Όσον αφορά τη συνδεσιμότητα που ήταν απαραίτητη για την συσκευή, η πλακέτα υποστηρίζει Wifi 2.4 GHz, επιτρέποντας ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων έως 150 Mbps . Επιπλέον, διαθέτει ενσωματωμένη κεραία και υποστηρίζει Bluetooth Low Energy (BLE) 5.0, επιτρέποντας τη δημιουργία εφαρμογών με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Η πλακέτα διαθέτει 14 ψηφιακές εισόδους/εξόδους και 8 αναλογικές εισόδους, προσφέροντας ευελιξία για διάφορες εφαρμογές. Η τροφοδοσία μπορεί να γίνει μέσω θύρας USB-C ή μέσω εξωτερικής πηγής τάσης από 6V έως 21V. Τέλος, η πλακέτα αυτή, δίνει την δυνατότητα μέσω της πλατφόρμας του Arduino να προγραμματιστεί ώστε να εφαρμοστούν όλα αυτά τα χαρακτηριστικά στον χρήστη χωρίς να απαιτείται η χρήση άλλων πιο πολύπλοκων εργαλείων.[10,11]



Legend:	Digital	I2C	Other SERIAL
Power	Analog	SPI	Analog
Ground	Main Part	UART/USART	PWM/Timer



Nano ESP32
 SKU code: A3X0982
 Pinout
 Last update: 14 July, 2023

Εικόνα 3-2 Οι διεπαφές του Arduino Nano Esp32[10]

Στη συνέχεια, όσον αφορά τον κινητήρα δόνησης, αυτός χρησιμοποιήθηκε για να ενεργοποιείται και να μεταφέρει μια πληροφορία στον χρήστη. Στόχος είναι η χρήση της συγκεκριμένης συσκευής να μπορεί να μεταφέρει με αξιοπιστία την εν λόγω πληροφορία ώστε να την αντιλαμβάνεται ο χρήστης χωρίς δυσκολίες. Ενώ παράλληλα θα θέλαμε να αποφευχθούν και λανθασμένες ενεργοποιήσεις της συσκευής για να μην λαμβάνει ο χρήστης ψευδείς πληροφορίες που θα οδηγούν σε λανθασμένες οδηγίες.

Ο συγκεκριμένη, είναι μια συσκευή που χρησιμοποιεί έναν μικρό κινητήρα δόνησης για να δημιουργεί μηχανικές δονήσεις, παρόμοιες με αυτές που συναντάμε στα κινητά τηλέφωνα. Αποτελείται από έναν κινητήρα με ασύμμετρο βάρος στον άξονά του, το οποίο, λόγω της περιστροφής, παράγει δόνηση. Η ενεργοποίησή του επιτυγχάνεται μέσω ψηφιακού σήματος ή σήματος PWM. Η χρήση αυτού του εργαλείου είναι ευρέως διαδεδομένη σε εφαρμογές που απαιτούν ανατροφοδότηση αφής, όπως σε συστήματα ειδοποιήσεων, αλάρμ, τηλεχειριστήρια και διαδραστικές διεπαφές χρήστη. Η δυνατότητα ελέγχου της έντασης της δόνησης μέσω PWM επιτρέπει την προσαρμογή της αντίδρασης του χρήστη, προσφέροντας πιο ευχάριστη και κατανοητή αλληλεπίδραση ωστόσο για τη μέγιστη δυνατή ένταση που

απαιτείται από τη συσκευή της εργασίας χρησιμοποιήθηκε η μέγιστη δυνατή ένταση για την καλύτερη ενεργοποίηση του κινητήρα δόνησης. [12,13]

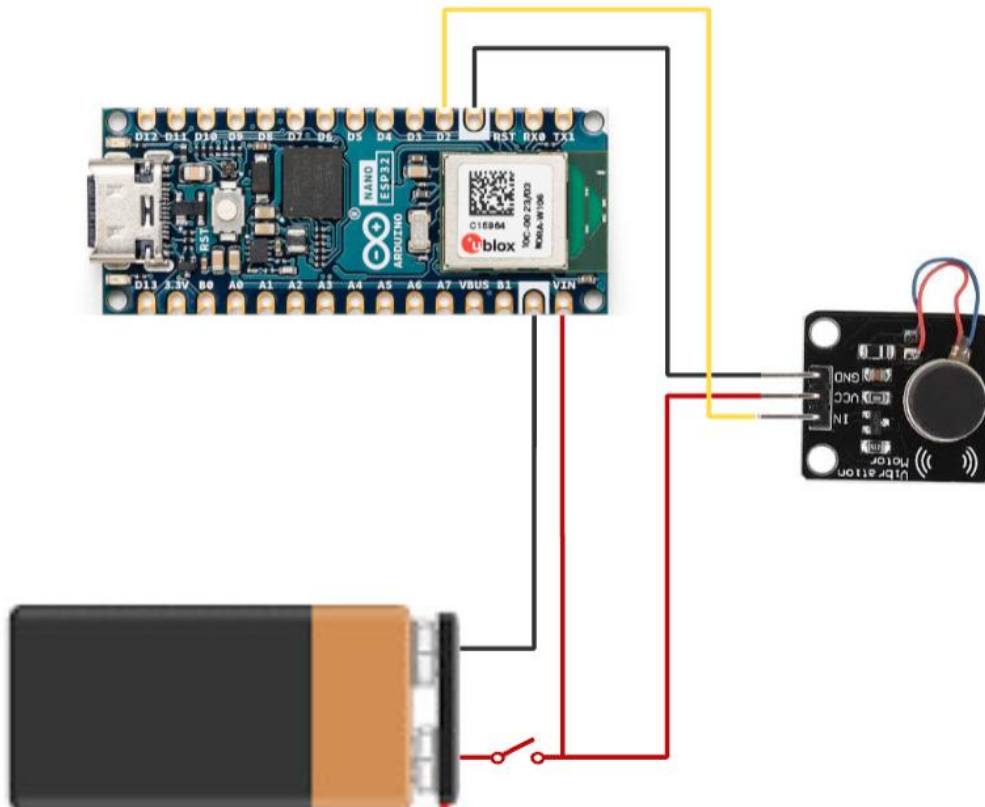


Εικόνα 3-3 Σύστημα Κινητήρα Δόνησης[13]

Τέλος, για την τροφοδοσία του συστήματος του Arduino καθώς επίσης και του κινητήρα δόνησης έγινε η χρήση μιας μπαταρίας τροφοδοσίας 9V. Η επιλογή της συγκεκριμένης πηγής έγινε κυρίως με βάση τα χαρακτηριστικά τα οποία απαιτούνται για την τροφοδοσία του μικροελεγκτή που επιλέξαμε μέσω των διεπαφών Vin και της γείωσης για την εξωτερική τροφοδοσία της συσκευής όταν αυτή δεν γίνεται από την θύρα USB-Type C. Επιπλέον, η συγκεκριμένη πηγή χρησιμοποιήθηκε και για την τροφοδοσία του κινητήρα δόνησης ώστε να του παρέχεται αρκετή ένταση ώστε να μπορεί αυτός να ενεργοποιηθεί. Όλα τα παραπάνω, τροφοδοτούνται όταν είναι κλειστός ο διακόπτης ο οποίος έχει προστεθεί επιπλέον ώστε να μην βρίσκεται το σύστημα συνεχώς σε λειτουργία. Με την χρήση του συγκεκριμένου διακόπτη ο χρήστης μπορεί να ενεργοποιεί και να απενεργοποιεί την συσκευή για να την θέσει σε λειτουργία.

3.3 Ο τρόπος Διασύνδεσης

Τα στοιχεία τα οποία περιγράφηκαν προηγουμένως συνδέθηκαν ώστε να προσφέρουν την μέγιστη λειτουργικότητα του συστήματος. Για την σωστή λειτουργία του Arduino η τροφοδοσία του συνδέθηκε στις θύρες Vin και Gnd (Γείωση) σύμφωνα με τις προδιαγραφές της πλακέτας. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η εύρυθμη λειτουργία του συστήματος ώστε αυτό να μπορεί να φέρει εις πέρας όλες τις διεργασίες που απαιτούνται. Έπειτα όσον αφορά την τροφοδοσία του κινητήρα δόνησης, αυτός συνδέθηκε στην τροφοδοσία της μπαταρίας καθώς επίσης και στο Gnd (Γείωση) της πλακέτας για την βασική του τροφοδοσία. Τέλος η είσοδος ελέγχου του κινητήρα συνδέθηκε σε μια από τις διεπαφές του Arduino ώστε μέσω αυτού να μπορεί να ελεγχθεί η λειτουργία της δόνησης.



Εικόνα 3-4 Το κύκλωμα του Συστήματος

Με την παραπάνω συνδεσμολογία επιτυγχάνεται η διασύνδεση όλων των στοιχείων τα οποία είναι απαραίτητα για την εκπλήρωση των βασικών στόχων που έχουν περιγραφεί. Ένα μειονέκτημα του συστήματος το οποίο δεν επηρεάζει την λειτουργία του, είναι το γεγονός ότι με αυτού του είδους την τροφοδοσία, η πλακέτα του μικροελεγκτή δεν μπορεί να λειτουργήσει σε με έξοδο έντασης 5V. Αυτό, ωστόσο, δεν αποτελεί πρόβλημα για το κύκλωμά μας καθώς με τα 3.3V εξόδου μπορεί να γίνει η ενεργοποίηση του κινητήρα δόνησης κανονικά ενώ ταυτόχρονα η “εξωτερική” τροφοδοσία του από την μπαταρία φροντίζει για την πλήρη κάλυψη των λειτουργικών αναγκών του. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως η τροφοδοσία του κινητήρα από τα 3.3V της πλακέτας δημιουργούσαν προβλήματα όσον αφορά την τροφοδοσία του και επομένως και στην ενεργοποίηση του. [14,15]

3.4 Περιγραφή του Κώδικα

Όσον αφορά την ανάπτυξη του κώδικα του συστήματος, αυτός πραγματοποιήθηκε στο περιβάλλον του VSCode και πιο συγκεκριμένα μέσω πλατφόρμας ανάπτυξης κώδικα για ενσωματωμένα κυκλώματα, που ονομάζεται PlatformIO. Η PlatformIO είναι μια σύγχρονη, ανοικτού κώδικα πλατφόρμα ανάπτυξης για ενσωματωμένα συστήματα και IoT, η οποία υποστηρίζει μεγάλο εύρος μικροελεγκτών και

πλατφορμών όπως Arduino, ESP32, STM32 κ.ά. Παρέχει προηγμένα εργαλεία για δημιουργία τεστ, διαχείριση βιβλιοθηκών, εξαρτήσεων, καθώς και αυτοματοποίηση όλων των βασικών διεργασιών που χρειάζονται. Προτιμήθηκε να γίνει η χρήση αυτού καθώς σε σύγκριση με το Arduino IDE, προσφέρει καλύτερη οργάνωση έργων και επαγγελματικές δυνατότητες ανάπτυξης.[16]

Στο βασικό σκέλος του κώδικα γίνεται η χρήση της δομής ενός προγράμματος τύπου Arduino. Με βάση αυτό, πραγματοποιείται η χρήση δύο βασικών συναρτήσεων της `setup()`, η οποία εκτελείται μια φορά κατά την διάρκεια εκτέλεσης του κώδικα. Και έπειτα η συνάρτηση `loop()`, η οποία εκτελείται επαναλαμβανόμενα καθόλη την διάρκεια κατά την οποία το ενσωματωμένο κύκλωμα και ο μικροελεγκτής τροφοδοτούνται. Η παραπάνω δομή είναι πολύ βοηθητική για να εφαρμοστούν όλα αυτά τα οποία απαιτούνται για την ολοκλήρωση και πραγματοποίηση της εφαρμογής που αναπτύσσεται στα πλαίσια αυτής της εργασίας.

Ξεκινώντας με τον βασικό κορμό της εργασίας, όπως ήδη περιγράφεται, αρχικά γίνεται η δήλωση όλων αυτών των βιβλιοθηκών που χρησιμοποιούνται στα πλαίσια την εφαρμογής μας. Η πιο σημαντικές από αυτές είναι η βιβλιοθήκη `"arduino.h"`, καθώς επίσης και οι βιβλιοθήκες `"network_lib.h"` και `"sensor_lib.h"`. Οι προηγούμενες αναπτύχθηκαν στα πλαίσια της εργασίας, για την καλύτερη οργάνωση και κατηγοριοποίηση όλων αυτών των διεργασιών οι οποίες εκτελούνται κατά την διάρκεια χρήσης του συστήματος. Επιπλέον, αυτή η διάκριση πραγματοποιήθηκε για την απλούστερη και πιο κατανοητή ανάπτυξη του κώδικα ενώ παράλληλα βοηθάει και στις μεταγενέστερες ενημερώσεις ή στην επίλυση προβλημάτων που ενδεχομένως να παρουσιάστηκαν κατά την ανάπτυξη του κώδικα (debugging).

Αναφορικά με την βιβλιοθήκη που είναι υπεύθυνη για το δίκτυο, `"network.h"` οι βασικές της λειτουργίες περιλαμβάνουν την σύνδεση στο δίκτυο, την συνάρτηση που είναι υπεύθυνη για την επισύναψη της χειραψίας με τον διακομιστή ελέγχου καθώς επίσης και την λήψη και τον έλεγχο των μηνυμάτων που λαμβάνονται, ώστε μετά να μεταφραστούν σε εκτελέσιμες εντολές και να εφαρμοστούν. Κατά την πρώτη συνάρτηση, μέσω της βιβλιοθήκης `"wifi.h"` πραγματοποιείται η σύνδεση στο δίκτυο το οποίο έχει οριστεί. Γίνεται ο έλεγχος ότι η σύνδεση ολοκληρώθηκε με επιτυχία ενώ παράλληλα επιστρέφονται και χρήσιμες πληροφορίες για την σύνδεση όπως η διεύθυνση και το όνομα του δικτύου που έγινε η σύνδεση. Στη συνέχεια, μέσα σε αυτή την αρχική συνάρτηση γίνεται έναρξη ενός καναλιού επικοινωνίας UDP και εκτελείται η συνάρτηση για την χειραψία. Σε αυτή, το σύστημα βρίσκεται σε αναμονή μέχρι να λάβει ένα συγκεκριμένο μήνυμα από τον υπολογιστή που περιμένουμε να συνδεθεί. Όταν ο υπολογιστής στείλει το μήνυμα, το παίρνει η συνάρτηση, ελέγχει ότι είναι αυτό που περιμένει και στη συνέχεια στέλνει πίσω ένα τυποποιημένο μήνυμα στο οποίο δηλώνεται επιπλέον αν η συσκευή είναι αυτή για το δεξί ή το αριστερό χέρι. Με αυτόν τον τρόπο οι συσκευές ανταλλάσσουν πληροφορίες δικτύου με τον διακομιστή ελέγχου έτσι ώστε να γνωστοποιήσει ο κάθε ένας την παρουσία του για να μπορεί έπειτα να πραγματοποιηθεί αποτελεσματικότερα η όλη επικοινωνία. Κάτι ακόμα που επιτυγχάνεται επίσης είναι το γεγονός ότι δεν είναι στάνταρ η χρήση του `arduino/` συσκευής αλλά σε περίπτωση που μια συσκευή χαλάσει, η αντικατάσταση της μπορεί να γίνει χωρίς έξτρα διαδικασίες ή αλλαγές στον κώδικα. Τέλος, η τελευταία συνάρτηση της βιβλιοθήκης δικτύου είναι αυτή που είναι υπεύθυνη για την λήψη μηνυμάτων από το κανάλι επικοινωνίας με σκοπό να τα στείλει προς επεξεργασία και εκτέλεση μεταγενέστερα.

Όσον αφορά την δεύτερη βιβλιοθήκη, αυτή αφορά όλες τις διεργασίες που αφορούν τους κινητήρες δόνησης. Αρχικά, δημιουργήθηκε μια κλάση η οποία θα χρησιμοποιείται για τον έλεγχο όλων των διεργασιών των κινητήρων δόνησης. Το αντικείμενο αυτού του τύπου θα περιλαμβάνει μια σειρά από συναρτήσεις οι οποίες θα μπορούν να ελέγχουν τον κινητήρα, ενώ παράλληλα θα αποτελούνται και από μεταβλητές που θα βοηθούν στην διαδικασία αυτή. Οι μεταβλητές αυτές, αποθηκεύουν τον αριθμό της εξόδου που χρησιμοποιείται από τον κινητήρα και δίνεται όταν αρχικοποιείται η κλάση του και η διάρκεια που παραμένει ο κινητήρας ενεργός όταν στέλνεται η εντολή αυτός να ενεργοποιηθεί. Για τη δεύτερη, δίνεται η δυνατότητα να να την μεταβάλουμε μέσω αντίστοιχης εντολής η οποία έχει αναπτυχθεί. Επιπλέον, ακόμα μια συνάρτηση που περιλαμβάνεται σε αυτή τη βιβλιοθήκη, είναι αυτή εκτέλεσης εντολών απομακρυσμένα από τον διακομιστή ελέγχου. Έτσι, με αυτόν τον τρόπο, στήνεται η βιβλιοθήκη κατά την οποία μπορούμε να ελέγχουν πλήρως όλες οι ενέργειες των κινητήρων για την χρήση η οποία απαιτείται στα πλαίσια αυτής της εργασίας.

Συνεχίζοντας, έχοντας περιγράψει τον τρόπο λειτουργίας όλων των βιβλιοθηκών που αναπτύχθηκαν και των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν, περνάμε στο βασικό σκέλος του κώδικα το οποίο ακολουθεί την δομή που περιγράφηκε αρχικά. Ξεκινώντας με την συνάρτηση `setup()` αρχικά γίνεται η έναρξη της σειριακής πόρτας για την μεταφορά μηνυμάτων. Στη συνέχεια, γίνεται η αρχικοποίηση του κινητήρα, κατά την οποία πραγματοποιείται η δημιουργία και η αρχικοποίηση της κλάσης τύπου κινητήρα στην οποία δηλώνονται οι αρχικές τιμές των μεταβλητών και οι απαραίτητες δηλώσεις για τις διεπαφές ώστε αυτές να δηλωθούν ως έξοδοι, για τον έλεγχο του κινητήρα. Έπειτα, μετά την ολοκλήρωση της αρχικοποίησης του κινητήρα, εκτελείται η συνάρτηση ορισμού του δικτύου. Όπου σύμφωνα με αυτή, όπως αναφέρθηκε, γίνεται η σύνδεση στο δίκτυο και έπειτα η χειραψία με τον server. Περνώντας στην συνάρτηση που επαναλαμβάνεται συνεχώς, σε αυτή πραγματοποιείται η βασική λειτουργία του συστήματος. Σύμφωνα με αυτή, γίνεται έλεγχος για λήψη εντολών από το σύστημα ελέγχου και σε περίπτωση που εντοπιστεί μια έγκυρη εντολή από τον παραλήπτη που έχει δηλωθεί κατά την χειραψία, τότε πραγματοποιείται και η εκτέλεση αυτής της εντολής. Οι προηγούμενες διεργασίες, επαναλαμβάνεται διαρκώς καθ' όλη την ώρα που τροφοδοτείται το σύστημά μας με ενέργεια. Τέλος, είναι σημαντικό να αναφερθεί πως για την καλύτερη κατανόηση και ανάπτυξη του κώδικα, έγινε και η δημιουργία μιας βιβλιοθήκης στην οποία αποθηκεύονται όλες οι βασικές σταθερές οι οποίες χρησιμοποιούνται δίνοντας τους τα αντίστοιχα ονόματα. Με αυτόν τον τρόπο δεν γίνεται χρήση απλών αριθμητικών τιμών οι οποίες δεν έχουν κάποια αντιστοίχιση σε πραγματικές τιμές.

3.5 Περιγραφή της Τρισδιάστατης Σχεδίασης

Παράλληλα με την ανάπτυξη του κυκλώματος και του κώδικα για την υλοποίηση της συσκευής η οποία στέλνει τα απαραίτητα σήματα στον χρήστη, πραγματοποιήθηκαν και η σχεδίαση και δημιουργία ενός περιβλήματος. Το συγκεκριμένο, έγινε με σκοπό το να συμπεριληφθούν μέσα του όλα τα στοιχεία της συσκευής καθώς επίσης και να υποστηρίζεται ένα σύστημα στήριξης της συσκευής στο χέρι του χρήστη. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορεί ο χρήστης να εφαρμόζει την συσκευή και να την χρησιμοποιεί με στόχο την καθοδήγησή του. Επίσης, ακόμα ένας στόχος της συγκεκριμένης υλοποίησης είναι, αυτή η συσκευή να είναι εργονομική για να μπορεί να φορεθεί στο χέρι του χρήστη χωρίς αυτό να αποτελεί πρόβλημα για την χρήση της συσκευής ή να τον επιβαρύνει επιπλέον.

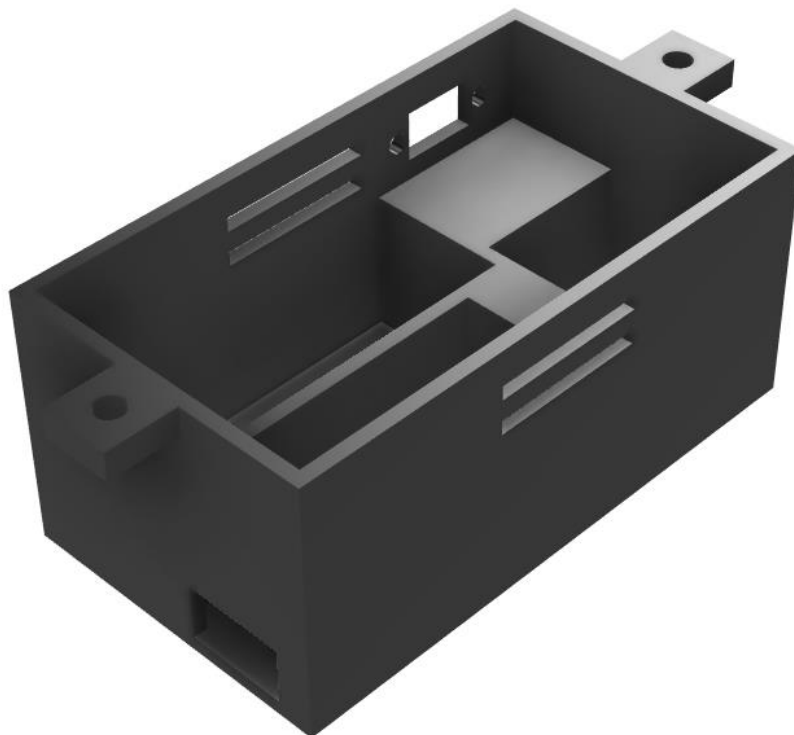
Για την σχεδίαση και δημιουργία του συγκεκριμένου καλύματος, χρησιμοποιήθηκε αντίστοιχο λογισμικό ιδανικό για σχεδιασμό τρισδιάστατων αντικειμένων, που ονομάζεται Fusion 360. Η απλή έκδοση του εν λόγω λογισμικού δίνει στην δυνατότητα να σχεδιαστούν απλά τρισδιάστατα μοντέλα από τον χρήστη. Επιπλέον, το Fusion 360 της Autodesk είναι μια ολοκληρωμένη πλατφόρμα σχεδιασμού και κατασκευής, η οποία ενσωματώνει εργαλεία CAD (Computer-Aided Design), CAM (Computer-Aided Manufacturing), CAE (Computer-Aided Engineering) και PCB (Printed Circuit Board Design). Κάποια από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του περιλαμβάνουν: παραμετρική και ελεύθερη μοντελοποίηση 3D, γενετικό σχεδιασμό (generative design) για βελτιστοποίηση δομών με βάση περιορισμούς και στόχους, πλήρη εργαλεία CAM για προγραμματισμό CNC μηχανών έως και 5 αξόνων, συνεργατική εργασία μέσω cloud, και προσομοιώσεις μηχανικής συμπεριφοράς όπως αντοχή υλικών, θερμοδυναμικές αναλύσεις και καταπονήσεις. Υποστηρίζει επίσης εισαγωγή και εξαγωγή μοντέλων σε διάφορες μορφές αρχείων όπως STL, STEP και IGES, καθιστώντας το κατάλληλο για χρήση σε σύγχρονα περιβάλλοντα βιομηχανικού σχεδιασμού, εκπαιδευτικά ιδρύματα, ακόμη και μικρά εργαστήρια κατασκευής (makerspaces). [17,18]

Τα βασικά στοιχεία τα οποία ήταν τα βασικότερα τα οποία λήφθηκαν υπ όψιν κατά την σχεδίαση του καλύματος, ήταν τα παρακάτω:

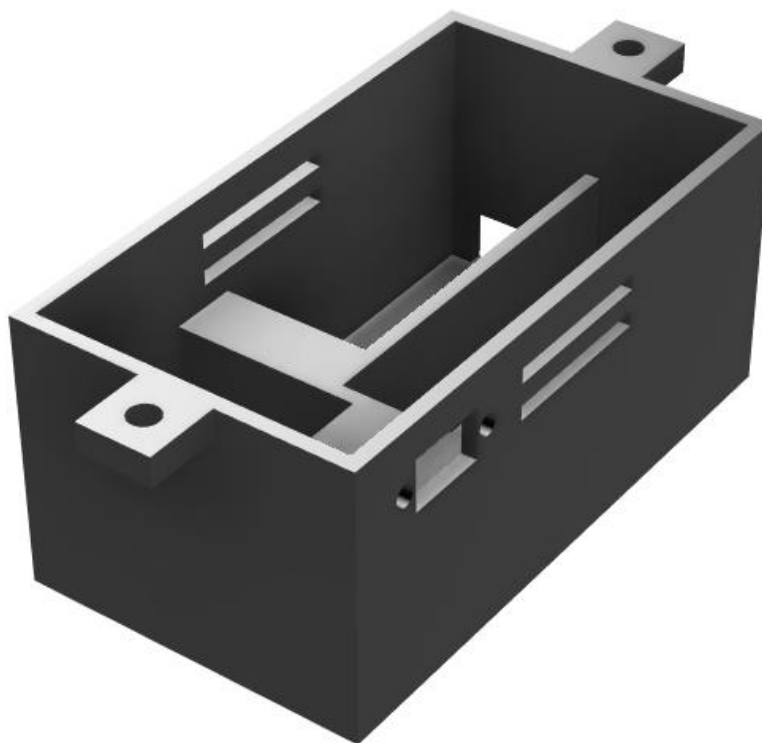
- Εργονομικός Σχεδιασμός
- Στιβαρή Κατασκευή
- Κάλυψη αναγκών του κυκλώματος
- Απλή σχεδίαση

Έχοντας ως κύριο στόχο τα παραπάνω χαρακτηριστικά, σχεδιάστηκε το περίβλημα για την συγκεκριμένη εργασία. Αρχικά, θέλαμε όπως έχει ήδη αναφερθεί η τελική συσκευή καθολικά να είναι εργονομική ώστε να μπορεί ο χρήστης να την εφαρμόσει στο χέρι του χωρίς περαιτέρω προβλήματα. Επιπλέον, το πρωτότυπο της συσκευής που θα κατασκευαστεί να είναι στιβαρό ώστε να μπορεί να αντέχει στις κινήσεις του χεριού του χρήστη καθώς παράλληλα συγκρατεί όλα τα μέρη του κυκλώματος που το περιλαμβάνουν. Επίσης, μέσω του σταθερού σχεδιασμού επιτυγχάνεται και η εφαρμογή για λουράκι το οποίο θα συγκρατείται την συσκευή στο χέρι αυτού που το φοράει. Από το πιο σημαντικό ζήτημα ήταν επίσης το κάλυμμα της συσκευής να χωράει επαρκώς και σταθερά όλα τα στοιχεία του κυκλώματος. Γι αυτόν τον λόγο έγινε η σχεδίαση με ειδικές “θήκες” όπου η κάθε μια προορίζεται για κάθε ένα από τα τρία υλικά του κυκλώματος. (Μπαταρία, Μικροελεγκτής, Κινητήρας Δόνησης) Δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή ώστε οι διαστάσεις της κάθε επιμέρους “θήκης” να είναι στο μέγεθος του κάθε υλικού ώστε αυτό να προσαρμόζει χωρίς πρόβλημα. Επιπρόσθετα, δώθηκε επίσης επιπλέον χώρος και για τα καλώδια τα οποία θα έπρεπε και αυτά να συμπεριληφθούν μέσα στο κουτί της συσκευής. Τέλος, η απλή σχεδίαση του τελικού αποτελέσματος μας επιτρέπει την εύκολη προσαρμογή στο χέρι του χρήστη καθώς επίσης και την εύκολη τοποθέτηση όλων των υλικών του κυκλώματος μέσα στη τελική συσκευή. Το τελικό τρισδιάστατο σχέδιο αποτελείται από το βασικό κουτί, το οποίο περιλαμβάνει τις θήκες για τα στοιχεία του κυκλώματος, ενώ παράλληλα και ένα καπάκι το οποίο μπορεί να εφαρμόσει και να ασφαλίσει εύκολα με τη χρήση κοχλιών.

Παρακάτω απεικονίζονται οι διάφορες όψεις του τρισδιάστατου σχεδίου. Τόσο του κύριου μέρους που το αποτελεί όσο και του καλύματος που τοποθετείται από πάνω για το κλείσιμο της συσκευής.



Εικόνα 3-5 Η μια πλάγια όψη του σχεδίου από το βασικό μέρος της συσκευής.

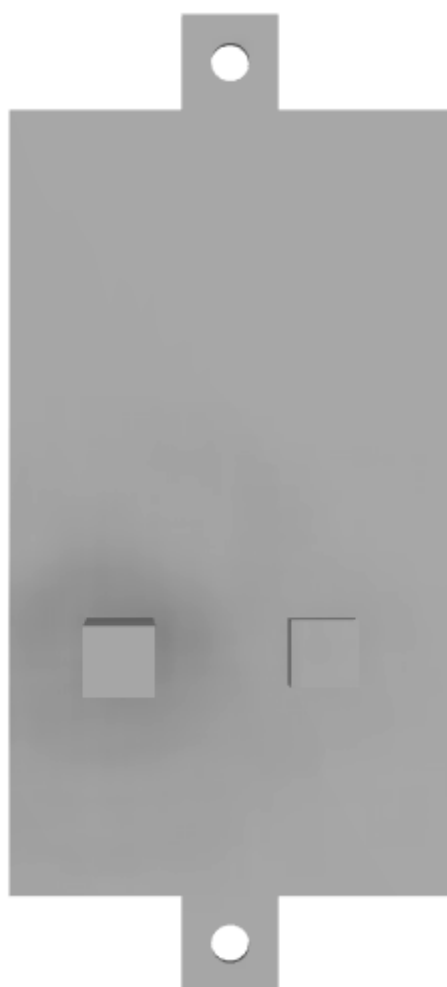


Εικόνα 3-6 Η δεύτερη πλάγια όψη του βασικού μέρους της συσκευής.

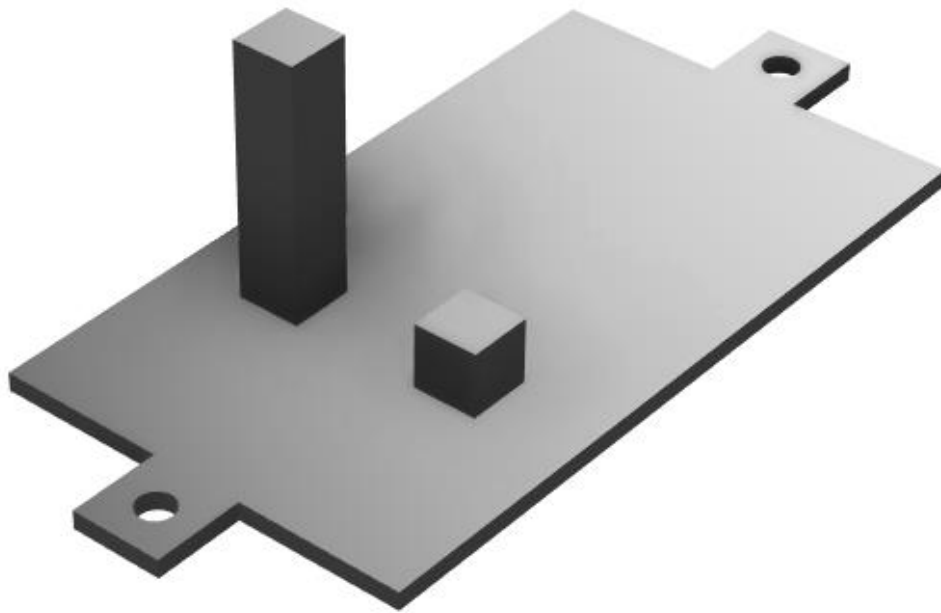


Εικόνα 3-7 Η κάτοψη του βασικού μέρους της συσκευής.

Για το κάλυμμα της συσκευής αντίστοιχα.



Εικόνα 3-8 Η κάτοψη του καλύμματος της συσκευής.



Εικόνα 3-9 Η πλάγια όψη του καλύμματος της συσκευής.

Όσον αφορά το πιο λειτουργικό κομμάτι του τρισδιάστατου σχεδίου, δημιουργήθηκαν συγκεκριμένες οπές όπου η κάθε μια είχε συγκεκριμένο αξιοσημείωτο ρόλο. Αρχικά, δύο οπές στα άκρα των δύο αντικειμένων (βασικό κάλυμμα και καπάκι) με σκοπό όπως αναφέρθηκε, αυτά τα δύο να ασφαλίζουν μεταξύ τους ώστε να απαιτείται από τον χρήστη να επέμβει στο εσωτερικό του για την λειτουργία της συσκευής. Επιπλέον, ακόμα δύο οπές σχεδιάστηκαν με στόχο να βιδώσουν δύο στοιχεία της συσκευής που θα πρέπει να είναι σταθερά. Αυτά είναι ο διακόπτης ανοίγματος και κλεισίματος της συσκευής και

Κεφάλαιο 2

ο κινητήρας δόνησης με σκοπό να μπορεί να μεταφέρει τη δόνηση του σε όλη τη συσκευή και επομένως και στο χέρι του τη φοράει. Τέλος ακόμα μια οπή χρησιμοποιήθηκε αυτή τη φορά για τον μικροελεγκτή, Arduino, και πιο συγκεκριμένα την θύρα USB Type C που αυτός διαθέτει, ώστε να μπορούμε να εφαρμόσουμε αλλαγές στον κώδικα της συσκευής χωρίς να χρειάζεται να ανοίξουμε το κάλυμμα της.

Κεφάλαιο 4ο: Ο Διακομιστής ελέγχου

4.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται ο ρόλος και η λειτουργία του διακομιστή ελέγχου, ο οποίος αποτελεί το κεντρικό στοιχείο διαχείρισης του συστήματος απομακρυσμένου ελέγχου για άτομα με προβλήματα όρασης. Αρχικά, γίνεται αναφορά στις τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίησή του, όπως γλώσσες προγραμματισμού, βιβλιοθήκες για τη διαχείριση δικτύου, καθώς και εργαλεία για την υλοποίηση API. Οι τεχνολογίες αυτές επιλέχθηκαν με γνώμονα την ταχύτητα, την αξιοπιστία και την εύκολη συντήρηση του λογισμικού. Παράλληλα, λαμβάνονται υπόψη οι ανάγκες χαμηλής καθυστέρησης και σταθερής επικοινωνίας που απαιτεί ένα σύστημα υποστήριξης για ευάλωτες ομάδες χρηστών.

Στη συνέχεια, εξετάζεται αναλυτικά η επικοινωνία μεταξύ του διακομιστή και της συσκευής Arduino μέσω του πρωτοκόλλου UDP. Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο επελέγη λόγω της απλότητας και της ταχύτητάς του, γεγονός που το καθιστά κατάλληλο για εφαρμογές όπου προέχει η ταχεία ανταπόκριση σε πραγματικό χρόνο, όπως για παράδειγμα στην αποστολή εντολών κίνησης ή ειδοποιήσεων προς τον χρήστη. Αναλύονται επίσης τα βήματα εγκατάστασης της σύνδεσης, η μορφή των πακέτων δεδομένων που αποστέλλονται και λαμβάνονται, καθώς και οι μηχανισμοί αντιμετώπισης λαθών που ενδέχεται να παρουσιαστούν κατά τη μετάδοση.

Η τρίτη παράγραφος επικεντρώνεται στη δημιουργία του API και στην ανάλυση του κώδικα του διακομιστή. Το API λειτουργεί ως διεπαφή επικοινωνίας μεταξύ του διακομιστή και εξωτερικών εφαρμογών, επιτρέποντας την αποστολή εντολών ή την παρακολούθηση της κατάστασης της συσκευής από απόσταση. Παρουσιάζονται τα βασικά endpoints, τα αιτήματα (requests) και οι αποκρίσεις (responses), καθώς και παραδείγματα χρήσης. Τέλος, παρατίθεται αναλυτική περιγραφή του κώδικα, οργανωμένη ανά ενότητα, με στόχο την κατανόηση της ροής εκτέλεσης και των λειτουργικών χαρακτηριστικών της εφαρμογής, αναδεικνύοντας τον τρόπο με τον οποίο ο διακομιστής υποστηρίζει τη λειτουργία του συστήματος συνολικά.

4.2 Τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν

Για την ανάπτυξη του λογισμικού για τον έλεγχο των arduino χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα προγραμματισμού Python. Η Python αποτελεί μία από τις πιο δημοφιλείς και ευέλικτες γλώσσες προγραμματισμού για την ανάπτυξη διακομιστών, χάρη στη λιτή σύνταξή της και τη μεγάλη ποικιλία βιβλιοθηκών που προσφέρει. Ενδείκνυται για την ταχεία ανάπτυξη εφαρμογών που επικοινωνούν με εξωτερικές συσκευές όπως το Arduino. Πιο συγκεκριμένα επίσης, χρησιμοποιήθηκαν κάποιες

βιβλιοθήκες οι οποίες βοηθούν στην υλοποίηση του κώδικα ώστε αυτός να μπορεί να επικοινωνεί χωρίς κάποιο πρόβλημα με τα συστήματα των arduino. Αυτές οι βιβλιοθήκες αφορούν κυρίως την επικοινωνία και ανταλλαγή μηνυμάτων με τα arduino (socket, threading). Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν και οι βιβλιοθήκες “time” για εφαρμογή καθυστέρησης όπου χρειαζόταν και “msvcrt” για την αναγνώριση πίεσης των πλήκτρων από τον χρήστη ώστε αυτά να ανταποκρίνονται σε συγκεκριμένες εντολές.

4.3 Η επικοινωνία μέσω UDP πρωτοκόλλου

Το UDP (User Datagram Protocol) είναι ένα από τα βασικά πρωτόκολλα της οικογένειας πρωτοκόλλων TCP/IP και λειτουργεί στο επίπεδο μεταφοράς του μοντέλου OSI. Πρόκειται για ένα μη αξιόπιστο, χωρίς σύνδεση (connectionless) πρωτόκολλο, το οποίο προσφέρει έναν απλό και αποδοτικό τρόπο αποστολής πακέτων δεδομένων μεταξύ συσκευών στο δίκτυο, χωρίς να απαιτείται εγκαθίδρυση και διατήρηση σύνδεσης, όπως συμβαίνει με το TCP. [19]

Η βασική αρχή λειτουργίας του UDP είναι ότι αποστέλλει πακέτα δεδομένων χωρίς έλεγχο ροής, χωρίς επιβεβαίωση παραλαβής (ACK), χωρίς επαναμετάδοση και χωρίς εγγύηση της σειράς παράδοσης. Αυτό το καθιστά εξαιρετικά γρήγορο, αλλά ταυτόχρονα και επισφαλές όσον αφορά την αξιοπιστία μεταφοράς. Σε αντίθεση με το TCP, το UDP δεν περιλαμβάνει μηχανισμούς όπως αριθμούς ακολουθίας, έλεγχο συμφόρησης ή αναμετάδοση χαμένων πακέτων.[20] Αντ' αυτού, μεταφέρει τα δεδομένα απευθείας από τον αποστολέα στον παραλήπτη, με ελάχιστη καθυστέρηση.

Η απλότητα του UDP είναι και το μεγάλο του πλεονέκτημα. Χρησιμοποιείται εκτενώς σε εφαρμογές που απαιτούν χαμηλή καθυστέρηση και μπορούν να ανεχθούν απώλειες πακέτων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών είναι η ροή πολυμέσων (streaming), όπως ήχος και βίντεο σε πραγματικό χρόνο (π.χ. VoIP, video conferencing), καθώς και online gaming, όπου η ταχύτητα ανταπόκρισης είναι σημαντικότερη από την πλήρη αξιοπιστία των δεδομένων. Επιπλέον, το UDP χρησιμοποιείται ευρέως σε DNS (Domain Name System), DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) και TFTP (Trivial File Transfer Protocol), λόγω της αποδοτικότητάς του στην αποστολή μικρών και σύντομων αιτήσεων ή απαντήσεων. [21,22]

USER DATAGRAM PROTOCOL (UDP)



Εικόνα 4-1 - Διάγραμμα επικοινωνίας πρωτοκόλλου UDP. [22]

Το πρωτόκολλο UDP έχει ιδιαίτερη σημασία και σε συστήματα IoT (Internet of Things), καθώς επιτρέπει την αποστολή δεδομένων από αισθητήρες και άλλες συσκευές με ελάχιστη κατανάλωση πόρων, τόσο σε επίπεδο δικτύου όσο και σε επίπεδο επεξεργασίας. Σε τέτοια σενάρια, η ταχύτητα και η αποδοτικότητα είναι πιο κρίσιμες από την πλήρη ακρίβεια. [23] Γι αυτόν τον τρόπο επιλέχθηκε για την χρήση στην εφαρμογή της παρούσας εργασίας καθώς η ταχύτητα στην μετάδοση των μηνυμάτων και επομένως και των εντολών είναι πολύ μεγάλης σημασίας έτσι ώστε να μπορεί να μεταφερθεί η όποια πληροφορία απαιτείται με γρήγορο τρόπο χωρίς καθυστερήσεις.

Ωστόσο, η χρήση του UDP απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό από τον προγραμματιστή ή τον αρχιτέκτονα συστήματος, καθώς η απουσία ενσωματωμένων μηχανισμών αξιοπιστίας σημαίνει ότι η εφαρμογή πρέπει να διαχειρίζεται μόνη της κρίσιμα ζητήματα όπως η απώλεια ή η επανασυναρμολόγηση πακέτων. Για παράδειγμα, σε εφαρμογές που απαιτούν μερική αξιοπιστία, μπορεί να χρησιμοποιηθούν πρωτόκολλα επιπέδου εφαρμογής, όπως το RTP (Real-Time Protocol), το οποίο χτίζει πάνω από το UDP, προσφέροντας επιπλέον λειτουργικότητα χωρίς να θυσιάζει την απόδοση. [24] Έτσι έγινε και στην περίπτωση ανάπτυξης του κώδικα του λογισμικού καθώς προστέθηκε επιπλέον ο μηχανισμός ο οποίος είναι υπεύθυνος για την χειραγία του βασικού λογισμικού ελέγχουμε με αυτά των συστημάτων των Arduino. Με αυτόν τον τρόπο, όταν αρχικά ανταλλάζουν οι συσκευές μεταξύ τους τα βασικά τους στοιχεία, όπως η IP και η πόρτα επικοινωνίας, τότε γίνεται και η αντίστοιχη επιβεβαίωση από τον έναν προς τον άλλο για να επαληθευτεί η σωστή επικοινωνίας μεταξύ τους.

Τέλος, γενικότερα αξίζει να σημειωθεί ότι το UDP είναι πιο ευάλωτο σε επιθέσεις τύπου spoofing, flooding και άλλες μορφές κακόβουλης εκμετάλλευσης, ακριβώς επειδή δεν παρέχει εγγενή μηχανισμούς επαλήθευσης ή ασφάλειας. Ως εκ τούτου, σε εφαρμογές που κάνουν χρήση του UDP σε δημόσια δίκτυα, συνιστάται η χρήση επιπρόσθετων εργαλείων ασφάλειας όπως κρυπτογράφηση ή έλεγχος ταυτότητας. Ωστόσο, θέλοντας να αποφύγουμε τυχόν τέτοιου είδους θέματα ασφάλειας, δημιουργήθηκαν μηνύματα ώστε να στέλνονται με συγκεκριμένη δομή για να μπορεί η κάθε συσκευή να εγγυηθεί το είδος του μηνύματος που αποστέλλεται καθώς επίσης και την προέλευση του.

4.4 Δημιουργία API

Η σύγχρονη ανάγκη για διασύνδεση υλικού και λογισμικού οδηγεί στην αυξανόμενη χρήση ενσωματωμένων συστημάτων που λειτουργούν σε συνδυασμό με απομακρυσμένους διακομιστές (servers). Σε ένα τέτοιο σύστημα, όπου το Arduino αποτελεί την υλοποίηση φυσικού ελεγκτή και ο server το σημείο διαχείρισης, απαιτείται ένας κοινός μηχανισμός επικοινωνίας. Ο ρόλος αυτός επιτελείται από το Application Programming Interface (API), το οποίο προσφέρει έναν οργανωμένο τρόπο επικοινωνίας και ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ των δύο αυτών ετερογενών υποσυστημάτων. [25]

Ένα API είναι ένα σύνολο καθορισμένων μεθόδων και σημείων πρόσβασης που επιτρέπουν την ανταλλαγή πληροφοριών ανάμεσα σε εφαρμογές. Στην περίπτωση της συγκεκριμένης εργασίας, το API έχει ως βασική του λειτουργία την αποστολή εντολών από τον server προς την πλακέτα Arduino, καθώς και την ανάκτηση δεδομένων από αυτήν. Για παράδειγμα, το λογισμικό ελέγχου μπορεί να αποστείλει εντολές ελέγχου (όπως ενεργοποίηση ενός κινητήρα ή αλλαγή κατάστασης εξόδου), ενώ ταυτόχρονα μπορεί να λαμβάνει μετρήσεις από αισθητήρες συνδεδεμένους στο Arduino ή ακόμα και να λαμβάνει ενημερώσεις σχετικά με την κατάσταση την οποία βρίσκεται ή άλλες αντίστοιχες πληροφορίες που ενδεχομένως χρειάζεται ο server για την λήψη αποφάσεων και την διαχείριση όλων των συσκευών. Αυτή η αμφίδρομη επικοινωνία επιτρέπει την απομακρυσμένη παρακολούθηση και τον έλεγχο του συστήματος σε πραγματικό χρόνο.

Η σχεδίαση ενός API βασίζεται σε αρχές όπως η σαφήνεια, η τυποποίηση και η ανεξαρτησία από την πλατφόρμα. Σε τεχνικό επίπεδο, η υλοποίηση μπορεί να βασίζεται σε διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας, όπως HTTP, WebSocket, MQTT ή και μέσω απευθείας σειριακής σύνδεσης. Το API ορίζει συγκεκριμένες «λειτουργίες» (ή endpoints) που αντιστοιχούν σε ενέργειες που μπορεί να εκτελέσει το σύστημα, όπως η αποστολή της εντολής ή η λήψη μιας μέτρησης. Η χρήση τυποποιημένων μηχανισμών διασύνδεσης επιτρέπει την ευκολότερη ανάπτυξη, συντήρηση και επαναχρησιμοποίηση του συστήματος [26].

Από την πλευρά του Arduino, η λήψη εντολών από το API και η εκτέλεση των κατάλληλων ενεργειών πραγματοποιούνται μέσω λογισμικού που «ακούει» συνεχώς για εισερχόμενα σήματα από τον server όπως πραγματοποιήθηκε και στα πλαίσια αυτής της εργασίας. Αυτό το λογισμικό μπορεί να υποστηρίξει διάφορα πρωτόκολλα, ανάλογα με τις δυνατότητες της πλακέτας και του τρόπου σύνδεσης. Για παράδειγμα, μέσω ενός ESP32 μπορεί να επιτευχθεί ασύρματη επικοινωνία μέσω Wi-Fi, ενώ σε περιπτώσεις περιορισμένων πόρων χρησιμοποιείται πιο απλή σειριακή επικοινωνία.

Η ανάπτυξη ενός API απαιτεί, πέρα από τον τεχνικό σχεδιασμό, και ιδιαίτερη προσοχή σε ζητήματα ασφάλειας. Η αποστολή εντολών προς συσκευές σε απομακρυσμένο ή φυσικό περιβάλλον, ενδέχεται να προκαλέσει λειτουργικές ή ακόμα και επικίνδυνες καταστάσεις αν δεν υπάρχει σωστός έλεγχος πρόσβασης. Για τον σκοπό αυτό, υιοθετούνται τεχνικές όπως η πιστοποίηση χρηστών (authentication), η εξουσιοδότηση (authorization), η κρυπτογράφηση της επικοινωνίας και η καταγραφή των ενεργειών (logging). Στα πλαίσια αυτής της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τρόποι οι οποίοι στοχεύουν να δώσουν

λύσεις σε ορισμένα από αυτά τα προβλήματα. Όπως για παράδειγμα η δομή των μηνυμάτων που στέλνονται να έχουν κοινή μορφή καθώς επίσης και η πιστοποίηση των συσκευών κατά την σύνδεσή μεταξύ τους. Έτσι μπορεί ο χρήστης να βεβαιωθεί πως οι συσκευές που χρησιμοποιεί κατά την πλοήγησή του συνδέονται μεταξύ τους με σωστό τρόπο και επιτυχημένα.

Το API που υλοποιείται στο παρόν σύστημα αποτελεί τη γέφυρα μεταξύ του server που εκτελεί την εφαρμογή διαχείρισης και της ενσωματωμένης συσκευής (Arduino). Μέσω αυτού επιτυγχάνεται μια εύελικτη, επεκτάσιμη και πλήρως ελεγχόμενη υποδομή επικοινωνίας. Επιπλέον, η χρήση API επιτρέπει στο σύστημα να επεκταθεί με ευκολία, είτε προσθέτοντας νέες λειτουργίες (όπως επιπλέον αισθητήρες), είτε συνδέοντας πολλαπλές πλακέτες Arduino με έναν κοινό server, δημιουργώντας έτσι την υποδομή ενός δικτύου IoT συσκευών. Παράλληλα, άλλο ένα θετικό αυτής της υλοποίησης αποτελεί το γεγονός πως μέσω του συγκεκριμένου API δίνεται η δυνατότητα για περαιτέρω εξέλιξη και προσθήκη άλλων τρόπων ελέγχων των μικροελεγκτών χωρίς να απαιτούνται αλλαγές στον κώδικα του Arduino κάθε αυτό. [27]

Συνοψίζοντας, η δημιουργία ενός API για την επικοινωνία μεταξύ ενός server και μίας πλακέτας Arduino προσφέρει μία ισχυρή και εύελικτη λύση διασύνδεσης. Το API επιτρέπει την απομακρυσμένη διαχείριση, την επεκτασιμότητα του συστήματος και την ενσωμάτωση με άλλες εφαρμογές ή υπηρεσίες. Η σωστή σχεδίαση και υλοποίησή του, σε συνδυασμό με την εφαρμογή των αρχών ασφάλειας και αξιοπιστίας, αποτελούν κρίσιμα στοιχεία για την επιτυχία ενός τέτοιου συστήματος σε σύγχρονα περιβάλλοντα ελέγχου και αυτοματισμού. [28]

Το API το οποίο αναπτύχθηκε για αυτή την εργασία περιλαμβάνει εντολές αναφορικά με τον έλεγχο των κινητήρων και εντολές που κυρίως περιλαμβάνουν αυτούς. Οι πιο σημαντικές διεργασίες που χρειάζονται για την εκπλήρωση της εργασίας σχετικά με τους κινητήρες ήταν η ενεργοποίηση και απενεργοποίησή τους, η πυροδότηση του κινητήρα ώστε αυτός να ανοίξει και να κλείσει απευθείας (trigger) καθώς επίσης και ο ορισμός της καθυστέρησης κατά την σύντομη ενεργοποίησή του. Τέλος προστέθηκαν και κάποιες έξτρα εντολές για πιο συγκεκριμένες χρήσεις του κινητήρα για λόγους ανάπτυξης του κώδικα του Arduino και έλεγχο της χρήσης του κινητήρα. Τέλος είναι σημαντικό να αναφερθεί πως η πυροδότηση του κινητήρα είναι η βασική εντολή που χρησιμοποιείται για την ενημέρωση του χρήστη για την πλοήγησή του ώστε αυτός να κατευθυνθεί σωστά.

Παρακάτω παρατίθενται και αναλυτικότερα όλες οι βασικές εντολές που δομήθηκαν και χρησιμοποιούνται.

API	
Εντολή	Περιγραφή
S0EN	Ενεργοποίηση του κινητήρα κίνησης στο arduino το οποίο στέλνεται η εντολή. Ο κινητήρας θα παραμείνει ανοιχτός μέχρι να δοθεί αντίστοιχη εντολή κλεισίματος.
S0DI	Απενεργοποίηση του κινητήρα κίνησης στο arduino το οποίο στέλνεται η εντολή.
S0TR	Πυροδότηση του αισθητήρα κίνησης για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και μετά απενεργοποίηση του.
S0Dx	Αλλαγή του χρόνου σε x κατά τον οποίο ο κινητήρας δόνησης παραμένει ανοιχτός μέχρι να ξαναενεργοποιηθεί κατά την λειτουργία πυροδότησης (trigger). Η αρχική τιμή η οποία δίνεται είναι 1 δευτερόλεπτο.

Πίνακας 4-1 Οι εντολές API του συστήματος.

4.5 Περιγραφή του Κώδικα

Περνώντας στο πιο πρακτικό κομμάτι αναφορικά με το λογισμικό, όπου αφορά την περιγραφή του κώδικα ο οποίος αναπτύχθηκε για την υλοποίηση της συγκεκριμένης εργασίας. Αυτό το λογισμικό είναι υπεύθυνο, όπως έχει ήδη αναφερθεί, για τον έλεγχο των εντολών που στέλνονται στις συσκευές των arduino και επομένως ενεργοποιούν και τους αισθητήρες δόνησης ώστε με την σειρά τους να κατευθύνουν τον χρήστη σύμφωνα με τις οδηγίες του λογισμικού. Είναι σημαντικό επίσης να αναφερθεί πως χρησιμοποιήθηκαν και έξτρα βιβλιοθήκες για ώστε να μπορέσουν να υλοποιηθούν όλα όσα απαιτούνται για την πλήρη λειτουργικότητα του ολικού συστήματος μας.

Ξεκινώντας την υλοποίηση του κώδικα, αρχικοποιούνται οι βιβλιοθήκες που προαναφέρθηκαν που αφορούν κυρίως την επικοινωνία του διακομιστή ελέγχου με τα arduino μέσω του πρωτοκόλλου UDP. Γι αυτό χρησιμοποιήθηκαν οι βιβλιοθήκες “socket” και “threading”. Ενώ παράλληλα οι βιβλιοθήκες “time” και “msvcrt” βοηθούν ώστε να χρησιμοποιηθούν καθυστερήσεις όπου απαιτείται και για την αναγνώριση εισόδων πλήκτρων από τον χρήστη του λογισμικού αντίστοιχα. Συνεχίζοντας, πραγματοποιείται η αρχικοποίηση βασικών γενικευμένων (global) μεταβλητών που χρησιμοποιούνται από κοινές συναρτήσεις του λογισμικού. Αυτές έχουν να κάνουν κυρίως με την επικοινωνία μέσω UDP. Δηλαδή, είναι μεταβλητές που αποθηκεύουν σημαντικά στοιχεία αναφορικά με τις διευθύνσεις που χρησιμοποιούνται από το πρωτόκολλο ενώ παράλληλα και την πόρτα που ακούει και χρησιμοποιεί το λογισμικό. Τέλος υπάρχουν και ορισμένες μεταβλητές που αρχικοποιούνται σχετικά με τον έλεγχο της χειραψίας μεταξύ του συστήματος ελέγχου με τα συστήματα των μικροελεγκτών. Οι προηγούμενες ορίζουν την ολοκλήρωση η μη του κάθε arduino για το αριστερό και το δεξί χέρι καθώς επίσης και των δύο μαζί. [29]

Στην συνέχεια, γίνεται η δημιουργία των συναρτήσεων που χρησιμοποιούνται από το σύστημα του λογισμικού για την επικοινωνία με του μικροελεγκτές. Επομένως, αφορά την σύνδεση του πρωτοκόλλου, συναρτήσεις που χρησιμοποιούνται για την αποστολή μηνυμάτων καθώς επίσης και την λήψη μηνυμάτων από τα arduino. Όλες αυτές χρησιμοποιούνται σε διάφορα μέρη του κώδικα όπως αυτό της χειραψίας καθώς επίσης και για την αποστολή εντολών με σκοπό τον έλεγχο των κινητήρων δόνησης. Οι συναρτήσεις αυτές αφορούν αρχικά την αποστολή μηνυμάτων προς όλους όσους ακούν μια συγκεκριμένη πόρτα μέχρι αυτοί να λάβουν το αρχικό μήνυμα που αποστέλλεται και να απαντήσουν με σκοπό την ολοκλήρωση της χειραψίας. Επιπλέον, ακόμα μια συνάρτηση αφορά την αποστολή μηνυμάτων αυτή τη φορά προς συγκεκριμένη διεύθυνση και είναι η συνάρτηση αυτή που χρησιμοποιείται για την αποστολή εντολών προς τις συσκευές των arduino. Τέλος, υπάρχει και μια ακόμα συνάρτηση που αρχικοποιείται με σκοπό την λήψη μηνυμάτων από τους μικροελεγκτές και χρησιμοποιείται και αυτή για την χειραψία όλων των επιμέρων συστημάτων που χρησιμοποιούνται τελικά για την υλοποίηση αυτής της εργασίας.

Ξεκινώντας με την πρώτη συνάρτηση από αυτές που προαναφέρθηκαν, αυτή που αφορά την συνεχόμενη αποστολή μηνυμάτων προς όλους του πιθανούς “ακροατές” στην πόρτα του UDP που χρησιμοποιείται. Στη συγκεκριμένη συνάρτηση αρχικά χρησιμοποιείται για την αποστολή μηνυμάτων τύπου UDP broadcast σε ένα τοπικό δίκτυο. Δημιουργεί ένα socket με IPv4 (AF_INET) και τύπο UDP (SOCK_DGRAM) και ενεργοποιεί τη δυνατότητα εκπομπής (broadcast) μέσω της εντολής setsockopt με την επιλογή SO_BROADCAST. Στη συνέχεια, μέσα σε μπλοκ try-finally, αποστέλλει το κωδικοποιημένο σε bytes μήνυμα προς μία προκαθορισμένη διεύθυνση εκπομπής (broadcast_ip) και πόρτα UDP (udp_port), επιτρέποντας έτσι σε όλες τις συσκευές που ακούν στο συγκεκριμένο port στο τοπικό δίκτυο να λάβουν το μήνυμα. Αμέσως μετά την αποστολή, εμφανίζεται μήνυμα επιβεβαίωσης στην κονσόλα, ενώ το socket κλείνει ανεξαρτήτως επιτυχίας ή σφάλματος, διασφαλίζοντας την απελευθέρωση των πόρων του συστήματος. Η συνάρτηση είναι χρήσιμη σε περιπτώσεις που απαιτείται επικοινωνία με πολλαπλές συσκευές ταυτόχρονα ή για ανακάλυψη συσκευών στο δίκτυο, όπως σε εφαρμογές αυτοματισμού, IoT και συστήματα ανίχνευσης.

Συνεχίζοντας, η επόμενη συνάρτηση, αναφορικά με την απλή αποστολή μηνυμάτων προς συγκεκριμένο μικροελεγκτή, χρησιμοποιείται για την αποστολή ενός μηνύματος μέσω του πρωτοκόλλου UDP προς μια συγκεκριμένη συσκευή, της οποίας η διεύθυνση IP καθορίζεται από την παράμετρο που δίνεται κατά την εκτέλεση της συνάρτησης μέσω ορίσματος. Αρχικά, δημιουργείται ένα UDP socket, ορίζοντας ότι θα χρησιμοποιηθεί το πρωτόκολλο IPv4 (AF_INET) σε συνδυασμό με το UDP (SOCK_DGRAM) όπως και προηγουμένως, που είναι κατάλληλο για αποστολή πακέτων χωρίς σύνδεση. Η αποστολή του μηνύματος πραγματοποιείται και αυτή με μέσα σε δομή try-finally ώστε να εξασφαλίζεται το κλείσιμο του socket ανεξάρτητα από την έκβαση της διαδικασίας. Το μήνυμα κωδικοποιείται σε μορφή bytes με τη χρήση της μεθόδου encode(), και αποστέλλεται στην καθορισμένη IP διεύθυνση και στη θύρα που ορίζεται από τη μεταβλητή udp_port. Μετά την αποστολή, εκτυπώνεται σχετικό μήνυμα επιβεβαίωσης στην κονσόλα για σκοπούς εντοπισμού και παρακολούθησης. Τέλος, το socket κλείνει με τη μέθοδο close() για να αποδεσμευτούν οι πόροι. Η συγκεκριμένη συνάρτηση είναι κατάλληλη για εφαρμογές που απαιτούν στοχευμένη επικοινωνία με συσκευές όπως πλακέτες Arduino που είναι συνδεδεμένες σε τοπικό δίκτυο και δέχονται εντολές ή δεδομένα μέσω UDP.

Αναφορικά με την τελευταία συνάρτηση που υλοποιείται, αυτή είναι υπεύθυνη για τη λήψη μηνυμάτων μέσω του πρωτοκόλλου UDP και για την αναγνώριση των δύο συσκευών Arduino που πραγματοποιούν διαδικασία αρχικοποίησης (handshake) με τον server. Χρησιμοποιεί κάποιες παγκόσμιες μεταβλητές (global), οι οποίες περιγράφονται προηγουμένως, που υποδηλώνουν την επιτυχή σύνδεση των συστημάτων για το αριστερό και δεξί χέρι αντίστοιχα. Έπειτα, μετά την ολοκλήρωση της χειραψίας, άλλες δύο μεταβλητές αποθηκεύουν τις αντίστοιχες διευθύνσεις IP των συσκευών. Στη συνέχεια, δημιουργείται ένα socket UDP με χρήση IPv4 (AF_INET) και τύπου datagram (SOCK_DGRAM), το οποίο «δένεται» (bind) στη θύρα που καθορίζεται από τη μεταβλητή υπεύθυνη για την πόρτα επικοινωνίας του πρωτοκόλλου, έτσι ώστε να μπορεί να λαμβάνει πακέτα από οποιονδήποτε αποστολέα.

Η συνάρτηση εισέρχεται σε μία απεριόριστη λούπα while, κατά την οποία περιμένει την άφιξη δεδομένων μέσω του socket. Όταν λαμβάνεται ένα πακέτο, γίνεται αποκωδικοποίηση του περιεχομένου του και ελέγχεται αν το μήνυμα είναι διαφορετικό από το προκαθορισμένο "HELLO_ARDUINO", όπως έχει οριστεί από τον κώδικα των μικροελεγκτών, το οποίο φαίνεται να χρησιμοποιείται για αρχική αναγνώριση και αγνοείται. Αντίθετα, όταν το περιεχόμενο είναι "L" ή "R", αυτό ερμηνεύεται ως μήνυμα από την αριστερή ή δεξιά Arduino συσκευή αντίστοιχα. Στην περίπτωση που το handshake με μία από τις δύο συσκευές δεν έχει ακόμη ολοκληρωθεί, η συνάρτηση, μέσω των πληροφοριών που περιέχονται στο πακέτο το οποίο έχει ληφθεί, καταγράφει τη διεύθυνση IP του αποστολέα στη σωστή μεταβλητή και σημειώνει την επιτυχή ολοκλήρωση της διαδικασίας handshake με την αντίστοιχη σημαία.

Η συνάρτηση αυτή είναι κρίσιμη για τη δυναμική αναγνώριση και σύνδεση των συσκευών Arduino στο τοπικό δίκτυο κατά την έναρξη του συστήματος. Επιτρέπει στον server να εντοπίζει αυτόματα τις IP διευθύνσεις των συσκευών και να επιβεβαιώνει ότι έχει επιτευχθεί σύνδεση με την κάθε μονάδα πριν συνεχίσει την κανονική λειτουργία του. Τέτοιου είδους μηχανισμοί είναι συνηθισμένοι σε εφαρμογές IoT, όπου η στατική διαμόρφωση διευθύνσεων μπορεί να είναι περιοριστική ή αναξιόπιστη.

Έχοντας ολοκληρώσει την ερμηνεία των συναρτήσεων που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, στην συνέχεια ακολουθεί η βασική δομή του συστήματος ελέγχου το οποίο διαχειρίζεται όλα αυτά που έχουν προαναφερθεί για την εκπλήρωση του τελικού στόχου. Η βασική δομή που αποτελεί τον κώδικα αυτό, αρχικά ελέγχει αν τρέχει ως κύριο μέρος του κώδικα, και σε αυτή την περίπτωση εκκινεί ένα νέο νήμα για την εκτέλεση της συνάρτησης η οποία είναι υπεύθυνη για τη λήψη εισερχόμενων μηνυμάτων από το κανάλι UDP. Αυτή η συνάρτηση εκτελείται στο παρασκήνιο ώστε να μην εμποδίζει τη ροή του κύριου προγράμματος και να μπορεί να σταματήσει αυτόματα με τη λήξη του κώδικα. Έτσι δεν εμποδίζονται και δεν επηρεάζονται οι υπόλοιπες διεργασίες που απαιτείται να πραγματοποιούνται για την σύναψη της χειραψίας.

Έπειτα, ξεκινάει μία επαναλαμβανόμενη διαδικασία αποστολής broadcast μηνύματος τύπου "HELLO_ARDUINO", που αποστέλλεται κάθε 10 δευτερόλεπτα χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση, που είναι υπεύθυνη να στέλνει προς όλες τις IP για τον συγχρονισμό όλων των συσκευών. Αυτό το μήνυμα, είναι και αυτό που περιμένουν από την πλευρά τους οι μικροελεγκτές για να επιβεβαιώσουν την προέλευση των μηνυμάτων που δέχονται, να εμπιστευτούν τον διακομιστή που το έστειλε και να απαντήσουν. Η αποστολή συνεχίζεται μέχρι να ολοκληρωθεί η αρχική χειραψία και με τις δύο συσκευές Arduino — δηλαδή μέχρι οι μεταβλητές σημαίες που χρησιμοποιούνται να τεθούν και οι δύο σε τιμή 1. Μόλις αυτό συμβεί, η λογική θέτει τη μεταβλητή `handshake_complete = 1` και εμφανίζει σχετικό μήνυμα επιβεβαίωσης που επιβεβαιώνει και την ολοκλήρωση της χειραψίας.

Ακολουθεί το κύριο μέρος λειτουργίας του συστήματος, στο οποίο το πρόγραμμα αναμένει εντολές από το χρήστη μέσω πληκτρολογίου, τις οποίες ανιχνεύει με χρήση της `msvcrt.getch()`. Η εντολή μετατρέπεται σε κεφαλαίο γράμμα με και ανάλογα με την τιμή της, εκτελείται μία από τις ενέργειες που έχουν καθοριστεί για τον κύριο και πλήρη έλεγχο των συσκευών Arduino. Αυτές κυρίως περιλαμβάνουν την δόνηση των κινητήρων με σκοπό να κατευθύνει τον χρήστη προς την σωστή κατεύθυνση, τον τερματισμό του προγράμματος καθώς επίσης και την επιλογή ο χρήστης του υπολογιστικού συστήματος να μπορέσει να πληκτρολογήσει την δική του εντολή που θέλει να δώσει σε κάποια από της συσκευές.

Παρακάτω αναπαριστώνται αναλυτικά όλες οι πιθανές διεργασίες οι οποίες που μπορούν να δοθούν από τον χρήστη.

Βασικές Εντολές Server	
Πλήκτρο	Εντολή
Q	Έξοδος του προγράμματος και τερματισμός λειτουργίας του κώδικα.
A	Δόνηση του κινητήρα που ελέγχεται από το αριστερό χέρι.
S	Δόνηση του κινητήρα που ελέγχεται από το δεξί χέρι.
W	Δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να μπορέσει να αποστείλει εξειδικευμένες εντολές προς το σύστημα του αριστερού χεριού.
E	Δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να μπορέσει να αποστείλει εξειδικευμένες εντολές προς το σύστημα του δεξιού χεριού.
R	Εναλλαγή της αναπαράστασης των συσκευών που χρησιμοποιούνται.

Πίνακας 4-2 Πίνακας εντολών του server από το πληκτρολόγιο

Συνολικά, αυτό το κύριο μπλοκ κώδικα που περιγράφηκε ελέγχει τη ροή του προγράμματος και ενορχηστρώνει τη λειτουργία του συστήματος μέσω συνεχούς παρακολούθησης για χειρισμούς χρήστη, συνδέσεων με συσκευές και αποστολής εντολών, ενώ αποτυπώνει μία κλασική λογική συστήματος ελέγχου σε περιβάλλον τοπικού δικτύου μέσω UDP. Μία πιθανή βελτίωση θα ήταν η προσθήκη ελέγχου εγκυρότητας όταν καλείται κάποια συνάρτηση αποστολής μηνυμάτων, καθώς και χειρισμός σφαλμάτων σε περίπτωση αποτυχίας σύνδεσης.

Όλα τα παραπάνω που περιγράφηκαν, αποτελούν όλο το σύστημα που είναι υπεύθυνο για τον πλήρη έλεγχο των συσκευών που προορίζεται να φοράει ο χρήστης με σκοπό να τον κατευθύνουν. Περιλαμβάνει τον έλεγχο μέσω ενός κεντρικού υπολογιστικού συστήματος από κάποιον χρήστη αλλά η δομή του μπορεί να υποστηρίξει και επιπλέον αλλαγές οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν στον έλεγχο

από κάποιου άλλου είδους σύστημα. Αυτό το σύστημα, μπορεί να αντικαταστήσει την δομή εισόδου και αποστολής των εντολών καθώς επίσης και τον έλεγχο και την λήψη των αποφάσεων. Αυτό αφορά κυρίως την δομή και αρχιτεκτονική του συνολικού συστήματος ελέγχου με βάση το οποίο θα είναι δυνατή η κατευθυντοποίηση του χρήστη. Έτσι θα μπορεί κάποιος με γρήγορο και αξιόπιστο τρόπο να το χρησιμοποιήσει χωρίς κάποιον εξωτερικό χρήστη να τον κατευθύνει αλλά να του δίνεται η δυνατότητα με απλούς μηχανισμούς να μπορεί μόνος του κάποιος χρήστης να χειριστεί όλο το σύστημα και την εφαρμογή που αναπτύσσεται στα πλαίσια αυτής της εργασίας.

Κεφάλαιο 5ο: Τρόπος λειτουργίας του Συστήματος

5.1 Εισαγωγή

Μετά την ανάλυση της σχεδίασης του λογισμικού, της ανάπτυξης του API και των μηχανισμών επικοινωνίας μεταξύ του server και του μικροελεγκτή Arduino στα προηγούμενα κεφάλαια, το παρόν τέταρτο κεφάλαιο εστιάζει στον πρακτικό τρόπο λειτουργίας του ολοκληρωμένου συστήματος. Εδώ περιγράφεται το πώς συνεργάζονται τα επιμέρους λογισμικά και τεχνικά υποσυστήματα ώστε να επιτευχθεί η λειτουργικότητα του συστήματος, από τη στιγμή που εκκινείται έως την τελική αποστολή και εκτέλεση εντολών. Δίνεται επίσης έμφαση στους μηχανισμούς που αποτελούν όλο το σύστημα ώστε αυτό να τεθεί σε λειτουργία από τον χρήστη.

Στην πρώτη υπενότητα παρουσιάζονται οι βασικές λειτουργίες που υλοποιούνται από το σύστημα, δίνοντας έμφαση στη ροή της εκτέλεσης, τον χειρισμό των εισόδων από τον χρήστη, την τοποθέτηση των Arduino και την απόκριση των συσκευών. Περιγράφεται πώς το σύστημα διαχειρίζεται την αναμονή για είσοδο, πώς αναγνωρίζει συγκεκριμένες εντολές και πώς τις προωθεί επιλεκτικά σε συσκευές Arduino βάσει του ρόλου τους (αριστερή ή δεξιά), καθώς και τι επιπτώσεις έχει κάθε ενέργεια στην κατάσταση του συστήματος.

Στη συνέχεια, η επόμενη ενότητα επικεντρώνεται στη διαδικασία σύνδεσης, αναλύοντας τα βήματα που απαιτούνται για την επιτυχή επικοινωνία μεταξύ του server και των Arduino. Παρουσιάζεται ο μηχανισμός ανακάλυψης των συσκευών μέσω broadcast μηνυμάτων, ο έλεγχος ταυτότητας (handshake), καθώς και η καταγραφή των IP διευθύνσεων των συσκευών σε μεταβλητές του συστήματος. Εξηγείται πώς εξασφαλίζεται ότι ο server δεν προχωρά στη λειτουργική φάση πριν ολοκληρωθεί σωστά η σύνδεση με όλες τις απαραίτητες συσκευές. Ενώ παράλληλα εξηγείται αναλυτικά ο πρακτικός τρόπος με τον οποίο μπορούν να συνδεθούν όλες οι συσκευές μεταξύ τους με σκοπό την λειτουργικότητα τους. Καθώς επίσης, αναφέρονται και ενέργειες που πρέπει να αποφεύγονται ώστε να μην δημιουργούνται προβλήματα κατά την σύνδεση των συσκευών με το λογισμικό ελέγχου.

Τέλος, η τελευταία ενότητα είναι αφιερωμένη στην αντιμετώπιση προβλημάτων, τα οποία μπορεί να προκύψουν τόσο κατά την εκκίνηση του συστήματος όσο και κατά την κανονική λειτουργία του. Τέτοια προβλήματα μπορεί να περιλαμβάνουν αποτυχία σύνδεσης με μία από τις Arduino συσκευές, καθυστερήσεις στη λήψη ή αποστολή μηνυμάτων, μη αναμενόμενες συμπεριφορές λόγω αποσύνδεσης ή λάθος πληκτρολόγησης από τον χρήστη. Γίνεται αναφορά σε βήματα αποσφαλμάτωσης (debugging), πρακτικές logging, και προτάσεις για μελλοντικές βελτιώσεις όσον αφορά την αξιοπιστία και την ανθεκτικότητα του συστήματος σε σφάλματα.

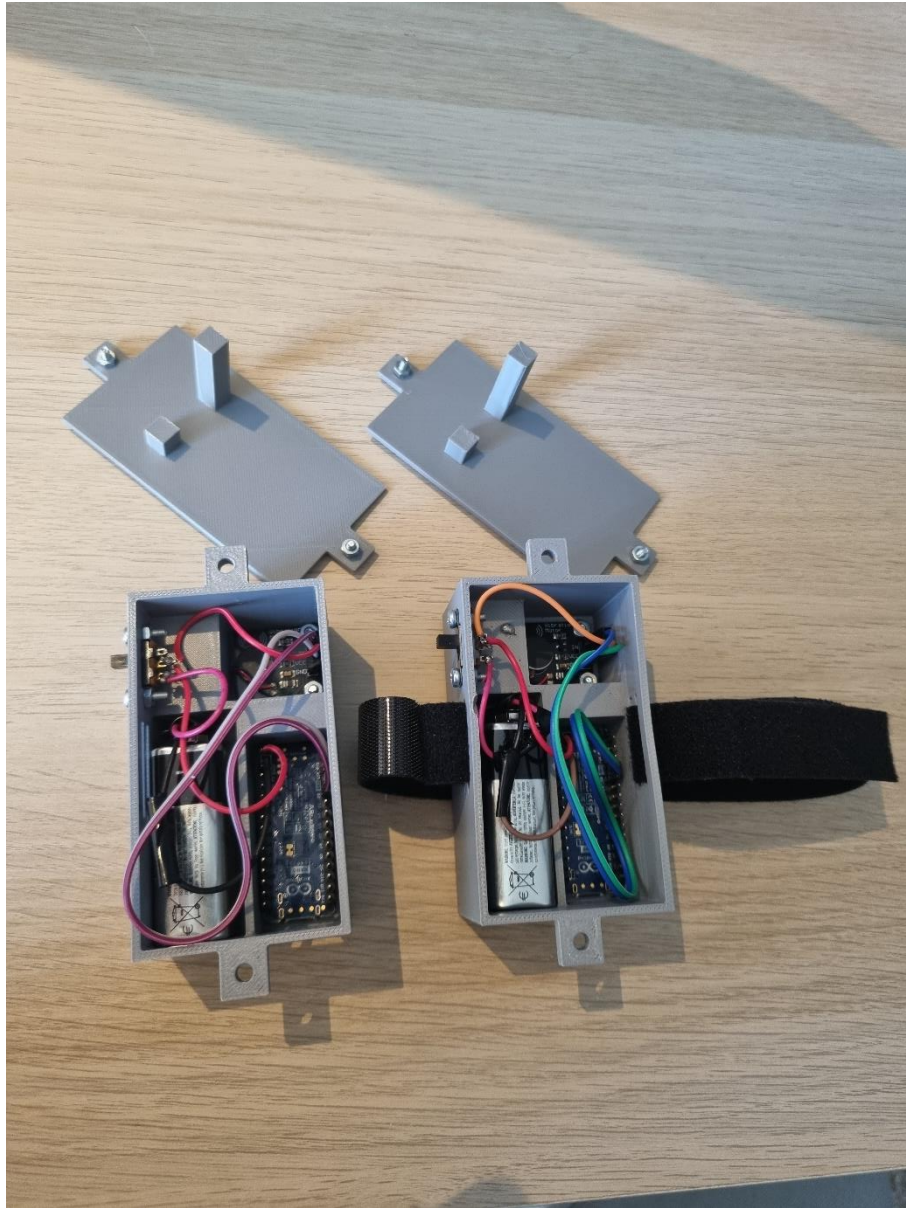
Συνολικά, το τέταρτο κεφάλαιο αποσκοπεί στην πλήρη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο το σύστημα επιτελεί τον σκοπό του, εστιάζοντας όχι μόνο στη βασική του λειτουργία, αλλά και στις διαδικασίες σύνδεσης και συντήρησης, δίνοντας έτσι μια ολοκληρωμένη εικόνα της εφαρμογής σε επίπεδο χρήστη και τεχνικού σχεδιασμού.

5.2 Βασικές Λειτουργίες

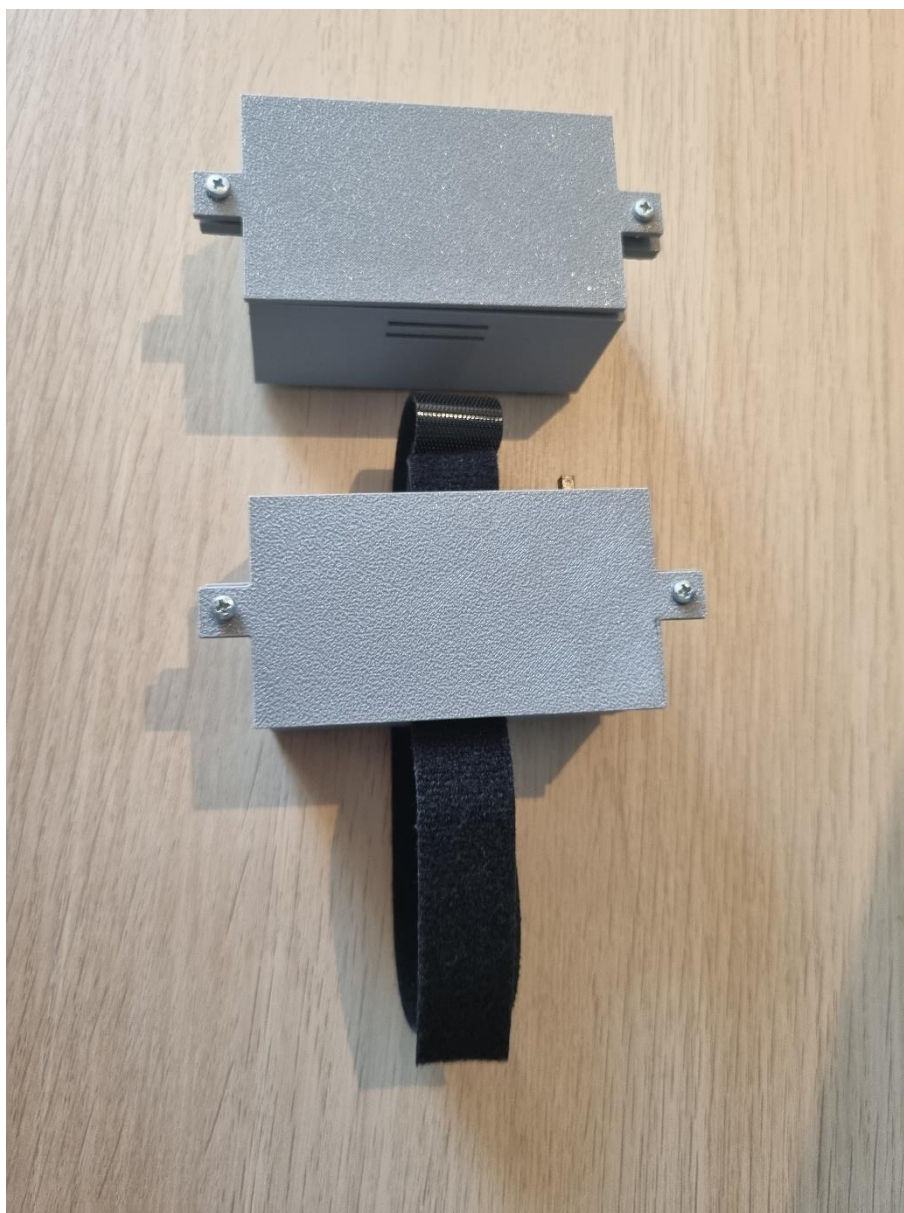
Ξεκινώντας με τις βασικές λειτουργίες, είναι σημαντικό αρχικά να αναφερθεί τι τελικά περιλαμβάνει όλο το σύστημα το οποίο αναπτύχθηκε στα πλαίσια αυτής της εργασίας. Τα βασικά μέρη που μας απασχολούν στα πλαίσια αυτού του κεφαλαίου και απαιτούνται για την χρήση του συστήματος είναι:

- Τα δύο πανομοιότυπα συστήματα Arduino, που χρησιμοποιούνται για την ειδοποίηση του χρήστη.
- Ένα υπολογιστικό σύστημα το οποίο είναι υπεύθυνο για την διαχείριση των προηγούμενων στέλνοντας τους εντολές.
- Μια σύνδεση δικτύου Wifi.

Όλα τα παραπάνω συνδυάζονται με τελικό σκοπό την καθοδήγηση του χρήστη που στην ουσία φέρει τις δύο συσκευές των μικροελεγκτών σε ορισμένα μέρη του σώματός του. Τα οποία, όπως ήδη έχει αναφερθεί τον ειδοποιούν με στόχο να του μεταφέρουν οδηγίες για το πως θα κινηθεί. Όλα όσα περιλαμβάνουν το συνολικό σύστημα είναι εξίσου σημαντικά και η απουσία έστω και ενός από αυτά θα μπορούσε να αποτρέψει την βοήθεια του χρήστη που είναι και ο τελικός και κυριότερος στόχος. Τόσο η χρήση του δικτύου, αποτελεί τον δίαυλο επικοινωνίας όλων των συσκευών, όσο και οι συσκευές κάθε αυτές πρέπει να παραμένουν διαρκώς σε λειτουργία κατά την χρήση του συστήματος ώστε να μεταφέρουν όλη την πληροφορία που απαιτείται για την εκπλήρωση του σκοπού του συστήματος.



Εικόνα 5-1 Τελική μορφή συσκευών με μικροελεγκτή Arduino. (Ανοιχτές)



Εικόνα 5-2 Τελική μορφή συσκευών με μικροελεγκτή Arduino. (Κλειστές)

Για την βασική του λειτουργία το σύστημα των μικροελεγκτών έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι απλό και λειτουργικό, ώστε να μπορεί να διευκολύνει τον χρήστη κατά την εμπειρία του με τις συσκευές. Επιπλέον, έχει δοθεί έμφαση στο να μην απαιτείται η αίσθηση της όρασης καθώς οι χρήστες για τους οποίους σχεδιάζεται και προορίζεται η συγκεκριμένη εφαρμογή αποτελούν άτομα με περιορισμένη όραση. Επομένως για την χρήση των συσκευών των Arduino αρχικά είναι η προσαρμογή των συσκευών στα σημεία τα οποία επιθυμεί ο χρήστης να φορέσει τις συσκευές. Κάποια από τα πιθανά μέρη που μπορεί να τοποθετηθεί και προτείνεται είναι είτε στα χέρια και πιο συγκεκριμένα στους

καρπούς, είτε στο χέρι σε κάποιο υψηλότερο σημείο είτε ακόμα και στο ύψος του ώμου. Στη συνέχεια, χρειάζεται να γίνει η προσαρμογή του αντίστοιχου βραχίονα ώστε η συσκευές να σταθεροποιηθούν και να προσαρμοστούν κατάλληλα στο σώμα του χρήστη. Με αυτόν τον τρόπο ο χρήστης μπορεί να τοποθετήσει τις συσκευές στο σώμα του και από εκεί και πέρα να ξεκινήσει να τις χρησιμοποιεί. Όσον αφορά την ενεργοποίησή τους, όπως αναφέρθηκε η σχεδίαση έγινε ώστε η όλη εμπειρία να είναι απλή οπότε το μόνο που απαιτείται είναι απλά η ενεργοποίηση του διακόπτη λειτουργίας της συσκευής. Δεν απαιτείται κάτι επιπλέον μετά από αυτό το στάδιο καθώς ο σχεδιασμός όλου του συστήματος είναι τέτοιος, μέσω του μηχανισμού χειραψίας, ώστε να μην χρειάζονται επιπλέον ενέργειες και ρυθμίσεις.

Περνώντας τώρα στο κομμάτι της διαχείρισης των arduino, όπως αναφέρθηκε απαιτείται η χρήση ενός κεντρικού υπολογιστικού συστήματος το οποίο θα συνδέεται με όλες τις επιμέρους συσκευές που χρειάζεται και θα είναι υπεύθυνο για όλη την διαχείριση της πληροφορίας που απαιτείται για την αποστολή εντολών. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως στο συγκεκριμένο στάδιο ο διακομιστής ελέγχου αποτελείται μόνο από το λογισμικό και την διαχείριση των μικροελεγκτών. Ένα στάδιο το οποίο θα μπορούσε να εξεταστεί επιπλέον είναι και η ενσωμάτωση ενός συστήματος υπεύθυνο για την είσοδο του λογισμικού. Η μέχρι τώρα υλοποίηση του λογισμικού γίνεται μέσω της πίεσης των πλήκτρων του πληκτρολογίου για την τελική αποστολή εντολών προς τις συσκευές που φέρει ο χρήστης. Έχοντας λοιπόν το λογισμικό έτοιμο προς εκτέλεση δεν χρειάζεται να πραγματοποιηθεί κάποια άλλη ενέργεια αφού από μόνο του είναι σε θέση να διαχειριστεί την όποια κατάσταση για την σύνδεση όλων των συσκευών μεταξύ τους. Έτσι με την εκτέλεση του κώδικα που έχει αναπτυχθεί μπορεί ο server να τεθεί σε κανονική λειτουργία χωρίς να χρειάζονται άλλα επιμέρους βήματα.

Όλα τα παραπάνω είναι σημαντικό να έχουν και την αντίστοιχη σύνδεση σε ένα κοινό δίκτυο βάση του οποίου θα είναι υπεύθυνο για την σύνδεση όλων των συσκευών με σκοπό αυτές να μπορούν τελικά να ανταλλάξουν πληροφορίες καθώς επίσης και μηνύματα. Έχοντας λοιπόν βεβαιωθεί για την επιτυχημένη σύνδεση των συσκευών μπορούμε να θέσουμε όλες τις συσκευές σε λειτουργία ώστε αυτές να ξεκινήσουν την διαδικασία σύνδεσης ώστε μετά την ολοκλήρωσή της να είναι σε θέση να χρησιμοποιηθούν πλήρως.

Τα παραπάνω αποτελούν τα βασικά βήματα που χρειάζεται ο χρήστης να ακολουθήσει με σκοπό την εκκίνηση λειτουργίας του συστήματος και την πλήρη ενεργοποίησή του.

5.3 Σύνδεση και Ποιότητα Σύνδεσης

Έχοντας ήδη περιγράψει συνολικά το πως οι συσκευές μας χρησιμοποιούνται καθώς επίσης τίθενται και σε λειτουργία μεταφερόμαστε στο κομμάτι το οποίο είναι υπεύθυνο για την σύνδεση των συσκευών μεταξύ τους. Δηλαδή πως μπορούμε με απλό τρόπο να συνδέσουμε τις συσκευές ώστε αυτές να ολοκληρώσουν την διαδικασία της χειραψίας και να περάσουν στο επόμενο στάδιο που δεν είναι άλλο από αυτό της βασικής λειτουργίας του συστήματος.

Για την σύνδεση όπως έχει ήδη αναφερθεί, απαιτείται και είναι πολύ σημαντική η σύνδεση σε ένα δίκτυο. Εφόσον υπάρχει και έχει προσαρμοστεί σε κάθε συσκευή, το μόνο που απομένει είναι να θέσουμε σε λειτουργία τις συσκευές μας ώστε αυτές τελικά να συνδεθούν και να ξεκινήσουν τη φυσιολογική τους λειτουργία. Αρχικά ξεκινάμε με τις συσκευές των μικροελεγκτών. Τις ενεργοποιούμε και τις δύο, χωρίς να μας απασχολεί η σειρά με την οποία θα το κάνουμε αυτό είτε στη μία είτε στην άλλη, και έπειτα περιμένουμε μερικά δευτερόλεπτα ώστε και οι δύο να συνδεθούν στο δίκτυο, καθώς επίσης και να τεθούν σε αναμονή για την διαδικασία της χειραψίας. Έπειτα, αφού έχουν περάσει ορισμένα δευτερόλεπτα, αυτό που απαιτείται να κάνουμε επιπλέον, είναι να τεθεί σε λειτουργία το πρόγραμμα της Python που έχει αναπτυχθεί για το λογισμικό του συστήματος. Αυτό για το οποίο πρέπει να σιγουρευτεί ο χρήστης είναι είναι συνδεδεμένο στο ίδιο δίκτυο στο οποίο έχουν συνδεθεί και προηγουμένως οι συσκευές των Arduino. Στη συνέχεια, έχοντας ξεκινήσει να εκτελείται ο κώδικας της python, λαμβάνει χώρα η σύναψη της τελικής χειραψίας μεταξύ των τριών συσκευών ώστε ο διακομιστής ελέγχου να λάβει τις διευθύνσεις δικτύου των δύο μικροελεγκτών. Αυτό όπως έχει αναφερθεί και στις προηγούμενες ενότητες, δεν απαιτεί κάποια επιπλέον ενέργεια από την μεριά του χρήστη, καθώς η σχεδίαση της λειτουργίας του συστήματος έχει γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι απλή και πρακτική για χάρη ευκολίας του χρήστη. Τέλος, έχοντας ολοκληρώσει όλα τα παραπάνω, δεν απομένει κάτι άλλο πέρα από το να γίνει η επιτυχημένη χειραψία των τριών συσκευών και να ολοκληρωθεί η σύνδεση μεταξύ τους. Έπειτα από αυτό το σημείο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι τρεις τους κανονικά.

Κάτι ακόμα που είναι επίσης σημαντικό, είναι πως η σειρά ενεργοποίησης των συσκευών δεν έχει ιδιαίτερη σημασία καθώς οι κώδικες της κάθε συσκευής έχουν αναπτυχθεί ώστε να περιμένουν η μια συσκευή την άλλη μέχρι και την ολοκλήρωση της χειραψίας. Έτσι, με αυτόν τον τρόπο, είτε ενεργοποιηθεί αρχικά ο κώδικας του λογισμικού είτε κάποια άλλη συσκευή Arduino μεμονωμένα, δεν θα επηρεαστεί το τελικό αποτέλεσμα της σύνδεσης των συσκευών.

Περνώντας και στα πιο τεχνικά χαρακτηριστικά, στο συγκεκριμένο σύστημα, πολύ σημαντικό ρόλο παίζει και η ταχύτητα λειτουργίας του συστήματος ώστε αυτό να λειτουργεί όσο το δυνατόν ταχύτερα. Με αυτόν τον τρόπο πραγματοποιήθηκαν αντίστοιχες μετατροπές στον κώδικα τόσο των μικροελεγκτών όσο και του λογισμικού ελέγχου ώστε να εξεταστούν αντίστοιχα η ταχύτητες όπου λειτουργεί το κάθε σύστημα.

Αρχικά όσον αφορά το arduino, προστέθηκε ένας μετρητής όπου μετράει κάθε πότε εξετάζεται από το σύστημα για την παρουσία εισερχόμενης εντολής. Επομένως μπορεί να εξεταστεί και η αντίστοιχη συχνότητα ώστε να μπορέσουμε να σιγουρευτούμε ότι θα είναι πολύ συχνός ο παραπάνω έλεγχος και επομένως και η εκτέλεση των αντίστοιχων εντολών που αποστέλλονται.

Έπειτα από την εφαρμογή του αντίστοιχου κώδικα για την καταμέτρηση της συχνότητας λειτουργίας του μικροελεγκτή, μετρήθηκε πως ο έλεγχος για το αν έχουν σταλεί εντολές από το λογισμικό ελέγχου γίνεται ανά 50ms, άρα και 20Hz. Για να εξαχθεί το συγκεκριμένο νόυμερο έπρεπε να τροποποιηθεί και να βελτιστοποιηθεί έτσι ο κώδικας ώστε να μην γίνεται περιττή χρήση του μικροεπεξεργαστή. Δηλαδή, διεργασίες που καταλαμβάνουν έξτρα χρόνο για να πραγματοποιηθούν έπρεπε να περιοριστούν και να αφαιρεθούν. Τέτοιες είναι η κυρίως ή προβολή μηνυμάτων για τον χρήστη μέσω της σειριακής θύρας επικοινωνίας του μικροελεγκτή.

Από την μεριά του λογισμικού, εξετάστηκε η ταχύτητα απόκρισης όσον αφορά την αποστολή μηνυμάτων μέσω του καναλιού επικοινωνίας του πρωτοκόλλου UDP. Έτσι, θα καταφέρουμε να ερμηνεύσουμε την ταχύτητα που μπορούν να έχουν δύο εντολές μεταξύ τους και επομένως και πόσο γρήγορα μπορεί να σταλεί ένα σήμα για την ενημέρωση του χρήστη για την αλλαγή κατεύθυνσης σου πράγμα που είναι πολύ σημαντικό για την χρήση του συγκεκριμένου συστήματος.

Αναφορικά με τα αποτελέσματα του λογισμικού όσον αφορά την ποιότητα της σύνδεσης και αποστολής μηνυμάτων μέσω το πρωτοκόλλου επικοινωνίας, τα αποτελέσματα ήταν αντίστοιχα θετικά. Τροποποιήθηκε ο κώδικας της Python με τέτοιο τρόπο ώστε να υπολογίζεται ο χρόνος που απαιτείται για την αποστολή ενός μηνύματος μέσω UDP προς ένα Arduino και η λήψη της απάντησης από αυτό. Καταγράφηκαν τα αποτελέσματα για μια πληθώρα αποστολής μηνυμάτων και υπολογίστηκε αντίστοιχα η ποιότητα της σύνδεσης. Η μέγιστη επικοινωνία που παρατηρήθηκε δεν ξεπερνούσε το ένα δευτερόλεπτο ενώ κατά μέσο όρο ολόκληρη η διαδικασία της επικοινωνίας είχε διάρκεια 0,3 δευτερόλεπτα. Αυτό αποτελεί ένα πολύ θετικό αποτέλεσμα για την ποιότητα της σύνδεσης καθώς σημαίνει πως από το πάτημα ενός πλήκτρου για την αποστολή μιας οδηγίας προς τον χρήστη που φέρει τις συσκευές, έως και την απάντηση του μικροελεγκτή για την επιβεβαίωση της αποστολής ο χρόνος επικοινωνίας είναι πολύ μικρός, της τάξης των δέκατων των δευτερολέπτων.

5.4 Αντιμετώπιση Προβλημάτων

Ακόμα μια πολύ σημαντική υποενοότητα του συγκεκριμένου κεφαλαίου είναι και η αντιμετώπιση τεχνικών προβλημάτων που ενδεχομένως μπορούν να παρουσιαστούν. Ένα από αυτά, και από τα σημαντικότερα, είναι πως κατά την σύναψη της χειραγίας, δεν πρέπει να αποσυνδεθούν οι συσκευές που συμμετέχουν σε αυτή. Αυτό θα οδηγούσε σε λανθασμένη ενημέρωση πως κάποια από της συσκευές έχει συνδεθεί ενώ στην ουσία παραμένει αποσυνδεδεμένη και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί τελικά. Το παραπάνω σφάλμα, θα απαιτούσε την αποσύνδεση και απενεργοποίηση όλων των συσκευών καθώς επίσης και την επανάληψη της διαδικασίας για την ορθή σύνδεσή τους.

Ακόμα ένα πρόβλημα το οποίο είναι πιθανό να παρουσιαστεί, είναι η έλλειψη ενέργειας των συσκευών των μικροελεγκτών από την τροφοδοσία τους μέσω της μπαταρίας. Το συγκεκριμένο πρόβλημα, θα απαιτούσε απλά την αλλαγή της μπαταρίας που βρίσκεται εσωτερικά της συσκευής. Ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί ένας μικροελεγκτής arduino είναι τέτοιος ώστε να μην επηρεάζεται και ο κώδικάς του από την τροφοδοσία του επομένως η αλλαγή της μπαταρίας οδηγεί τελικά και στην επίλυση του αντίστοιχου προβλήματος. Αυτός ήταν και ο λόγος για τον οποίο έγινε και ο αντίστοιχος σχεδιασμός του κυκλώματος.

Κεφάλαιο 6ο: Υλοποίηση Πειράματος

6.1 Εισαγωγή

Η παρούσα πτυχιακή εργασία, αφού πραγματεύεται τη θεωρητική θεμελίωση, το σχεδιασμό και την τεχνική υλοποίηση ενός συστήματος απομακρυσμένου ελέγχου μέσω UDP επικοινωνίας μεταξύ server και συσκευών Arduino, εισέρχεται πλέον στο στάδιο της πρακτικής αξιολόγησης της συσκευής που δημιουργήθηκε. Στόχος του παρόντος κεφαλαίου είναι η διερεύνηση της επίδοσης του τελικού συστήματος ως προς την ικανότητά του να μεταδίδει μηχανικές δονήσεις σε διάφορα σημεία του ανθρώπινου χεριού με συνέπεια, σαφήνεια και λειτουργικότητα, υπό διαφορετικές συνθήκες.

Η βασική ιδέα του πειράματος επικεντρώνεται στην εκτίμηση της ποιότητας της δόνησης, δηλαδή στο κατά πόσο η παραγόμενη δόνηση από τον κινητήρα του Arduino γίνεται αισθητή με καθαρό τρόπο από τον εκάστοτε χρήστη και με ποια ένταση, διάρκεια ή εντύπωση, ανάλογα με το σημείο του σώματος όπου εφαρμόζεται. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, αξιοποιήθηκε το σύστημα Arduino που ελέγχεται μέσω ενός προγράμματος Python, με βάση και τα όσα έχουν περιγραφεί μέχρι τώρα, το οποίο επιτρέπει την αποστολή κατάλληλων εντολών UDP για την ενεργοποίηση ενός απλού κινητήρα δόνησης που είναι προσαρτημένος στο σώμα του χρήστη.

Η αξιολόγηση της ποιότητας της δόνησης πραγματοποιείται με εμπειρική μέθοδο. Η υποκειμενική εμπειρία του κάθε χρήστη παίζει καθοριστικό ρόλο, αφού ο τρόπος με τον οποίο αντιλαμβάνεται κανείς τη δόνηση επηρεάζεται τόσο από φυσιολογικούς όσο και από ψυχολογικούς παράγοντες. Το πείραμα έχει σχεδιαστεί ώστε να ελαχιστοποιούνται εξωτερικοί παράγοντες, επιδιώκοντας μία όσο το δυνατόν αντικειμενικότερη καταγραφή των αντιδράσεων των συμμετεχόντων.

Το κεφάλαιο χωρίζεται σε τέσσερις βασικές ενότητες. Αρχικά, στην πρώτη ενότητα παρουσιάζεται η γενική περιγραφή του πειράματος, με αναφορά στις χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες, τον εξοπλισμό, τη μεθοδολογία καθώς και το πλήθος και τις δημογραφικές πληροφορίες των συμμετεχόντων (όπου είναι δυνατόν). Επιπλέον, αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο συλλέγονται τα δεδομένα, καθώς και τα κριτήρια με τα οποία αξιολογείται η ποιότητα της δόνησης από τους συμμετέχοντες (π.χ. ένταση, σαφήνεια, άνεση).

Στη συνέχεια, η επόμενη υποενότητα εξετάζει όλα τα δεδομένα που συλλέχθηκαν όσον αφορά τη δόνηση σε κατάσταση ακινησίας του χρήστη. Δηλαδή, ο συμμετέχων παραμένει σταθερός σε μια προκαθορισμένη θέση και ο κινητήρας δόνησης εφαρμόζεται σε τέσσερα συγκεκριμένα σημεία του άνω άκρου: στο πάνω μέρος του καρπού, στο κάτω μέρος του καρπού, στο ύψος του τρικεφάλου και τέλος στο ύψος του ώμου. Για κάθε σημείο, αναλύεται η ποιότητα και η ένταση της δόνησης που γίνεται αντιληπτή από τον χρήστη. Η επιλογή αυτών των σημείων έγινε λαμβάνοντας υπόψη την εφαρμογή που

θα μπορούσε να έχει το σύστημα που αναπτύσσεται σε διάφορα βασικά μέρη του χεριού όπου θα μπορούσε να προσαρμοστεί το σύστημα. Με αυτόν τον τρόπο θα μελετηθεί επίσης και η ποιότητα της δόνησης σε σημεία του χεριού με διαφορετικά χαρακτηριστικά όπως πάχος δέρματος, μυς και οστά.

Αντίστοιχα, στην επόμενη ενότητα εξετάζεται το ίδιο πείραμα, αλλά υπό συνθήκες κίνησης. Ο συμμετέχων χρησιμοποιεί την συσκευή ενώ ταυτόχρονα περπατάει. Ο σκοπός του συγκεκριμένου πειράματος είναι να εκτιμηθεί κατά πόσο η δόνηση επηρεάζεται από τη δυναμική του σώματος — είτε εξασθενεί, είτε γίνεται πιο έντονη ή και χάνεται εντελώς. Αυτή η διάσταση είναι ιδιαίτερος κρίσιμη για μελλοντικές εφαρμογές του συστήματος σε συνθήκες πραγματικής χρήσης, για την πλοήγηση ατόμων με προβλήματα όρασης.

Τέλος, συγκεντρώνονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων. Τα ευρήματα παρουσιάζονται τόσο περιγραφικά όσο και σε μορφή πινάκων ή διαγραμμάτων, ώστε να μπορεί να αναγνωριστεί τυχόν συστηματική διαφορά στην ποιότητα της δόνησης ανάλογα με το σημείο εφαρμογής ή την κατάσταση κίνησης. Γίνεται επίσης συγκριτική ανάλυση μεταξύ των συμμετεχόντων, όπου κρίνεται απαραίτητο, προκειμένου να εντοπιστούν τυχόν ατομικές ή δημογραφικές αποκλίσεις στην αντίληψη της δόνησης.

Με το παρόν πειραματικό σκέλος επιδιώκεται η απόκτηση μιας πρακτικής εικόνας για την αποτελεσματικότητα της τεχνολογικής λύσης που αναπτύχθηκε, εστιάζοντας στο πόσο επιτυχώς επιτυγχάνεται η αίσθηση της δόνησης μέσω μιας προσβάσιμης και ευέλικτης πλατφόρμας όπως το Arduino. Τα συμπεράσματα που θα προκύψουν αποτελούν πολύτιμο οδηγό τόσο για τη βελτίωση του συστήματος όσο και για την περαιτέρω διερεύνηση της χρήσης τέτοιων τεχνολογιών σε εφαρμογές αλληλεπίδρασης ανθρώπου-μηχανής ή σε συστήματα υποβοηθούμενης αίσθησης.

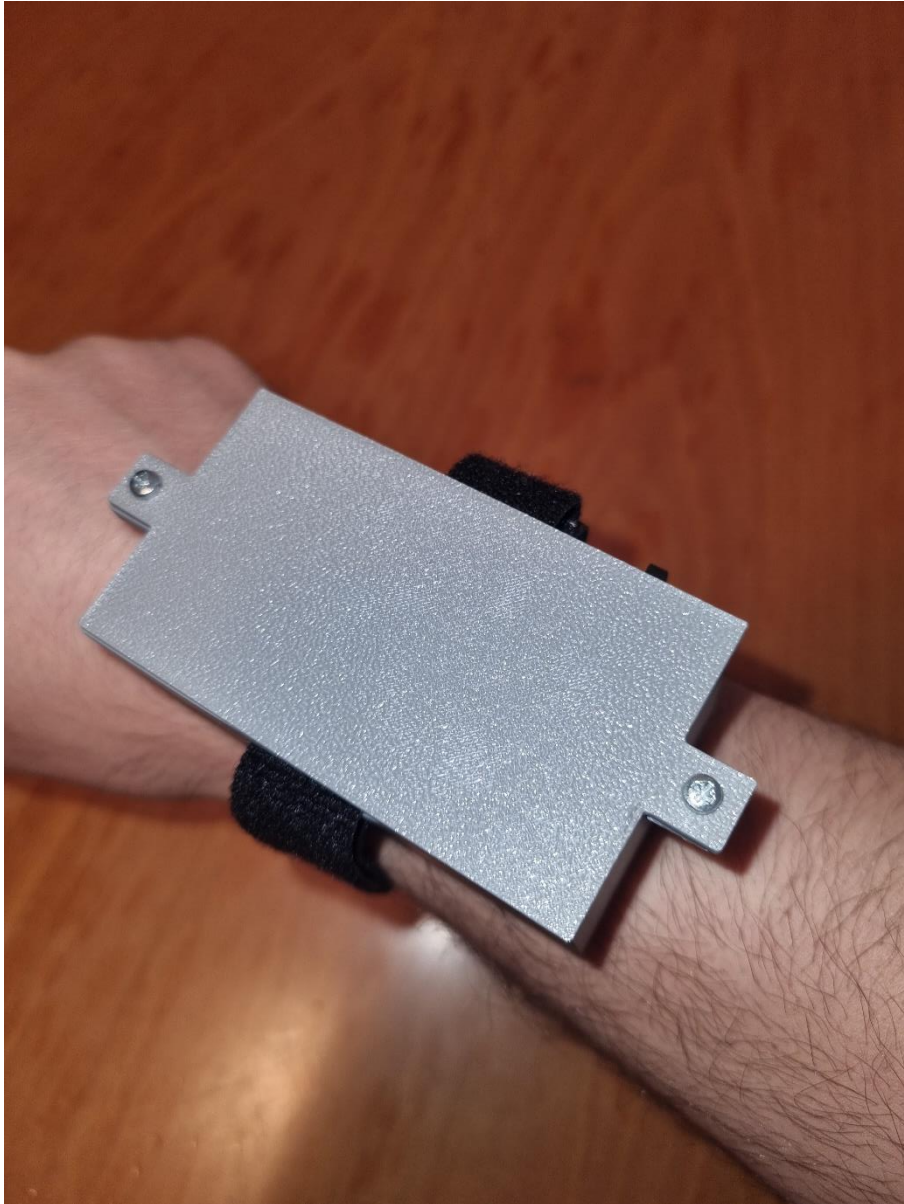
6.2 Περιγραφή Πειράματος

Όσον αφορά το πείραμα που εκτελέστηκε, αυτό περιλαμβάνει αρχικά την προσαρμογή του συστήματος στους διάφορους χρήστες που το χρησιμοποιούν. Όπως περιγράφηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο. Αρχικά προσαρμόστηκε η συσκευή στο χέρι για κάθε ένα διαφορετικό χρήστη που συμμετείχε στο πείραμα. Αφού σταθεροποιήθηκε η συσκευή στο σημείο που εξετατόζταν κάθε φορά, γίνεται η ενεργοποίηση όλων των συσκευών για να τεθεί σε πλήρη λειτουργία όλο το σύστημα και επομένως να πραγματοποιηθεί η καταγραφή των αποτελεσμάτων σχετικά με την ποιότητα της δόνησης.

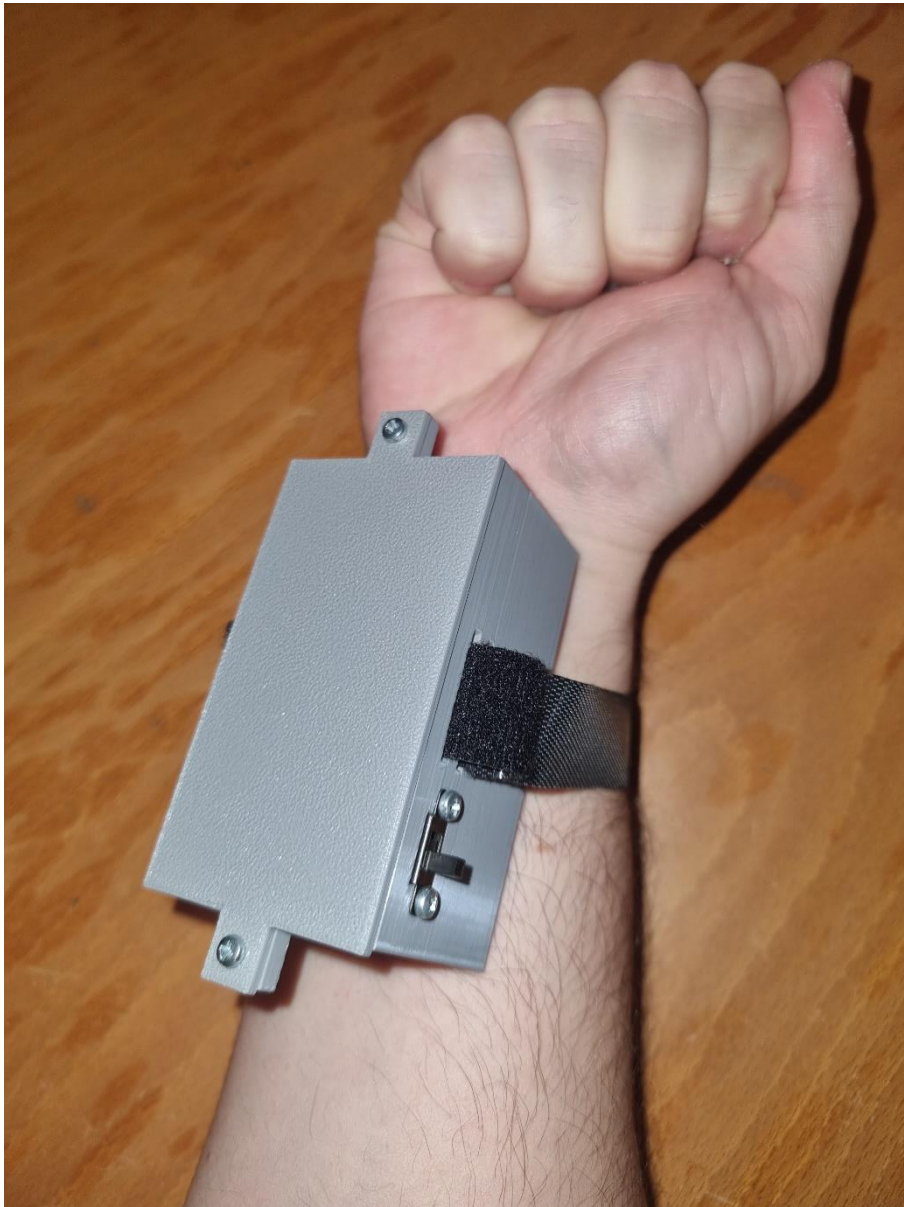
Για την εξαγωγή καλύτερων αποτελεσμάτων, η συσκευή τοποθετήθηκε σε διαφορετικά σημεία του χεριού ώστε να σημειωθεί η αποτελεσματικότητα του συστήματος και πιο συγκεκριμένα της συσκευής για διάφορα σημεία του χεριού. Αυτά τα σημεία ήταν:

- Ο καρπός του χεριού από πάνω.
- Ο καρπός του χεριού από κάτω.
- Στο ύψος του τρικεφάλου.
- Στο ύψος του ώμου.

Παρακάτω απεικονίζεται η εφαρμογή της συσκευής σε κάθε ένα από τα σημεία αυτά.



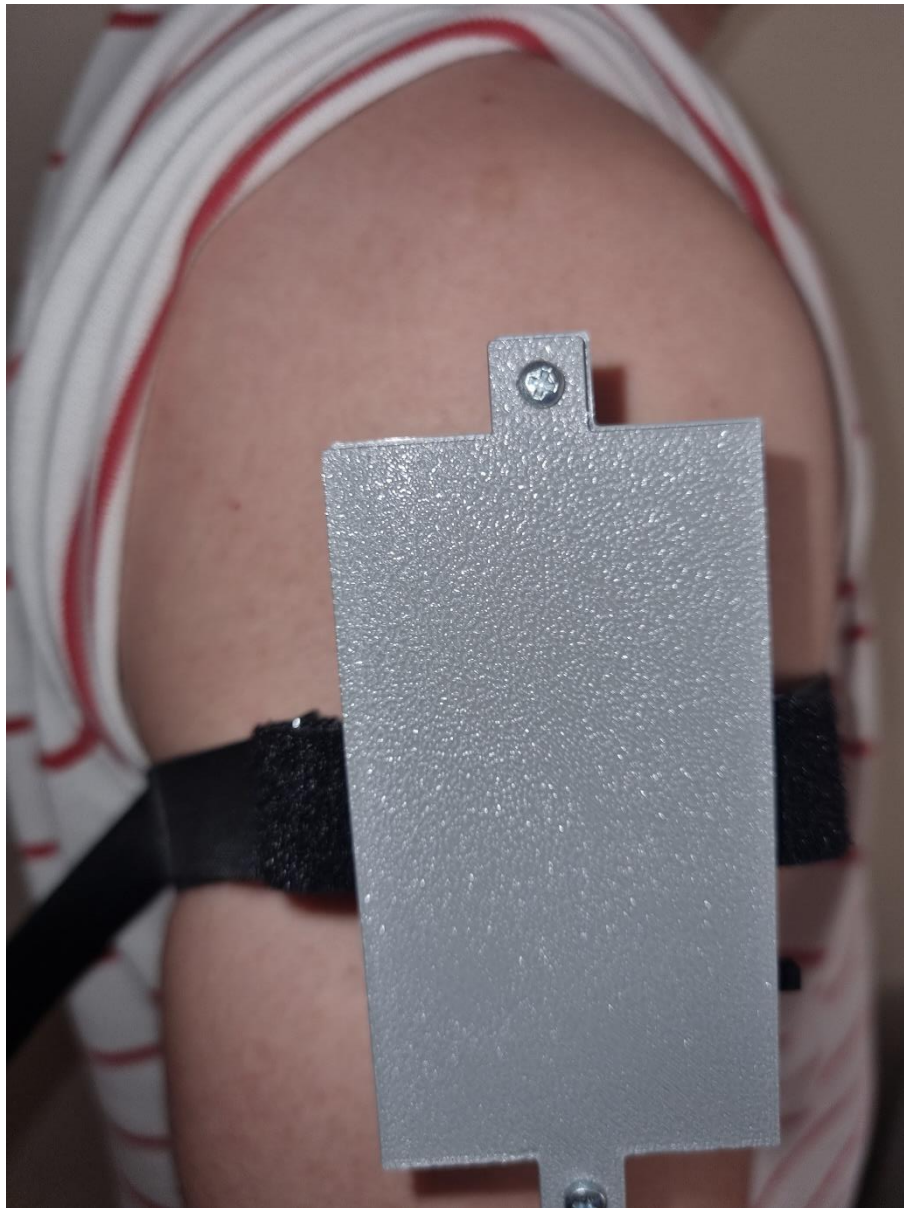
Εικόνα 6-1 Εφαρμογή της συσκευής στο ύψος του καρπού από πάνω.



Εικόνα 6-2 Εφαρμογή της συσκευής στο ύψος του καρπού από κάτω.



Εικόνα 6-3 Εφαρμογή της συσκευής στο ύψος του τρικέφαλου.



Εικόνα 6-4 Εφαρμογή της συσκευής στο ύψος του ώμου.

Αφου ενσωματοθεί πλήρως το σύστημα σε κάθε χρήστη και αυτό βρίσκεται στην κανονική του λειτουργία, αρχίζουν να παράγονται ερεθίσματα προς τον χρήστη μέσω του λογισμικού. Τα ερεθίσματα εισάγονται από άλλο χρήστη σε ανύποπτο χρονικό διάστημα για να εξεταστεί και η γενικότερη αντίληψη της δόνησης πέρα από την ένταση της. Έτσι σε περίπτωση που αποσταλεί κάποια εντολή δόνησης και δεν γίνει αντιληπτή από τον χρήστη, θα καταγραφεί ώστε να εντοπιστούν πιθανές ατασθαλίες του συστήματος. Αυτό θα μπορούσε να βοηθήσει επιπλέον και στην περαιτέρω βελτίωση του συστήματος ώστε η καθοδήγηση των ατόμων με δυσκολίες όρασης να πραγματοποιείται όσο το δυνατόν αποτελεσματικότερα και να μην υπάρχουν κενά στην ενημέρωση του χρήστη.

Επιπλέον, για την καλύτερη εφαρμογή του πειράματος καθώς επίσης και την εξαγωγή ενός πληρέστερου αποτελέσματος, το πείραμα πραγματοποιήθηκε με ένα μεγαλύτερο δημογραφικό εύρος. Με αυτόν τον τρόπο επιλέχθηκε ένα σύνολο 10 ατόμων διαφόρων ηλικιακών ομάδας και φύλλου. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα, την καλύτερη εξαγωγή συμπερασμάτων αναφορικά με την ποιότητα της δόνησης καθώς επίσης και την παρατήρηση συγκεκριμένων μοτίβων που ενδεχομένως να παρατηρούνται ανά κατηγορία χρηστών. Αυτό θα ήταν κάτι το οποίο θα βοηθούσε επίσης στην επιπλέον βελτιστοποίηση σε περίπτωση που παρατηρηθούν συγκεκριμένα άτομα που έχουν δυσκολία στην αναγνώριση της πληροφορίας της δόνησης. Τέλος, σχετικά με τον αριθμό των επαναλήψεων σε κάθε χρήστη ανά μέρος του χεριού γινόταν ο έλεγχος για 5 επαναλήψεις δονήσεων, ώστε να συλλεχθεί ένας αξιόπιστος αριθμός αποτελεσμάτων και επομένως και τα συμπεράσματα να είναι πιο αξιόπιστα και ακριβή.

Παρακάτω καταγράφονται πιο συγκεκριμένα τα χαρακτηριστικά των χρηστών:

- Σύνολο: 10
- Φύλλο:
 - Άνδρες: 6
 - Γυναίκες: 4
- Ηλικία:
 - 21-30: 7
 - 30+: 3

Επιπλέον, σχετικά με την καταγραφή των αποτελεσμάτων, θα συλλέγονται δεδομένα σχετικά με την μελέτη η οποία θα θέλαμε να πραγματοποιηθεί καθώς επίσης και να δοθεί έμφαση σε συγκεκριμένα σημεία για την εξαγωγή αντίστοιχων συμπερασμάτων. Δηλαδή, θα θέλαμε να παρατηρήσουμε τα παρακάτω χαρακτηριστικά ανά σημείο του χεριού, ενώ παράλληλα και ανά δημογραφική κατηγορία χρηστών τόσο σε ακινησία όσο και σε κίνηση:

- Αντίληψη δόνησης
- Ένταση δόνησης
- Ευκολία χρήσης

Αναφορικά με την αντίληψη θα εξετάζεται αν όλες τις φορές ο χρήστης αντιλήφθηκε την δόνησης κατά την αποστολή της εντολής από το λογισμικό. Έπειτα, όσον αφορά την ένταση θα δίνονται αντίστοιχες βαθμολογίες από τον χρήστη σχετικά με το πόσο έντονα ή μη αισθάνθηκε την δόνηση στο χέρι του. Δηλαδή με βάση μια κλίμακα από το 1-5 θα βαθμολογείται πόσο καλά έγινε αντιληπτή η ένταση στον χρήση σε κάθε δόνηση. Τέλος θα σημειώνεται από τον χρήστη κατά πόσο ήταν βολική ο προσαρμογή και η συνολική εμπειρία της συσκευής στο χέρι του κατά την διαδικασία του πειράματος.

Τέλος, αναφορικά με τα δεδομένα που θα παρατηρηθούν, θα συλλεχθούν και θα αναλυθούν αντίστοιχα για να γίνουν ευκολότερα κατανοητά καθώς επίσης και να βγουν ποιοτικότερα συμπεράσματα. Αυτό θα βοηθήσει επίσης και στην παρατήρηση συγκεκριμένων μοτίβων σχετικά με τα αποτελέσματα που μπορούν να εξαχθούν περαιτέρω. Η ανάλυση για κάθε κατηγορία, θα πραγματοποιηθεί κυρίως με την

απεικόνιση των τελικών αποτελεσμάτων σε αντίστοιχα διαγράμματα με τα οποία θα είναι ευκολότερη η κατανόησή τους.

6.3 Το πείραμα σε ακινησία

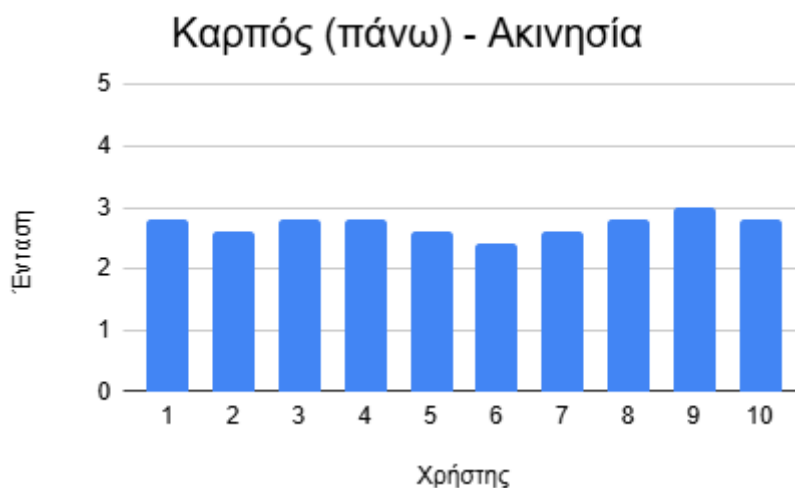
Σε αυτή την ενότητα, όπως έχει ήδη περιγραφεί, ο χρήστης βρίσκεται ακίνητος κατά την διάρκεια χρήσης της συσκευής και επομένως και της λήψης εντολών από αυτή. Με αυτό τον τρόπο θα εξεταστεί σε μια πιο απλή μορφή η αποτελεσματικότητα της συσκευής και θα αναλυθούν τα αποτελέσματα της. Η χρήση θα πραγματοποιηθεί σε τρία διαφορετικά σημεία του χεριού. Δύο στον καρπό από τις δύο πλευρές του μια σε ένα υψηλότερο ύψος και μια στο ύψος του ώμου.

6.3.1 Εφαρμογή στο πάνω μέρος του καρπού

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα νούμερα με βάση τα αποτελέσματα του πειράματος για το συγκεκριμένο σημείο του χεριού σε ακινησία.

Χρήστης	Αντίληψη	ΜΟ Έντασης	Εργονομία
1	100%	2,8	4
2	100%	2,6	4
3	100%	2,8	5
4	100%	2,8	5
5	100%	2,6	4
6	100%	2,4	5
7	100%	2,6	5
8	100%	2,8	4
9	100%	3,0	5
10	100%	2,8	4

Πίνακας 6-1 Αποτελέσματα Χρηστών για το πάνω μέρος του καρπού σε ακινησία.



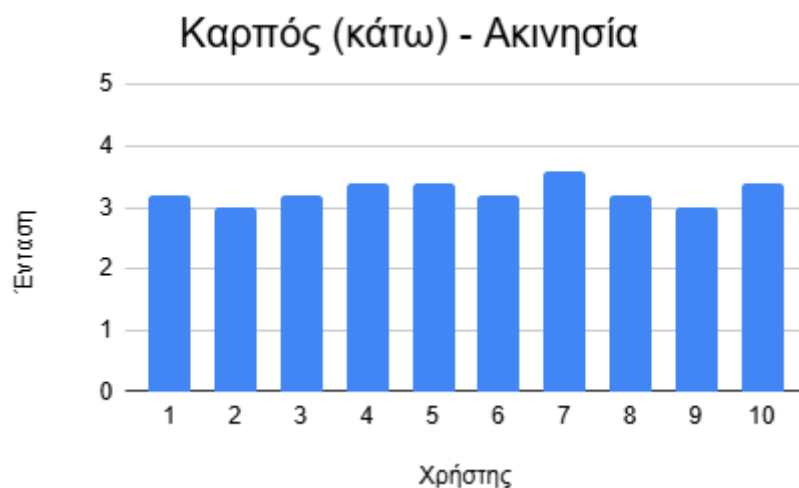
Εικόνα 6-5 Αποτελέσματα ΜΟ Έντασης για το πάνω μέρος του καρπού σε ακινήσια.

6.3.2 Εφαρμογή στο κάτω μέρος του καρπού

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα νούμερα με βάση τα αποτελέσματα του πειράματος για το συγκεκριμένο σημείο του χεριού σε ακινήσια.

Χρήστης	Αντίληψη	ΜΟ Έντασης	Εργονομία
1	100%	3,2	5
2	100%	3,0	4
3	100%	3,2	5
4	100%	3,4	5
5	100%	3,4	4
6	100%	3,2	5
7	100%	3,6	5
8	100%	3,2	4
9	100%	3,0	5
10	100%	3,4	4

Πίνακας 6-2 Αποτελέσματα Χρηστών για το κάτω μέρος του καρπού σε ακινήσια.



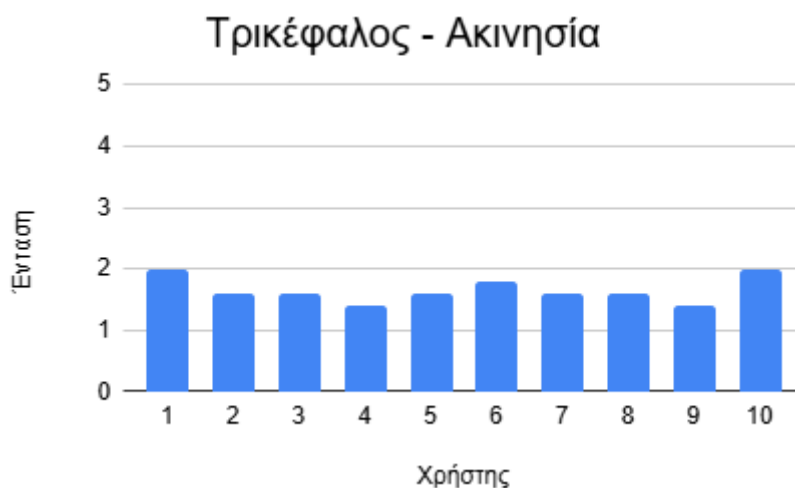
Εικόνα 6-6 Αποτελέσματα ΜΟ Έντασης για το κάτω μέρος του καρπού σε ακινησία.

6.3.3 Εφαρμογή στο ύψος του τρικεφάλου

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα νούμερα με βάση τα αποτελέσματα του πειράματος για το συγκεκριμένο σημείο του χεριού σε ακινησία.

Χρήστης	Αντίληψη	ΜΟ Έντασης	Εργονομία
1	100%	2,0	5
2	100%	1,6	4
3	100%	1,6	5
4	100%	1,4	4
5	100%	1,6	4
6	100%	1,8	5
7	100%	1,6	5
8	100%	1,6	5
9	100%	1,4	4
10	100%	2,0	5

Πίνακας 6-3 Αποτελέσματα Χρηστών για το ύψος του τρικεφάλου σε ακινησία.



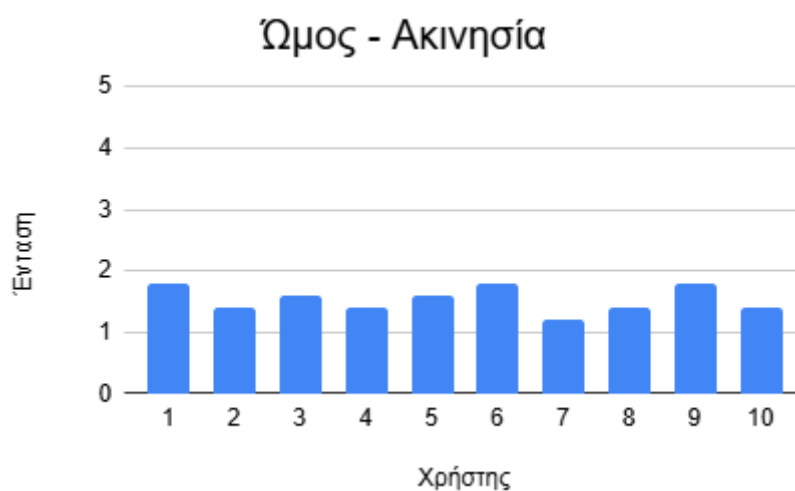
Εικόνα 6-7 Αποτελέσματα ΜΟ Έντασης για το ύψος του τρικεφάλου σε ακινήσια.

6.3.4 Εφαρμογή στο ύψος του ώμου

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα νούμερα με βάση τα αποτελέσματα του πειράματος για το συγκεκριμένο σημείο του χεριού σε ακινήσια.

Χρήστης	Αντίληψη	ΜΟ Έντασης	Εργονομία
1	100%	1,8	3
2	100%	1,4	4
3	100%	1,6	4
4	100%	1,4	3
5	100%	1,6	3
6	100%	1,8	4
7	100%	1,2	3
8	100%	1,4	3
9	100%	1,8	4
10	100%	1,4	3

Πίνακας 6-4 Αποτελέσματα Χρηστών για το ύψος του ώμου σε ακινήσια.



Εικόνα 6-8 Αποτελέσματα MO Έντασης για το ύψος του ώμου σε ακινήσια.

6.4 Το πείραμα σε κίνηση

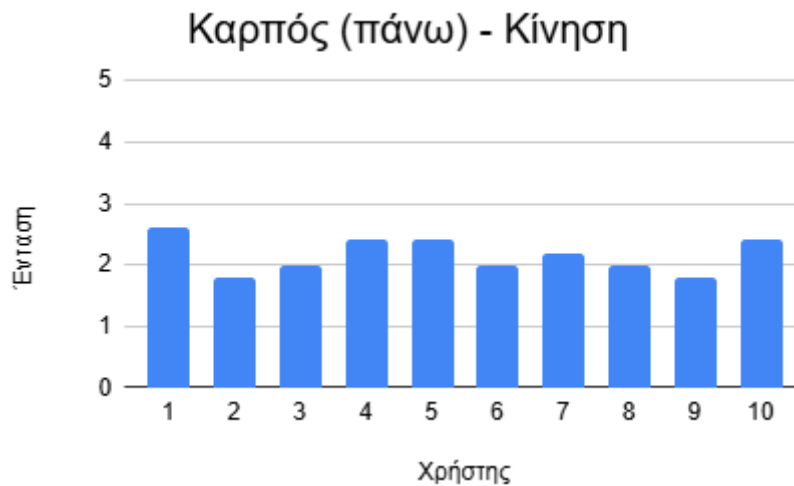
Έχοντας εξετάσει την απλή λειτουργία του συστήματος από τους χρήστες, πραγματοποιήθηκε επιπλέον και το αντίστοιχο πείραμα αυτή τη φορά με τους χρήστες να βρίσκονται σε κίνηση δηλαδή να περπατάνε. Οι χρήστες που συμμετείχαν είναι οι ίδιοι με αυτούς που εξετάστηκαν και στην προηγούμενη διαδικασία. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορούσαμε να παρατηρήσουμε με πιο αξιόπιστο τρόπο και πιθανές διαφορές στους δύο τρόπους που εφαρμόστηκε το πείραμα και επομένως να σημειωθούν και πιο συγκεκριμένα ελλείψεις τους συστήματος για να βελτιωθεί αντίστοιχα.

6.4.1 Εφαρμογή στο πάνω μέρος του καρπού

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα νούμερα με βάση τα αποτελέσματα του πειράματος για το συγκεκριμένο σημείο του χεριού σε κίνηση.

Χρήστης	Αντίληψη	ΜΟ Έντασης	Εργονομία
1	100%	2,6	4
2	100%	1,8	4
3	100%	2,0	5
4	100%	2,4	5
5	100%	2,4	4
6	100%	2,0	5
7	100%	2,2	5
8	100%	2,0	4
9	100%	1,8	5
10	100%	2,4	4

Πίνακας 6-5 Αποτελέσματα Χρηστών για το πάνω μέρος του καρπού σε κίνηση.



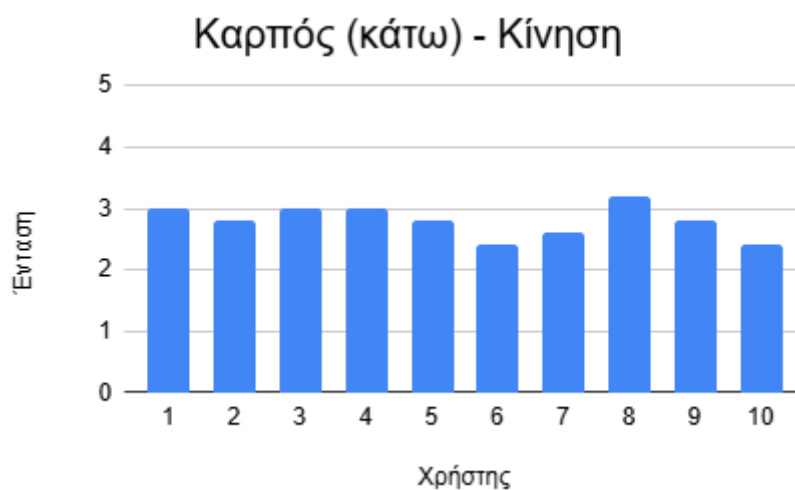
Εικόνα 6-9 Αποτελέσματα ΜΟ Έντασης για το πάνω μέρος του καρπού σε κίνηση.

6.4.2 Εφαρμογή στο κάτω μέρος του καρπού

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα νούμερα με βάση τα αποτελέσματα του πειράματος για το συγκεκριμένο σημείο του χεριού σε κίνηση.

Χρήστης	Αντίληψη	ΜΟ Έντασης	Εργονομία
1	100%	3,0	5
2	100%	2,8	4
3	100%	3.0	5
4	100%	3.0	5
5	100%	2,8	4
6	100%	2,4	5
7	100%	2,6	5
8	100%	3.2	4
9	100%	2.8	5
10	100%	2,4	5

Πίνακας 6-6 Αποτελέσματα Χρηστών για το κάτω μέρος του καρπού σε κίνηση.



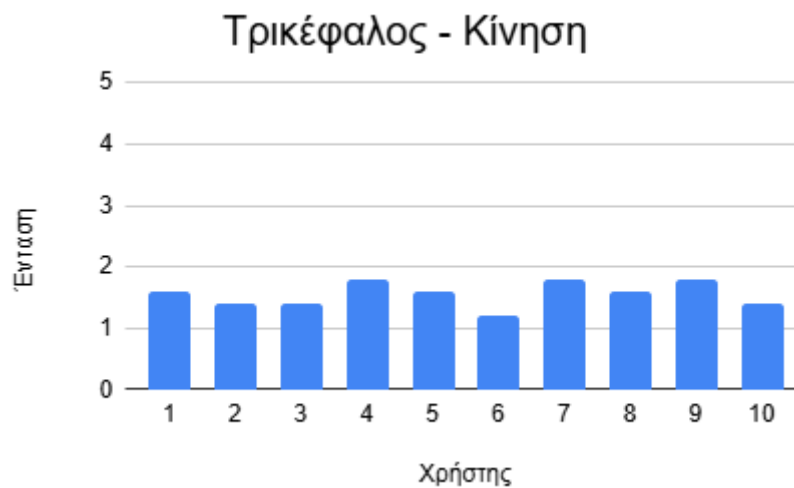
Εικόνα 6-10 Αποτελέσματα ΜΟ Έντασης για το κάτω μέρος του καρπού σε κίνηση.

6.4.3 Εφαρμογή στο ύψος του τρικεφάλου

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα νούμερα με βάση τα αποτελέσματα του πειράματος για το συγκεκριμένο σημείο του χεριού σε κίνηση.

Χρήστης	Αντίληψη	ΜΟ Έντασης	Εργονομία
1	100%	1,6	5
2	100%	1,4	4
3	100%	1,4	5
4	100%	1,8	4
5	100%	1,6	4
6	100%	1,2	5
7	100%	1,8	5
8	100%	1,6	5
9	100%	1,8	4
10	100%	1,4	5

Πίνακας 6-7 Αποτελέσματα Χρηστών για το ύψος του τρικεφάλου σε κίνηση.



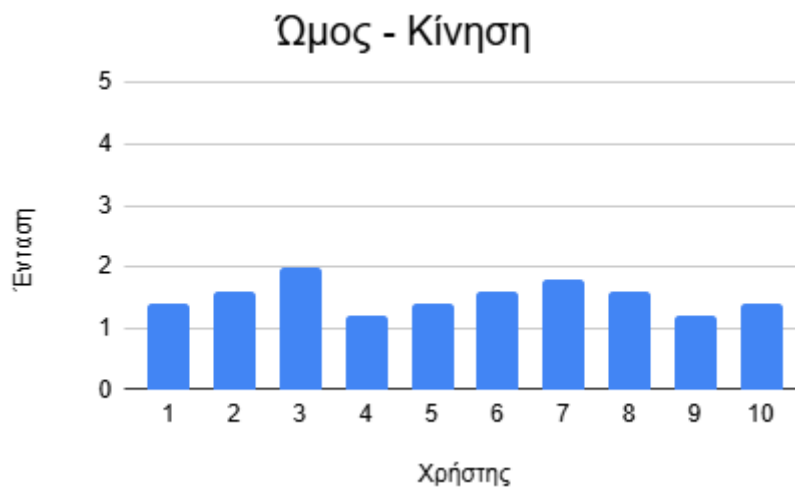
Εικόνα 6-11 Αποτελέσματα ΜΟ Έντασης για το ύψος του τρικεφάλου σε κίνηση.

6.4.4 Εφαρμογή στο ύψος του ώμου

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα νούμερα με βάση τα αποτελέσματα του πειράματος για το συγκεκριμένο σημείο του χεριού σε κίνηση.

Χρήστης	Αντίληψη	ΜΟ Έντασης	Εργονομία
1	100%	1,4	3
2	100%	1,6	4
3	100%	2,0	4
4	100%	1,2	3
5	100%	1,4	3
6	100%	1,6	4
7	100%	1,8	3
8	100%	1,6	3
9	100%	1,2	4
10	100%	1,4	3

Πίνακας 6-8 Αποτελέσματα Χρηστών για το ύψος του ώμου σε κίνηση.



Εικόνα 6-12 Αποτελέσματα ΜΟ Έντασης για το ύψος του ώμου σε κίνηση.

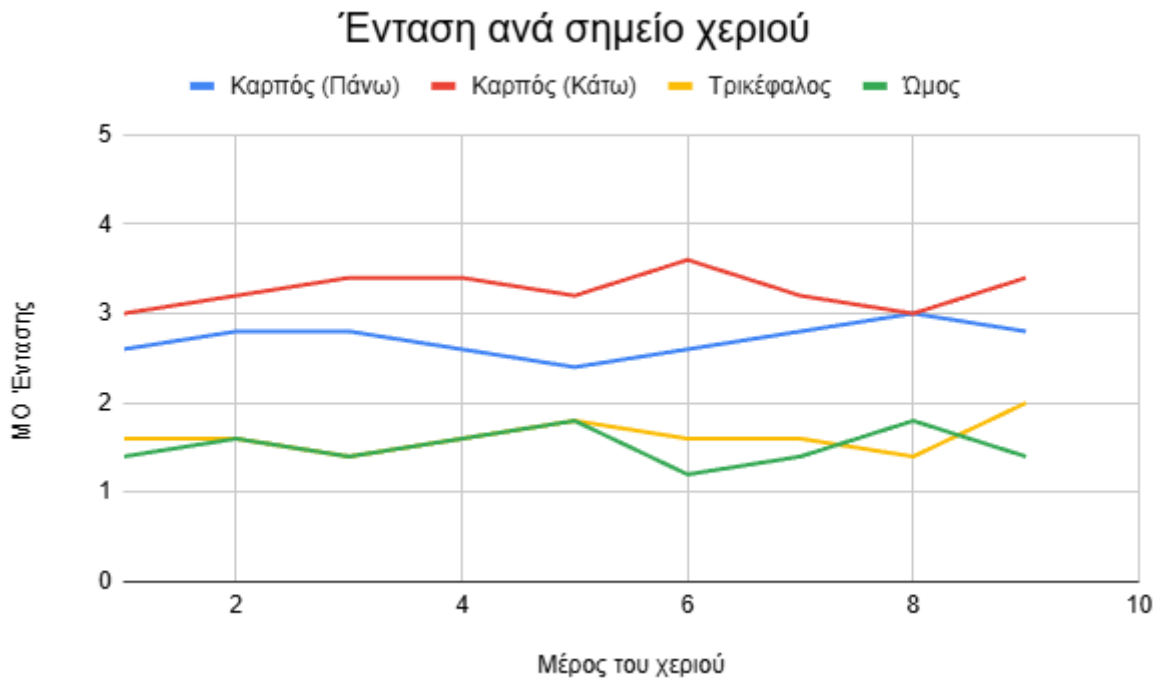
6.5 Αποτελέσματα

Όσον αφορά το τελικό στάδιο του πειράματος, έχουμε τη δυνατότητα να εξάγουμε μια πληθώρα αποτελεσμάτων, βασισμένα στις μετρήσεις των χρηστών τις οποίες πραγματοποιήσαμε. Αυτές ήταν πολύ σημαντικές στο να μπορέσουμε να εξετάσουμε το σύστημα και τις συσκευές που κατασκευάστηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούμε επίσης να εξετάσουμε και την αποτελεσματικότητα του συστήματος με βάση τα κριτήρια που σημειώθηκαν στην αρχή του συγκεκριμένου κεφαλαίου.

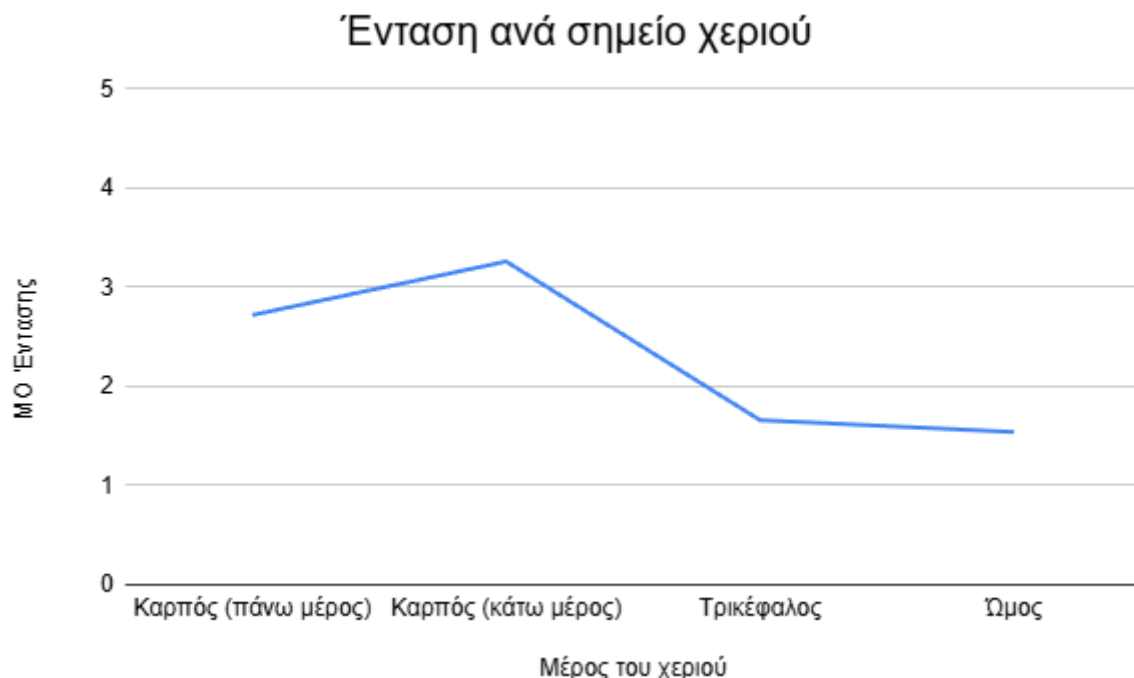
Στην συγκεκριμένη ενότητα, θα αναλυθούν τα αποτελέσματα για κάθε μια από τις υποκατηγορίες τις οποίες έχουν εξεταστεί, καθώς επίσης θα δοθεί και ιδιαίτερη έμφαση στην σύγκριση μεταξύ τους. Τόσο μεταξύ των μεθόδων όσο και μεταξύ των διαφόρων κατηγοριών των χρηστών οι οποίοι έλαβαν μέρος στο συγκεκριμένο πείραμα. Με αυτόν τον τρόπο, θα μπορέσουμε να βγάλουμε συμπεράσματα και για τους χρήστες κάθε αυτούς και για τις διαφορές που ενδεχομένως να υπάρχουν σε κάθε κατηγορία που μελετήθηκε.

Ξεκινώντας από την πρώτη κατηγορία που δεν είναι άλλη από την εφαρμογή του πειράματος σε ακινησία, παρατηρούμε κατευθείαν πως παρατηρείται συγκεκριμένη συμπεριφορά και αντίληψη της έντασης ανά κάθε σημείο του χεριού. Αμέσως, οι κατηγορίες οι οποίες γίνονται πιο εμφανή η πιο αποτελεσματική χρήση της συσκευής είναι το σημείο του καρπού, είτε αυτό περιλαμβάνει το πάνω είτε το κάτω μέρος. Παρατηρείται πως στα σημεία που βρίσκονται πιο ψηλά στο χέρι σημειώθηκε μια μείωση στην αντίληψη της έντασης από τους χρήστες. Δηλαδή ήταν πιο δύσκολο αυτοί να αισθανθούν καλά την δόνηση της συσκευής. Αυτό θα μπορούσε να οφείλεται είτε στην κατασκευή της συσκευής κάθε αυτή είτε στη φυσιολογία των συγκεκριμένων σημείων μιας και παρατηρούνται διαφορές στην αίσθηση του δέρματος, στους μύες και την ανατομία του χεριού. Επιπλέον, συγκριτικά μεταξύ τους δεν παρατηρήθηκε κάποιο από τα δύο σημεία να έχει σημαντικές διαφορές στην αίσθηση της έντασης, καθώς και στα δύο από αυτά οι χρήστες αισθάνθηκαν την δόνηση της συσκευής με τον ίδιο τρόπο. Από την άλλη, όσον αφορά τα σημεία του καρπού παρατηρήθηκε καθολικά μια βελτιωμένη αίσθηση της δόνησης στο κάτω σημείο του καρπού όπου οι χρήστες αναφέρουν πως αντιλαμβάνονται καλύτερα την δόνηση σε αυτό το σημείο του χεριού.

Παρακάτω σημειώνονται αντίστοιχα τα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν για την απεικόνιση των αποτελεσμάτων συγκριτικά για το κάθε σημείο σε κατάσταση ακινησίας του χρήστη. Ενώ στην συνέχεια παρατηρείται και ο μέσος όρος των τιμών αυτών.

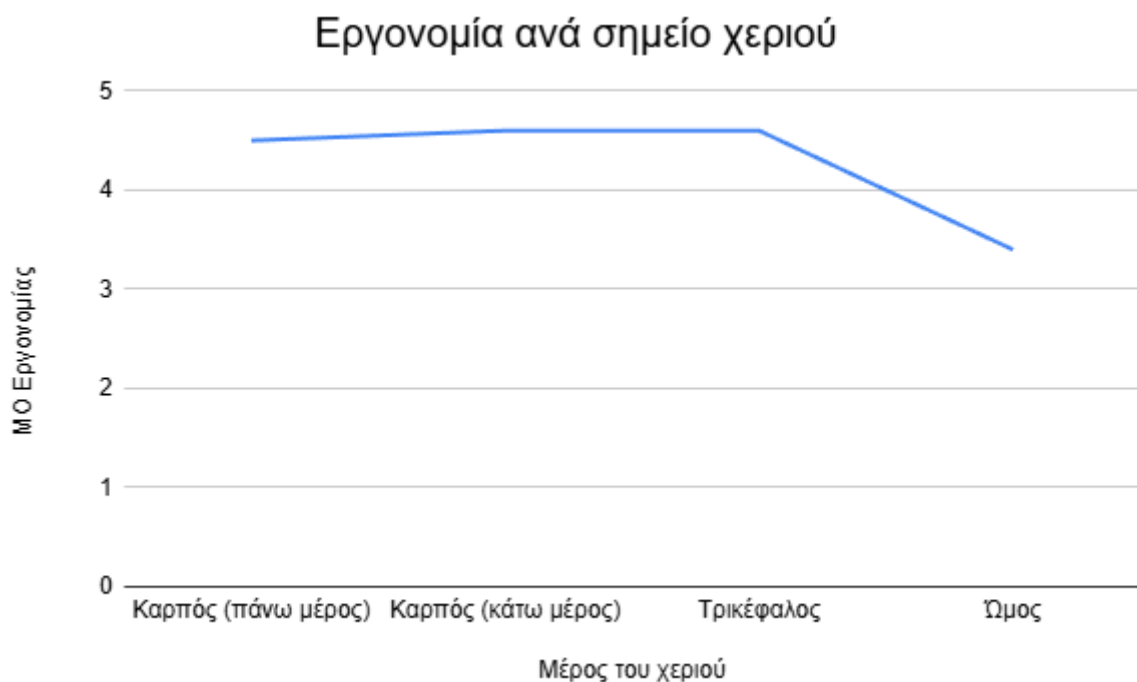


Εικόνα 6-13 Διάγραμμα απεικόνισης των τιμών της έντασης που αντλήθηκε κάθε χρήστης σε κάθε ένα από τα διάφορα σημεία του χεριού που χρησιμοποιήθηκε η συσκευή.



Εικόνα 6-14 MO Έντασης ανα σημείο χεριού για όλους τους χρήστες σε κατάσταση ακινησίας.

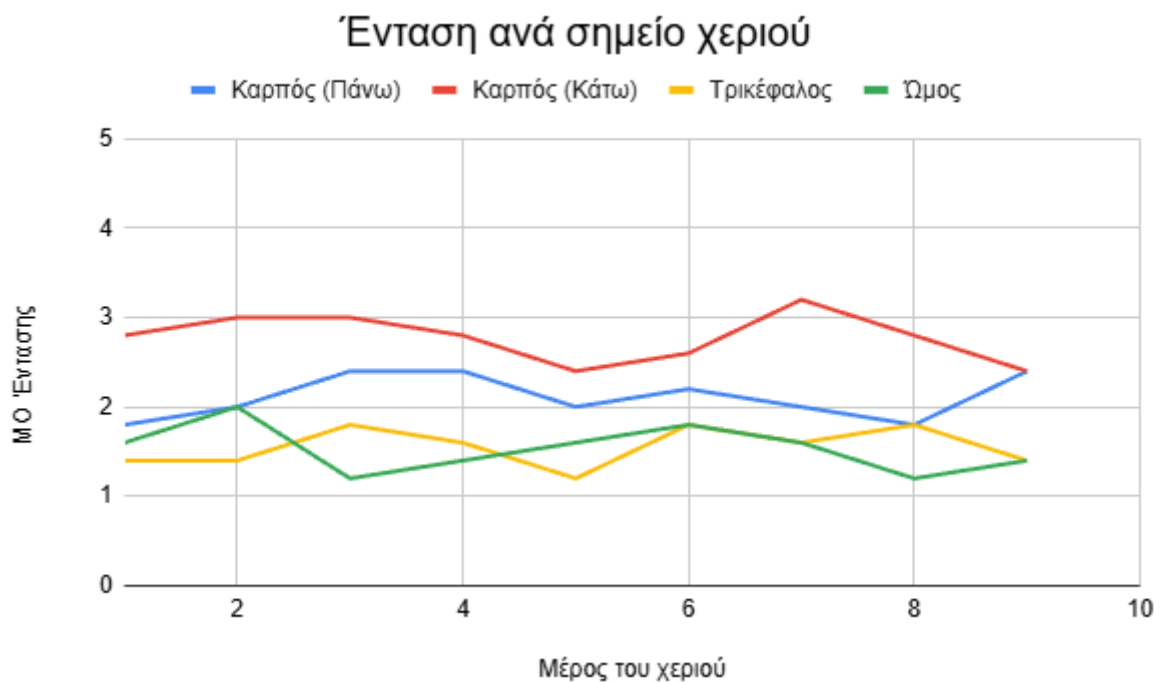
Καταλλήγοντας για την συγκεκριμένη κατηγορία του πειράματος, είναι σημαντικό να αναφερθεί πως καθ' όλη την διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος, όλες οι δονήσεις έγιναν αντιληπτές από τους χρήστες. Δηλαδή, όλοι τους αντιλήφθηκαν κάθε φορά που η συσκευή ήταν ενεργοποιημένη. Αυτό αποτελεί ένα αξιοσημείωτο επίτευγμα καθώς εγκυαται σε ένα πάρα πολύ μεγάλο ποσοστό για την αξιοπιστία χρήσης της συσκευής. Επιπλέον, όσον αφορά την εργονομία και το κατά πόσο ήταν βολική η τοποθέτηση και η εμπειρία της συσκευής από τους χρήστες, σημειώθηκαν πολύ θετικά αποτελέσματα από αυτούς. Τη μόνη εξαίρεση αποτελεί η τοποθέτηση της συσκευής στο σημείο του ώμου όπου οι χρήστες επισήμαναν μια μικρή δυσκολία και δυσαρέσκεια για την συγκεκριμένη περιοχή του χεριού. Κατα όλα τα άλλα σημεία δεν υπήρχαν ιδιαίτερα προβλήματα οι συμμετέχοντες του πειράματος έμειναν ευχαριστημένοι από την συνολική εμπειρία τους.



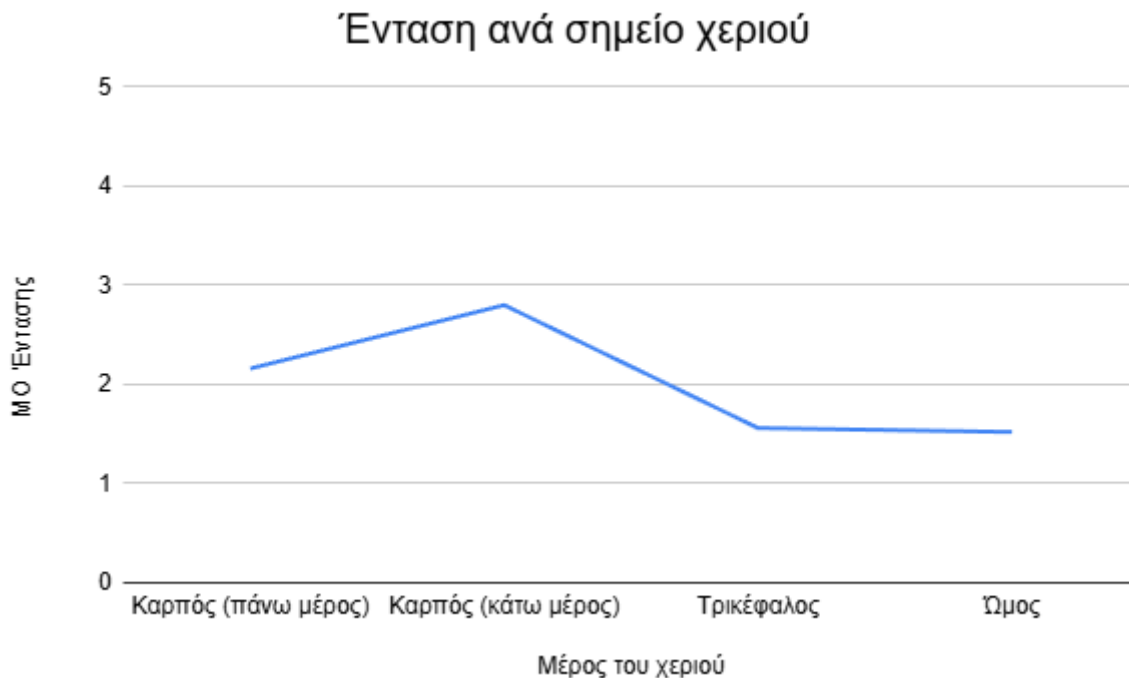
Εικόνα 6-15 Διάγραμμα απεικόνισης της εργονομίας της συσκευής για κάθε ένα από τα σημεία του χεριού που αυτή χρησιμοποιήθηκε.

Περνώντας στο επόμενο σκέλος του πειράματος, που αφορά την εμπειρία και αντίληψη των χρηστών, ανά τα διάφορα σημεία του χεριού αυτή τη φορά ενώ βρίσκονται σε κίνηση και περπατάνε. Παρατηρήθηκαν αντίστοιχα αποτελέσματα με αυτά που σημειώθηκαν και κατά την χρήση όσον αφορά σε ακινησία, καθώς το επικρατέστερο σημείο όπου η δόνηση γινόταν περισσότερο αντιληπτή, ήταν αυτό το καρπού και πιο συγκεκριμένα στο κάτω μέρος του. Στην συνέχεια, το επόμενο σημείο όπου σημείωσε την καλύτερη επίδοση ήταν όπως και προηγουμένως, το πάνω μέρος του καρπού. Ενώ τελικά τα άλλα δύο σημεία στο πάνω μέρος του χεριού είχαν αντίστοιχα χειρότερα αποτελέσματα όπως και προηγουμένως. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα η δόνηση να γίνεται αντιληπτή με τον ίδιο τρόπο τόσο σε κίνηση όσο και σε ακινησία όσον αφορά τα διάφορα σημεία του χεριού που εξετάστηκαν.

Παρακάτω σημειώνονται αντίστοιχα τα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν για την απεικόνιση των αποτελεσμάτων συγκριτικά για το κάθε σημείο σε κατάσταση κίνησης του χρήστη. Ενώ στην συνέχεια παρατηρείται και ο μέσος όρος των τιμών αυτών.



Εικόνα 6-16 Διάγραμμα απεικόνισης των τιμών της έντασης που αντλήθηκε κάθε χρήστης σε κάθε ένα από τα διάφορα σημεία του χεριού που χρησιμοποιήθηκε η συσκευή (σε κίνηση).



Εικόνα 6-17 MO Έντασης ανα σημείο χεριού για όλους τους χρήστες σε κατάσταση κίνησης.

Συνεχίζοντας, όσον αφορά την αντίληψη της δόνησης, όπως και προηγουμένως, τα αποτελέσματα είναι πάρα πολύ θετικά αναφορικά με το αν ο κάθε χρήστης ήταν σε θέση να αναγνωρίσει αν δονήθηκε η συσκευή. Και σε αυτό το πείραμα που πραγματοποιήθηκε, οι συμμετέχοντες του πειράματος ήταν όλοι σε θέση να αναγνωρίσουν σε ποσοστό 100% όλες τις φορές όπου ο κινητήρας δόνησης ενεργοποιήθηκε. Αυτό είναι πολύ σημαντικό για την χρήση της συσκευής καθώς η αποτελεσματικότητα της ακόμα και σε πιο πραγματικές συνθήκες χρήσης είναι πολύ σημαντικές. Καθώς είναι πολύ σημαντικό ο χρήστης που θα λαμβάνει τα ερεθίσματα να μπορεί να αντιληφθεί κάθε εντολή που θα έρχεται από το λογισμικό ελέγχου. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορεί να κατευθύνεται χωρίς προβλήματα και παρεμβολές ή θέτοντας την γενικότερη ασφάλειά του και ακεραιότητα του σε κίνδυνο.

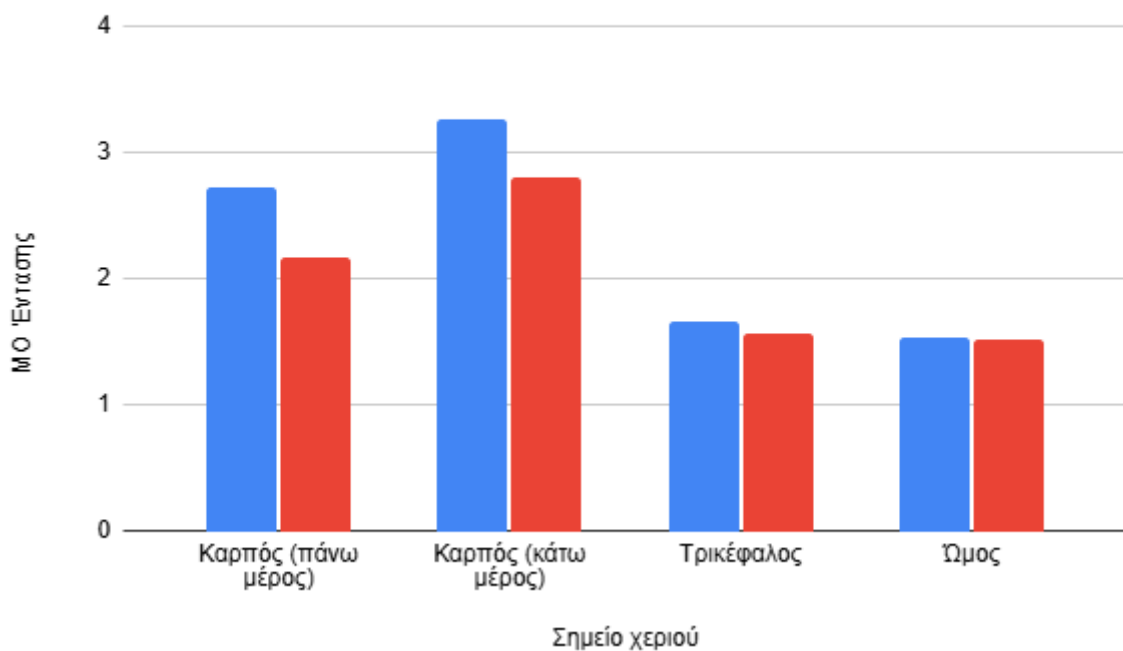
Ειδικότερα, περνώντας στην σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο διαφορετικών μεθόδων που εφαρμόστηκαν στο πείραμα που πραγματοποιήθηκε, παρατηρήθηκε μια μικρή μείωση της επίδοσης κατά την χρήση σε κίνηση. Αυτό θα μπορούσε να είναι λογικό από την στιγμή που μπαίνουν και άλλοι παράγοντες κατά την διεξαγωγή του συγκεκριμένου πειράματος, μιας και η κίνηση μπορεί να αποτελέσει έναν έξτρα παράγοντα κραδασμών ή ακόμα μπορεί να επηρεάσει και την εφαρμογή της συσκευής σε κάθε σημείο του χεριού. Πράγμα που τελικά μπορεί να οδηγήσει και αυτό στην μείωση την αναγνώρισης της έντασης της δόνησης από τον κάθε χρήστη. Πιο συγκεκριμένα, η μείωση ήταν πιο σημαντική και αντίστοιχου μεγέθους στα σημεία του καρπού, παρατηρώντας μείωση της τάξης του 15-

20% για το σημείο του καρπού. Ενώ αντιθέτως, όσον αφορά τα σημεία του τρικεφάλου και του ώμου οι διαφορές ήταν μικρότερη του 5% και για τις δύο περιπτώσεις. Πιο συγκεκριμένα, για την πάνω μεριά του καρπού η μείωση στην αντίληψη ήταν 20% ενώ για την κάτω μεριά του καρπού υπήρξε επίσης μείωση της τάξης του 14%.

Παρακάτω, παρουσιάζονται μέσω διαγράμματος όλες οι τιμές των ΜΟ όσον αφορά την ένταση για κάθε σημείο του χεριού συγκριτικά για την κάθε μέθοδο του πειράματος σε σχέση με την κατάσταση που βρισκόταν ο χρήστης.

Σύγκριση Έντασης

■ Ένταση σε Ακίνησία ■ Ένταση σε Κίνηση



Εικόνα 6-18 Σύγκριση του ΜΟ Έντασης για τις δύο διαφορετικές μεθόδους διεξαγωγής του πειράματος.

Τέλος, σημειώνεται πως τα γενικότερα αποτελέσματα αλλά και η γενικότερη εντύπωση που δόθηκε αφήνει πολύ θετικά αποτελέσματα σχετικά με την αποτελεσματικότητα της συσκευής αλλά και των παρατηρήσεων που έγιναν. Όλα τα παραπάνω μπορούν να αποτελέσουν μια πολύ καλή αρχή για την περαιτέρω ανάπτυξη και βελτίωση του συγκεκριμένου συστήματος καθώς επίσης και την εφαρμογής του σε πραγματικό περιβάλλον, με χρήστες που έχουν προβλήματα όρασης κάτω από πραγματικές συνθήκες.

Κεφάλαιο 7ο: Συμπεράσματα και Προοπτικές

7.1 Τελικά Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την ανάπτυξη ενός καινοτόμου συστήματος καθοδήγησης για άτομα με προβλήματα όρασης, το οποίο βασίζεται σε μικροελεγκτές Arduino και λειτουργεί με τη χρήση ασύρματης επικοινωνίας Wi-Fi. Μέσω της χρήσης ενός υπολογιστή που αποστέλλει εντολές, ενεργοποιείται ένας κινητήρας δόνησης τοποθετημένος στο σώμα του χρήστη, προσφέροντας πληροφορίες καθοδήγησης με τη μορφή δονητικού ερεθίσματος. Αυτή η μέθοδος ανοίγει νέες δυνατότητες στην τεχνολογία υποστήριξης ατόμων με μειωμένη όραση, καθώς προσφέρει μια αθόρυβη και αποτελεσματική οδό επικοινωνίας και προσανατολισμού, χωρίς να απαιτείται η ακοή ή η όραση του χρήστη.

Τα τελικά συμπεράσματα της εργασίας συνοψίζονται σε πολλαπλά επίπεδα – τεχνολογικό, χρηστικό και κοινωνικό. Σε τεχνολογικό επίπεδο, αποδείχθηκε ότι το σύστημα είναι αποδοτικό, λειτουργεί με ικανοποιητική ταχύτητα και ακρίβεια, και μπορεί να αποδώσει τις απαιτούμενες εντολές χωρίς σημαντικές καθυστερήσεις. Η χρήση του UDP ως πρωτοκόλλου επικοινωνίας επιβεβαίωσε την καταλληλότητά του για εφαρμογές πραγματικού χρόνου όπου προέχει η άμεση απόκριση. Παράλληλα, η δυνατότητα του χρήστη να λαμβάνει απτικές πληροφορίες από συγκεκριμένα σημεία του σώματος – όπως ο καρπός ή ο τρικέφαλος – βελτιώνει τη λειτουργικότητα του συστήματος σε πραγματικά σενάρια χρήσης.

Η εργονομία της συσκευής αποτέλεσε κρίσιμο παράγοντα. Η 3D σχεδίαση της θήκης έλαβε υπόψη την ανάγκη για άνεση, σταθερότητα και ευκολία τοποθέτησης. Το αποτέλεσμα ήταν μια φορητή, ευέλικτη κατασκευή που μπορεί να ενσωματωθεί στην καθημερινότητα των ατόμων με προβλήματα όρασης χωρίς να προσθέτει περιττό βάρος ή δυσκολία χρήσης. Ενώ παράλληλα η γνώμη που λήφθηκε από τους χρήστες που φόρεσαν και χρησιμοποίησαν τη συσκευή ήταν πολύ θετική στις περισσότερες των περιπτώσεων.

Σε χρηστικό επίπεδο, οι δοκιμές που διεξήχθησαν έδειξαν ότι οι χρήστες ανταποκρίνονται καλά στο απτικό ερέθισμα, ειδικά όταν αυτό εφαρμόζεται σε συγκεκριμένα σημεία του χεριού. Η ένταση της δόνησης κρίθηκε ικανοποιητική, ενώ και η διάρκεια της ενεργοποίησης αποδείχθηκε επαρκής για την ορθή ερμηνεία του σήματος. Σημαντική παρατήρηση ήταν ότι η αποτελεσματικότητα μειωνόταν σε μικρό βαθμό όταν ο χρήστης βρισκόταν σε κίνηση – κάτι αναμενόμενο λόγω της φύσης των δοκιμών, ωστόσο παραμένει διαχειρίσιμο και είναι κάτι το οποίο με μικρές προσαρμογές θα μπορούσε πολύ εύκολα να βελτιωθεί σε έναν πολύ σημαντικό βαθμό.

Αξίζει να σημειωθεί πως το σύστημα, παρότι ακόμα σε πειραματικό στάδιο, δείχνει την ικανότητα του να εφαρμοστεί σε ρεαλιστικές συνθήκες, εφόσον υπάρξει περαιτέρω τεχνική ενίσχυση και δοκιμές σε μεγαλύτερο πληθυσμό χρηστών. Η προσέγγιση της εργασίας εστιάζει στην καινοτομία και την

πρακτικότητα, δείχνοντας έναν δρόμο για τεχνολογίες που ενδυναμώνουν την ανεξαρτησία και αυτονομία των ατόμων με αναπηρία.

Σε κοινωνικό επίπεδο, η εργασία συμβάλλει στον στόχο της ισότιμης πρόσβασης των ατόμων με προβλήματα όρασης στον δημόσιο χώρο και την τεχνολογία. Η ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων δεν είναι μόνο τεχνολογική πρόκληση, αλλά και ηθική υποχρέωση μιας κοινωνίας που επιδιώκει την ενσωμάτωση όλων των μελών της. Η εργασία αποτελεί βήμα προς αυτή την κατεύθυνση.

Τέλος, η επιτυχία της εφαρμογής βασίστηκε σε μια ισορροπημένη συνύπαρξη τεχνολογικών και ανθρωποκεντρικών προσεγγίσεων, κάτι που την καθιστά ικανή να λειτουργήσει ως βάση για μελλοντικές υλοποιήσεις και επεκτάσεις. Το γεγονός ότι το σύστημα είναι ανοιχτό, προσβάσιμο και βασισμένο σε ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες (Arduino, Wi-Fi, Python) ενισχύει τη δυνατότητα ευρύτερης χρήσης, βελτίωσης και διάδοσης.

7.2 Προοπτικές για εξέλιξη

Η επιτυχής υλοποίηση του συστήματος καθοδήγησης με δόνηση μέσω μικροελεγκτή Arduino αποτελεί μια σημαντική αφετηρία για την εξέλιξη και εμπλουτισμό του έργου. Παρότι το σύστημα παρουσιάζει ικανοποιητική λειτουργικότητα, υπάρχουν σημαντικά περιθώρια εξέλιξης τόσο στο τεχνικό σκέλος όσο και στην εμπειρία χρήσης. Το συγκεκριμένο σύστημα αναπτύχθηκε σε πρωτότυπο επίπεδο και αποτελεί μια αρχή προς ένα συγκεκριμένο χρηστικό επίπεδο ώστε να μπορέσει πρακτικά να χρησιμοποιηθεί πρακτικά από συνανθρώπους μας. Ωστόσο για να μπορέσει να φτάσει τελικά αυτό το στάδιο θα χρειαστούν επιπλέον βελτιστοποιήσεις και προσθήκες που θα μπορέσουν να κάνουν αυτή τη συσκευή ακόμα πιο προσβάσιμη προς ολό ένα και περισσότερα άτομα που την χρειάζονται στην καθημερινότητά τους.

Οι προοπτικές για εξέλιξη που προτίθενται περιλαμβάνουν τα εξής βασικά πεδία:

1. Βελτίωση της εργονομίας και φορητότητας

Η υπάρχουσα κατασκευή παρότι εργονομική, μπορεί να επανασχεδιαστεί με στόχο τη μείωση του μεγέθους και του βάρους της. Η ενσωμάτωση πιο μικρών και ενεργειακά αποδοτικών εξαρτημάτων, όπως επαναφορτιζόμενων μπαταριών, θα προσέφερε σημαντικά πλεονεκτήματα. Επιπλέον, θα μπορούσε να διερευνηθεί η δυνατότητα ένταξης του κινητήρα δόνησης σε ρούχα ή wearables (π.χ. έξυπνα γάντια ή ζώνες), αυξάνοντας τη διακριτικότητα και τη λειτουργικότητα. Μια ακόμα προσθήκη θα αποτελούσε και η καλύτερη προσαρμογή της συσκευής του μικροελεγκτή μέσω βελτιστοποίησης του συστήματος που κουμπώνει και προσαρμόζει στο χέρι του χρήστη.

2. Επέκταση της λειτουργικότητας

Το σύστημα μπορεί να εμπλουτιστεί με περισσότερες μορφές ερεθισμάτων, πέραν της δόνησης – όπως η θερμική ανατροφοδότηση ή ηχητικές ειδοποιήσεις για πιο σύνθετη καθοδήγηση. Ακόμη, θα μπορούσε να υποστηρίζει περισσότερες κατευθυντικές οδηγίες (π.χ. "στρίψε δεξιά", "προσοχή εμπόδιο") μέσω διαφοροποίησης στον τύπο, την ένταση ή την διάρκεια της δόνησης. Ακόμα μια πολύ χρήσιμη προσθήκη θα μπορούσε να είναι και η διαχείριση της συγκεκριμένης συσκευής με την χρήση φωνητικών εντολών που θα έκαναν την εμπειρία του χρήστη ακόμα πιο βέλτιστη.

3. Ανάπτυξη εφαρμογής χρήστη / ελεγκτή

Αντί του υπολογιστή, το σύστημα θα μπορούσε να ελέγχεται μέσω μιας εφαρμογής κινητού τηλεφώνου, προσφέροντας μεγαλύτερη φορητότητα και αυτονομία. Μια τέτοια εφαρμογή θα μπορούσε να ενσωματώνει σύστημα χαρτογράφησης ή πλοήγησης, ώστε να δημιουργείται ένα πλήρες σύστημα καθοδήγησης για τον χρήστη σε πραγματικό χρόνο, μέσω GPS. Παράλληλα, θα μπορούσε επιπλέον να προστεθεί και επιπλέον συσκευή για την εισαγωγή ερεθισμάτων και την αναγνώριση εμποδίων όπου με την σειρά τους θα περνάνε στο σύστημα ελέγχου ώστε αυτό να παίρνει αποφάσεις και να κατευθύνει τον χρήστη με μεγαλύτερη ακρίβεια.

4. Προσθήκη τεχνητής νοημοσύνης

Μελλοντικά, η ενσωμάτωση στοιχείων τεχνητής νοημοσύνης θα μπορούσε να επιτρέψει στο σύστημα να "μάθει" από τις κινήσεις και τις αντιδράσεις του χρήστη, βελτιστοποιώντας τη συμπεριφορά του ανάλογα με το προφίλ και τις συνήθειες του καθενός και κυρίως τις διαφορετικές ανάγκες που ενδεχομένως να έχει κάποιος.

5. Πειραματική αξιολόγηση σε φυσικές συνθήκες

Μέχρι τώρα, οι δοκιμές έγιναν σε ελεγχόμενο περιβάλλον. Ένα επόμενο βήμα θα ήταν η εφαρμογή και αξιολόγηση του συστήματος σε πραγματικές συνθήκες (π.χ. σε δρόμο, πεζοδρόμιο, με εμπόδια), με τη συμμετοχή ατόμων με πραγματικά προβλήματα όρασης, ώστε να εντοπιστούν σημεία προς βελτίωση σε πρακτικό επίπεδο.

6. Ασφάλεια και αξιοπιστία

Η χρήση του UDP ως πρωτοκόλλου μετάδοσης δεδομένων αν και γρήγορη, δεν προσφέρει εγγύηση αξιοπιστίας. Μπορεί να ενσωματωθεί επιπλέον επίπεδο ελέγχου ή εναλλακτικά να χρησιμοποιηθεί

πρωτόκολλο όπως το MQTT με QoS (Quality of Service). Παράλληλα, κρίνεται απαραίτητο να αναπτυχθούν μηχανισμοί εφεδρείας και ειδοποίησης σε περιπτώσεις αποσύνδεσης ή σφάλματος.

Η προοπτική αυτής της εργασίας είναι ενθαρρυντική και καθιστά σαφές ότι η τεχνολογία μπορεί να αποτελέσει πολύτιμο σύμμαχο στην ανεξαρτησία των ατόμων με προβλήματα όρασης. Η μελλοντική εξέλιξή της, με γνώμονα τον χρήστη, την ασφάλεια και την διαλειτουργικότητα, μπορεί να οδηγήσει σε ένα ολοκληρωμένο, λειτουργικό και κοινωνικά χρήσιμο προϊόν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Bharadwaj, A., Shaw, S. B., & Goldreich, D. (2019). Comparing tactile to auditory guidance for blind individuals. *Frontiers in Human Neuroscience*.
- [2] Khusro, S., Shah, B., Khan, I., & Rahman, S. (2022). Haptic feedback to assist blind people in indoor environment using vibration patterns.
- [3] Whitehead, C., & Grider, M. H. (2023). Neuroanatomy, Touch Receptor. In StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing.
- [4] Bajwa, H., & Al Khalili, Y. (2023). Physiology, Vibratory Sense. In StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing.
- [5] Iheanacho, F., & Vellipuram, A. R. (2023). Physiology, Mechanoreceptors. In StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing.
- [6] Chouvardas, V. G., Miliou, A. N., & Hatalis, M. K. (2008). Tactile displays: Overview and recent advances.
- [7] Kandel, E. R., Schwartz, J. H., & Jessell, T. M. (2013). *Principles of Neural Science* (5th ed.). McGraw-Hill.
- [8] Guerreiro, J., Lagoa, P., & Guerreiro, T. (2015). Navigation assistance for blind people using tactile and audio feedback. In *Proceedings of the 17th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility*
- [9] Sadeghi, S., Fouladgar, M., & Aliyari, H. (2021). Vibrotactile interface design to support blind pedestrians. *International Journal of Human-Computer Interaction*
- [10] Arduino, “Arduino® Nano ESP32,” User Manual ABX00083 datasheet.
- [11] Arduino, “Arduino® UNO R4 WiFi,” User Manual ABX00087 datasheet.

- [12] eTechnophiles, “Guide to Arduino Nano ESP32 Pinout, Specs & Hardware”, Ankit Negi, [Online], <https://www.etechnophiles.com/arduino-nano-esp32-pinout-specs/>
- [13] DEEPBLUE MBEDDED, “Arduino Vibration Motor Code, Circuit, Control (Tutorial)”, Khaled Magdy [Online], <https://deepbluembedded.com/arduino-vibration-motor-code-circuit/>
- [14] Love, J. (2010). Practical Arduino: Cool Projects for Open Source Hardware. Apress
- [15] Ford, N., & Reas, C. (2022). Getting Started with Arduino: The Open Source Electronics Prototyping Platform (4η έκδ.). Maker Media, Inc.
- [16] Ivan Kravets, "PlatformIO: Modern Embedded Development Ecosystem", GitHub Repository: <https://github.com/platformio/platformio-core>
- [17] NOVART, “What Is Fusion 360? Key Uses, Benefits, and Features in 2025”, Anindita, [Online], Dec 2022, <https://www.novatr.com/blog/what-is-fusion-360#:~:text=Fusion%20360%20is%20a%203D,broken%20down%20into%20smaller%20components.>
- [18] AUTODESK, “Autodesk Fusion Features”, [Online], <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/features>
- [19] Tanenbaum, A. S., & Wetherall, D. J. (2011). Computer Networks (5th ed.).
- [20] Kurose, J. F., & Ross, K. W. (2021). *Computer Networking: A Top-Down Approach* (8th ed.). Pearson.
- [21] Postel, J. (1980). User Datagram Protocol (RFC 768)
- [22] fineVPN, “UDP (User Datagram Protocol)”, <https://finevpn.org/glossary/udp-user-datagram-protocol/>
- [23] Comer, D. E. (2018). *Internetworking with TCP/IP Volume One* (6th ed.). Pearson.
- [24] Stevens, W. R. (1994). TCP/IP Illustrated, Volume 1: The Protocols. Addison-Wesley.

[25] Richardson, L., & Ruby, S. (2007). RESTful Web Services. O'Reilly Media.

[26] Postman API Platform (2024). “Best practices and API development tools.”, [Online], <https://www.postman.com/>

[27] Stevens, W. R., Fenner, B., & Rudoff, A. M. (2003). UNIX Network Programming: Volume 1: The Sockets Networking API (3η έκδ.). Addison-Wesley.

[18] Richardson, L., & Ruby, S. (2007). RESTful Web Services. O'Reilly Media.

[29] Python Software Foundation. (2023). Python socket — Low-level networking interface, [Online], <https://docs.python.org/3/library/socket.html>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : Ο ΚΩΔΙΚΑ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ

main.cpp

```
#include <Arduino.h>

#include "staurosd_defines.h"
#include "staurosd_network_lib.h"
#include "staurosd_sensors_lib.h"

//===== VARIABLES =====
uint8_t Command[COMMAND_SIZE];
unsigned long StartTime;
unsigned long CurrentTime;
unsigned long ElapsedTime;
//=====

void setup() {
  Serial.begin(Serial_Port);

  Serial.println("Sensors setup begin");
  Sensors_Setup();
  Serial.println("Sensors are ready!");

  Serial.println("Network setup begin");
  Network_Setup();
  Serial.println("Network is ready!");

  Sensor_Vibration();

  Serial.println("Handshake");
  server_handshake();
  Serial.println("Handshake Completed");

  Sensor_Vibration();
}

void loop() {
  #ifdef COUNT_HZ
    StartTime = millis();
  #endif

  // delay(10);

  // Check for command
  #ifdef DEBUG_MSG
    Serial.println("=====");
    Serial.println("Checking for Command");
    Serial.println("=====");
  #endif
  check_for_command(Command);
}
```

```

#ifdef DEBUG_MSG
  Serial.print("Command: ");
  for (int i=0; i<COMMAND_SIZE; i++){
    Serial.print(char(Command[i]));
  }
  Serial.println();
#endif

// delay(10);

// Execute Command
if (Command[0] && Command[1] && Command[2] && Command[3]) { // In case there is a command
execute it
  Serial.println("=====");
  Serial.println("Executing Command...");
  Serial.println("=====");
  execute_command(Command);
}

// Reset memory on Command Variable
memset(Command, 0, COMMAND_SIZE);

// Count Time for each loop.
#ifdef COUNT_HZ
  CurrentTime = millis();
  ElapsedTime = CurrentTime - StartTime;
  Serial.print("Elapsaed time: ");
  Serial.println(ElapsedTime);
#endif
}

```

network_lib.cpp

```
#include "staurosd_network_lib.h"
#include <WiFi.h>

//===== VARIABLES =====
// UDP settings
WiFiUDP udp;
char incomingPacket[255]; // Buffer for incoming packets

// Wifi settings
char ssid[] = SECRET_SSID; // your network SSID (name)
char pass[] = SECRET_PASS; // your network password (use for WPA, or use as key for WEP)

// uint8_t CLIENT_HANDSHAKE[13] = "HELLO_SERVER";
uint8_t CLIENT_HANDSHAKE[2] = "L";

// Handshake
int handshake_complete = 0;

#ifdef WIFI_AP
  int status = WL_IDLE_STATUS;
#endif
//=====

void Network_Setup(){
  // Connect to Wi-Fi
  Serial.print("Connecting to :");
  Serial.println(ssid);

  WiFi.begin(ssid, pass);
  while(WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    Serial.print(".");
    delay(1000);
  }

  // wait 10 seconds for connection:
  delay(10000);

  // you're connected now, so print out the status
  printWiFiStatus();

  // Start UDP
  udp.begin(UDP_PORT);
  Serial.print("UDP listening on port: ");
  Serial.println(UDP_PORT);

  // Serial.println("Handshake");
  // server_handshake();
  // Serial.println("Handshake Completed");
}

void printWiFiStatus() {
  // print the SSID of the network you're attached to:
```

```

Serial.print("SSID: ");
Serial.println(WiFi.SSID());

// print your WiFi shield's IP address:
IPAddress ip = WiFi.localIP();
Serial.print("IP Address: ");
Serial.println(ip);
}

void check_for_command(uint8_t Command_obj[COMMAND_SIZE]) {
// Check for incoming UDP packets
int packetSize = udp.parsePacket();
if (packetSize) {
// Read the packet
int len = udp.read(incomingPacket, 255);
if (len > 0) {
incomingPacket[len] = '\0'; // Null-terminate the string
}
Serial.print("Received packet: ");
Serial.println(incomingPacket);

// Load Command to Output
for (int i=0; i<COMMAND_SIZE; i++){
Command_obj[i] = incomingPacket[i];
}

// Optionally send a response back
#ifdef SEND_RESP
Serial.print("Ip: ");
Serial.println(udp.remoteIP());
Serial.print("Port: ");
Serial.println(udp.remotePort());
udp.beginPacket(udp.remoteIP(), UDP_PORT);
udp.write(*CLIENT_HANDSHAKE);
udp.endPacket();
#endif
}
delay(50);
}

void server_handshake() {
while (handshake_complete == 0) {
int packetSize = udp.parsePacket();
if (packetSize) {
// Read the packet
int len = udp.read(incomingPacket, 255);
if (len > 0) {
incomingPacket[len] = '\0'; // Null-terminate the string
}
Serial.print("Handshake Received packet: ");
Serial.println(incomingPacket);

if (incomingPacket[0] == 'H' && incomingPacket[1] == 'E' && incomingPacket[2] == 'L' &&
incomingPacket[3] == 'L' && incomingPacket[4] == 'O' && incomingPacket[5] == '_' &&
incomingPacket[6] == 'A' && incomingPacket[7] == 'R' && incomingPacket[8] == 'D' &&

```

```
incomingPacket[9] == 'U' && incomingPacket[10] == 'T' && incomingPacket[11] == 'N' &&
incomingPacket[12] == 'O') {
    delay(1000);
    // Send back message to complete the Handshake
    udp.beginPacket(udp.remoteIP(), UDP_PORT);
    udp.write(*CLIENT_HANDSHAKE);
    udp.endPacket();

    // Set Handshakeflag
    handshake_complete = 1;
}
}
delay(50);
}
}
```

sensors_lib.cpp

```
#include "staurosd_sensors_lib.h"
#include <WiFi.h>

//===== VARIABLES =====
Vibration_Sensor SENSOR_0(VIB_SENSOR_0_PIN);
Vibration_Sensor SENSOR_1(VIB_SENSOR_1_PIN);
//=====

/*
 * Constructor of the class
 */
Vibration_Sensor::Vibration_Sensor(uint8_t io_pin_sel) {
    pin = io_pin_sel;
    sensor_delay = DEFAULT_SDELAY;
}

/*
 * This method initialize the pin of the sensor
 */
void Vibration_Sensor::begin() {
    pinMode(pin, OUTPUT);
}

/*
 * This method activates the sensor
 */
void Vibration_Sensor::Activate_sensor() {
    digitalWrite(pin, HIGH); //vibrate
}

/*
 * This method deactivates the sensor
 */
void Vibration_Sensor::Deactivate_sensor() {
    digitalWrite(pin, LOW); //vibrate
}

/*
 * This method deactivates the sensor
 */
void Vibration_Sensor::Trigger_sensor() {
    Activate_sensor();
    delay(sensor_delay);
    Deactivate_sensor();
    delay(sensor_delay);
}

/*
 * This method sets a new value to the trigger delay
 */
void Vibration_Sensor::set_delay(int new_delay_value) {
    sensor_delay = new_delay_value * DEFAULT_SDELAY;
}
```

```

}

void Sensors_Setup(){
    SENSOR_0.begin();
    SENSOR_1.begin();
}

void Sensor_Vibration(){
    Serial.println("Trigger Sensor 0");
    SENSOR_0.Trigger_sensor();
    // Serial.println("Trigger Sensor 1");
    // SENSOR_1.Trigger_sensor();
}

void execute_command(uint8_t *command){
    if(command[0]=='S' && command[2]=='E' && command[3]=='N') {
        // Enable Command
        if(command[1]=='0'){
            Serial.println("Enable Command for Sensor 0.");
            SENSOR_0.Activate_sensor();
        } else if (command[1]=='1'){
            Serial.println("Enable Command for Sensor 1.");
            SENSOR_1.Activate_sensor();
        }
    } else if(command[0]=='S' && command[2]=='D' && command[3]=='T') {
        // Disable Command
        if(command[1]=='0'){
            Serial.println("Disable Command for Sensor 0.");
            SENSOR_0.Deactivate_sensor();
        } else if (command[1]=='1'){
            Serial.println("Disable Command for Sensor 1.");
            SENSOR_1.Deactivate_sensor();
        }
    } else if(command[0]=='S' && command[2]=='D' && command[3]>='0' && command[3]<='9') {
        // Set Trigger Delay Command
        if(command[1]=='0'){
            Serial.print("Set Trigger Delay Command for Sensor 0. Delay: ");
            Serial.println(command[3]-'0');
            SENSOR_0.set_delay(command[3]-'0');
        } else if (command[1]=='1'){
            Serial.print("Set Trigger Delay Command for Sensor 1. Delay: ");
            Serial.println(command[3]-'0');
            SENSOR_1.set_delay(command[3]-'0');
        }
    } else if(command[0]=='S' && command[2]=='T' && command[3]=='R') {
        // Trigger Command
        if(command[1]=='0'){
            Serial.println("Trigger Command for Sensor 0.");
            SENSOR_0.Trigger_sensor();
        } else if (command[1]=='1'){
            Serial.println("Trigger Command for Sensor 1.");
            SENSOR_1.Trigger_sensor();
        }
    }
}

```

```
}  
} else if(command[0]=='S' && command[2]=='S') {  
  // Trigger x2 Command  
  if(command[1]=='0' && command[3]=='1'){  
    Serial.println("Trigger Sensor 0 and then Sensor 1 Command.");  
    SENSOR_0.Trigger_sensor();  
    SENSOR_1.Trigger_sensor();  
  } else if (command[1]=='1' && command[3]=='0'){  
    Serial.println("Trigger Sensor 1 and then Sensor 0 Command.");  
    SENSOR_1.Trigger_sensor();  
    SENSOR_0.Trigger_sensor();  
  }  
}  
}
```

Vibration_class

```
class Vibration_Sensor {
public:
    Vibration_Sensor (uint8_t io_pin_pin);    // Constructor
    void  begin();                            // This method initialize the Sensor's pin and the default delay
    void  Activate_sensor(void);
    void  Deactivate_sensor(void);
    void  Trigger_sensor(void);
    void  set_delay(int new_delay_value);
private:
    uint8_t pin;                             // Chip select pin
    int  sensor_delay;
};
```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β : Ο ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

Server.py

```
import time
import socket
import threading
import msvcrt

# =====
# Variables
# =====

broadcast_ip      = '255.255.255.255'  # Broadcast address
arduino_ip        = ""                 # Arduino's IP address
arduino_L_ip      = ""                 # Left Hand's Arduino IP address
arduino_R_ip      = ""                 # Right Hand's Arduino IP address
udp_port          = 12345               # Port
L_handshake_complete = 0               # Handshake flag for Left arduino
R_handshake_complete = 0               # Handshake flag for Right arduino
handshake_complete = 0                 # Handshake flag

start_time        = 0
end_time          = 0
count_time_flag   = 0

# =====
# Broadcast
# =====

def send_broadcast_message(message):
    sock = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_DGRAM)
    sock.setsockopt(socket.SOL_SOCKET, socket.SO_BROADCAST, 1)
```

```

try:
    sock.sendto(message.encode(), (broadcast_ip, udp_port))
    print(f"Broadcast message sent: {message}")
finally:
    sock.close()

```

```

# =====

```

```

# Send

```

```

# =====

```

```

def send_udp_message(sel_arduino_ip, message):

```

```

    # Create a UDP socket

```

```

    sock = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_DGRAM)

```

```

    try:

```

```

        # Send the message

```

```

        sock.sendto(message.encode(), (sel_arduino_ip, udp_port))

```

```

        print(f"Sent message: {message}")

```

```

    finally:

```

```

        sock.close()

```

```

# =====

```

```

# Receive

```

```

# =====

```

```

# Function to receive UDP messages

```

```

def receive_udp_messages():

```

```

    global L_handshake_complete

```

```

    global R_handshake_complete

```

```

    global handshake_complete

```

```

    global arduino_ip

```

```

    global arduino_L_ip

```

```

    global arduino_R_ip

```

```

global count_time_flag
global start_time
global end_time

sock = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_DGRAM)
sock.bind(('', udp_port)) # Bind to the port to receive messages
print("Listening for messages...")

while True:
    data, addr = sock.recvfrom(1024) # Buffer size is 1024 bytes
    if (count_time_flag):
        count_time_flag = 0
        end_time = time.time()
        print("End_time: " + str(end_time))
        print("final_result: " + str(end_time-start_time))

    if (data.decode() != "HELLO_ARDUINO"):
        print(f"Received message: {data.decode()} from {addr}")
        if (L_handshake_complete == 0 and data.decode() == "L"):
            L_handshake_complete = 1
            arduino_L_ip = addr[0]
            print("Left Handshake completed...")
            print(arduino_ip)
        if (R_handshake_complete == 0 and data.decode() == "R"):
            R_handshake_complete = 1
            arduino_R_ip = addr[0]
            print("Right Handshake completed...")
            print(arduino_ip)

# =====
# Main
# =====

```

```

if __name__ == '__main__':
    # Start the receiving thread
    receiver_thread = threading.Thread(target=receive_udp_messages, daemon=True)
    receiver_thread.start()
    time.sleep(1)

    # Start Broadcasting to arduino for handshake
    while (handshake_complete == 0):
        # message = input("Enter the broadcast message to send: ")
        message = "HELLO_ARDUINO"
        send_broadcast_message(message)
        time.sleep(10)
        if (L_handshake_complete == 1 and R_handshake_complete == 1):
            handshake_complete = 1
    print("Handshake Completed!!!")

    # Start main functionality
    while True:
        print("Press a key: ")
        input_key = msvcrt.getch().decode('ASCII').upper()
        if input_key == 'A':
            print("Command_A: Trigger Sensor 0.")
            start_time = time.time()
            print("Start_time: " + str(start_time))
            count_time_flag = 1
            send_udp_message(arduino_L_ip, "S0TR")
            # send_udp_message("S0TR")
        elif input_key == 'S':
            print("Command_S: Trigger Sensor 0.")
            send_udp_message(arduino_R_ip, "S0TR")
            # send_udp_message("S1TR")
        elif input_key == 'W':
            message = input("Enter the message to send on Left Arduino: ")

```

```
send_udp_message(arduino_L_ip, message)
# send_udp_message(message)
elif input_key == 'E':
    message = input("Enter the message to send on Right Arduino: ")
    send_udp_message(arduino_R_ip, message)
    # send_udp_message(message)
elif input_key == 'Q':
    print("Command_Q: Exit")
    break
```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ C : Το ερωτηματολόγιο

Οι ερωτήσεις που περιλάμβανε το ερωτηματολόγιο του πειράματος είχαν την παρακάτω μορφή για κάθε χρήστη που συμμετείχε.

Ερώτηση	Πιθανή Απάντηση
Κωδικός Χρήστη	No Χρήστη
Ηλικία	<ul style="list-style-type: none">• 21-30• 30+
Φύλλο	<ul style="list-style-type: none">• Άνδρας• Γυναίκα
Για Πείραμα σε ακινησία	Βαθμολογία έντασης 1-5, για 5 επαναλήψεις σε κάθε σημείο του χεριού.
Για Πείραμα σε κίνηση	Βαθμολογία έντασης 1-5, για 5 επαναλήψεις σε κάθε σημείο του χεριού.
Εργονομία	Βαθμολογία άνεσης και εργονομίας 1-5 για κάθε σημείο του χεριού συνολικά.