

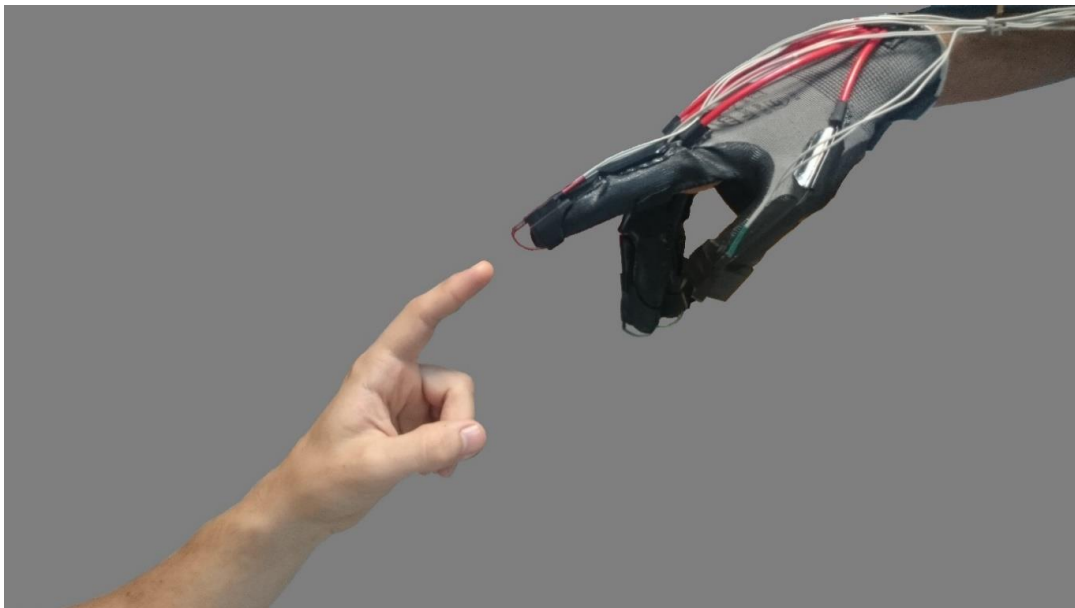


**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

**Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης
Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε.**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σχεδιασμός και κατασκευή εξωσκελετικού νάρθηκα για την υποβοήθηση ατόμων με μερική αναπηρία στα χέρια



Σπουδαστής: **Παπαδάκης Εμμανουήλ**

A.M.: **5769**

Επιβλέπων Καθηγητής: **Δρ. Φασουλάς Ιωάννης**

Επίκουρος καθηγητής ΤΕΙ Κρήτης

Ηράκλειο, Ιούνιος 2015

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματεύεται τον σχεδιασμό και την κατασκευή ενός εξωσκελετικού νάρθηκα για την υποβοήθηση ατόμων με μερική αναπηρία στα χέρια, ο οποίος κατασκευάστηκε πρόσφατα στο εργαστήριο ρομποτικής και αυτοματικής του Τ.Ε.Ι. Κρήτης.

Παρουσιάζονται ορισμένοι υπάρχοντες εξωσκελετικοί νάρθηκες και αναφέρονται πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που διαθέτουν. Σχεδιάζεται και κατασκευάζεται εξωσκελετικό γάντι το οποίο να πληροί ορισμένες προδιαγραφές για χρήση από άτομα με μερική αναπηρία στα χέρια. Σχεδιάζεται και κατασκευάζεται μονάδα οδήγησης του εξωσκελετικού νάρθηκα. Αναλύεται ο τρόπος λειτουργίας του εν λόγω εξωσκελετικού νάρθηκα. Τέλος πραγματοποιείται δοκιμή του εν λόγω εξωσκελετικού νάρθηκα για την διαπίστωση της λειτουργικότητας του και για την εξαγωγή συμπερασμάτων όσον αφορά την χρήση του.

ABSTRACT

The purpose of this thesis is the design and manufacturing of an exoskeletal splint for aiding people with partial disabilities in their hands, which was recently constructed in the laboratory of robotics and automation of T.E.I. of Crete.

Presented are the existing exoskeletal splints, their advantages and disadvantages. Designing and manufacturing of an exoskeleton glove which meets certain standards for use by persons with partial disabilities in their hands. Designing and manufacturing of a drive unit for the exoskeletal splint. Analyzes how the exoskeletal splint works. Finally tests are performed to determine the functionality of the exoskeletal splint and to draw conclusions regarding its uses.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περιεχόμενα	5
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
ΚΙΝΗΤΡΑ	9
ΣΤΟΧΟΙ	10
1.1. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	10
1.2. ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ	12
1.3. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
2.1. ΥΠΑΡΧΟΝΤΕΣ ΕΞΩΣΚΕΛΕΤΙΚΟΙ ΝΑΡΘΗΚΕΣ	12
2.2. 2.2.1. ΕΞΩΣΚΕΛΕΤΙΚΟΣ ΝΑΡΘΗΚΑΣ HandsOME	13
2.2.2. ΕΞΩΣΚΕΛΕΤΙΚΟΣ ΝΑΡΘΗΚΑΣ HANDEXOS	13
2.2.3. ΕΞΩΣΚΕΛΕΤΙΚΟΣ ΝΑΡΘΗΚΑΣ ΤΩΝ Tadano et al	14
2.2.4. ΕΞΩΣΚΕΛΕΤΙΚΟΣ ΝΑΡΘΗΚΑΣ GLOREHA	14
2.2.5. ΕΞΩΣΚΕΛΕΤΙΚΟΣ ΝΑΡΘΗΚΑΣ ΜΑΛΑΚΩΝ ΕΠΕΝΕΡΓΕΙΩΝ	15
2.3. 2.2.6. ΕΞΩΣΚΕΛΕΤΙΚΟΣ ΝΑΡΘΗΚΑΣ ΤΗΣ NASA	16
ΕΞΩΣΚΕΛΕΤΙΚΟΣ ΝΑΡΘΗΚΑΣ Hand-Ex	16
3.3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΞΩΣΚΕΛΕΤΙΚΟΥ ΓΑΝΤΙΟΥ ΥΠΟΒΗΘΗΣΗΣ ΑΤΟΜΩΝ ΜΕ	
3.2. ΑΝΑΠΗΡΙΕΣ	20
3.3. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	20
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΞΩΣΚΕΛΕΤΙΚΟΥ ΓΑΝΤΙΟΥ	20
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΞΩΣΚΕΛΕΤΙΚΟΥ ΓΑΝΤΙΟΥ	22
3.3.1. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΔΥΝΑΜΗΣ	24
4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΟΔΗΓΗΣΗΣ ΕΞΩΣΚΕΛΕΤΙΚΟΥ ΓΑΝΤΙΟΥ	28

	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	28
	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΟΔΗΓΗΣΗΣ.....	29
	ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΟΔΗΓΗΣΗΣ	32
4.1.	4.3.1. ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ	32
4.2.	4.3.2. ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗΣ	32
4.3.	4.3.3. ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ	34
	4.3.4. LED ΕΝΔΕΙΞΕΩΝ.....	35
	4.3.5. ΠΛΑΚΕΤΑ ΤΥΠΩΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ (PCB).....	36
	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΟΔΗΓΗΣΗΣ	38
4.4.	ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΞΩΣΚΕΛΕΤΙΚΟΥ ΝΑΡΘΗΚΑ.....	41
	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	41
5.1.	ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	41
5.2.	5.2.1. ΦΩΤΕΙΝΕΣ ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ	45
5.3.	ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ	46
6.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	49
6.1.	ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	49
6.2.	ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	51
	ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	52
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΣΕ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥΣ.....	53
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β : ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΑΚΕΤΑΣ ΤΥΠΩΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ	59
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ : ΚΩΔΗΚΑΣ ARDUINO ΓΙΑ ΟΔΗΓΗΣΗ ΕΞΩΣΚΕΛΕΤΙΚΟΥ ΝΑΡΘΗΚΑ HAND-EX...65	

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2-1 Εξωσκελετικός νάρθηκας HandSOME	13
Εικόνα 2-2 Εξωσκελετικός νάρθηκας HANDEXOS	14
Εικόνα 2-3 Εξωσκελετικός νάρθηκας των Tadano et al	14
Εικόνα 2-4 Εξωσκελετικός νάρθηκας Gloreha.....	15
Εικόνα 2-5 Μαλακός εξωσκελετικός νάρθηκας (soft robotics).....	16
Εικόνα 2-6 Σκαρίφημα εξωσκελετικού νάρθηκα της NASA	16
Εικόνα 2-7 Εξωσκελετικός νάρθηκας Hand-Ex	17
Εικόνα 2-8 Εξωσκελετικός νάρθηκας Hand-Ex	18
Εικόνα 2-9 Ροή πληροφορίας μεταξύ μικροελεγκτή και εξαρτημάτων.....	19
Εικόνα 3-1 Πάνω όψη 3D σχεδίων εξωσκελετικού γαντιού	21
Εικόνα 3-2 Κάτω όψη 3D σχεδίων εξωσκελετικού γαντιού	21
Εικόνα 3-3 Εμπρόσθια όψη 3D σχεδίων εξωσκελετικού γαντιού.....	22
Εικόνα 3-4 Κομμάτια γαντιού	23
Εικόνα 3-5 Εξωσκελετικός νάρθηκας Hand-Ex	23
Εικόνα 3-6 Τοποθετημένα Velcro για την καλύτερη συγκράτηση του εξωσκελετικού γαντιού πάνω στο χέρι	24
Εικόνα 3-7 Τοποθετημένοι αισθητήρες δύναμης	25
Εικόνα 3-8 Σχηματικό τοποθέτησης αισθητήρα δύναμης	26
Εικόνα 3-9 Διάταξη σύνδεσης αισθητήρα δύναμης με Arduino.....	26
Εικόνα 3-10 Καμπύλη Vout-Force αισθητήρα δύναμης.....	27
Εικόνα 4-1 Μονάδα οδήγησης εξωσκελετικού νάρθηκα	29
Εικόνα 4-2 Κορμός κουτιού όψη α'	29
Εικόνα 4-3 Κορμός κουτιού όψη β'	30
Εικόνα 4-4 Καπάκι οδηγών	30
Εικόνα 4-5 Καπάκι κουτιού.....	31
Εικόνα 4-6 Μεντεσές καπακιού.....	31

Εικόνα 4-7 Κινητήρας RC Servo	32
Εικόνα 4-8 Arduino Uno.....	33
Εικόνα 4-9 Arduino mega	34
Εικόνα 4-10 9Volt μπαταρία τροφοδοσίας μικροελεγκτή	34
Εικόνα 4-11 μπαταρία 12Volt Li-po για την τροφοδοσία των κινητήρων	35
Εικόνα 4-12 LED lights (αριστερά RGB LED , δεξιά Red LED).....	35
Εικόνα 4-13 Κύκλωμα μέτρησης στάθμης μπαταρίας	36
Εικόνα 4-14 Κύκλωμα τοποθέτησης Servo κινητήρων.....	36
Εικόνα 4-15 Κύκλωμα τοποθέτησης LED.....	36
Εικόνα 4-16 Κύκλωμα σταθεροποιητή τάσης	37
Εικόνα 4-17 Κύκλωμα τοποθέτησης αισθητήρα δύναμης.....	37
Εικόνα 4-18 Κύκλωμα τοποθέτησης τερματικού διακόπτη	37
Εικόνα 4-19 Πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος	38
Εικόνα 4-20 Κομμάτια μονάδας οδήγησης πριν την συναρμολόγηση.....	38
Εικόνα 4-21 Αρχικό στάδιο συναρμολόγησης πίσω όψη.....	39
Εικόνα 4-22 Αρχικό στάδιο συναρμολόγησης πάνω όψη.....	39
Εικόνα 4-23 Συναρμολογημένοι ατέρμονες άξονες.....	40
Εικόνα 43-24 Εμπρόσθια όψη μονάδας οδήγησης.....	40
Εικόνα 4-25 Πίσω όψη μονάδας οδήγησης	40
Εικόνα 5-1 Πεδία μετρήσεων των αισθητήρων δύναμης για την οδήγηση των κινητήρων .	42
Εικόνα 5-2 Πορεία πληροφορίας για τον έλεγχο του εξωσκελετικού νάρθηκα.....	43
Εικόνα 5-3 Πορεία πληροφορίας για την ένδειξη χαμηλής μπαταρίας.....	43
Εικόνα 5-4 Λογικό διάγραμμα λειτουργίας εξωσκελετικού νάρθηκα	44
Εικόνα 5-5 Φωτεινές ενδείξεις κατά την βαθμονόμηση.....	45
Εικόνα 5-6 Φωτεινές ενδείξεις κατά την λειτουργία	46
Εικόνα 5-7 Κινήσεις με την βοήθεια του εξωσκελετικού νάρθηκα Hand-Ex.....	47
Εικόνα 5-8 Λαβή αντικείμενων με την βοήθεια του εξωσκελετικού νάρθηκα Hand-Ex	47
Εικόνα 6-1 Εξωσκελετικός νάρθηκας Hand-Ex	50

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα κίνητρα για την υλοποίηση της πτυχιακής αυτής εργασίας καθώς και οι στόχοι και η δομή.

1.1.

ΚΙΝΗΤΡΑ

Καθημερινά εκατοντάδες άνθρωποι αντιμετωπίζουν προβλήματα στην εξυπηρέτηση των προσωπικών τους αναγκών λόγω μειωμένης ικανότητας κινήσεων των χεριών τους που συνήθως οφείλεται σε τραυματισμό ή ασθένειες του νευρικού συστήματος. Σε παλαιότερες εποχές τα άτομα αυτά μπορούσαν μέσω φυσιοθεραπευτικών αγωγών να βελτιώσουν και να επαναφέρουν έως ένα ποσοστό τις κινήσεις που είχαν χάσει, πολλές φορές όμως η πρόοδος ήταν μικρή με αποτέλεσμα το χέρι να παύει να είναι αρκετά χρηστικό.

Στην σημερινή εποχή η άνοδος της τεχνολογίας μας επιτρέπει την κατασκευή ρομποτικών συστημάτων για την υποστήριξη των αναγκών σε άτομα με αναπηρίες. Ανά τα χρόνια πολλοί επιστήμονες έχουν προσπαθήσει και καταφέρει να κατασκευάσουν εξωσκελετικούς

νάρθηκες που μπορούν να επαναφέρουν την δυνατότητα κίνησης των χεριών σε άτομα με αναπηρίες σε κάποιο βαθμό.

Δυστυχώς ακόμα και σήμερα δεν υπάρχουν εξωσκελετικοί νάρθηκες ως εμπορεύσιμα προϊόντα λόγω του μεγάλου μεγέθους τους. Τα μόνα εμπορεύσιμα προϊόντα τέτοιου είδους είναι εξωσκελετικοί νάρθηκες για αποκατάσταση ατόμων που έχουν περάσει εγκεφαλικό επεισόδιο.

Όλα τα παραπάνω μας κινητοποιήσαν στο να κατασκευάσουμε έναν εξωσκελετικό νάρθηκα ο οποίος θα μπορεί να εξυπηρετεί τις ανάγκες του χρήστη σε καθημερινή βάση.

ΣΤΟΧΟΙ

- 1.2. Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη της κίνησης των ανθρώπινων δακτύλων και ο σχεδιασμός και κατασκευή εξωσκελετικού νάρθηκα για την υποβοήθηση ατόμων με μερική αναπηρία στα χέρια.

Πιο αναλυτικά θα μελετήσουμε την φυσιολογική κίνηση των δακτύλων του ανθρωπίνου χεριού για να δούμε και να κατανοήσουμε την κίνηση που θα πρέπει να μπορεί να επαναφέρει ο νάρθηκας. Στην συνέχεια θα σχεδιαστεί και θα κατασκευαστεί ο εξωσκελετικός νάρθηκας για άτομα με μερική αναπηρία στα χέρια, και πιο συγκεκριμένα για άτομα τα οποία έχουν μειωμένο μήκος τενόντων λόγω ατυχήματος, καθώς και το κουτί που θα στεγάζει τους απαραίτητους κινητήρες, τον μικροελεγκτή, το κύκλωμα του συστήματος και τις μπαταρίες για την τροφοδοσία του μηχανισμού. Ένας επιπλέον στόχος είναι, η τελική κατασκευή να είναι φορητή ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε

- 1.3. εξωτερικούς χώρους και να μην περιορίζει τον χρήστη.

ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η εν λόγω πτυχιακή εργασία χωρίζεται σε 7 κεφάλαια, συμπεριλαμβανομένου αυτού του κεφαλαίου το οποίο πρόκειται για το εισαγωγικό κεφάλαιο.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** παρατίθενται οι υπάρχουσες τεχνολογίες, αναφέρονται ορισμένα μοντέλα από εξωσκελετικούς νάρθηκες που έχουν ήδη κατασκευαστεί και παρατίθενται πληροφορίες για τον κάθε ένα.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** παρατίθεται ο σχεδιασμός και η κατασκευή του γαντιού, οι λόγοι για τους οποίους καταλήξαμε στον τελικό σχεδιασμό, οι σκοποί και οι δυνατότητες που προσφέρει ο συγκεκριμένος σχεδιασμός, καθώς και η πορεία για την κατασκευή του γαντιού.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** παρατίθεται ο σχεδιασμός και η κατασκευή της μονάδας οδήγησης για την υποστήριξη του εξωσκελετικού νάρθηκα, ο τρόπος με τον οποίο σχεδιάστηκε το κουτί, τα πλεονεκτήματα που παρέχει ο συγκεκριμένος σχεδιασμός, τα εξαρτήματα που στεγάζονται μέσα στο κουτί καθώς και το κύκλωμα που υλοποιήθηκε, σε πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος (pcb), για την υποστήριξη και λειτουργία του νάρθηκα.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** παρατίθενται ο τρόπος λειτουργίας και οι δυνατότητες του εξωσκελετικού νάρθηκα, παρουσιάζεται το λογικό διάγραμμα λειτουργίας και επίσης παρουσιάζονται οι δυνατότητες που έχει καθώς και το τι προσφέρει ο νάρθηκας σε άτομα με μερική αναπηρία στα χέρια.

Στο **έκτο κεφάλαιο** παρατίθενται τα συμπεράσματα στα οποία καταλήξαμε στο τέλος της εν λόγω πτυχιακής εργασίας μετά την δοκιμή και χρήση του νάρθηκα από άτομα με μερική αναπηρία, καθώς και η δυνατότητα για την μελλοντική έρευνα που μπορεί να πραγματοποιηθεί βασιζόμενη στην εν λόγω πτυχιακή εργασία.

2. ΥΠΑΡΧΟΥΣΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

2.1.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν ορισμένοι ήδη υπάρχοντες εξωσκελετικοί νάρθηκες, οι οποίοι αντιπροσωπεύουν το στάδιο στο οποίο έχει φτάσει η τεχνολογία πάνω στους εξωσκελετικούς νάρθηκες, τα πλεονεκτήματα τα οποία διαθέτουν καθώς και τα μειονεκτήματα τους.

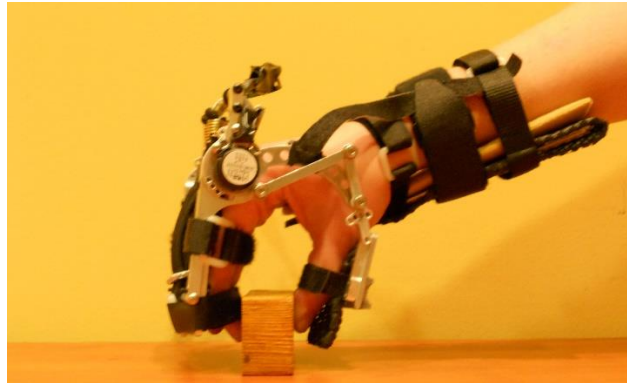
Στο τέλος του κεφαλαίου επίσης παρουσιάζεται και ο εξωσκελετικός νάρθηκας ο οποίος
2.2. κατασκευάσθηκε στα πλαίσια της πτυχιακής αυτής εργασίας, επιπλέον θα αναφερθούν τα πλεονεκτήματα τα οποία διαθέτει έναντι των υπολοίπων.

ΥΠΑΡΧΟΝΤΕΣ ΕΞΩΣΚΕΛΕΤΙΚΟΙ ΝΑΡΘΗΚΕΣ

Μετά την έρευνα που πραγματοποιήθηκε πάνω στις υπάρχουσες τεχνολογίες σχετικά με τους εξωσκελετικούς νάρθηκες επιλέχθηκαν να αναφερθούν τα παρακάτω συστήματα που αντιπροσωπεύουν το στάδιο στο οποίο έχει φτάσει η εν λόγω τεχνολογία.

2.2.1. ΕΞΩΣΚΕΛΕΤΙΚΟΣ ΝΑΡΘΗΚΑΣ HandSOME

Το Hand Spring Operated Movement Enhancer (HandSOME) [2] (εικόνα 1-2) είναι ένας παθητικός μηχανισμός που δίνει επέκταση στις κινήσεις των αρθρώσεων των δακτύλων για να ξεπεραστεί η υπερτονία που έχει επέλθει από εγκεφαλικό επεισόδιο. Είναι σχεδιασμένο να ακολουθεί την φυσιολογική κινηματική του δακτύλου. Χρησιμοποιεί 4 ράβδους για την κίνηση κάθε δακτύλου.



Εικόνα 2-1 Εξωσκελετικός νάρθηκας HandSOME

2.2.2. ΕΞΩΣΚΕΛΕΤΙΚΟΣ ΝΑΡΘΗΚΑΣ HANDEXOS

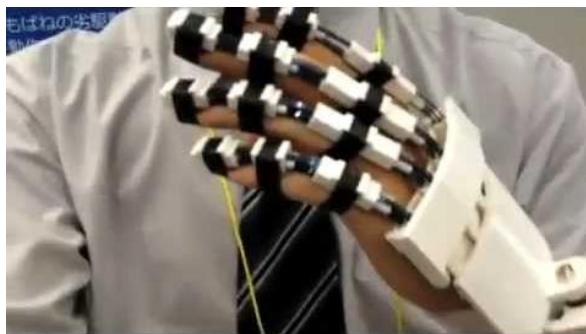
Το HANDEXOS(εικόνα 2-2) [2] αναπτύχθηκε από τους Chiri et al. Έχει 5 ανεξάρτητες μονάδες για το δάκτυλο, κάθε μονάδα αποτελείται από 3 συνδέσμους για κάθε φάλαγγα, όπου το κέντρο περιστροφής κάθε συνδέσμου συμπίπτει με την αντίστοιχη άρθρωση του ανθρώπινου δακτύλου. Η κάμψη και έκταση της 1^{ης} άρθρωσης γίνεται από ένα ολίσθησης – στροφαλοειδές μηχανισμό, ενώ η δεύτερη και τρίτη άρθρωση οδηγούνται από καλώδιο μετάδοσης τύπου Bowden. Οι 3 αρθρώσεις σε κάθε δάκτυλο επενεργούν λόγω του ότι οδηγούνται από έναν ενεργοποιητή. Για τον ενεργοποιητή κάθε δακτύλου, 3 αισθητήρες έχουν τοποθετηθεί σε κάθε ένα από τα παλαμιαία κελύφη για να αισθάνονται τις διαδραστικές δυνάμεις. Ο γραμμικός ολισθητής για την περιστροφή της πρώτης άρθρωσης είναι εξοπλισμένος με μηχανοσκόπετρο για την μέτρηση της δύναμης που μεταδίδεται από το καλώδιο οδήγησης.



Εικόνα 2-2 Εξωσκελετικός νάρθηκας HANDEXOS

2.2.3. ΕΞΩΣΚΕΛΕΤΙΚΟΣ ΝΑΡΘΗΚΑΣ ΤΩΝ Tadano et al

Οι Tadano et al [2] ανέπτυξαν ένα εξωσκελετικό χέρι κινούμενο από πνευματικούς τεχνητούς μυς(εικόνα 2-3). Παρότι ο μηχανισμός έχει 10 βαθμούς ελευθερίας περιλαμβάνει 2 βαθμούς ελευθερίας για κάθε δάκτυλο, με έναν ενεργό βαθμό ελευθερίας σε κάθε δάκτυλο. Ο συμβάλλον λαστιχένιος πνευματικός μυς είναι τοποθετημένος κάτω από ένα μηχανισμό υπό-αρθρικής σύνδεσης για κάθε δάκτυλο. Κάτω από κάθε ακροδάκτυλο υπάρχει ένας balloon αισθητήρας για να αισθάνεται την πίεση που ασκεί ο χρήστης .



Εικόνα 2-3 Εξωσκελετικός νάρθηκας των Tadano et. al.

2.2.4. ΕΞΩΣΚΕΛΕΤΙΚΟΣ ΝΑΡΘΗΚΑΣ GLOREHA

Ο εξωσκελετικός νάρθηκας Gloreha (εικόνα 2-4) [2] είναι ένα από τα πιο εξελιγμένα μοντέλα, κυκλοφορεί ήδη στην αγορά και απευθύνεται σε άτομα που έχουν περάσει εγκεφαλικό επεισόδιο με αποτέλεσμα να έχουν χάσει σε κάποιο βαθμό τον έλεγχο του χεριού τους. Υπάρχουν στην αγορά δυο εκδόσεις του Gloreha, η κανονική έκδοση που χρησιμοποιείται από ιατρούς για την θεραπεία των ασθενών και η lite έκδοση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον ασθενή για οικιακή χρήση. Ο νάρθηκας αυτός χρησιμοποιεί ac motors και συρμάτινα καλώδια για την κίνηση των δακτύλων, επίσης έχει την δυνατότητα

καταγραφής των ασκήσεων που πραγματοποιούνται για την συνεχή παρακολούθηση της πορείας του ασθενή. Για την πραγματοποίηση των ασκήσεων προσφέρεται ειδικό πρόγραμμα για τον ηλεκτρονικό υπολογιστή το οποίο μέσω εικόνας η οποία κινείται όμοια με τον νάρθηκα προβάλλει ασκήσεις τις οποίες ο ασθενής καλείται να πραγματοποιήσει.

Μειονέκτημα του Gloreha είναι το μεγάλο μέγεθος της μονάδας οδήγησης του καθώς και το ότι προσφέρεται μόνο για θεραπευτικές ασκήσεις.



Εικόνα 2-4 Εξωσκελετικός νάρθηκας Gloreha

2.2.5. ΕΞΩΣΚΕΛΕΤΙΚΟΣ ΝΑΡΘΗΚΑΣ ΜΑΛΑΚΩΝ ΕΠΕΝΕΡΓΕΙΩΝ

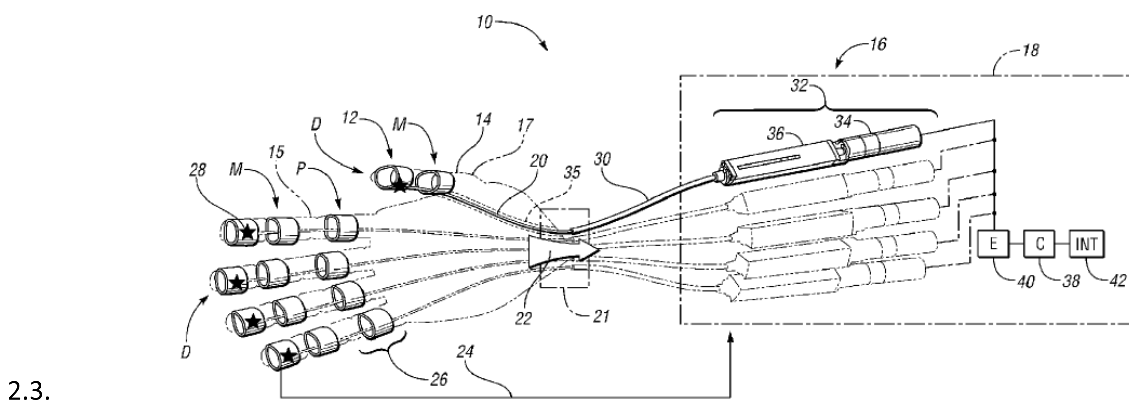
Άλλη μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται στους εξωσκελετικούς νάρθηκας είναι η τεχνολογία των μαλακών υλικών (soft robotics). Με την συγκεκριμένη τεχνολογία κατασκευάζεται ένα μαλακό προσθετικό χέρι το οποίο τοποθετείται πάνω από το χέρι του χρήστη όπως φαίνεται στην εικόνα 2-5. Χρησιμοποιώντας πεπιεσμένο αέρα το μαλακό προσθετικό χέρι μπορεί να ελεγχθεί και να κάνει κινήσεις όμοιες με αυτές του ανθρώπινου χεριού. Όταν αυτό τοποθετηθεί πάνω σε ανθρώπινο χέρι (εικόνα 2-5) μπορεί να βοηθήσει το χέρι να κάνει τις ίδιες κινήσεις με αυτές του μαλακού προσθετικού χεριού. Ένα από τα μειονεκτήματα του μηχανισμού αυτού είναι το μεγάλο μέγεθος του το οποίο το καθιστά όχι εύκολο για χρήση σε καθημερινή βάση.



Εικόνα 2-5 Μαλακός εξωσκελετικός νάρθηκας (soft robotics)

2.2.6. ΕΞΩΣΚΕΛΕΤΙΚΟΣ ΝΑΡΘΗΚΑΣ ΤΗΣ NASA

Ο εξωσκελετικός νάρθηκας που κατασκεύασε η Nasa [4] σχεδιάστηκε ώστε να ενισχύει την δύναμη που ασκεί ο χρήστης κατά το πιάσιμο, αποτελείται από ένα γάντι το οποίο περιέχει δαχτυλίδια στις φάλαγγες, αισθητήρες αφής για την μέτρηση της δύναμης πιασίματος που ασκεί ο χρήστης που φοράει το γάντι , και ένα σύστημα τενόντων τοποθετημένο στην κάτω πλευρά του χεριού. Οι τένοντες είναι συνδεδεμένοι με servo κινητήρες, οι οποίοι οδηγούνται από έναν μικροελεγκτή μετά από την επεξεργασία του σήματος από τους αισθητήρες αφής.



Εικόνα 2-6 Σκαρίφημα εξωσκελετικού νάρθηκα της NASA

ΕΞΩΣΚΕΛΕΤΙΚΟΣ ΝΑΡΘΗΚΑΣ Hand-Ex

Στα πλαίσια της πτυχιακής αυτής εργασίας σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε ο εξωσκελετικός νάρθηκας Hand-Ex (εικόνα 2-7).



Εικόνα 2-7 Εξωσκελετικός νάρθηκας Hand-Ex

Σε αντίθεση με τους ήδη υπάρχοντες εξωσκελετικούς νάρθηκες οι οποίοι εστιάζουν στην αποκατάσταση των κινήσεων μετά από εγκεφαλικό επεισόδιο, το Hand-Ex εστιάζει σε άτομα τα οποία έχουν μειωμένο μήκος τενόντων λόγω ατυχήματος ή ασθένειας. Τα άτομα αυτά αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της απώλειας ανοίγματος των δακτύλων λόγω του μικρού μήκους των τενόντων τους, με αποτέλεσμα το χέρι τους να βρίσκεται συνεχώς στην κλειστή θέση.

Για να ξεπεράσει το πρόβλημα που αναφέρθηκε παραπάνω ο εξωσκελετικός νάρθηκας Hand-Ex χρησιμοποιεί πέντε συρματόσχοινα τα οποία τραβάνε τα δάκτυλα για να ανοίξουν. Το κάθε συρματόσχοινο ξεκινάει από τον ένα servo κινητήρα και καταλήγει στο άκρο ενός δακτύλου. Οι κινητήρες ελέγχονται από έναν μικροελεγκτή βάση σήματος που λαμβάνει από αισθητήρες δύναμης που είναι τοποθετημένοι κάτω από τα άκρα των δακτύλων.

Ο εξωσκελετικός νάρθηκας Hand-Ex προσφέρει την δυνατότητα στον χρήστη να ελέγχει την κίνηση των δακτύλων του ανάλογα με την δύναμη που ασκεί με το χέρι του. Όταν επιθυμεί να κλείσει τα δάκτυλα του πρέπει να ασκήσει αρκετή δύναμη για να ενεργοποιηθεί η κίνηση, όταν επιθυμεί να ανοίξει τα δάκτυλα του πρέπει να τα αφήσει ελεύθερα και να μην ασκεί δύναμη και τέλος για να τα ακινητοποιήσει πρέπει να ασκήσει μεσαίας έντασης δύναμη.

Ο εξωσκελετικός νάρθηκας Hand-Ex έχει λεπτό σχεδιασμό ο οποίος τον καθιστά ελαφρύ και κομψό με απώτερο σκοπό την χρήση του σε καθημερινή βάση. Άλλο ένα

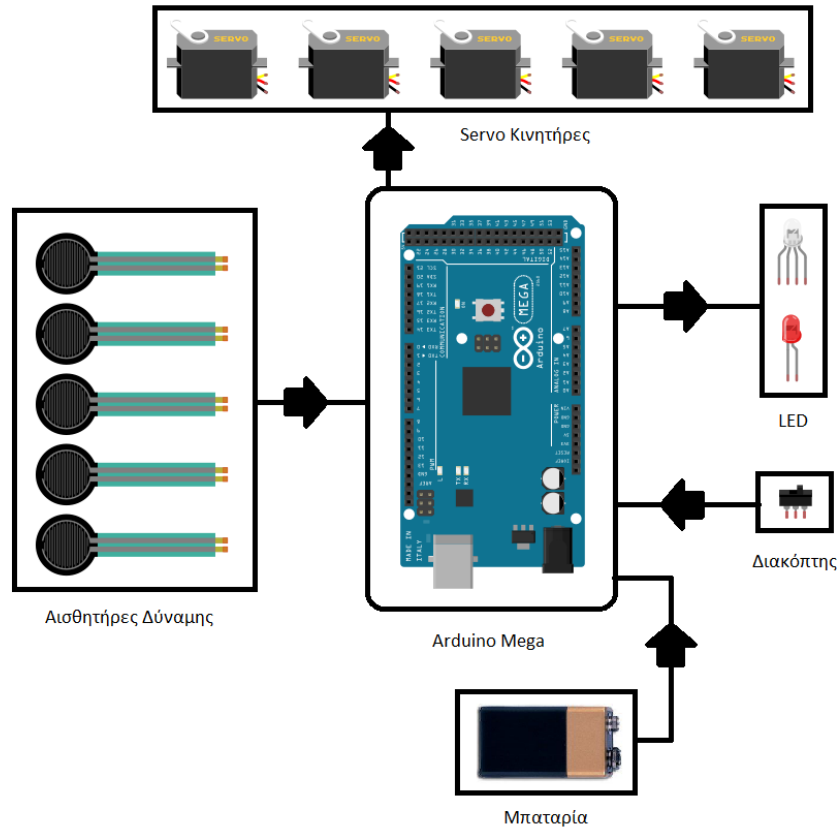
χαρακτηριστικό για το οποίο ξεχωρίζει είναι το μικρό μέγεθος της μονάδας υποστήριξης που χρησιμοποιεί το Hand-Ex το οποίο τον καθιστά φορητό, σε αντίθεση με τους περισσότερους εξωσκελετικούς νάρθηκες οι οποίοι χρησιμοποιούν μεγάλες μονάδες υποστήριξης για την λειτουργία τους. Η λεπτή κατασκευή και η μικρή μονάδα οδήγησης του προσδίδουν επίσης και το πλεονέκτημα του μικρού συνολικού βάρους του εξωσκελετικού νάρθηκα, ιδανικό για εκτεταμένη χρήση κατά την διάρκεια της ημέρας.



Εικόνα 2-8 Εξωσκελετικός νάρθηκας Hand-Ex

Εντός της μονάδας οδήγησης του εξωσκελετικού νάρθηκα βρίσκονται, πέντε servo κινητήρες, πέντε ατέρμονες άξονες, δυο μπαταρίες τροφοδοσίας, μια πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος, ένας διακόπτης, δυο Led και ένας μικροελεγκτής Arduino Mega.

Ο μικροελεγκτής Arduino Mega είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο του μηχανισμού, πάνω σε αυτόν συνδέονται οι κινητήρες, οι αισθητήρες δύναμης, τα led ενδείξεων και ο διακόπτης. Ο μικροελεγκτής στέλνει πληροφορίες προς τους κινητήρες και τα Led ενδείξεων ενώ λαμβάνει πληροφορίες από τον διακόπτη, τις μπαταρίες και τους αισθητήρες δύναμης όπως παρουσιάζεται παρακάτω (εικόνα 2-9)



Εικόνα 2-9 Ροή πληροφορίας μεταξύ μικροελεγκτή και εξαρτημάτων

3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΞΩΣΚΕΛΕΤΙΚΟΥ ΓΑΝΤΙΟΥ ΥΠΟΒΗΘΗΣΗΣ ΑΤΟΜΩΝ ΜΕ ΑΝΑΠΗΡΙΕΣ

3.1.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

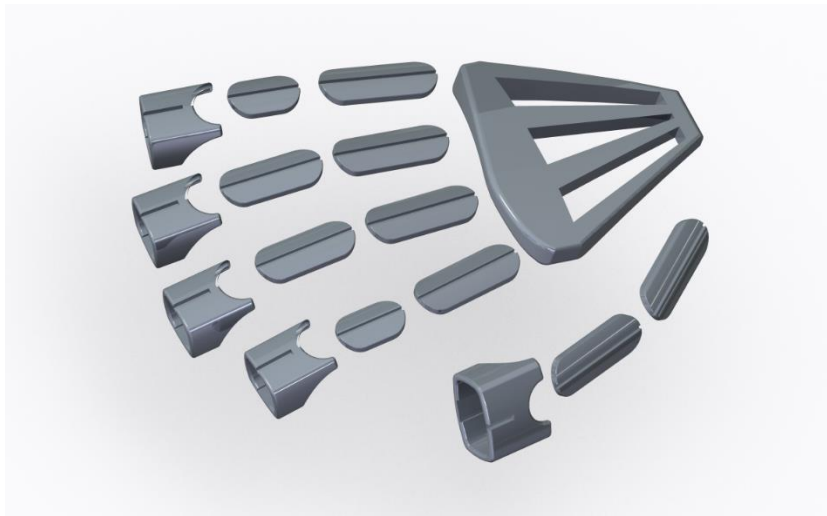
Το κεφάλαιο αυτό χωρίζεται σε δυο επιμέρους κομμάτια. Στο πρώτο κομμάτι παρουσιάζεται η πορεία της σχεδίασης του εξωσκελετικού γαντιού για τον εξωσκελετικό

3.2. νάρθηκα καθώς και οι προϋποθέσεις που πληροί ο εν λόγω σχεδιασμός, ενώ στο δεύτερο κομμάτι παρουσιάζεται η πορεία για την κατασκευή του γαντιού.

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΞΩΣΚΕΛΕΤΙΚΟΥ ΓΑΝΤΙΟΥ

Το γάντι που σχεδιάστηκε πρέπει να μπορεί να φορεθεί εύκολα από άτομα τα οποία δεν μπορούν να ανοίξουν εύκολα ή και καθόλου τα δάκτυλα τους, για τον λόγο αυτό το γάντι κατασκευάστηκε κενό από την πλευρά της παλάμης ώστε να μην απαιτεί την ανοικτή θέση των δακτύλων για να φορεθεί. Τα κομμάτια που βρίσκονται πάνω στο γάντι λόγω των παραπάνω σχεδιάστηκαν κατάλληλα ώστε να τοποθετηθούν στην πάνω πλευρά του

γαντιού. Παρακάτω φαίνονται τα κομμάτια που σχεδιάστηκαν στο πρόγραμμα Creo της PTC.



Εικόνα 3-1 Πάνω όψη 3D σχεδίων εξωσκελετικού γαντιού



Εικόνα 3-2 Κάτω όψη 3D σχεδίων εξωσκελετικού γαντιού

Τα κομμάτια τα οποία τοποθετούνται πάνω από τις φάλαγγες των δακτύλων έχουν σχεδιαστεί ώστε να εφάπτονται από την κάτω πλευρά τους με το δάκτυλο (εικόνα 3-2) ενώ από πάνω έχουν εσοχή για την τοποθέτηση του μάντα (εικόνα 3-3). Επίσης τα κομμάτια αυτά λόγω της γεωμετρίας του χεριού χωρίζονται σε τρία διαφορετικά μήκη. Τα δυο κομμάτια των φαλάγγων του αντίχειρα είναι όμοια με τα κομμάτια των πρώτων φαλάγγων

των υπολοίπων δακτύλων, τα κομμάτια των δευτέρων φαλάγγων του δείκτη και του μικρού είναι όμοια, όπως και τα κομμάτια των δευτέρων φαλάγγων του μέσου και του παράμεσου.



Εικόνα 3-3 Εμπρόσθια όψη 3D σχεδίων εξωσκελετικού γαντιού

Τα κομμάτια τα οποία τοποθετούνται στα άκρα των δακτύλων έχουν σχεδιαστεί κατάλληλα ώστε να μπαίνουν εύκολα τα δάκτυλα, επίσης έχουν εσοχή στην πάνω πλευρά τους για να τοποθετούνται και να στερεώνονται οι ιμάντες όπως και εσοχή στο εσωτερικό κάτω μέρος για την κατάλληλη τοποθέτηση των αισθητήρων δύναμης(εικόνα 3-3). Λόγω της ομοιότητας που υπάρχει μεταξύ του δείκτη, του μέσου, του παράμεσου και του μικρού χρησιμοποιήθηκε το ίδιο σχέδιο και για τα τέσσερα δάκτυλα, σε αντίθεση με τον αντίχειρα 3.3, ο οποίος έχει μεγαλύτερο μέγεθος.

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΞΩΣΚΕΛΕΤΙΚΟΥ ΓΑΝΤΙΟΥ

Η κατασκευή των κομματιών του γαντιού έγινε σε τρισδιάστατο εκτυπωτή (3D printer) στο εργαστήριο αυτοματικής και ρομποτικής του τμήματος μηχανολόγων μηχανικών Τ.Ε. του ΤΕΙ Κρήτης. Για την εκτύπωση των κομματιών χρειάστηκε η εξαγωγή των σχεδίων σε μορφή STL(stereolithography), στην συνέχεια έγινε εισαγωγή τους στο ειδικό πρόγραμμα του τρισδιάστατου εκτυπωτή. Τα κομμάτια εκτυπώθηκαν στον τρισδιάστατο εκτυπωτή Elite της Dimension ο οποίος χρησιμοποιεί υλικό ABS Plus και υδατοδιαλυτό υλικό για υποστήριξη των κομματιών κατά την εκτύπωση.



Εικόνα 3-4 Κομμάτια γαντιού

Τα κομμάτια που εκτυπώθηκαν στην συνέχεια τοποθετήθηκαν πάνω σε γάντι στις κατάλληλα προεπιλεγόμενες θέσεις. Το γάντι το οποίο χρησιμοποιήθηκε πρόκειται για ελαστικό γάντι με πλαστική επένδυση στην παλάμη. Παρακάτω απεικονίζεται το γάντι με τα εκτυπωμένα κομμάτια τοποθετημένα.



Εικόνα 3-5 Εξωσκελετικός νάρθηκας Hand-Ex

Τα κομμάτια του νάρθηκα τα οποία είναι πάνω από τις φάλαγγες των δακτύλων έχουν τοποθετηθεί έτσι ώστε να καλύπτουν την επόμενη άρθρωση. Πιο συγκεκριμένα το κομμάτι της πρώτης φάλαγγας κάθε δακτύλου καλύπτει την δεύτερη άρθρωση του δακτύλου ομοίως και τα επόμενα και με αυτό τον τρόπο τοποθέτησης αποφεύγεται το μη σωστό άνοιγμα του δακτύλου όταν αυτό εφελκύεται από το μηχανισμό για να ανοίξει.

Όπως φαίνεται παραπάνω (εικόνα 3-5) χρησιμοποιήθηκαν μικρά σωληνάκια για την μεταφορά των συρματόσκοινων από τον καρπό του χεριού έως την αρχή των δακτύλων, ενώ σε κάθε κομμάτι των φαλάγγων έχει τοποθετηθεί ένα σωληνάκι στην σχεδιασμένη

εσοχή του κομματιού για την μεταφορά των συρματόσκοινων από την αρχή των δακτύλων έως τα άκρα τους.



Εικόνα 3-6 Τοποθετημένα Velcro για την καλύτερη συγκράτηση του εξωσκελετικού γαντιού πάνω στο χέρι

Το γάντι σταθεροποιείται πάνω στο χέρι με Velcro (εικόνα 3-6). Πιο συγκεκριμένα, στην περιοχή του καρπού έχουν τοποθετηθεί δυο Velcro τα οποία όταν κλείνουν κρατάνε το γάντι στην κατάλληλη θέση για την καλύτερη χρήση του, ενώ σε κάθε δάκτυλο υπάρχει ένα Velcro το οποίο εξασφαλίζει ότι τα κομμάτια των φαλάγγων δεν θα γλιστρήσουν από την θέση στην οποία πρέπει να βρίσκονται.

3.3.1. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΔΥΝΑΜΗΣ

Για την λειτουργία του μηχανισμού θα χρησιμοποιηθούν αισθητήρες δύναμης (FSR : Force Sensing Resistors) οι οποίοι θα τοποθετηθούν στο άκρο κάθε δακτύλου. Οι αισθητήρες αυτοί θα διαβάζουν κάθε στιγμή την δύναμη την οποία ασκεί ο χειριστής του νάρθηκα και μέσω του προγράμματος θα ελέγχονται οι servo μηχανισμοί. Έτσι ανάλογα με την μέτρηση των αισθητήρων δύναμης ο νάρθηκας θα ανοίγει ή θα κλείνει ή θα παραμένει σταθερός.

Λόγω του ότι κάθε φορά που θα χρησιμοποιείται η κατασκευή οι τιμές για κάθε αισθητήρα μπορεί να διαφέρουν δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια σταθερή τιμή για τους αισθητήρες. Για τον λόγο αυτό κατά την εκκίνηση του μηχανισμού θα πραγματοποιείται βαθμονόμηση του συστήματος.

Η βαθμονόμηση των αισθητήρων θα πραγματοποιείται με την εξής διαδικασία για κάθε δάκτυλο ξεχωριστά. Στην αρχή του προγράμματος ο μηχανισμός θα σηκώνει το πρώτο δάκτυλο (αντίχειρα) μέχρι να φτάσει στην ανοικτή θέση, στην θέση αυτή θα παίρνει την μέτρηση του αισθητήρα δύναμης του πρώτου δακτύλου και θα καταχωρείται ως «a», η τιμή αυτή στην συνέχεια διαιρείται δια δυο και καταχωρείται ως «b». Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για τα υπόλοιπα τέσσερα δάκτυλα.

Με τον τρόπο αυτό έχουν δημιουργηθεί τρία πεδία τιμών, από 0 έως b, από b έως a και από a έως την μέγιστη τιμή που μπορεί να διαβάσει ο αισθητήρας δύναμης. Τα πεδία αυτά αντιπροσωπεύουν μια ξεχωριστή κίνηση το κάθε ένα, το πεδίο από 0 έως b αντιπροσωπεύει την κίνηση για άνοιγμα του δακτύλου, το πεδίο από b έως a αντιπροσωπεύει την αδράνεια του δακτύλου, ενώ το πεδίο από a έως την μέγιστη τιμή που μπορεί να διαβάσει ο αισθητήρας αντιπροσωπεύει την κίνηση για το κλείσιμο του δακτύλου.

Οι αισθητήρες δύναμης θα πρέπει να τοποθετηθούν στα άκρα των δακτύλων με σκοπό να μετράνε την δύναμη που ασκεί ο χειριστής του νάρθηκα κάθε στιγμή. Συνεπώς ο αισθητήρας δύναμης θα πρέπει να τοποθετηθεί στο κομμάτι του νάρθηκα που τοποθετείται στο άκρο του δακτύλου όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

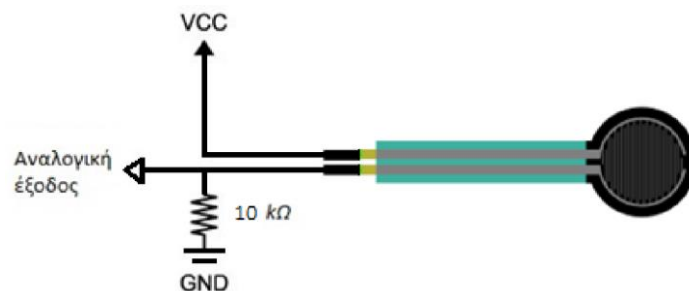


Εικόνα 3-7 Τοποθετημένοι αισθητήρες δύναμης

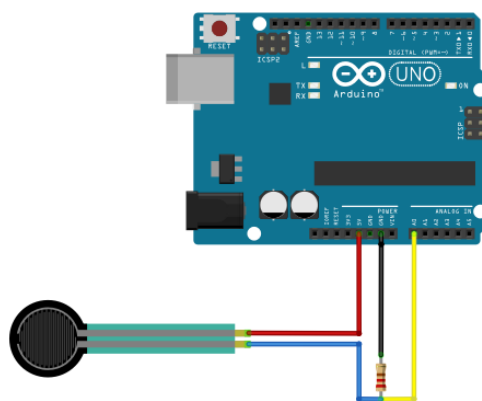
Από την θέση αυτή ο κάθε αισθητήρας δύναμης θα μπορεί να αντιλαμβάνεται την διαφορά πίεσης που ασκεί το δάκτυλο όταν είναι τοποθετημένο το σύστημα. Όταν το δάκτυλο πιέζει προς τα κάτω η τιμή που θα διαβάζεται από τον αισθητήρα δύναμης θα

μεγαλώνει, όταν το δάκτυλο θα σταματά να ασκεί πίεση η τιμή που θα διαβάζεται από τον αισθητήρα δύναμης θα είναι μικρή ενώ όταν το δάκτυλο θα έχει φτάσει στο σημείο που θα είναι ανοικτό η τιμή που θα διαβάζεται από τον αισθητήρα δύναμης θα είναι μια ενδιάμεση τιμή. Βάση της τιμής που θα έχει ο αισθητήρας δύναμης στην θέση όπου θα είναι ανοικτό το δάκτυλο κάθε φορά, θα γίνεται η οριοθέτηση των πεδίων τιμών που θα χαρακτηρίζουν την κάθε μια από τις τρεις καταστάσεις (ηρεμία, κλείσιμο, άνοιγμα δακτύλου) όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

Οι αισθητήρες δύναμης είναι αντιστάσεις οι οποίες όταν ασκηθεί κάποια δύναμη πάνω τους αλλάζουν την αντίστασή τους. Οι αισθητήρες δύναμης χρησιμοποιούνται με διάταξη διαιρέτη τάσεως και η μέτρηση διαβάζεται από την μεσαία λήψη όπως φαίνεται στα ακόλουθα σχήματα παρακάτω (εικόνα 3-6,εικόνα 3-7).

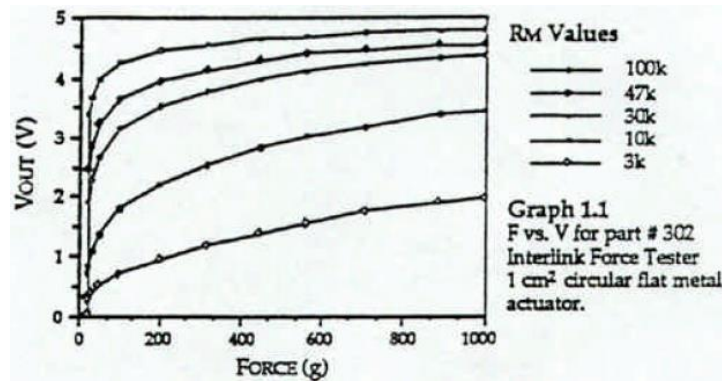


Εικόνα 3-8 Σχηματικό τοποθέτησης αισθητήρα δύναμης



Εικόνα 3-9 Διάταξη σύνδεσης αισθητήρα δύναμης με Arduino

Η αντίσταση που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να είναι ανάλογη της δύναμης που θέλουμε να μετρήσουμε, για μέτρηση μικρών δυνάμεων θα διαλέξουμε μεγάλη αντίσταση. Στο διάγραμμα παρακάτω φαίνεται η αντίσταση που χρειάζεται ανάλογα με την δύναμη την οποία θέλουμε να μετρήσουμε.



Εικόνα 3-10 Καμπύλη Vout-Force αισθητήρα δύναμης

Στην περίπτωση μας η μέγιστη δύναμη που θέλουμε να μετρήσουμε είναι 1000 g. Όπως φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα [1] θα διαλέξουμε αντίσταση μεταξύ 3kΩ και 10 kΩ, όπου η κλίση με την οποία ανεβαίνει η τάση Vout η οποία μας ενδιαφέρει να διαβάσουμε είναι σχετικά μικρή και η καμπύλη είναι σχεδόν γραμμική.

4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΟΔΗΓΗΣΗΣ ΕΞΩΣΚΕΛΕΤΙΚΟΥ ΓΑΝΤΙΟΥ

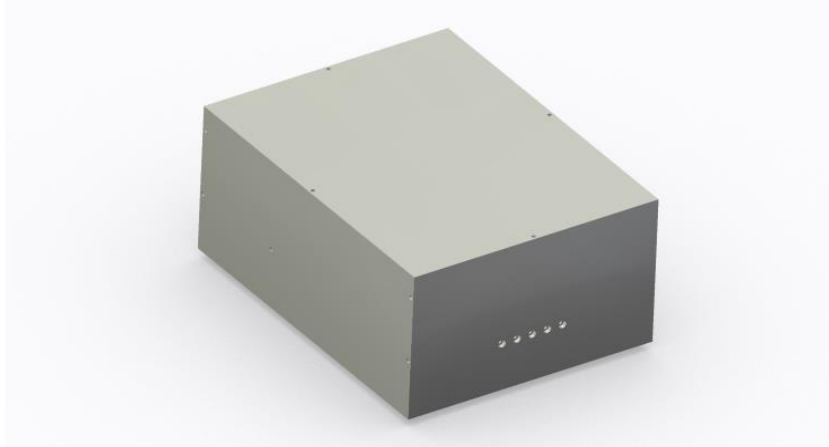
4.1.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το κεφάλαιο αυτό χωρίζεται σε τρία μέλη, στο πρώτο μέλος παρουσιάζεται ο τρόπος και η λογική βάση της οποίας σχεδιάστηκε η μονάδα οδήγησης για την υποστήριξη του εξωσκελετικού νάρθηκα καθώς και το τελικό σχέδιο της, στο δεύτερο μέλος παρουσιάζονται τα εξαρτήματα τα οποία στεγάζονται μέσα στην εν λόγω μονάδα οδήγησης, στο τρίτο και τελευταίο μέλος αυτού του κεφαλαίου παρουσιάζεται η κατασκευή της μονάδας οδήγησης και εξηγείται ο τρόπος λειτουργίας της.

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΟΔΗΓΗΣΗΣ

Η μονάδα οδήγησης του εξωσκελετικού νάρθηκα σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε σε περίπτωση βλάβης ή καταστροφής κάποιου κομματιού της να μπορεί να αντικατασταθεί εύκολα. Για να πραγματοποιηθεί αυτό η μονάδα αυτή θα πρέπει να αποτελείται από πολλά κομμάτια απλής γεωμετρίας σχεδιασμένα κατάλληλα ώστε να συν αρμολογούνται και να αντικαθίστανται εύκολα.

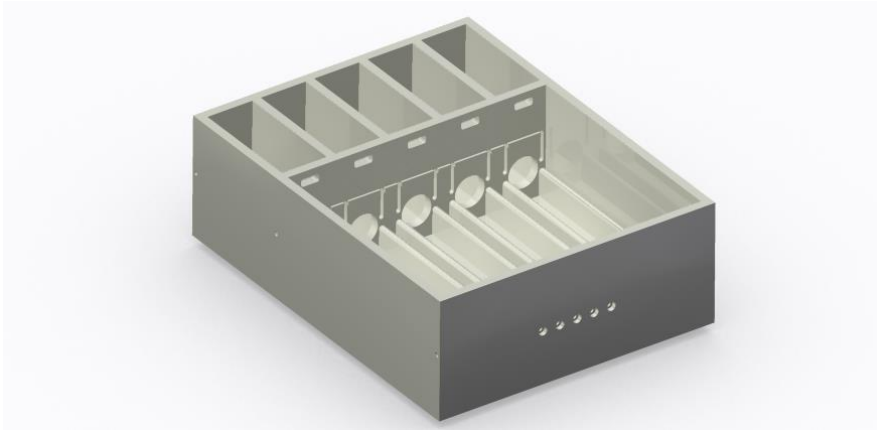


Εικόνα 4-1 Μονάδα οδήγησης εξωσκελετικού νάρθηκα

Παραπάνω φαίνεται εξωτερικά η μονάδα οδήγησης (εικόνα 4-1), παρακάτω φαίνονται και τα τρία βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται, ο κορμός, το καπάκι των οδηγών καθώς και το καπάκι της μονάδας.

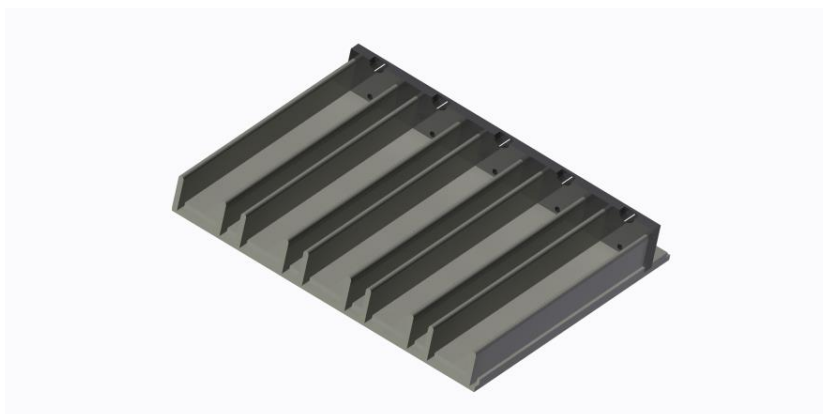


Εικόνα 4-2 Κορμός κουτιού όψη α'



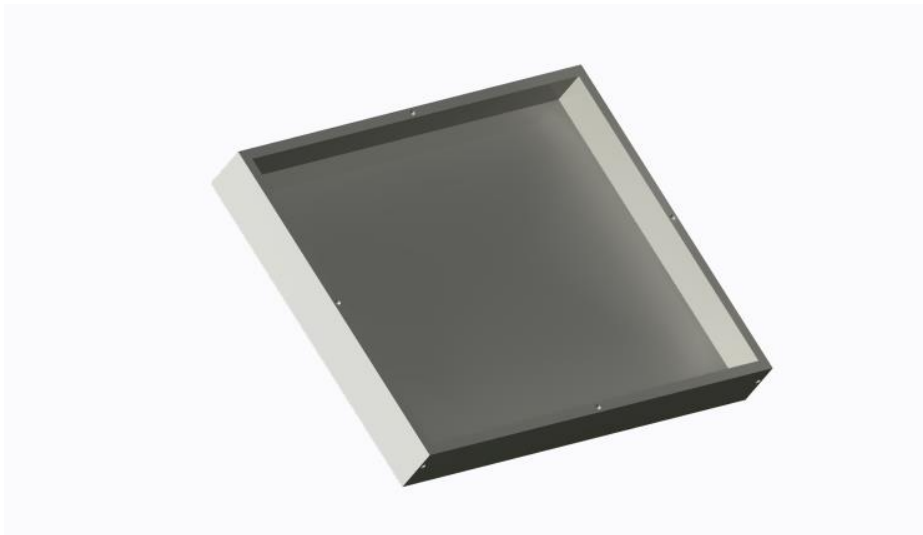
Εικόνα 4-3 Κορμός κουτιού όψη β΄

Ο κορμός του κουτιού είναι το κομμάτι στο οποίο τοποθετούνται οι servo κινητήρες καθώς και οι ατέρμονοι άξονες, το κομμάτι αυτό αποτελείται από 21 επιμέρους κομμάτια τα οποία κουμπώνουν μεταξύ τους δημιουργώντας μια σταθερή και στιβαρή κατασκευή. Όπως φαίνεται παραπάνω (εικόνα 4-3) στο κορμό του κουτιού υπάρχουν πέντε θέσεις, μια για κάθε servo κινητήρα. Σε κάθε μια από αυτές τις θέσεις τοποθετείται ένας servo κινητήρας και ασφαρίζεται με μια βίδα η οποία το κρατάει σταθερά στην θέση του. Μεταξύ της βίδας και του servo τοποθετείται ένα πλαστικό κομμάτι για την προστασία και την καλύτερη συγκράτηση του servo. Επίσης στον κορμό του κουτιού βρίσκονται και πέντε οδηγούς για τους ατέρμονες. Για την σταθεροποίηση των ατέρμονων χρησιμοποιείται ένα μεταλλικό κομμάτι το οποίο κρατάει τους ατέρμονες άξονες στην θέση που πρέπει να βρίσκονται καθώς και τους εμποδίζει να τρυπήσουν το κομμάτι πάνω στο οποίο εφάπτονται.



Εικόνα 4-4 Καπάκι οδηγών

Το καπάκι των οδηγών (εικόνα 4-4) είναι το κομμάτι το οποίο ασφαρίζει τους ατέρμονους άξονες εμποδίζοντας τους να σηκωθούν προς τα πάνω. Επίσης πάνω στο κομμάτι αυτό τοποθετείται με βίδες η πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος με τον μικροελεγκτή. Επιπλέον στο καπάκι των οδηγών τοποθετούνται και οι τερματικοί διακόπτες για τους ατέρμονους άξονες.



Εικόνα 4-5 Καπάκι κουτιού

Τέλος το καπάκι της μονάδας (εικόνα 4-5) είναι το κομμάτι πάνω στο οποίο τοποθετούνται οι μπαταρίες που απαιτούνται για την τροφοδοσία του μηχανισμού και ασφαρίζει την κατασκευή. Το καπάκι αυτό συνδέεται με τη μονάδα οδήγησης του εξωσκελετικού νάρθηκα με τρεις μεντεσέδες.



Εικόνα 4-6 Μεντεσές καπακιού

Κάθε μεντεσές αποτελείται από δυο όμοια κομμάτια όπως το κομμάτι που απεικονίζεται παραπάνω (εικόνα 4-6) τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με μεταλλικό άξονα.

Συνολικά για την μονάδα οδήγησης του εξωσκελετικού νάρθηκα σχεδιάστηκαν 17 διαφορετικά κομμάτια, ενώ το σύνολο των κομματιών που αποτελούν τη μονάδα αυτή ανέρχεται στα 44 κομμάτια, αυτό συμβαίνει λόγω του ότι σχεδόν όλα τα κομμάτια χρησιμοποιούνται περισσότερες από μια φορές.

ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΟΔΗΓΗΣΗΣ

Μέσα στο κουτί υποστήριξης του εξωσκελετικού νάρθηκα περιλαμβάνονται οι κινητήρες οι οποίοι δίνουν κίνηση στο νάρθηκα, οι μπαταρίες για την τροφοδοσία του συστήματος, ο μικροελεγκτής και η πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος πάνω στην οποία συνδέονται ο μικροελεγκτής καθώς και οι αισθητήρες, οι κινητήρες και τα led ενδείξεων. Παρακάτω παρουσιάζεται κάθε εξάρτημα ξεχωριστά και αναλύεται η λειτουργία τους.

4.3.1. ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Για την κίνηση του εξωσκελετικού νάρθηκα χρησιμοποιήθηκαν πέντε servo κινητήρες , ένας για κάθε δάκτυλο του χεριού. Για την χρήση τους χρειάστηκε να γίνουν μετατροπές πάνω στους κινητήρες για την μετατροπή της περιστροφικής κίνησης σε γραμμική.



Εικόνα 4-7 Κινητήρας RC Servo

4.3.2. ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗΣ

Για τον έλεγχο του εξωσκελετικού νάρθηκα χρησιμοποιήθηκε ο μικροελεγκτής Arduino Uno και Arduino mega, ο μικροελεγκτής τοποθετήθηκε στην πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος (PCB) για την σύνδεση του με τα επιμέρους εξαρτήματα του συστήματος. Μέσω της πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος ο μικροελεγκτής συνδέεται με τους πέντε servo κινητήρες, με τους πέντε αισθητήρες δύναμης , με την μπαταρία η οποία τον

τροφοδοτεί, με τους τερματικούς διακόπτες, με δυο διαιρέτες τάσης για τον έλεγχο της στάθμης των μπαταριών, ένα πλήκτρο (push button) και με δυο LED ενδείξεων.

Ο μικροελεγκτής όταν λειτουργεί δέχεται εισαγωγή δεδομένων από τους πέντε αισθητήρες δύναμης, τους πέντε τερματικούς διακόπτες, τους δυο διαιρέτες τάσης των μπαταριών και το πλήκτρο. Μέσω των αισθητήρων δύναμης δέχεται πληροφορίες για την κίνηση που επιθυμεί να πραγματοποιήσει ο χρήστης του νάρθηκα. Από του τερματικούς διακόπτες δέχεται πληροφορία για το πότε φτάνουν στο τέλος της διαδρομής τους τα παξιμάδια που κινούνται πάνω στους ατέρμονες άξονες των κινητήρων. Από τους διαιρέτες τάσης δέχεται πληροφορίες σχετικά με την στάθμη των μπαταριών τροφοδοσίας του μικροελεγκτή και των κινητήρων ξεχωριστά . Επίσης από το πλήκτρο δέχεται πληροφορίες από τον χρήστη.

Ο μικροελεγκτής εκτός από το να δέχεται δεδομένα έχει και το έργο της εξαγωγής δεδομένων. Η εξαγωγή δεδομένων που πραγματοποιεί ο μικροελεγκτής έχει δυο σκοπούς, καταρχάς των έλεγχο του μηχανισμού και κατά δεύτερον την αποστολή πληροφοριών στον χρήστη. Τα δεδομένα που εξάγει ο μικροελεγκτής για τον έλεγχο του συστήματος αποστέλλονται στους κινητήρες, ο μικροελεγκτής βάση τον δεδομένων που λαμβάνει από τα εξαρτήματα που αναφερθηκαν παραπάνω ελέγχει τους servo κινητήρες. Ο έλεγχος αυτός έχει ως αποτέλεσμα την κίνηση των κινητήρων δεξιόστροφα – αριστερόστροφα ή την ακινησία τους. Τα δεδομένα που προορίζονται για τον χρήστη είναι σε μορφή φωτός διαφόρων χρωμάτων. Για παράδειγμα κατά την έναρξη του μηχανισμού όπου πραγματοποιείται η βαθμονόμηση κάθε δακτύλου ένα led τριών χρωμάτων ενημερώνει τον χρήστη σε ποιο δάκτυλο πραγματοποιείται η βαθμονόμηση βάση του χρώματος του.



Εικόνα 4-8 Arduino Uno



Εικόνα 4-9 Arduino mega

4.3.3. ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ

Για την τροφοδοσία του μηχανισμού χρησιμοποιήθηκαν δυο ξεχωριστές μπαταρίες, μια μπαταρία για τον μικροελεγκτή και μια μπαταρία για τους servo κινητήρες. Ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιήθηκαν δυο μπαταρίες είναι για την αποφυγή αναπάντεχης παύσης λειτουργίας του συστήματος ή ελαττωματικής λειτουργίας λόγω χαμηλής στάθμης της μπαταρίας. Σε περίπτωση όπου η μπαταρία των κινητήρων έχει αποφορτιστεί ο μικροελεγκτής θα συνεχίσει να λειτουργεί εύρυθμα λόγω του ότι δέχεται ξεχωριστή τροφοδοσία και θα ενημερώσει τον χρήστη ότι η μπαταρία των κινητήρων πρέπει να φορτιστεί, αποφεύγοντας την πιθανότητα να υπολειπυργήσει ο μικροελεγκτής λόγω χαμηλής φόρτισης. Στην περίπτωση χαμηλής στάθμης της μπαταρίας του μικροελεγκτή ο χρήστης ενημερώνεται αρκετά νωρίτερα ώστε να του δοθεί αρκετός χρόνος για την αντικατάσταση της μπαταρίας.



Εικόνα 4-10 9Volt μπαταρία τροφοδοσίας μικροελεγκτή



Εικόνα 4-11 μπαταρία 12Volt Li-po για την τροφοδοσία των κινητήρων

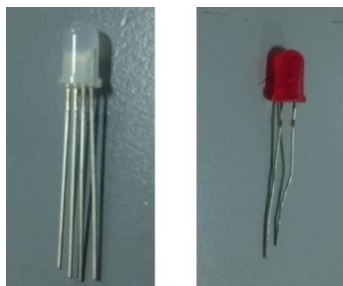
Για την τροφοδοσία του μικροελεγκτή χρησιμοποιήθηκε μια μπαταρία 9V, ενώ για την τροφοδοσία των κινητήρων χρησιμοποιήθηκε μια μπαταρία 12V επαναφορτιζόμενη τύπου Li-Po.

4.3.4. LED ΕΝΔΕΙΞΕΩΝ

Για την μεταφορά πληροφοριών από το μηχανισμό προς τον χρήστη χρησιμοποιήθηκαν δυο LED, ένα RGB LED και ένα μονοχρωματικό κόκκινο LED.

Το RGB LED ενημερώνει τον χρήστη κατά την έναρξη του μηχανισμού για το ποιο δάκτυλο βαθμονομείται την δεδομένη στιγμή βάση του χρώματος που εκπέμπει, ενώ κατά την διάρκεια της χρήσης του μηχανισμού ενημερώνει τον χρήστη για το ποιος ή ποιοι κινητήρες έχουν φτάσει στο τέρμα της διαδρομής τους, επίσης σε συνδυασμό με το μονοχρωματικό LED μπορεί να πληροφορήσει τον χρήστη για το αν οι μπαταρίες έχουν χαμηλή στάθμη φόρτισης.

Το μονοχρωματικό κόκκινο LED κατά την έναρξη του μηχανισμού ενημερώνει τον χρήστη για την μεταβατική περίοδο μεταξύ της βαθμονόμησης των δακτύλων, ενώ κατά την διάρκεια της χρήσης του μηχανισμού σε συνδυασμό με το RGB LED δίνει πληροφορία για την στάθμη των μπαταριών.



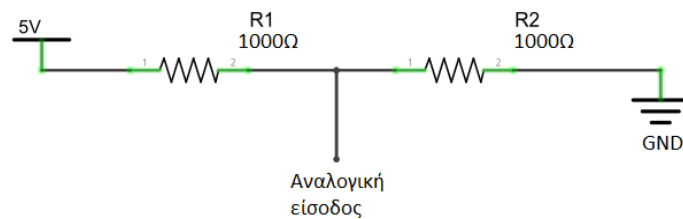
Εικόνα 4-12 LED lights (αριστερά RGB LED , δεξιά Red LED)

4.3.5. ΠΛΑΚΕΤΑ ΤΥΠΩΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ (PCB)

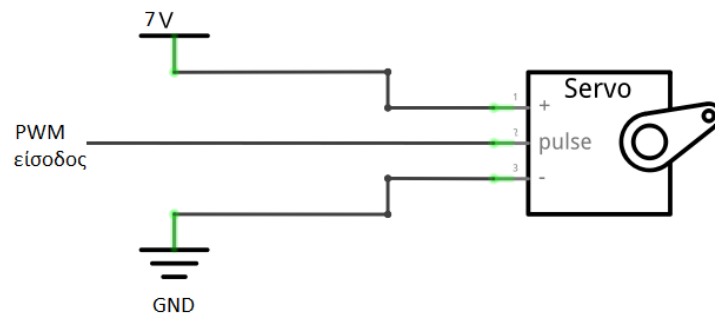
Για την υλοποίηση του απαραίτητου κυκλώματος του μηχανισμού επιλέχθηκε να κατασκευαστεί το κύκλωμα σε πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος (PCB) για την ελαχιστοποίηση του μεγέθους του.

Για τον σχεδιασμό της PCB πλακέτας χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Eagle, αρχικά κατασκευάστηκε το σχηματικό του κυκλώματος και στην συνέχεια σχεδιάστηκε το κύκλωμα που θα τυπωνόταν στην πλακέτα με την μέθοδο της χαλκογραφίας.

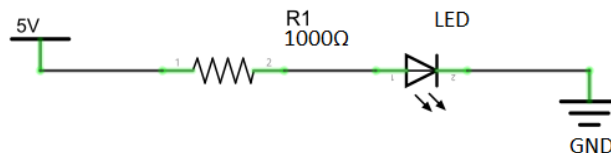
Η εν λόγω πλακέτα αποτελείται από έξι απλά κυκλώματα τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω.



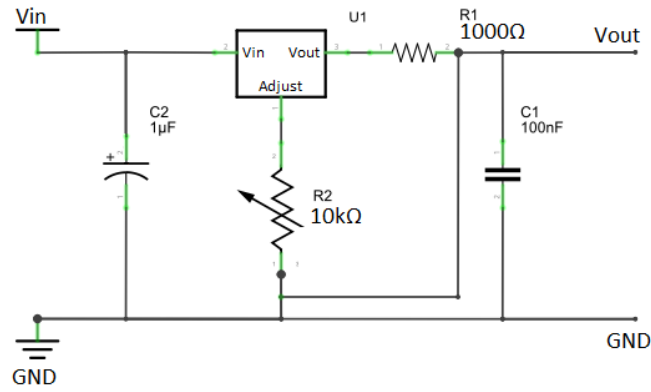
Εικόνα 4-13 Κύκλωμα μέτρησης στάθμης μπαταρίας



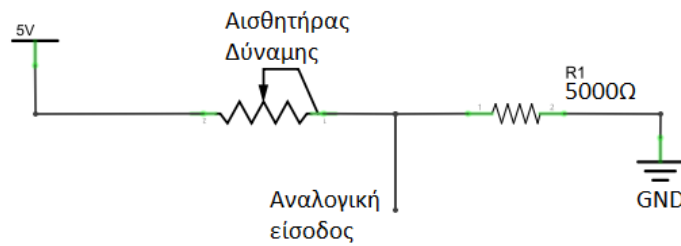
Εικόνα 4-14 Κύκλωμα τοποθέτησης Servo κινητήρων



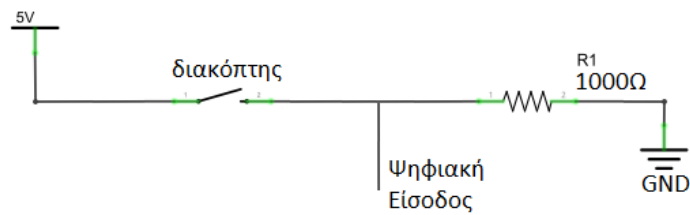
Εικόνα 4-15 Κύκλωμα τοποθέτησης LED



Εικόνα 4-16 Κύκλωμα σταθεροποιητή τάσης

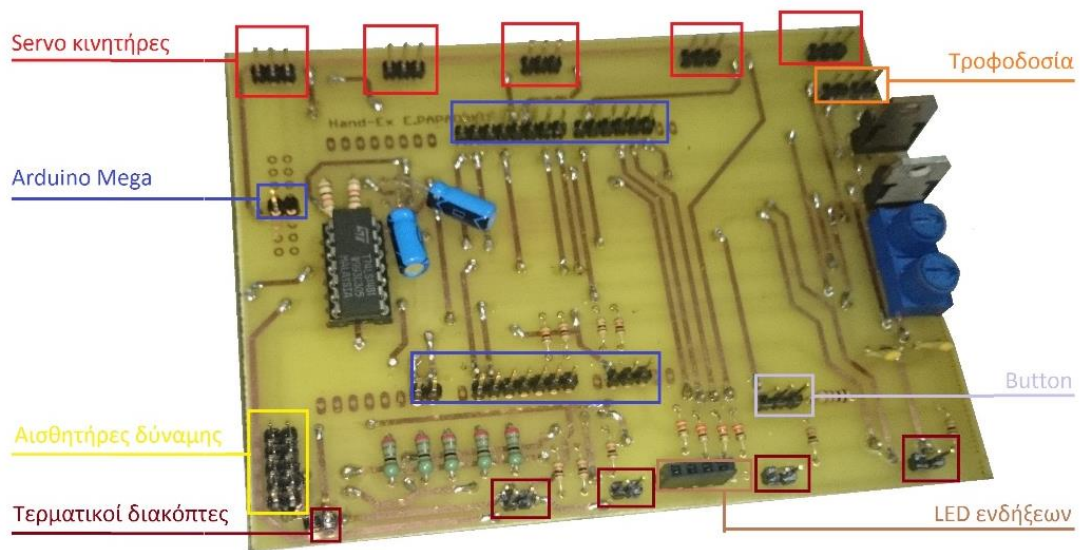


Εικόνα 4-17 Κύκλωμα τοποθέτησης αισθητήρα δύναμης



Εικόνα 4-18 Κύκλωμα τοποθέτησης τερματικού διακόπτη

Λόγω της περιπλοκότητας του κυκλώματος και των περιορισμένων διαστάσεων επιλέχθηκε το κύκλωμά να υλοποιηθεί σε πλακέτα διπλής όψης. Η κατασκευή της πλακέτας πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο μικροελεγκτών του τμήματος ηλεκτρολόγων μηχανικών του ΤΕΙ Κρήτης με την βοήθεια φοιτητών του τμήματος.

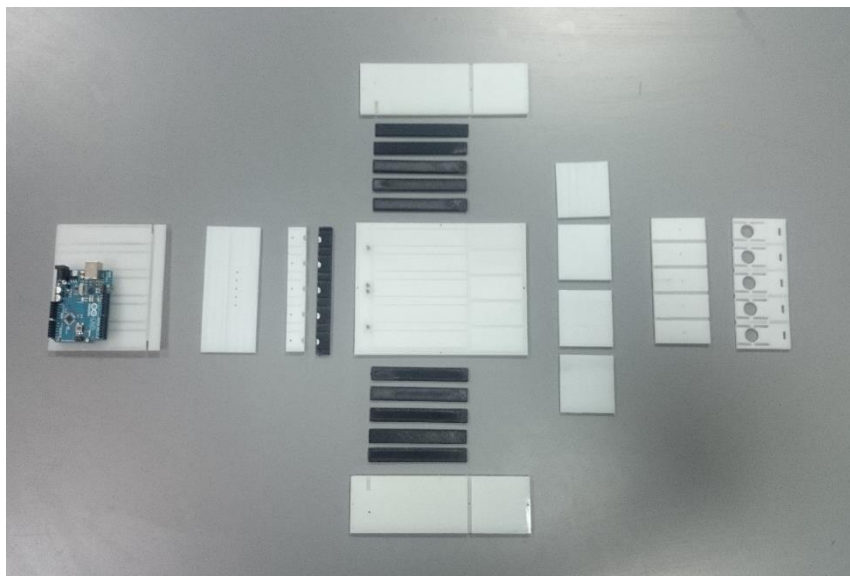


Εικόνα 4-19 Πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος

Παραπάνω απεικονίζεται η πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος που κατασκευάστηκε (εικόνα 4-13), επίσης απεικονίζονται και οι θέσεις στις οποίες τοποθετείται κάθε εξάρτημα.

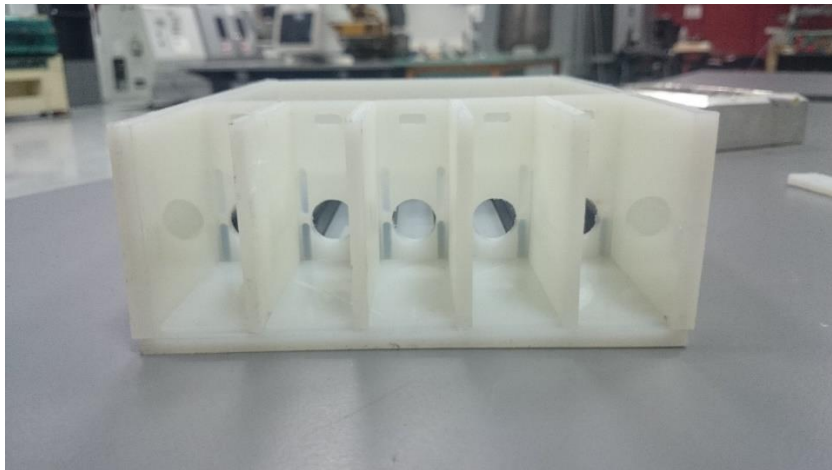
4.4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΟΔΗΓΗΣΗΣ

Για την κατασκευή του κουτιού χρησιμοποιήθηκε μια CNC φρεζομηχανή τριών αξόνων και ένας τρισδιάστατος εκτυπωτής, παρακάτω φαίνονται τα κομμάτια που κατασκευαστήκαν, η συναρμολόγησή τους και η ολοκληρωμένη μονάδα οδήγησης του μηχανισμού.

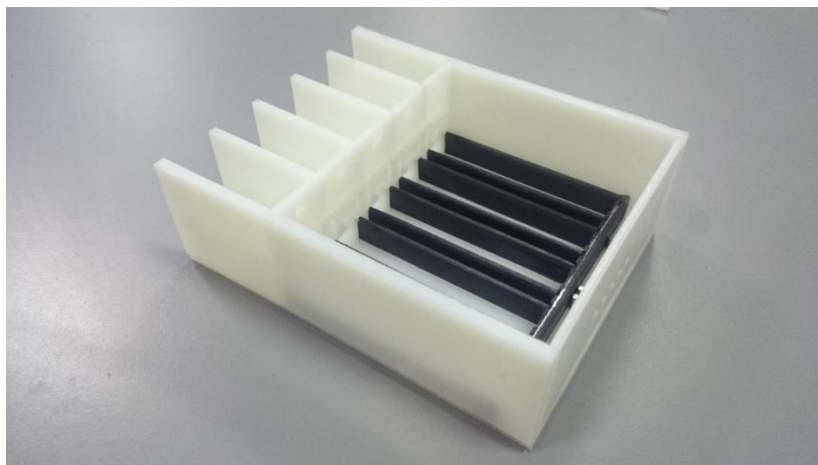


Εικόνα 4-20 Κομμάτια μονάδας οδήγησης πριν την συναρμολόγηση

Το κουτί όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα αποτελείται από 23 κομμάτια, με την εξαίρεση των 5 κομματιών που αποτελούν το καπάκι του κουτιού. Τα λευκά κομμάτια είναι κατασκευασμένα από Ερταλόν ενώ τα μαύρα κομμάτια είναι κατασκευασμένα από ABS plus, τα τεμάχια από Ερταλόν κατασκευάστηκαν στην CNC φρεζομηχανή ενώ τα τεμάχια από ABS plus εκτυπώθηκαν στον τρισδιάστατο εκτυπωτή (3D Printer).



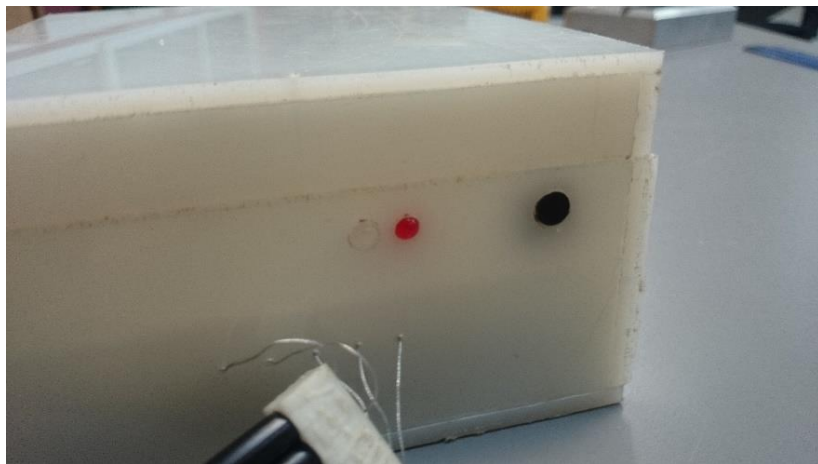
Εικόνα 4-21 Αρχικό στάδιο συναρμολόγησης πίσω όψη



Εικόνα 4-22 Αρχικό στάδιο συναρμολόγησης πάνω όψη



Εικόνα 4-23 Συναρμολογημένοι ατέρμονες άξονες



Εικόνα 24-24 Εμπρόσθια όψη μονάδας οδήγησης

Για την τοποθέτηση του κλείστρου της μονάδας οδήγησης σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν τρεις μεντεσέδες (εικόνα 4-25) οι οποίοι κρατάνε σταθερά το κλείστρο πάνω στο κορμό της μονάδας επιτρέποντας του την περιστροφή για το εύκολο άνοιγμα του.



Εικόνα 4-25 Πίσω όψη μονάδας οδήγησης

5. ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΞΩΣΚΕΛΕΤΙΚΟΥ ΝΑΡΘΗΚΑ

5.1.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται ο τρόπος λειτουργίας του εξωσκελετικού νάρθηκα

5.2. Hand-Ex που κατασκευάστηκε στα πλαίσια της πτυχιακής αυτής εργασίας, καθώς και οι δυνατότητες που διαθέτει ο εν λόγω εξωσκελετικός νάρθηκας.

ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

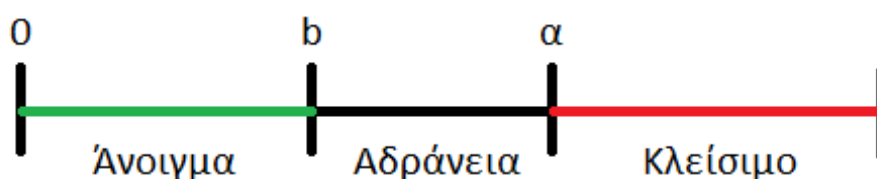
Ο εξωσκελετικός νάρθηκας Hand-Ex για την λειτουργία του χρησιμοποιεί πέντε servo κινητήρες οι οποίοι συνδέονται ο κάθε ένας με το άκρο κάθε δάκτυλου ξεχωριστά με συρματόσχοινο. Με την ελεγχόμενη κίνηση των κινητήρων τα δάκτυλα εξαναγκάζονται να

κινήθουν ανάλογα με την κίνηση των κινητήρων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την δυνατότητα του ανοίγματος, κλεισίματος και ακινησίας των δακτύλων.

Κατά την έναρξη του εξωσκελετικού νάρθηκα πραγματοποιείται η βαθμονόμηση των αισθητήρων δύναμης. Η βαθμονόμηση πραγματοποιείται κάθε φορά που γίνεται έναρξη λειτουργίας του νάρθηκα λόγω του ότι οι αισθητήρες μπορεί να διαβάσουν διαφορετικές τιμές ανάλογα με τον τρόπο που έχει φορεθεί ο νάρθηκας και κύριος λόγω της βελτίωσης της κατάστασης του χεριού του χρήστη έπειτα από εκτεταμένη χρήση του νάρθηκα. Κατά την βαθμονόμηση κάθε αισθητήρας βαθμονομείται ξεχωριστά. Η βαθμονόμηση πραγματοποιείται ανοίγοντας κάθε δάκτυλο μέχρι την θέση που επιθυμεί ο χρήστης να είναι το μέγιστο άνοιγμα του δάκτυλου που βαθμονομείται κάθε φορά, όταν το δάκτυλο φτάσει στην θέση αυτή ο χρήστης πρέπει να πατήσει το πλήκτρο που βρίσκεται πάνω στη μονάδα οδήγησης του εξωσκελετικού νάρθηκα ώστε να καταχωρηθεί η τιμή της δύναμης που ασκεί το δάκτυλο του στην συγκεκριμένη θέση και στην συνέχεια να ξεκινήσει η βαθμονόμηση του επόμενου δακτύλου. Επίσης κατά την βαθμονόμηση των αισθητήρων πραγματοποιείται και η δημιουργία τριών πεδίων δύναμης για κάθε αισθητήρα δύναμης ξεχωριστά. Αυτά τα πεδία αντιπροσωπεύουν την κίνηση των κινητήρων ανάλογα με την δύναμη η οποία ασκείται σε κάθε δάκτυλο. Τα τρία αυτά πεδία έχουν το ίδιο εύρος τιμών και κατασκευάζονται βάση των παρακάτω τύπων.

$a = \text{μέτρηση αισθητήρα δύναμης}$

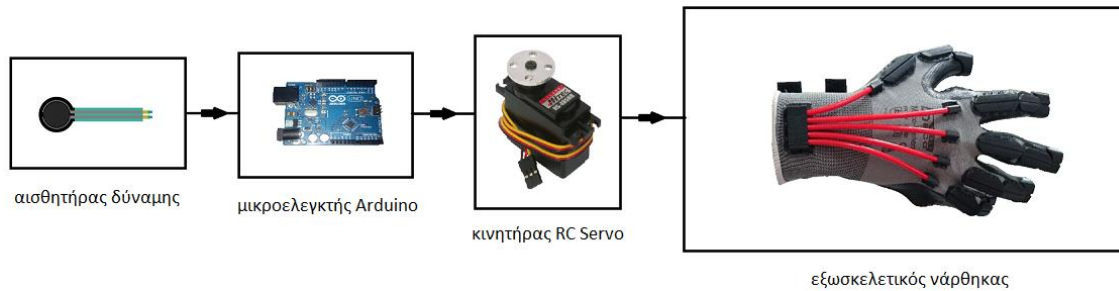
$$b = \frac{a}{2}$$



Εικόνα 5-1 Πεδία μετρήσεων των αισθητήρων δύναμης για την οδήγηση των κινητήρων

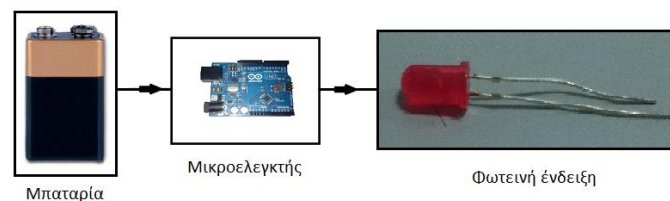
Για τον έλεγχο του νάρθηκα από τον χρήστη χρησιμοποιούνται αισθητήρες δύναμης οι οποίοι μετράνε την δύναμη που ασκείται στα άκρα των δακτύλων του. Όταν ο χρήστης επιθυμεί να κλείσει τα δάκτυλα του πρέπει να ασκήσει δύναμη, όπως θα ασκούσε και ένα φυσιολογικό άτομο για να κλείσει το χέρι του, όταν επιθυμεί να μείνουν ακίνητα τα

δάκτυλα πρέπει να ασκήσει μεσαίας έντασης δύναμη, ενώ όταν επιθυμεί να ανοίξουν τα δάκτυλα πρέπει να τα αφήσει ελεύθερα και να μην ασκεί δύναμη (εικόνα 5-1).



Εικόνα 5-2 Πορεία πληροφορίας για τον έλεγχο του εξωσκελετικού νάρθηκα

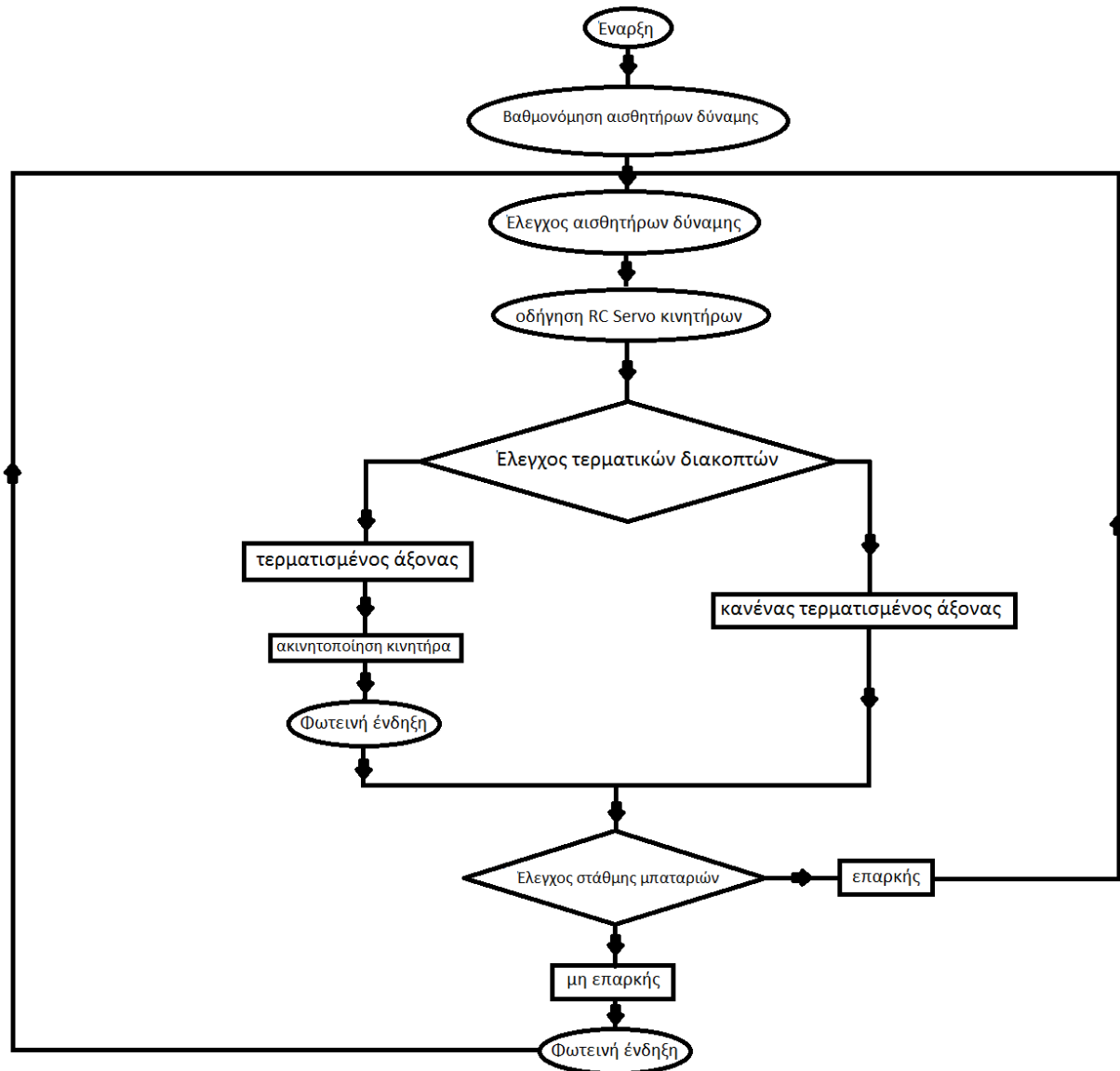
Όπως παρουσιάζεται στο παραπάνω σχεδιάγραμμα η ροή της πληροφορίας ξεκινάει από τον αισθητήρα δύναμης ο οποίος μετράει την δύναμη που ασκούν τα δάκτυλα κάθε στιγμή, επεξεργάζεται στον μικροελεγκτή Arduino ο οποίος ελέγχοντας την μέτρηση του αισθητήρα δύναμης με την σειρά του ελέγχει την φορά περιστροφής του RC servo κινητήρα ο οποίος τέλος κινεί τον εξωσκελετικό νάρθηκα.



Εικόνα 5-3 Πορεία πληροφορίας για την ένδειξη χαμηλής μπαταρίας

Κατά την διάρκεια λειτουργίας του εξωσκελετικού νάρθηκα, εκτός από τον έλεγχο που πραγματοποιείται από τους αισθητήρες δύναμης, πραγματοποιείται έλεγχος στάθμης των μπαταριών τροφοδοσίας. Λόγω του ότι οι κινητήρες τροφοδοτούνται από διαφορετική μπαταρία από ότι ο μικροελεγκτής είναι αναγκαίο να ελέγχονται ξεχωριστά οι στάθμες των δυο μπαταριών. Αυτό πραγματοποιείται για να μπορούμε να διακρίνουμε ποια μπαταρία χρειάζεται φόρτιση κάθε φορά. Μέσω μιας διάταξης διαιρέτη τάσεως μετριέται η τάση της μπαταρίας από τον μικροελεγκτή, ο οποίος όταν η στάθμη της μπαταρίας πέσει κάτω από την τιμή που πλέον το σύστημα δεν λειτουργεί σωστά ενημερώνει μέσω φωτεινής ένδειξης τον χρήστη.

Βάση των παραπάνω η λογική λειτουργίας του εξωσκελετικού νάρθηκα μπορεί να περιγράψει με ένα απλό λογικό διάγραμμα.



Εικόνα 5-4 Λογικό διάγραμμα λειτουργίας εξωσκελετικού νάρθηκα

Όπως παρουσιάζεται στο παραπάνω λογικό διάγραμμα λειτουργίας του εξωσκελετικού νάρθηκα, μετά την έναρξη του ακολουθεί η βαθμονόμηση των αισθητήρων δύναμης κάθε δάκτυλου, στην συνέχεια πραγματοποιείται έλεγχος των τιμών των αισθητήρων δύναμης και βάση των τιμών αυτών οδηγούνται οι RC servo κινητήρες. Έπειτα πραγματοποιείται έλεγχος της στάθμης των μπαταριών τροφοδοσίας, οπότε εάν οι στάθμες βρίσκονται πάνω από την οριακή στάθμη για την λειτουργία του μηχανισμού επαναλαμβάνεται ο έλεγχος των αισθητήρων δύναμης και η οδήγηση το RC servo κινητήρων, ενώ εάν η στάθμη έστω μιας από τις μπαταρίες είναι χαμηλότερη ή ίση με την οριακή στάθμη πραγματοποιείται








προειδοποίηση φόρτισης με φωτεινή ένδειξη και στην συνέχεια επαναλαμβάνεται ο έλεγχος των αισθητήρων δύναμης και η οδήγηση των RC servo κινητήρων.

Ο κώδικας που κατασκευάστηκε σε γλώσσα wire c για την λειτουργία του μικροελεγκτή Arduino παρουσιάζεται στο παράρτημα Γ.

5.2.1. ΦΩΤΕΙΝΕΣ ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ










Κατά την διάρκεια της λειτουργίας του εξωσκελετικού νάρθηκα ο χρήστης λαμβάνει πληροφορίες για την λειτουργία του συστήματος μέσω φωτεινών ενδείξεων. Οι ενδείξεις αυτές χωρίζονται σε δυο στάδια, το πρώτο είναι το στάδιο της βαθμονόμησης ενώ το δεύτερο είναι το στάδιο της λειτουργίας του νάρθηκα.

Κατά το στάδιο της βαθμονόμησης ο χρήστης του νάρθηκα πληροφορείται για το ποιο δάκτυλο βαθμονομείται κάθε στιγμή και για την στιγμή της αλλαγής της βαθμονόμησης μεταξύ των δακτύλων.

RGB LED		ΜΟΝΟΧΡΩΜΟ LED	
	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΑΝΤΙΧΕΙΡΑ		ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΔΑΚΤΥΛΟΥ
	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΔΕΙΚΤΗ		
	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΜΕΣΟΥ		ΑΛΛΑΓΗ ΔΑΚΤΥΛΟΥ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ
	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΣΟΥ		
	ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΜΙΚΡΟΥ		

Εικόνα 5-5 Φωτεινές ενδείξεις κατά την βαθμονόμηση

Κατά το στάδιο της λειτουργία του εξωσκελετικού νάρθηκα ο χρήστης πληροφορείται μέσω των φωτεινών ενδείξεων αν η στάθμη των μπαταριών είναι επαρκής, και για το αν κάποιος από τους ατέρμονες έχει φτάσει στο τέλος της διαδρομής του.

RGB LED		ΜΟΝΟΧΡΩΜΟ LED	
	ΤΕΛΟΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ ΑΝΤΙΧΕΙΡΑ	 συνεχόμενο	ΕΠΑΡΚΗΣ ΣΤΑΘΜΗ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ
	ΤΕΛΟΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ ΔΕΙΚΤΗ	 συνεχόμενο	ΧΑΜΗΛΗ ΣΤΑΘΜΗ ΚΑΙ ΤΩΝ ΔΥΟ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ
	ΤΕΛΟΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ ΜΕΣΟΥ		ΧΑΜΗΛΗ ΣΤΑΘΜΗ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ SERVO
	ΤΕΛΟΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ ΠΑΡΑΜΕΣΟΥ	 αναβοσβήνει με ρυθμό 1:1	ΧΑΜΗΛΗ ΣΤΑΘΜΗ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ ARDUINO
	ΤΕΛΟΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ ΜΙΚΡΟΥ	 αναβοσβήνει με ρυθμό 2:1	

Εικόνα 5-6 Φωτεινές ενδείξεις κατά την λειτουργία

ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ

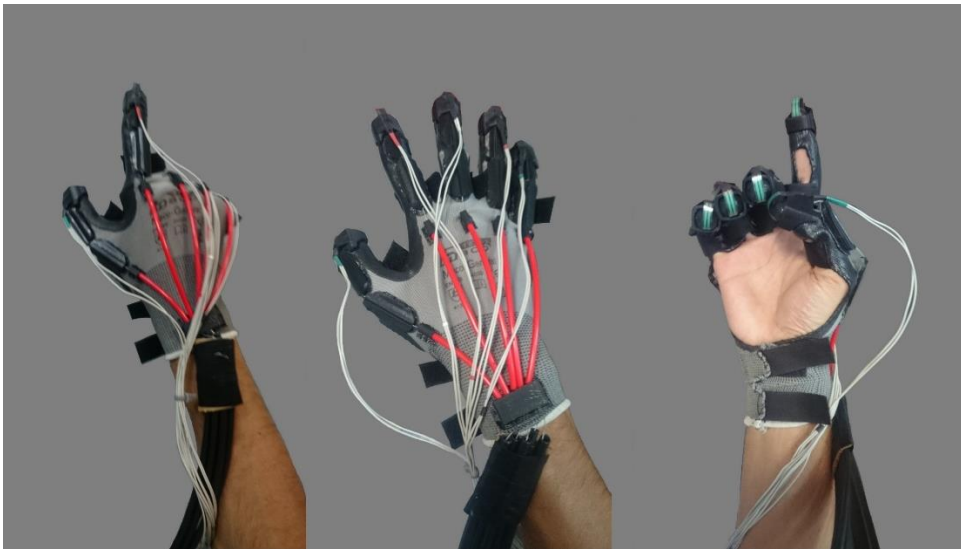
5.3.

Τα άτομα που πάσχουν από μερική αναπηρία στα χέρια λόγω μειωμένου μήκους των τενόντων αντιμετωπίζουν πρόβλημα στο να ανοίξουν τα δάκτυλα τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην μπορούν να κάνουν κινήσεις ή λαβές, με άμεσο αποτέλεσμα να έχουν δυσκολία σε καθημερινές ασχολίες όπως να πιάσουν ένα ποτήρι με νερό ή κάποιο εργαλείο.

Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος πραγματοποιούνται συνεδρίες φυσιοθεραπείες κατά τις οποίες ο φυσιοθεραπευτής ανοίγει τα δάκτυλα του ασθενή και τα διεγείρει με ηλεκτρικό ρεύμα. Σκοπός των συνεδριών αυτών είναι με την πάροδο του χρόνου οι τένοντες να επανακτήσουν κάποιο ποσοστό του μήκους που είχαν χάσει.

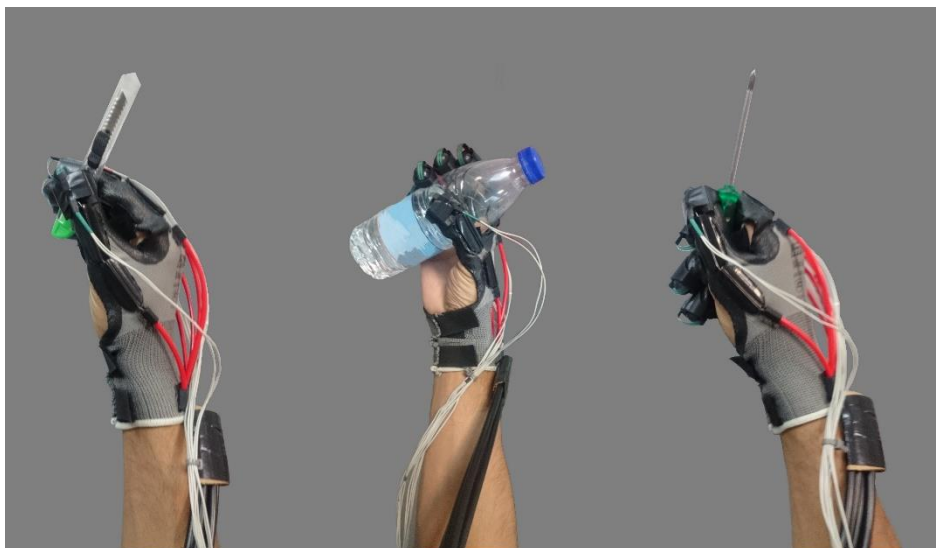
Κατά την περίοδο που πραγματοποιούνται οι συνεδρίες φυσιοθεραπείας όμως τα άτομα αυτά δεν έχουν την δυνατότητα χρήσης του χεριού τους. Επίσης πολλά άτομα με αυτό το πρόβλημα δεν έχουν την δυνατότητα να πραγματοποιήσουν τις συνεδρίες αυτές, και ακόμα και αν τις πραγματοποιήσουν υπάρχει η πιθανότητα στο τέλος των συνεδριών να μην έχουν μεγάλη βελτίωση στο χέρι τους.

Ο εξωσκελετικός νάρθηκας Hand-Ex που κατασκευάστηκε για άτομα με μερική αναπηρία στα χέρια, έχει την δυνατότητα κατά την χρήση του να ανοίγει τα δάκτυλα του χρήστη ώστε να πραγματοποιεί κινήσεις και λαβές τις οποίες δεν μπορεί να κάνει από μόνος του λόγω της κατάστασης του χεριού του. Όπως παρουσιάζεται παρακάτω, ο χρήστης μπορεί να πιάσει διάφορα αντικείμενα τα οποία δεν μπορούσε να πιάσει προηγουμένως.



Εικόνα 7-7 Κινήσεις με την βοήθεια του εξωσκελετικού νάρθηκα Hand-Ex

Στην παραπάνω εικόνα (εικόνα 5-7) παρουσιάζονται μερικές από τις κινήσεις που μπορούν να πραγματοποιηθούν με την βοήθεια του εξωσκελετικού νάρθηκα Hand-Ex.



Εικόνα 8-8 Λαβή αντικείμενων με την βοήθεια του εξωσκελετικού νάρθηκα Hand-Ex

Στην παραπάνω εικόνα (εικόνα 5-8) παρουσιάζονται μερικές από τις λαβές που μπορούν να πραγματοποιηθούν με την βοήθεια του εξωσκελετικού νάρθηκα Hand-Ex.

Επίσης ο εξωσκελετικός νάρθηκας Hand-Ex είναι φορητός και έχει την δυνατότητα αυτόνομης λειτουργίας έως και τεσσάρων ωρών, η οποία το καθιστά ιδανικό για χρήση σε εξωτερικούς χώρους.

Όπως φάνηκε παραπάνω ο εξωσκελετικός νάρθηκας Hand-Ex έχει την δυνατότητα να βοηθήσει τα άτομα με μερική αναπηρία στα χέρια ώστε να πραγματοποιήσουν κινήσεις και λαβές κατά την διάρκεια της χρήσης του. Επίσης χρησιμοποιώντας το Hand-Ex κατά την διάρκεια της μέρας οι τένοντες βρίσκονται σε ένταση όπως κατά την διάρκεια των φυσιοθεραπευτικών συνεδριών, επομένως με την κατάλληλη χρήση του Hand-Ex ο ασθενής συνεχίζει την αγωγή του και πέρα των συνεδριών με τον φυσιοθεραπευτή του.

Ο εξωσκελετικός νάρθηκας Hand-Ex που κατασκευάστηκε στα πλαίσια της πτυχιακής αυτής εργασίας δεν έχει ελεγχθεί σε εκτεταμένη χρήση από άτομα με κοντούς τένοντες υπό την επίβλεψη ιατρών, λόγω αυτού δεν έχει καθοριστεί το χρονικό όριο για την ασφαλή χρήση του. Σε εκτεταμένη χρήση διατρέχεται κίνδυνος τραυματισμού του χρήστη, λόγω του μεγάλου φορτίου που δέχονται οι τένοντες κατά την χρήση του εξωσκελετικού αυτού νάρθηκα. Για τον καθορισμό της ασφαλούς χρήσης του εξωσκελετικού νάρθηκα Hand-Ex θα πρέπει να πραγματοποιηθεί δοκιμή υπό την επίβλεψη ιατρών σε άτομα με μειωμένο μήκος τενόντων.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

6.1.

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, μελετήθηκε ο σχεδιασμός και η κατασκευή ενός εξωσκελετικού νάρθηκα (Hand-Ex) περιλαμβανομένου και του κουτιού οδήγησης του, επίσης μελετήθηκαν και οι φυσιολογικές κινήσεις των δακτύλων του ανθρώπινου χεριού. Μετά το τέλος της κατασκευής του εξωσκελετικού νάρθηκα καταλήξαμε στα εξής συμπεράσματα:

- Μέσω της μελέτης των φυσιολογικών κινήσεων των ανθρωπίνων δακτύλων καταλήξαμε στο συμπέρασμα πως οι αρθρώσεις των δακτύλων σε μια φυσιολογική κίνηση μπορούν να συσχετιστούν μεταξύ τους, δίνοντας μας ένα μοντέλο το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στους εξωσκελετικούς νάρθηκες με σκοπό την βέλτιστη επαναφορά φυσικής κίνησης σε άτομα με αναπηρίες στα χέρια.

- Μέσω του σχεδιασμού και κατασκευής του εξωσκελετικού νάρθηκα που πραγματοποιήθηκε συμπεράναμε ότι η για την σωστή και δίχως πρόβλημα εφέλκηση των δακτύλων απαιτείται τα κομμάτια κάθε φάλαγγας να υπερβαίνουν λίγο την άρθρωση που ακολουθεί.
- Μετά το τέλος της κατασκευής και την δοκιμή της σε άτομα με μερική αναπηρία στα χέρια (μειωμένο μήκος τενόντων) συμπεράναμε πως ο εξωσκελετικός νάρθηκας μπόρεσε να επαναφέρει μέρος των κινήσεων του χεριού επιτρέποντας στον χρήστη να πιάσει αντικείμενα που προηγουμένως του ήταν αδύνατο. Επίσης παρατηρήθηκε ορισμένη ενόχληση λόγω του τραβήγματος των τενόντων το οποίο υποδεικνύει ότι ο νάρθηκας είναι θεμιτό να μην χρησιμοποιείται για πολύ χρόνο κατά την περίοδο έναρξης της χρήσης του.
- Μετά την κατασκευή της τσάντας τοποθέτησης του κουτιού οδήγησης του εξωσκελετικού νάρθηκα, παρατηρήθηκε ότι το βάρος του κουτιού δεν ενοχλούσε τον χρήστη λόγω της τοποθέτησης του στην μέση.



Εικόνα 6-1 Εξωσκελετικός νάρθηκας Hand-Ex

ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Η πτυχιακή αυτή εργασία στην οποία σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε ο εξωσκελετικός νάρθηκας Hand-Ex θα μπορούσε να αποτελέσει υπόβαθρο για μελλοντική έρευνα πάνω στους εξωσκελετικούς νάρθηκας. Μελλοντικό πεδίο έρευνας μπορεί να αποτελέσει:

6.2.

- Περαιτέρω έρευνα των φυσιολογικών κινήσεων του ανθρώπινου χεριού, για μεγαλύτερη ακρίβεια της μοντελοποίησης των κινήσεων με σκοπό την καλύτερη κατανόηση των κινήσεων που ένας εξωσκελετικός νάρθηκας θα πρέπει να είναι σε θέση να επαναφέρει.
- Βελτίωση των κινητήριων μηχανισμών, για τον ακριβέστερο έλεγχο του εξωσκελετικού νάρθηκα. Ο εξωσκελετικός νάρθηκας που κατασκευάστηκε στην πτυχιακή εργασία ελέγχει κάθε δάκτυλο ξεχωριστά. Με βελτίωση των κινητήριων μηχανισμών θα μπορούσε να κατασκευαστεί ένα νέο μοντέλο το οποίο θα ελέγχει κάθε άρθρωση ξεχωριστά σε κάθε δάκτυλο.
- Κατασκευή εξωσκελετικού νάρθηκα ο οποίος θα ελέγχει κάθε άρθρωση ξεχωριστά και ο έλεγχος των δακτύλων θα πραγματοποιείται βάση των μοντέλων των φυσιολογικών κινήσεων του χεριού. Με αυτό τον τρόπο ο νάρθηκας θα κινείται πιο φυσικά και θα μπορεί να κάνει ακριβείς κινήσεις.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] 1-fsr-sensor. (n.d.).
- [2] 2012 Current Hand Exoskeleton Technologies for Rehabilitation and Assistive Engineering. (n.d.).
- [3] 2Νικόλαος Κριτσωτάκης - Κινηματική ανάλυση και έλεγχος κίνησης-λαβής ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού. (n.d.).
- [4] Douglas Martin Linn, W. L., Chris A. Ihrke, H. M., & Myron A. Diftler, H. T. (2012). *USA Ευρεσιτεχνία Αρ. US 8,255,079 B2.*

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΣΕ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥΣ

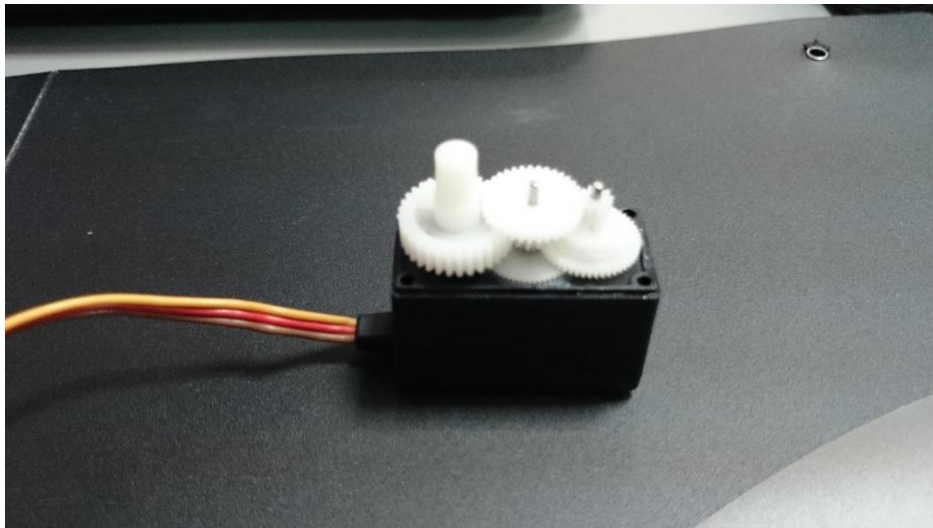
Για την μετατροπή του servo κινητήρα από περιστροφική σε γραμμική πρέπει να ακολουθηθούν παρακάτω βήματα.

- Αποσύνδεση του ποτενσιόμετρου από το γρανάζι στο οποίο είναι συνδεδεμένο
- Τοποθέτηση και ακινητοποίηση του ποτενσιόμετρου στις 90°
- Τοποθέτηση βίδας στο εξωτερικό γρανάζι του μηχανισμού
- Κατασκευή δρομέα
- Έλεγχος

ΑΠΟΣΥΝΔΕΣΗ ΠΟΤΕΝΣΙΟΜΕΤΡΟΥ

Για την αποσύνδεση του ποτενσιόμετρου από το γρανάζι του μηχανισμού θα πρέπει να ανοιχθεί ο μηχανισμός ώστε να βγουν τα γρανάζια. Το γρανάζι το οποίο βγαίνει έξω από τον μηχανισμό είναι και το γρανάζι στο οποίο είναι συνδεδεμένο το ποτενσιόμετρο. Σε servo με πλαστικά γρανάζια το ποτενσιόμετρο συνδέεται με το γρανάζι μέσω ενός μικρού πλαστικού κομματιού το οποίο όταν αφαιρεθεί το γρανάζι περιστρέφεται χωρίς να αλλάζει την θέση του ποτενσιόμετρου. Επίσης το γρανάζι αυτό έχει και μια μικρή προεξοχή η οποία δεν του επιτρέπει να κινηθεί λόγω της σύγκρουσης του με τα γειτονικά γρανάζια του μηχανισμού, επομένως αυτή πρέπει να αφαιρεθεί. Σε servo μηχανισμούς που διαθέτουν

μεταλλικά γρανάζια η διαδικασία διαφέρει λίγο λόγω του ότι η κατασκευή των γραναζιών είναι διαφορετική. Για την αποσύνδεση του ποτενσιόμετρου σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει από το γρανάζι που είναι συνδεδεμένο με το ποτενσιόμετρο να αφαιρέσουμε υλικό με ένα τρυπάνι λόγω του ότι σε αυτή την περίπτωση δεν υπάρχει ενδιάμεσο κομμάτι μεταξύ του ποτενσιόμετρου και του γραναζιού. Όπως και στην περίπτωση των πλαστικών γραναζιών έτσι και στην περίπτωση των μεταλλικών γραναζιών υπάρχει μια μικρή προεξοχή που δεν επιτρέπει να περιστραφεί λόγω της κρούσης της με τα γειτονικά γρανάζια. Σε αυτή την περίπτωση πρόκειται για ένα μικρό κυλινδρικό άξονα το οποίο μπορεί να αφαιρεθεί με πένσα.



Ανοικτό servo



ασφάλεια ποτενσιόμετρου

ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΙ ΑΚΙΝΗΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΟΤΕΝΣΙΟΜΕΤΡΟΥ

Για να μπορούμε να ελέγξουμε την περιστροφή του servo και προς τις δυο κατευθύνσεις το ποτενσιόμετρο πρέπει να ακινητοποιηθεί στην θέση των 90° . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η μέτρηση τις θέσεις να είναι πάντα 90° . Επομένως όταν δοθεί εντολή στο servo να κινηθεί προς τις 0° , το εξωτερικό γρανάζι περιστρέφεται προς τα αριστερά. Λόγω του ότι το ποτενσιόμετρο δεν αλλάζει την τιμή του, περιστρέφεται συνεχώς. Αντίστοιχα όταν δοθεί εντολή να περιστραφεί προς τις 180° το servo περιστρέφεται συνεχώς προς τα δεξιά, ενώ όταν δοθεί η εντολή για τις 90° το servo παραμένει ακίνητο. Για να γίνουν όλα αυτά εφικτά πρέπει το servo να είναι συνδεδεμένο στον ηλεκτρονικό υπολογιστή την στιγμή που είναι ανοικτό και έχουμε άμεση πρόσβαση στο ποτενσιόμετρο. Πρέπει να έχουμε περασμένο στο Arduino ένα πρόγραμμα το οποίο να δίνει εντολή στο servo να πάει στις 90° , στην συνέχεια περιστρέφουμε το ποτενσιόμετρο μέχρι να βρούμε την θέση στην οποία τα γρανάζια παραμένουν ακίνητα. Σε αυτήν τη θέση πρέπει να ακινητοποιήσουμε το ποτενσιόμετρο και αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση στιγμιαίας κόλλας.

ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΑΤΕΡΜΟΝΑ ΣΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΓΡΑΝΑΖΙ ΤΟΥ SERVO

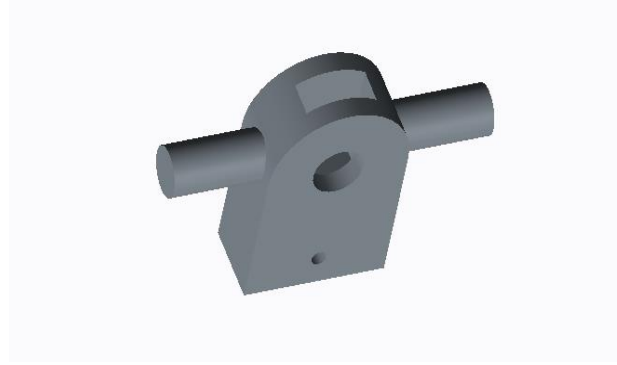
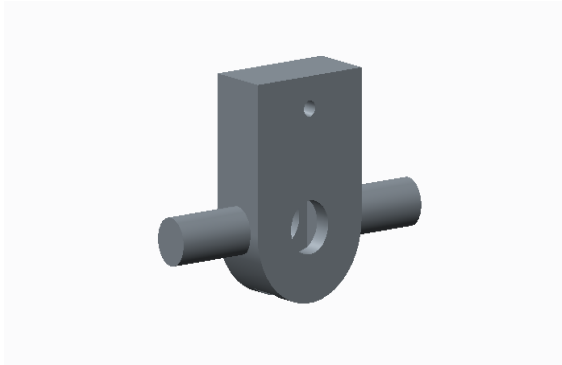
Για την μετατροπή της κίνησης χρησιμοποιείτε μια βίδα σε συνδυασμό με ένα παξιμάδι το οποίο δεν επιτρέπεται να περιστρέφεται, με αυτό τον τρόπο καθώς η βίδα περιστρέφεται το παξιμάδι βιδώνει και ξεβιδώνει. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μετατροπή της περιστροφικής κίνησης της βίδας σε γραμμική κίνηση του παξιμαδιού.

Η βίδα τοποθετηθεί στο εξωτερικό γρανάζι του κινητήριου servo motor, για αυτό το σκοπό χρησιμοποιείτε μια βάση του ταιριάζει στο servo και η βίδα πακτώνεται με σιλικόνη στην θέση της.

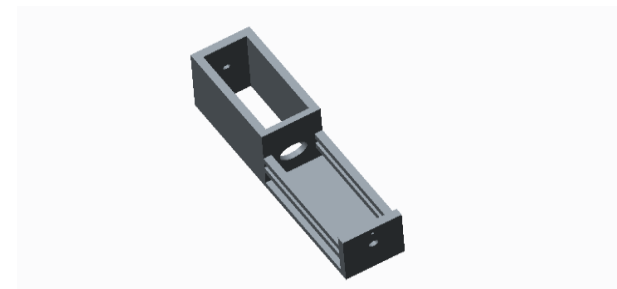
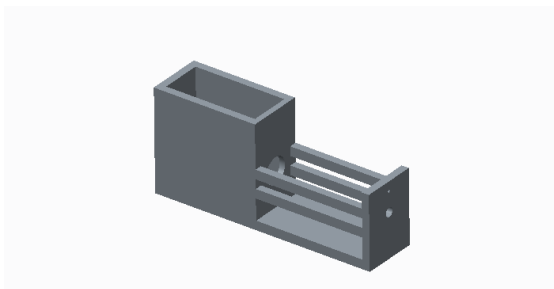
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΔΡΟΜΕΑ

Για την κατασκευή του δρομέα πρέπει να σχεδιαστεί το σχέδιο του αρχικά στο Creo και στην συνέχεια να εκτυπωθεί σε 3D printer του εργαστήριου, παρακάτω φαίνονται τα σχέδια του δρομέα καθώς και η τελική κατασκευή.

ΣΧΕΔΙΑ CREO

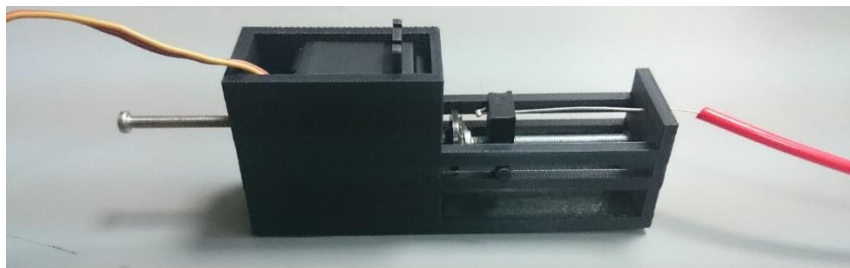


CAD βάσης τοποθέτησης παξιμαδιού



CAD βάσης servo κινητήρα και ατέρμονα

ΤΕΛΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ



Τελική κατασκευή γραμμικού ενεργοποιητή

ΚΩΔΙΚΑΣ ARDUINO

Για τον έλεγχο του μηχανισμού χρησιμοποιήθηκε ένας μικροελεγκτής Arduino, παρακάτω φαίνεται ο κώδικας προγράμματος μικροελεγκτή.

```
#include <Servo.h>

Servo myservo1;

int led = 13;

void setup()
{
  myservo1.attach(10);
}

void loop()
{
  digitalWrite(led,HIGH);

  myservo1.write(0); // 0 κsebidonei,180 bidonei

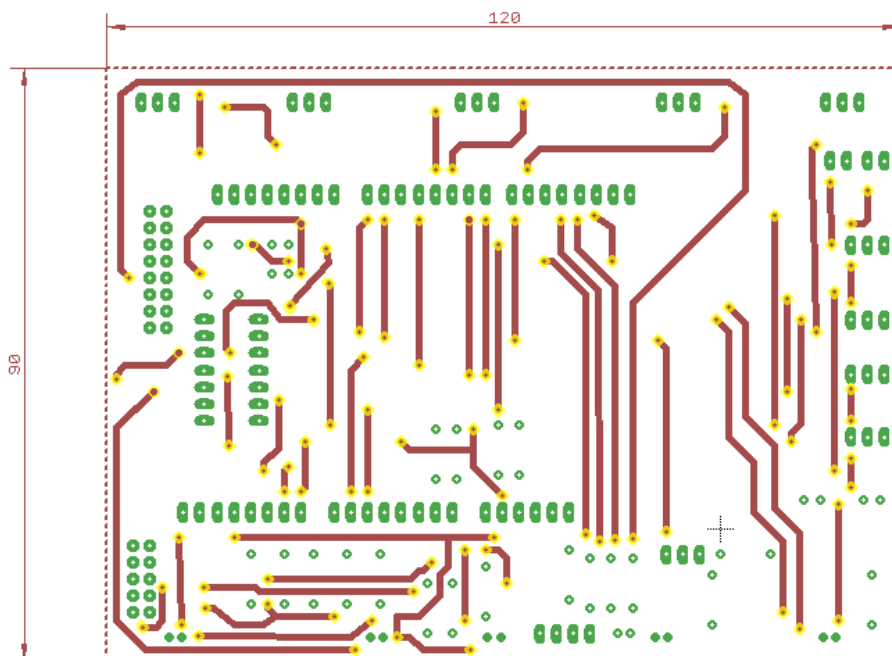
  delay(1000);

  myservo1.write(180);

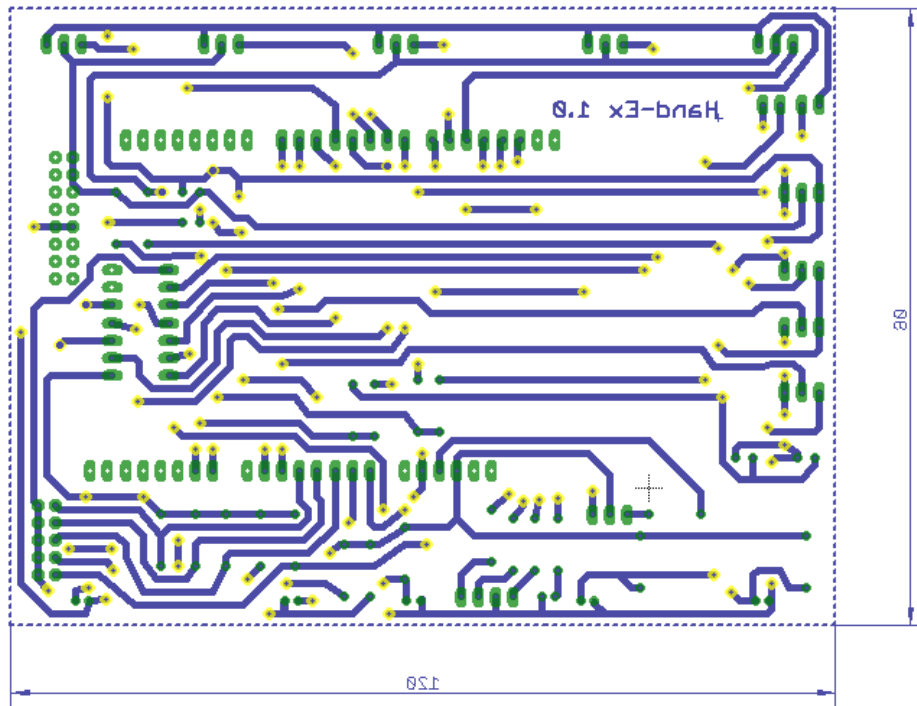
  delay(1000);
}
```


ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β : ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΑΚΕΤΑΣ ΤΥΠΩΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ

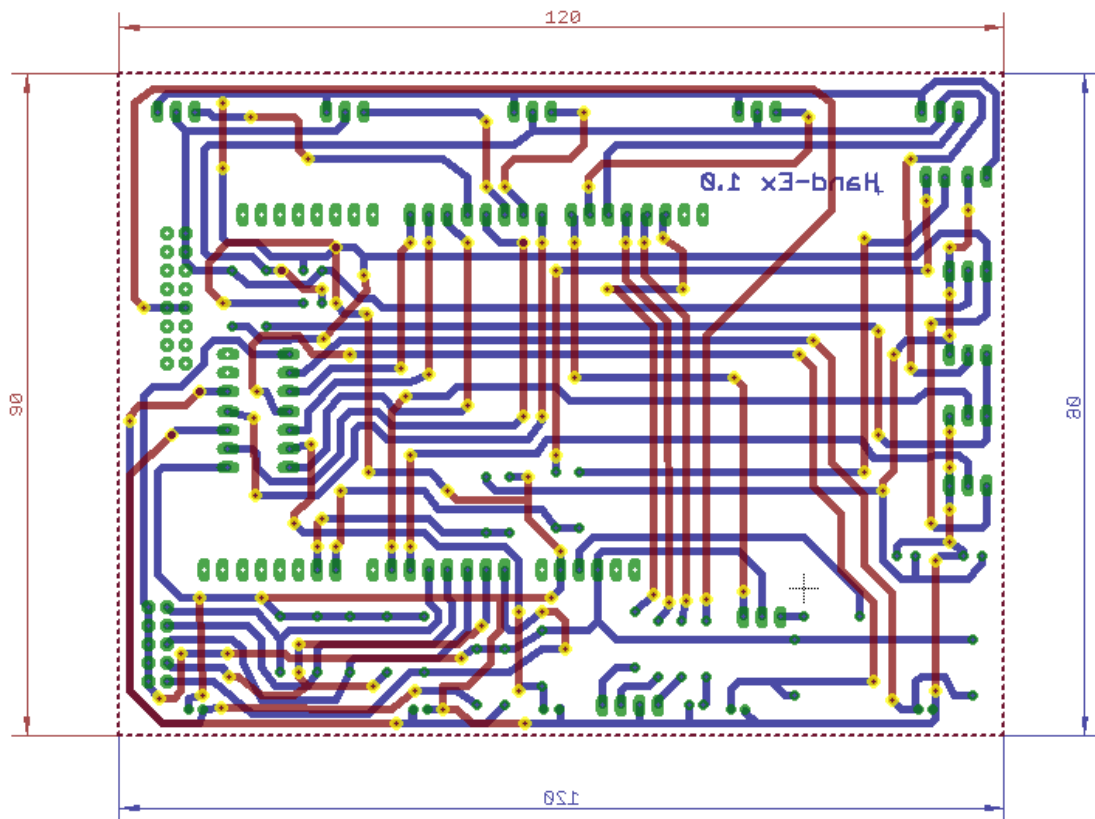
Για την κατασκευή της πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος χρειάστηκε αρχικά να σχεδιαστεί το κύκλωμα στον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Ο σχεδιασμός της πλακέτας υλοποιήθηκε μέσω του προγράμματος Eagle με την βοήθεια φοιτητών του τμήματος ηλεκτρολόγων μηχανικών Τ.Ε. του ΤΕΙ Κρήτης.



Πάνω όψη κυκλώματος



Κάτω όψη κυκλώματος

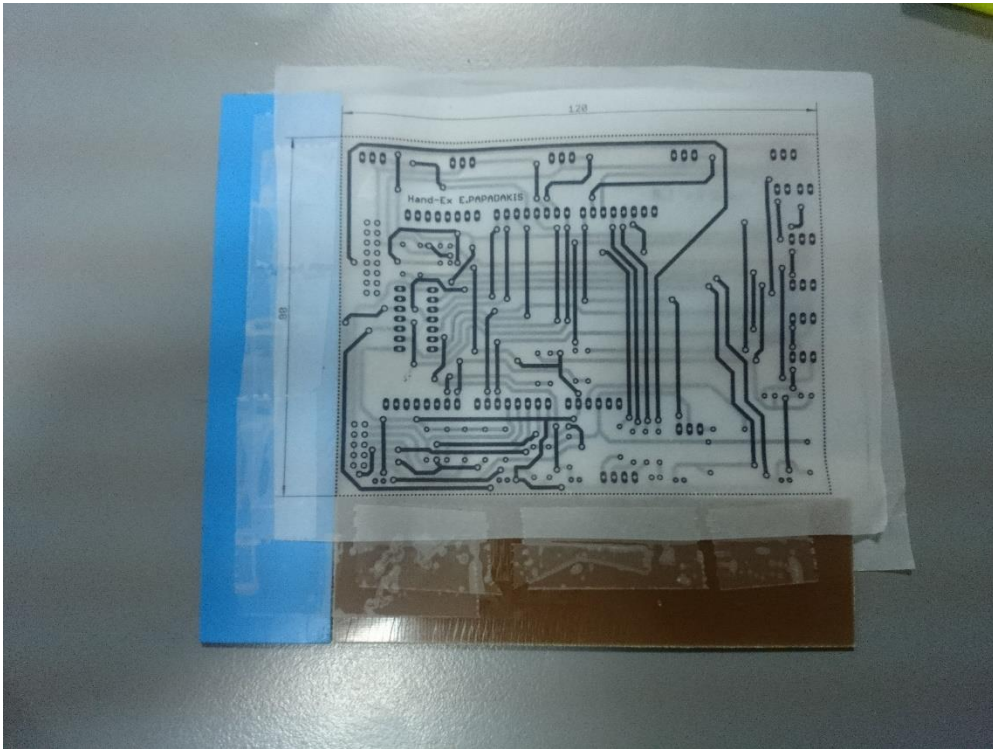


Συνδυασμός πάνω και κάτω όψεων κυκλώματος

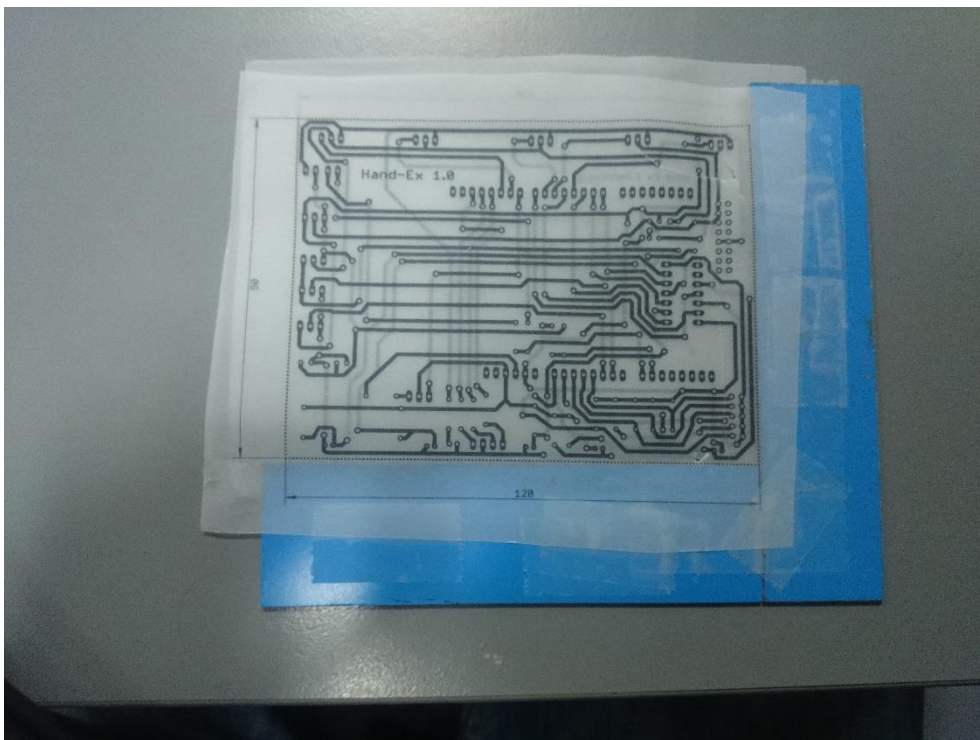
Μετά τον σχεδιασμό του κυκλώματος τα σχέδια τυπώθηκαν σε ρυζόχαρτο, για αυτό τον λόγο από το πρόγραμμα Eagle εξαγάγαμε αρχεία εικόνων σε μορφή pdf όπου τα σχέδια αναπαρίστανται μονόχρωμα μαύρα.

Για την εκτύπωση του κυκλώματος σε πλακέτα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της χαλκογραφίας, με την μέθοδο αυτή μπορούμε να μεταφέρουμε το σχέδιο του κυκλώματος από το χαρτί στην πλακέτα. Η πλακέτα που χρησιμοποιείται στην μέθοδο αυτή αποτελείται από δυο επιστρώσεις χαλκού στην μπροστά και στην πίσω όψη της ενώ στο ενδιάμεσο αποτελείται από πλαστικό. Πάνω από τον χαλκό υπάρχει επικάλυψη από φωτώ ευαίσθητο φιλμ.

Η διαδικασία της εκτύπωσης της πλακέτας έχει ως εξής. Αρχικά κατασκευάζεται ένας «φάκελος» ο οποίος αποτελείται από τα δυο ρυζόχαρτα που περιέχουν τις δυο όψεις του κυκλώματος που θέλουμε να εκτυπώσουμε. Ο φάκελος πρέπει να είναι καλά ευθυγραμμισμένος ώστε να ταιριάζουν απόλυτα όλες οι τρύπες των δυο σχεδίων. Αν η ευθυγράμμιση δεν είναι καλή υπάρχει μεγάλη πιθανότητα η πλακέτα που θα τυπωθεί να μην μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Στην συνέχεια τοποθετείται η πλακέτα που θα εκτυπωθεί μέσα στον φάκελο και τοποθετείται μέσα στην μηχανή έκθεσης UV ακτινοβολίας, με την έκθεση στην UV ακτινοβολία η φωτώ ευαίσθητη επικάλυψη που βρίσκεται πάνω στον χαλκό και είναι εκτεθειμένη στην ακτινοβολία καταστρέφεται ενώ η επικάλυψη κάτω από τα εκτυπωμένα κομμάτια προστατεύονται.



Διαφάνεια πάνω όψης κυκλώματος



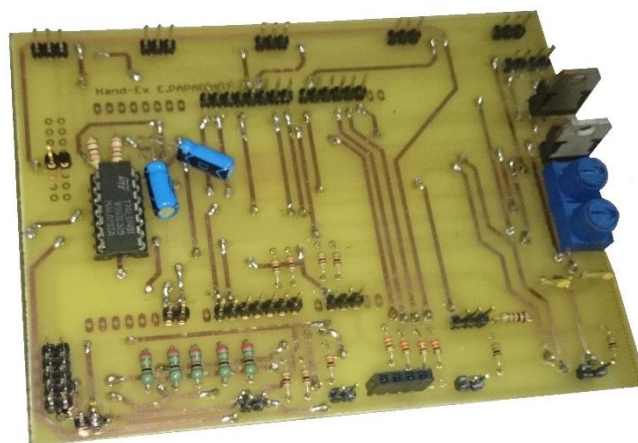
Διαφάνεια κάτω όψης κυκλώματος

Μετά την έκθεση των δυο όψεων σε UV ακτινοβολία η πλακέτα καθαρίζεται από τα υπολείμματα του προστατευτικού φιλμ με μείγμα υδροξειδίου του νατρίου (καυστική σόδα).

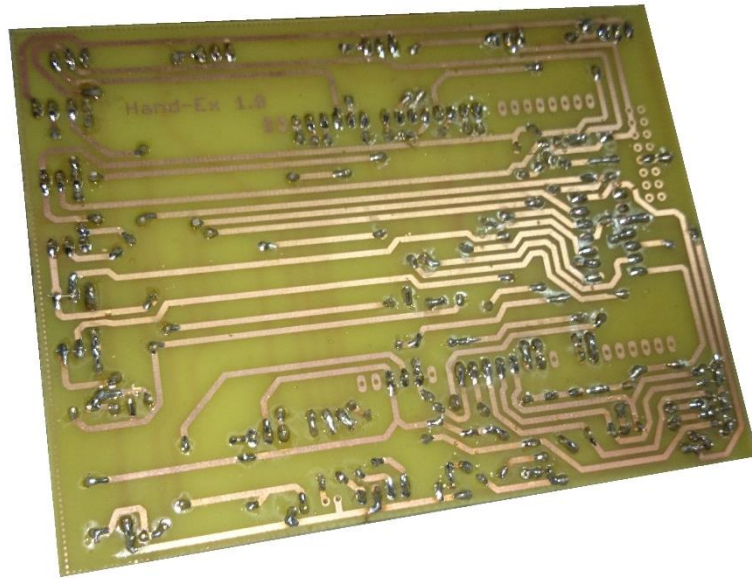
Στην συνέχεια η πλακέτα ξεπλένεται από το μείγμα διοξειδίου του νατρίου με νερό και τοποθετείται σε λουτρό διαλύματος χλωριούχου σιδήρου. Μέσα στο διάλυμα του χλωριούχου σιδήρου ο χαλκός που δεν προστατεύεται από φιλμ διαβρώνεται μέχρι να εξαλειφθεί εντελώς, ενώ ο χαλκός που προστατεύεται από το φιλμ παραμένει ανέπαφος. Σε περίπτωση που το λουτρό διαρκέσει περισσότερο χρόνο από το απαραίτητο υπάρχει κίνδυνος να διαβρωθεί και ο χαλκός που προστατεύεται κάτω από το φιλμ με αποτέλεσμα την αχρήστευσή της πλακέτας.

Στην συνέχεια η πλακέτα καθαρίζεται με ακετόνη για την απομάκρυνση του φιλμ που έχει παραμείνει πάνω στον χαλκό, σε περίπτωση που η πλακέτα δεν καθαριστεί η συγκόλληση πάνω στην πλακέτα θα είναι δύσκολη έως και αδύνατη λόγω του φιλμ το οποίο δεν επιτρέπει την εύκολη συγκόλληση των στοιχείων με τον χαλκό.

Μετά τον καθαρισμό η πλακέτα πρέπει να τρυπηθεί με κατάλληλο τρυπάνι για την τοποθέτηση των στοιχείων. Τέλος τοποθετούνται τα ηλεκτρονικά στοιχεία πάνω στην πλακέτα και συγκολλούνται προσεκτικά. Παρακάτω φαίνεται η τελική πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος, με τα στοιχεία τοποθετημένα, που κατασκευάστηκε.



Πάνω όψη τελικής πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος



Κάτω όψη τελικής πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ : ΚΩΔΗΚΑΣ ARDUINO ΓΙΑ ΟΔΗΓΗΣΗ ΕΞΩΣΚΕΛΕΤΙΚΟΥ ΝΑΡΘΗΚΑ HAND-EX

Ο έλεγχος λειτουργίας του εξωσκελετικού νάρθηκα υλοποιείται με την χρήση του μικροελεγκτή Arduino, παρακάτω παρουσιάζεται ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε για την λειτουργία που περιεγράφηκε παραπάνω.

```
#include<Servo.h>
////////////////////////////////////// DILOSH METABLITWN ////////////////////////////////////////
int a = 0; // METABLITES FSR//
int b = 0;
int c = 0;
int d = 0;
int e = 0;
int ped11 = 0; //////////////////////////////////////////////////// KATOFLIA FSR ////////////////////////////////////////
int ped12 = 0;
int ped21 = 0;
int ped22 = 0;
int ped31 = 0;
int ped32 = 0;
int ped41 = 0;
int ped42 = 0;
int ped51 = 0;
int ped52 = 0;
int x = 0; // METABLITH EKSODOY CALIBRATION //
int button = 8; // ΚΟΥΜΠΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΣΟΔΟ ΑΠΟ ΤΟ CALIBRATION//
int LedG = 11; // LED ENDIKSHS //
int LedR = 12; // LED ENDIKSHS //
int LedB = 13; // LED ENDIKSHS //
int led = 31;
Servo myservo1; // KINITIRAS 1 //
Servo myservo2; // KINITIRAS 2 //
Servo myservo3; // KINITIRAS 3 //
Servo myservo4; // KINITIRAS 4 //
Servo myservo5; // KINITIRAS 5 //
int stp1 = 7; // STOP KINITIRA 1 //
int stp2 = 4; // STOP KINITIRA 2 //
int stp3 = 2; // STOP KINITIRA 3 //
int stp4 = 1; // STOP KINITIRA 4 //
int stp5 = 0; // STOP KINITIRA 5 //
int stplste = 0;
```

```

int stp2ste = 0;
int stp3ste = 0;
int stp4ste = 0;
int stp5ste = 0;
int lastm1 = 0;
int lastm2 = 0;
int lastm3 = 0;
int lastm4 = 0;
int lastm5 = 0;

void setup()          ////////////////////////////////////////////////// VOID SETUP //////////////////////////////////////
{
  Serial.begin(9600);

  myservo1.attach(3);
  myservo2.attach(5);
  myservo3.attach(6);
  myservo4.attach(9);
  myservo5.attach(10);
  pinMode(led, OUTPUT);
  pinMode(LedR, OUTPUT);
  pinMode(LedG, OUTPUT);
  pinMode(LedB, OUTPUT);
  pinMode(button, INPUT);
  pinMode(stp1, INPUT);
  pinMode(stp2, INPUT);
  pinMode(stp3, INPUT);
  pinMode(stp4, INPUT);
  pinMode(stp5, INPUT);
  //////////////////////////////////////CALIBRATION////////////////////////////////////
  do                    //1//
  {
    Serial.print('a');
    digitalWrite(LedR , HIGH);
    myservo1.write(180);
    myservo2.write(90);
    myservo3.write(90);
    myservo4.write(90);
    myservo5.write(90);
    ped11 = analogRead(A0);
    ped12 = (ped11)/(2);
    x=digitalRead(button);
    Serial.println(ped11);
  }
  while(x<0.9);
  myservo1.write(90);
  digitalWrite(LedR , LOW);
  digitalWrite(led , HIGH);
  delay(1000);
  digitalWrite(led, LOW);
  do                    //2//
  {

    Serial.print('b');
    digitalWrite(LedG , HIGH);
    myservo1.write(90);
    myservo2.write(180);
    myservo3.write(90);
    myservo4.write(90);
    myservo5.write(90);
    ped21 = analogRead(A1);
    ped22 = (ped21)/(2);
    x=digitalRead(button);
    Serial.println(ped21);
  }
  while(x<0.9);
  myservo2.write(90);
  digitalWrite(LedG , LOW);
  digitalWrite(led, HIGH);
  delay(1000);
  digitalWrite(led, LOW);
  do                    //3//
  {

```

```

Serial.print('c');
digitalWrite(LedB , HIGH);
myservo1.write(90);
myservo2.write(90);
myservo3.write(180);
myservo4.write(90);
myservo5.write(90);
ped31 = analogRead(A2);
ped32 = (ped31)/(2);
x=digitalRead(button);
Serial.println(ped31);
}
while(x<0.9);
digitalWrite(LedB , LOW);
digitalWrite(led, HIGH);
myservo3.write(90);
delay(1000);
digitalWrite(led, LOW);
do //4//
{

Serial.print('d');
digitalWrite(LedR , HIGH);
digitalWrite(LedB , HIGH);
myservo1.write(90);
myservo2.write(90);
myservo3.write(90);
myservo4.write(180);
myservo5.write(90);
ped41 = analogRead(A3);
ped42 = (ped41)/(2);
x=digitalRead(button);
Serial.println(ped41);
}
while(x<0.9);
digitalWrite(LedR , LOW);
digitalWrite(LedB , LOW);
digitalWrite(led, HIGH);
myservo4.write(90);
delay(1000);
digitalWrite(led, LOW);
do //5//
{

Serial.print('e');
digitalWrite(LedR , HIGH);
digitalWrite(LedG , HIGH);
myservo1.write(90);
myservo2.write(90);
myservo3.write(90);
myservo4.write(90);
myservo5.write(180);
ped51 = analogRead(A4);
ped52 = (ped51)/(2);
x=digitalRead(button);
Serial.println(ped51);
}
while(x<0.9);
digitalWrite(LedR , LOW);
digitalWrite(LedG , LOW);
digitalWrite(led, HIGH);
myservo5.write(90);
delay(500);
digitalWrite(led, LOW);
}

void loop() ////////////////////////////////////////////////// VOID LOOP //////////////////////////////////////
{
one();
two();
three();
four();
five();
}

```

```

void one()                                     //// YPOPROGRAMMA KATHODIGISHS 1ou KINITHRA ////
{
  stp1ste = digitalRead(stp1);
  if (stp1ste == LOW)
  {
    a = analogRead (A0);                       // METRISH 1ou FSR //
    if(a<ped12)                                // ELEGXOS SYNTHIKHS //
    {
      myservo1.write(180);                     // PERISTROFH //
      Serial.print('a');
      Serial.print('a');
      lastm1 = 180;
    }
    else if(a>ped11)                           // ELEGXOS SYNTHKHS //
    {
      myservo1.write(0);                       // PERISTROFH //
      Serial.print('b');
      Serial.print('a');
      lastm1 = 0;
    }
    else
    {
      myservo1.write(90);                      // PAUSH KINHSHS //
      Serial.print('c');
      Serial.print('a');
      lastm1 = 90;
    }
    Serial.print(a);
    Serial.print("\t");
  }
  else // termatiko 1 //
  {
    if(lastm1 == 0)
    {
      myservo1.write(180);
    }
    else if(lastm1 == 180)
    {
      myservo1.write(0);
    }
  }
}
void two()                                     //// YPOPROGRAMMA KATHODIGISHS 2ou KINITHRA ////
{
  stp2ste = digitalRead(stp2);
  if (stp2ste == LOW)
  {
    b = analogRead (A1);
    if(b<ped22)
    {
      myservo2.write(180);
      Serial.print('a');
      Serial.print('b');
      lastm2 = 180;
    }
    else if(b>ped21)
    {
      myservo2.write(0);
      Serial.print('b');
      Serial.print('b');
      lastm2 = 0;
    }
    else
    {
      myservo2.write(90);
      Serial.print('c');
      Serial.print('b');
      lastm2 = 90;
    }
    Serial.print(b);
    Serial.print("\t");
  }
  else
  {
    if(lastm2 == 0)

```

```

    {
        myservo2.write(180);
    }
    else if(lastm2 == 180)
    {
        myservo2.write(0);
    }
}

void three()                                     //// YPOPROGRAMMA KATHODIGISHS 3ou KINITHRA ////
{
    stp3ste = digitalRead(stp3);
    if (stp3ste == LOW)
    {
        c = analogRead (A2);
        if(c<ped32)
        {
            myservo3.write(180);
            Serial.print('a');
            Serial.print('c');
            lastm3 = 180;
        }
        else if(c>ped31)
        {
            myservo3.write(0);
            Serial.print('b');
            Serial.print('c');
            lastm3 = 0;
        }
        else
        {
            myservo3.write(90);
            Serial.print('c');
            Serial.print('c');
            lastm3 = 90;
        }
        Serial.print(c);
        Serial.print("\t");
    }
    else
    {
        if(lastm3 == 0)
        {
            myservo3.write(180);
        }
        else if(lastm3 == 180)
        {
            myservo3.write(0);
        }
    }
}

void four()                                     //// YPOPROGRAMMA KATHODIGISHS 4ou KINITHRA ////
{
    stp4ste = digitalRead(stp4);
    if (stp4ste == LOW)
    {
        d = analogRead (A3);
        if(d<ped42)
        {
            myservo4.write(180);
            Serial.print('a');
            Serial.print('d');
            lastm4 = 180;
        }
        else if(d>ped41)
        {
            myservo4.write(0);
            Serial.print('b');
            Serial.print('d');
            lastm4 = 0;
        }
        else
        {
            myservo4.write(90);
        }
    }
}

```

```

    Serial.print('c');
    Serial.print('d');
    lastm4 = 90;
}
Serial.print(d);
Serial.print("\t");
}
else
{
    if(lastm4 == 0)
    {
        myservo4.write(180);
    }
    else if(lastm4 == 180)
    {
        myservo4.write(0);
    }
}
}
}
void five()                                     //// YPOPROGRAMMA KATHODIGISHS 5ou KINITHRA ////
{
    stp5ste = digitalRead(stp5);
    if (stp5ste == LOW)
    {
        e = analogRead (A4);
        if(e<ped52)
        {
            myservo5.write(180);
            Serial.print('a');
            Serial.print('e');
            lastm5 = 180;
        }
        else if(e>ped51)
        {
            myservo5.write(0);
            Serial.print('b');
            Serial.print('e');
            lastm5 = 0;
        }
        else
        {
            myservo5.write(90);
            Serial.print('c');
            Serial.print('e');
            lastm5 = 90;
        }
        Serial.print(e);
        Serial.println("\t");
    }
    else
    {
        if(lastm5 == 0)
        {
            myservo5.write(180);
        }
        else if(lastm5 == 180)
        {
            myservo5.write(0);
        }
    }
}
}

```