

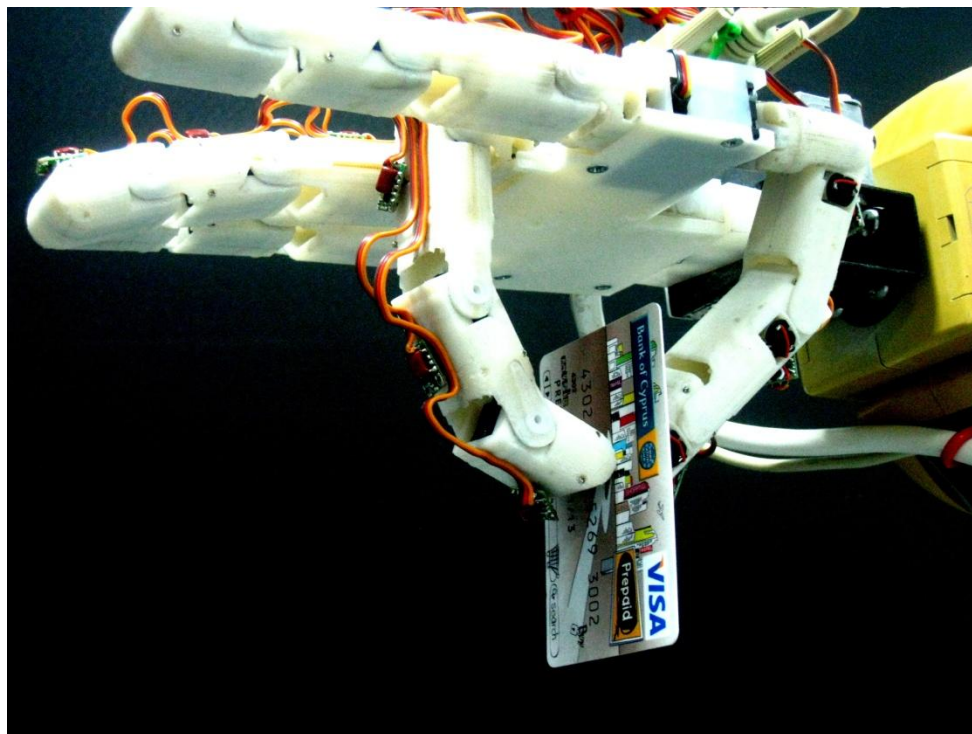


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης  
Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών  
Τμήμα Μηχανολογίας

**-Πτυχιακή εργασία-**

**Σχεδίαση και κατασκευή ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού**



*Σπουδαστής:*  
**Κωνσταντουδάκης Ιωάννης**

*A.M.:*  
**4758**

*Επιβλέπων καθηγητής:*  
**ΦΑΣΟΥΛΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ**  
Επίκουρος Καθηγητής τμήματος Μηχανολογίας Τ.Ε.Ι Κρήτης

**Ηράκλειο**  
**Σεπτέμβριος 2012**



## Ευχαριστίες

Η πτυχιακή αυτή εργασία εκπονήθηκε στον τομέα της Μηχατρονικής στο τμήμα Μηχανολογίας του Τ.Ε.Ι Ηρακλείου Κρήτης. Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους με βοήθησαν στην υλοποίηση αυτής της εργασίας, όλο αυτό το χρονικό διάστημα.

Πρώτα από όλα θέλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στους γονείς μου, Δέσποινα και Αντώνη Κωνσταντουδάκη αλλά και στην αδελφή μου Άρτεμις Κωνσταντουδάκη, που με στήριζαν ηθικά και οικονομικά όλα αυτά τα χρόνια, δίνοντας μου κουράγιο να φτάσω στο στόχο μου. Ιδιαίτερα ευχαριστώ τον πάτερα μου, που μου μετέδωσε τις γνώσεις και το παθός του για τη μηχανολογία.

Θερμές ευχαριστίες απευθύνω στον επιβλέπων καθηγητή μου Επίκουρο Καθηγητή Φασουλά Ιωάννη, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε δίνοντας μου τη δυνατότητα να εκπονήσω την πτυχιακή μου εργασία στον επιστημονικό τομέα που επιθυμούσα. Όπως επίσης και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του, για την επίλυση διάφορων θεμάτων. Καθώς και όλους τους καθηγητές που είχα όλα τα χρόνια της μέχρι στιγμής ακαδημαϊκής μου ζωής, για τις γνώσεις που μου μετέδωσαν.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα το συμφοιτητή και φίλο μου Κριτσωτάκη Νικόλαο που με την πτυχιακή του εργασία δημιουργήθηκε ο έλεγχος του ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού. Καθώς επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την Καλογριδάκη Άννα για την επιμέλεια των κείμενων

Κλίνοντας, δεν μπορώ να ξεχάσω την στήριξη και την βοήθεια όλων των συμφοιτητών μου μέσα στο εργαστήριο και ξεχωριστά τον Παπαδοπούλου Αλέξανδρο, για τον χρόνο που μου αφιέρωσε βοηθώντας με στην πτυχιακή μου εργασία. Χωρίς την βοήθεια αυτών, θα ήταν πολύ δύσκολο να ολοκληρωθεί η εργασία.

## Περιεχόμενα

Εισαγωγή .....	5
Σκοπός.....	6
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΤΟ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΧΕΡΙ .....</b>	<b>7</b>
εισαγωγή .....	7
1.1 Αναφορά στο ανθρώπινο χέρι .....	7
1.2 Βασικά στοιχεία του ανθρώπινου χεριού .....	8
1.3 Βασικές κινήσεις των δάχτυλων του χεριού .....	10
1.4 Τα κόκαλα του χεριού.....	10
1.5 Οι αρθρώσεις των δαχτύλων και οι κινήσεις τους .....	11
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 :ΑΝΘΡΩΠΟΜΟΡΦΑ ΡΟΜΠΟΤΙΚΑ ΧΕΡΙΑ .....</b>	<b>13</b>
εισαγωγή.....	13
2.1 Τι είναι ένα ρομποτικό χέρι .....	13
2.2 Χρήσεις των ρομποτικών χεριών .....	14
2.3 Αναφορές σε υπάρχων ανθρωπόμορφα ρομποτικά χεριά .....	15
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΡΗ ΑΠΟ ΤΑ ΟΠΟΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΙΤΑΙ ΕΝΑ ΑΝΘΡΩΠΟΜΟΡΦΟ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟ ΧΕΡΙ .....</b>	<b>17</b>
εισαγωγή .....	17
3.1 Μηχανολογικό υποσύστημα .....	17
3.1.2 Επενεργητές .....	18
3.1.2.1 Σερβοκινητήρες (RC servos) .....	18
3.1.2.2 Μορφομνήμονα Μεταλλικά Κράματα (Shape Memory Alloys) .....	19
3.1.2.3 Τεχνητός Πνευματικός Μυς (Air Muscle).....	20
3.1.2.4 Πιεζοηλεκτρικοί κινητήρες .....	20
3.2 Υποσύστημα Αίσθησης .....	21
3.3 Υποσύστημα Ελέγχου .....	21
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΧΕΡΙΟΥ .....</b>	<b>22</b>
εισαγωγή .....	22
4.1 Βαθμοί ελευθερίας, Τεχνικά χαρακτηριστικά, Υλικά .....	23
4.2 Λειτουργικότητα και δυνατότητες ρομποτικού χεριού .....	29
4.2.1 Χειρονομίες ρομποτικού χεριού .....	29
4.2.2 Λαβές ρομποτικού χεριού .....	34
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΧΕΔΙΟΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΒΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΧΕΡΙΟΥ .....</b>	<b>39</b>

---

εισαγωγή .....	39
5.1 Μέθοδος κατασκευής του ρομποτικού χεριού .....	39
5.2 Από τη σύλληψη της ιδέας ως την υλοποίηση της.....	41
5.2.1 Προσδιορισμός προβλήματος .....	41
5.2.2 Επιλογή κατάλληλου εξοπλισμού για το σχεδιασμό και τη κατασκευή του ρομποτικού χεριού .....	41
5.2.3 Σχεδίαση και κατασκευή σημαντικών μηχανισμών του ρομποτικού χεριού .....	42
5.2.4 Σχεδιασμός λεπτομερειών-τελικά σχέδια .....	43
5.2.5 Κατασκευή πρωτοτύπου και συναρμολόγηση .....	44
5.3 Κόστος κατασκευής.....	47
5.4 Προκαταρκτικός σχεδιασμός και προτάσεις για μελλοντικές βελτιώσεις του ρομποτικού χεριού .....	49
Συμπεράσματα .....	52
Βιβλιογραφία .....	54

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

Οι ικανότητες του χεριού είναι μοναδικές στον άνθρωπο και κανένα άλλο είδος στη φύση δεν είναι προικισμένο με παρόμοιες ικανότητες. Πολύ εύστοχα αναφέρεται ότι το <<ανθρώπινο χέρι αποτελεί την προέκταση του μυαλού>>, θέλοντας με αυτόν το τρόπο να δείξουν την πληθώρα των ικανοτήτων του χεριού μας. Με 5 εύκαμπτα ψηφία, συμπεριλαμβανομένου ενός αντίχειρα, κάνει το 26% των δυνατοτήτων κίνησης του ανθρώπινου σώματος (Brown, 2008a) μέσα από τα καθήκοντα, χειραγώγησης, σύλληψης και της εξερεύνησης. Το ανθρώπινο χέρι είναι ένα εξαιρετικά επιδέξιο εργαλείο, που έχει την ικανότητα να κάνει δύσκολες και ακριβείς κινήσεις, καθώς επίσης εργασίες που απαιτούν δύναμη. Η ευλυγισία του χεριού οφείλεται στο ότι αποτελείται από 27 μικρά οστά, που κινούνται με τη βοήθεια 37 μυών. Σε πολλές περιπτώσεις που ο προφορικός λόγος δεν είναι εφικτός να χρησιμοποιηθεί είτε λόγο προβλημάτων ομιλίας (άτομα με ειδικές δεξιότητες) είτε λόγω του περιβάλλοντος στο οποίο βρισκόμαστε (κατάδυση στη θάλασσα) ο προφορικός λόγος παύει να ισχύει και τη θέση του παίρνει ο λόγος διαμέσου χειρονομιών (νοηματική).

Ως εκ τούτου τέθηκε έντονα η ανάγκη για αντικατάσταση του φυσικού χεριού, όταν για κάποιο λόγο παύσει η λειτουργία του. Γι' αυτό το λόγο, τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στην κατασκευή, τον έλεγχο και τη χρήση των ρομποτικών χεριών ως προσθετικά μέλη, για την αναπλήρωση του φυσικού χεριού, είτε για την χρήση τους σε δύσκολες εργασιακές συνθήκες, όπως π.χ. οι εργασίες από τηλεχειριζόμενα ρομπότ στο διάστημα, στα βαθύ της θάλασσας, σε ορυχεία και άλλα.

Το ρομποτικό χέρι είναι ένα σύνθετο μηχανολογικό αντίγραφο ενός ανθρώπινου χεριού. Το οποίο μέσο προγραμματιζόμενων κινήσεων προσπαθεί να μιμηθεί και να αναπαράγει τις χειρονομίες, κινήσεις και λαβές ενός ανθρώπινου χεριού με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Ένα ανθρωπόμορφο ρομποτικό χέρι όπως και ένα ανθρώπινο χέρι αποτελούνται από υποσυστήματα τα οποία συντονίζονται κατάλληλα μεταξύ τους ώστε να πραγματοποιηθεί η επιθυμητή κίνηση. Το δε ανθρώπινο χέρι αποτελείται από κόκαλα, μύες, νεύρα, χόνδρους, αισθητήριες απολήξεις κτλ. Ενώ το ρομποτικό από μηχανολογικά εξαρτήματα, επενεργητές, ελεγκτές, ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά κυκλώματα και αισθητήρια όργανα.

Για να κατασκευάσει κάποιος ένα ρομποτικό χέρι θα πρέπει να προσδιορίσει ένα μεγάλο σύνολο παραμέτρων που απαιτεί το εν λόγω εγχείρημα όπως: από πόσα δάκτυλα και αρθρώσεις θα αποτελείτε το ρομποτικό χέρι, ποσούς βαθμούς ελευθερίας θα έχει, τι επενεργητές και αισθητήρια θα χρησιμοποιηθούν κτλ. Επίσης θα πρέπει να επιλεχθούν τα κατάλληλα υλικά και τεχνολογίες για τη κατασκευή του. Επόμενος σημαντικό για την υλοποίηση του εγχειρήματος αυτού είναι να υπάρξει ένα σωστό πλάνο με τα βήματα κάθε εργασίας που πρέπει να ακολουθηθούν ώστε να είναι εφικτή η κατασκευή του ρομποτικού χεριού.

Στο Εργαστήριο Αυτοματικής-Ρομποτικής του ΤΕΙ Κρήτης του τμήματος μηχανολογίας στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας, επιτελέσθηκε η κατασκευή ενός ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού με δυνατότητες λαβής αντικειμένων και υλοποίησης χειρονομιών όπως κάνει ο άνθρωπος. Στα πλαίσια αυτής της προσπάθειας το ρομποτικό χέρι σχεδιάστηκε σε συστήματα CAD/CAM και κατασκευάστηκε σε μηχανή τρισδιάστατης εκτύπωσης και CNC εργαλειομηχανή. Οι παράμετροι που λήφθηκαν υπ' όψιν για τη κατασκευή του ήταν να προσεγγίζει τη μορφή του ανθρώπινου χεριού, να έχει μικρό βάρος, χαμηλό κόστος και ευκολία συντήρησης.

## ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

---

Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας, είναι η ανάπτυξη του ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού για την λαβή αντικειμένων και τη διεξαγωγή χειρονομιών. Για την ανάπτυξη των σχεδίων θα χρησιμοποιηθεί η σύγχρονη μέθοδος σχεδίασης σε σύστημα *CAD* (Computer Aided Design), ενώ για τη κατασκευή θα πραγματοποιηθεί σύστημα *CAM* (Computer Aided Manufacturing), εργαλειομηχανή *CNC* (computer numerical control) και μηχανή τρισδιάστατης εκτύπωσης (*3D Printer*) τεχνολογίας *Fused Deposition Modeling* (*FDM*).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΤΟ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΧΕΡΙ

---

### Εισαγωγή

Το ανθρώπινο χέρι είναι ένα εξαιρετικά επιδέξιο εργαλείο, που έχει την ικανότητα να κάνει δύσκολες και ακριβείς κινήσεις, καθώς επίσης εργασίες που απαιτούν δύναμη. Η ευλυγισία του χεριού οφείλεται στο ότι αποτελείται από 27 μικρά οστά, που κινούνται με τη βοήθεια 37 μυών. [1]

### 1.1 Αναφορά στο ανθρώπινο χέρι

Το χέρι είναι ένα από τα πιο σημαντικά όργανα του ανθρώπινου σώματος καθώς καθορίζει την αλληλεπίδραση μας με τον υλικό κόσμο. Με 5 εύκαμπτα ψηφία, συμπεριλαμβανομένου ενός αντίχειρα, κάνει το 26% των δυνατοτήτων κίνησης του ανθρώπινου σώματος (Brown, 2008a) μέσα από τα καθήκοντα, χειραγώγησης, σύλληψης και της εξερεύνησης.

Η λειτουργική μοναδικότητα του ανθρώπινου χεριού προκύπτει από την πολυπλοκότητα της γεωμετρικής διάταξης των συνδέσμων, αρθρώσεων και μυών, που λειτουργούν ως μια συντονισμένη οντότητα για να παράγουν ένα ευρύ φάσμα ευέλικτων κινήσεων. Η περίπλοκη μηχανική του μυοσκελετικού συστήματος του χεριού επιτρέπει ένα ευρύ φάσμα εργασιών χειραγώγησης με όχι μόνο υψηλή επιδεξιότητα, αλλά και ρυθμιζόμενη δύναμη.

Τα δάχτυλα και ο αντίχειρας μπορούν να λυγίσουν κάνοντας μια ισχυρή λαβή, που αναφέρεται ως δυναμική λαβή. Έτσι μπορούμε να κρατήσουμε μια καρφίτσα ή να περιστρέψουμε δυνατά ώστε να ξεβιδώσουμε το καπάκι από ένα μπουκάλι ακόμα και να κρατήσουμε δυνατά ένα σφυρί ώστε να καρφώσουμε ένα καρφί σε ένα τοίχο.

Εκτός από την ευστροφία του χεριού και την ευελιξία της κίνησης, το χέρι λειτουργεί ως αισθητήριο όργανο. Εκατομμύρια μικροσκοπικοί ευαίσθητοι υποδοχείς είναι ενσωματωμένοι στο δέρμα μας και μας δίνουν τη



δυνατότητα να αισθανόμαστε και να ερμηνεύουμε τις πληροφορίες από το φυσικό κόσμο. Το δέρμα μπορεί να συλλέξει πληροφορίες για την πίεση, τη θερμοκρασία, τον πόνο, την επιφάνεια υφή και να μεταφέρει τις πληροφορίες στον εγκέφαλο μέσω του κεντρικού νευρικού συστήματος.

Οι άκρες των δαχτύλων περιέχουν τις πυκνότερες περιοχές των νευρικών απολήξεων καθιστώντας το χέρι την πλουσιότερη πηγή αισθητήριας ανάδρασης του ανθρώπινου σώματος. Τέλος, το χέρι χρησιμοποιείται επίσης ως μέσο επικοινωνίας και επιτρέπει την έκφραση των συναισθημάτων. Οι Χειρονομίες αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της γλώσσας του σώματος μας και μας επιτρέπει να ενισχύσουμε τον προφορικό μας λόγο.

Δεδομένης της γνωστικής σημασίας του ανθρώπινου χεριού, βλάβη ή απώλεια του χεριού ή των δαχτύλων μπορεί να είναι καταστροφική. Η προκύπτουσα απώλεια λειτουργικότητας αποτρέπει κάποιον από την εκτέλεση των καθημερινών δραστηριοτήτων. Επίσης πέφτει το ψυχολογικό επίπεδο, ειδικά εάν η ζημία του χεριού οδηγήσει σε απώλεια θέσεων απασχόλησης.

Δεδομένου ότι το χέρι είναι το πιο λειτουργικό όργανο του ανθρώπινου σώματος, είναι δυστυχώς επίσης η πιο συνήθης περιοχή που τραυματίζεται. Εκτιμάται ότι το 30% των τραυματισμών που αντιμετωπίζονται κάθε χρόνο σχετίζονται με τραυματισμό χεριού και δαχτύλου στο χώρο εργασίας [2].

## 1.2 Βασικά στοιχεία του ανθρώπινου χεριού

Το χέρι αποτελείται από τέσσερα δάκτυλα και τον αντίχειρα. Κοιτάζοντας το δεξί μας χέρι από την εσωτερική μέρα (παλάμη) η ονομασία τους είναι η εξής: το πρώτο δάκτυλο από δεξιά είναι ο δείκτης, διπλά στο δείκτη βρίσκεται το μεσαίο ή μεγάλο δάκτυλο, αριστερά από το μεσαίο βρίσκεται ο παράμεσος και διπλά του είναι ο μικρός.

Με δεδομένη την ανατομική πολυπλοκότητα του φυσικού χεριού, είναι απαραίτητο να οριστούν και να διευκρινισθούν μερικοί από τους συνήθεις όρους σε αυτό το κεφάλαιο, για την διευκόλυνση της συναφής περιγραφής του ανθρώπινου χεριού.



Εικόνα 1.2.1 ονοματολογία των δαχτύλων. Αποτύπωμα από το χέρι του Albert Einstein [14]

Εγγύς (*proximal*) και άνω (*distal*) είναι όροι που καθορίζουν την θέση ενός ανατομικού στοιχείου σε σχέση με ένα κεντρικό σημείο. Ως εκ τούτου, το άνω τμήμα του δαχτύλου θα αναφέρεται στην άκρη του, ενώ το εγγύς τμήμα του θα αναφέρεται στη βάση του.

Η παλάμη αναφέρεται στην εσωτερική επιφάνεια του χεριού, ενώ η ραχιαία επιφάνεια αναφέρεται στην πίσω μεριά του χεριού.

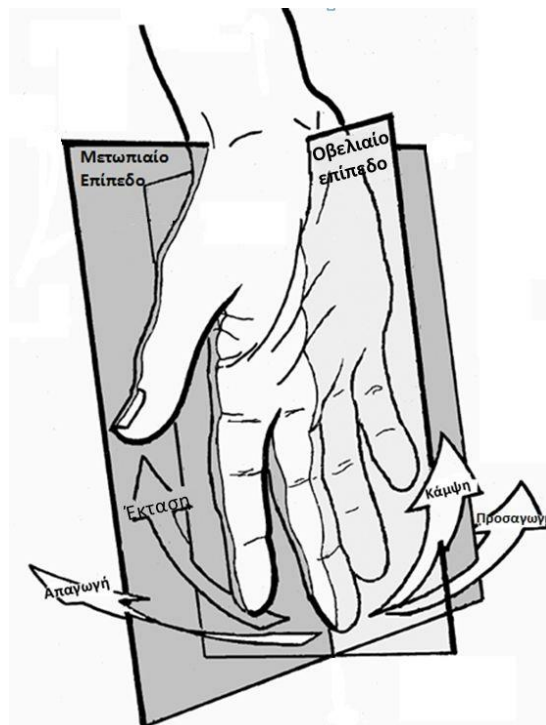
Το Μετωπιαίο (*frontal*) επίπεδο είναι το επίπεδο που είναι παράλληλο προς τη παλάμη του χεριού όταν τα δάχτυλα βρίσκονται σε έκταση. Το οβελιαίο (*sagittal*) ή μεσαίο επίπεδο βρίσκεται κάθετα προς την παλάμη του χεριού, δηλαδή, κάθετα στο μετωπικό επίπεδο.

Η κάμψη και η επέκταση για το χέρι χρησιμοποιεί το μετωπιαίο επίπεδο ως σημείο αναφοράς. Η κάμψη αναφέρεται στο λύγισμα μιας άρθρωσης έτσι ώστε το δάχτυλο να απομακρύνεται από το μετωπιαίο επίπεδο για να κλείσει το χέρι. Έκταση στο χέρι, αναφέρεται στην κίνηση κατά την οποία τα δάχτυλα κινούνται προς την μεριά του μετωπικού επιπέδου για να σχηματίσουν μια επίπεδη παλάμη.

Προσαγωγή είναι η κίνηση που φέρνει ένα ανατομικό συστατικό πιο κοντά στο μεσαίο/οβελιαίο επίπεδο. Οι κινήσεις απαγωγής τραβούν το ανατομικό συστατικό μακριά από το οβελιαίο επίπεδο. Το Ωλένιο (Ulnar) προέρχεται από την 'ωλένη' η οποία αναφέρεται στο εξωτερικό μακρύ οστό του κοκάλου του αντιβραχίου (το κόκαλο στην αντίθετη μεριά του αντίχειρα).

Ο όρος δάχτυλο ισχύει μόνο για τα τέσσερα ψηφία του χεριού και όχι για τον αντίχειρα. Εξ ου και το χέρι έχει πέντε ψηφία, τέσσερα δάχτυλα και έναν αντίχειρα.

Η Φάλαγγα αναφέρεται στα οστά των δαχτύλων καθώς και στο ίδιο το δαχτυλικό τμήμα.



Εικόνα 1.2.2 τα επίπεδα του χεριού και οι κινήσεις των δαχτύλων

### 1.3 Βασικές κινήσεις των δάχτυλων του χεριού

Ο σύνδεσμος μεταξύ κάθε φάλαγγας δαχτύλου συνδέεται από μύς, τένοντες και συνδέσμους. Επιπλέον, για την πρόληψη συμπιεστικών δυνάμεων που βλάπτουν τις αρθρώσεις κατά την κίνηση των χεριών, οι αρθρώσεις περιβάλλονται από μία κάψουλα.

Αρθρικό υγρό καλύπτει το εσωτερικό στρώμα της κάψουλας της άρθρωσης και του αρθρικού χόνδρου, διατηρώντας τις επιφάνειες των αρθρώσεων λιπαίνοντας και κρατώντας την τριβή μεταξύ των οστών ελάχιστη. (*Fibro-cartilaginous plates*) Ινώδεις-χόνδρο πλάκες, αναφέρονται στην παλαμιαία πλάκα, γλιστράνε κατά μήκος των κεφαλών και των βάσεων των αρθρώσεων που ενώνονται και παρέχουν σταθερότητα στις αρθρώσεις.

Η κίνηση των αρθρώσεων εμφανίζεται σαν αποτέλεσμα της άρθρωσης των οστών των δαχτύλων μαζί με τις αρθρικές επιφάνειες και χαρακτηρίζεται από την συνδυασμένη δράση των προαναφερθέντων μυών, τένοντων, συνδέσμων, αρθρώσεων και παλαμιαίων πλακών. Αυτά τα ανατομικά χαρακτηριστικά είναι σημαντικά στην κίνηση των αρθρώσεων καθώς περιορίζουν την κίνηση του ενός κοκάλου σε σχέση με το άλλο και δρουν προληπτικά στους έξι βαθμούς ελευθερίας κίνησης των αρθρώσεων.

Το χέρι και τα δάχτυλα του είναι, επομένως, ικανά να κάνουν κινήσεις σε δύο επίπεδα μόνο: προσαγωγή και απαγωγή στο μετωπιαίο επίπεδο και έκταση / κάμψη στο οβελιαίο επίπεδο. Αυτή η ενότητα περιγράφει εν συντομία τη δομή των αρθρώσεων του ανθρώπινου χεριού ξεκινώντας με τις αρθρώσεις των δαχτύλων και συνεχίζοντας με τις αρθρώσεις του αντίχειρα.



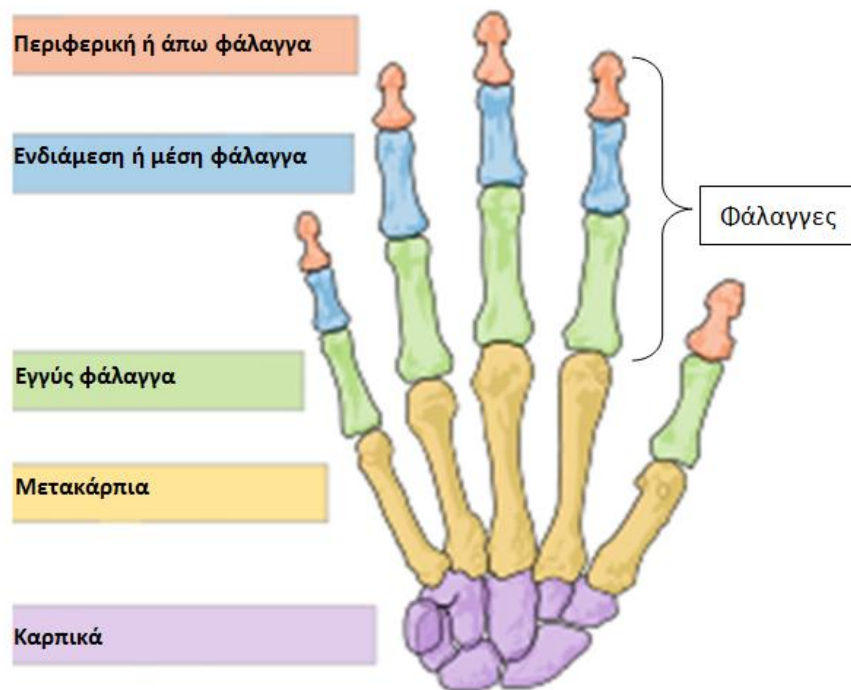
Εικόνα 1.3.1 οι κινήσεις των δαχτύλων

### 1.4 Τα κόκαλα του χεριού

Παρά το γεγονός ότι, οι μυοσκελετικές πτυχές των λειτουργιών του χεριού δεν έχουν ακόμη καθοριστεί ακριβώς, μια λεπτομερή τοπολογική ανάλυση της δομής του χεριού έχει επιτευχθεί. Τα κύρια οστά του χεριού περιγράφονται συνοπτικά στην παρούσα ενότητα. Ο ανθρώπινος σκελετός του χεριού αποτελείται από 27 οστά τα οποία κατηγοριοποιούνται σε τρεις ενότητες:

- (i) **Καρπικά** : είναι τα οστά του καρπού. Αποτελούνται από δύο σειρές, από τέσσερα και από τρία οστά αντίστοιχα.
- (ii) **Μετακάρπια**: είναι τα οστά που αποτελούν την παλάμη του χεριού. Είναι σωληνοειδή κόκαλα με στρογγυλά άκρα και τετραγωνικές βάσεις. Το χέρι έχει πέντε μετακάρπια.
- (iii) **Φάλαγγες των δαχτύλων** : είναι παρένθετα τμήματα κοκάλων που αποτελούν το δάχτυλο. Κάθε ένα από τα τέσσερα δάχτυλα αποτελείται από τρία παρένθετα τμήματα κοκάλων...
- Την εγγύς φάλαγγα
  - Την ενδιάμεση ή μέση φάλαγγα
  - Την περιφερική ή άπω φάλαγγα

Η εγγύς και μέση φάλαγγα θεωρούνται μακρά οστά με κωνικούς άξονες στην κορυφή και κυρτούς στο κάτω μέρος. Οι ραχιαίες/νωτιαίες επιφάνειες της εγγύς και μέσης φάλαγγας είναι ομαλές και στρογγυλές ενώ οι επιφάνειες της παλάμης είναι επίπεδες και πιο τραχιές. Τα άκρα των αξόνων αναφέρονται ως κεφαλές στην άνω πλευρά και βάσεις στην εγγύς πλευρά. Σε αντίθεση με την εγγύς και μεσαία φάλαγγα, η περιφερική φάλαγγα είναι μικρή και κυρτή στην πλευρά της ράχης(νωτιαία πλευρά). Επιπλέον, ο αντίχειρας δεν έχει την ενδιάμεση φάλαγγα και αποτελείται μόνο από τις εγγύς και άπω φάλαγγες.



Εικόνα 1.4.1 ονοματολογία για τα κόκαλα του χεριού

## 1.5 Οι αρθρώσεις των δαχτύλων και οι κινήσεις τους.

Η λειτουργική ικανότητα του χεριού οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στις κινησιολογικές ικανότητες του αντίχειρα. Αποτελεί τον κύριο μοχλό για τη δράση των υπόλοιπων δαχτύλων και όλου του χεριού συνολικά. Ο αντίχειρας είναι πρωταγωνιστής σε κάθε κίνηση του χεριού μας από την πιο απλή μέχρι την πλέον σύνθετη.

Ο αντίχειρας έχει τρεις αρθρώσεις (εικόνα 1.5.1):

- την **καρπομετακάρπια άρθρωση**, η οποία συνδέεται με τα κόκαλα του καρπού.
- την **μετακαρποφαλαγγική άρθρωση**, η άρθρωση που είναι πιο κοντά στην παλάμη.
- την **άπω μεσοφαλαγγική άρθρωση**, Τελευταία άρθρωση του αντίχειρα.

Τα δάχτυλα των χεριών έχουν τρεις αρθρώσεις (εικόνα 1.5.2) :

- την **μετακαρποφαλαγγική άρθρωση**, η άρθρωση που είναι πιο κοντά στην παλάμη
- την **εγγύς μεσοφαλαγγική άρθρωση**, η μεσαία άρθρωση του δαχτύλου
- την **άπω μεσοφαλαγγική άρθρωση** που βρίσκεται στην άκρη του δαχτύλου.



Εικόνα 1.5.1 οι αρθρώσεις των δαχτύλων

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 :ΑΝΘΡΩΠΟΜΟΡΦΑ ΡΟΜΠΟΤΙΚΑ ΧΕΡΙΑ

---

### Εισαγωγή

Το ρομποτικό χέρι είναι ένα σύνθετο μηχανολογικό αντίγραφο ενός ανθρώπινου χεριού, το οποίο αναπτύχθηκε για την αντικατάσταση του ανθρώπινου χεριού σε επικίνδυνες εργασίες μέσω τηλεχειρισμού, για τη χρήση του ως προσθετική συσκευή για την αποκατάσταση των ακρωτηριασμένων άνω άκρων, ενώ χρησιμοποιείται και για ψυχαγωγικούς σκοπούς προσαρμοσμένο σε ανθρωπόμορφα ρομπότ. Πολλά πανεπιστήμια και ερευνητικές ομάδες έχουν καταφέρει να κατασκευάσουν αξιόλογα ρομποτικά χέρια τα οποία είναι σε θέση να διεξάγουν μια πληθώρα κινήσεων.

### 2.1 Τι είναι ένα ρομποτικό χέρι

Το ρομποτικό χέρι είναι ένα σύνθετο μηχανολογικό αντίγραφο ενός ανθρωπίνου χεριού. Το οποίο μέσω προγραμματιζόμενων κινήσεων προσπαθεί να μιμηθεί και να αναπαράγει τις χειρονομίες, κινήσεις και λαβές ενός ανθρώπινου χεριού με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Σε αντίθεση με το ανθρώπινο χέρι το οποίο αποτελείται από κόκαλα, μύες, νεύρα και δέρμα, το ρομποτικό χέρι απαρτίζεται από κράματα μετάλλου και πλαστικού, επενεργητές, αισθητήρες, ελεγκτές και ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά κυκλώματα. Συνοψίζοντας τα προαναφερόμενα μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε τα συστήματα που απαρτίζουν ένα ρομποτικό χέρι σε τρία βασικά υποσυστήματα:

- **Το μηχανολογικό υποσύστημα:** το οποίο δίνει τη δυνατότητα στο ρομποτικό χέρι να κινείται. Το μηχανολογικό υποσύστημα του ρομποτικού χεριού αποτελείται από μηχανισμούς που καθιστούν εφικτή τη κίνηση του όπως αρθρώσεις, συνδέσμους, επενεργητές-κινητήρες, σύστημα μετάδοσης της κίνησης κ.τ.λ. Στην περίπτωση που οι επενεργητές είναι ηλεκτρικοί, που είναι πιο σύνθητες, μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελεί ένα ξεχωριστό υποσύστημα, το ηλεκτρολογικό υποσύστημα.
- **Το υποσύστημα αίσθησης:** το οποίο είναι υπεύθυνο για την αλληλεπίδραση του ρομποτικού χεριού με τον υλικό κόσμο. Αυτό επιτυγχάνεται συλλέγοντας πληροφορίες για τη θέση και τη κατάσταση στην

οποία βρίσκεται το ίδιο το ρομποτικό χέρι όσο και για το περιβάλλον εργασίας του. Αυτές οι πληροφορίες κωδικοποιούνται και μεταφράζονται σε ηλεκτρική ισχύ, για τη καθοδήγηση των επενεργητών-κινητήρων. Καθώς επίσης αποστέλλονται σαν έξοδο που πληροφορούν για τη κατάσταση του συστήματος. Το υποσύστημα αίσθησης απαρτίζεται συνήθως από αισθητήρες, όργανα μέτρησης και ηλεκτρονικά στοιχεία.

- **Το υποσύστημα ελέγχου:** το οποίο συντονίζει κατάλληλα την αίσθηση με τη κίνηση, έτσι ώστε το ρομποτικό χέρι να παράγει την επιθυμητή λειτουργία που θέλουμε με το σωστό τρόπο [3]. Θα μπορούσαμε να πούμε εδώ ότι το υποσύστημα ελέγχου είναι ο "εγκέφαλος" του ρομποτικού χεριού. Το οποίο τροφοδοτείται συνεχώς με πληροφορίες από το υποσύστημα αίσθησης για τη κατάσταση του συστήματος (ρομποτικό χέρι-περιβάλλον) και βάση αυτών συντονίζει και επιβλέπει την κίνηση του ρομποτικού χεριού. Το υποσύστημα ελέγχου συνήθως απαρτίζεται από ελεγκτές (controllers) ή μικροελεγκτές (Microcontrollers) ενώ πιο σπάνια από ηλεκτρονικούς υπολογιστές (H/Y) λόγω του μεγάλου όγκου τους.

## 2.2 Χρήσεις των ρομποτικών χεριών

Από παλιά έχει διατυπωθεί το ερώτημα, την υλοποίηση επικίνδυνων εργασιών να την αναλαμβάνουν ρομπότ, λόγω του ότι έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια και σταθερότητα αλλά επίσης για την ελαχιστοποίηση τραυματισμών του ανθρώπου. Αυτή ακριβώς ήταν η κινητήριος δύναμη για την ανάπτυξη των ρομποτικών χεριών, για την αποκατάσταση ακρωτηριασμών και βλαβών των άνω άκρων από ατυχήματα και αφετέρου για την πρόληψη αυτών, καθώς σκοπός τους ήταν να αντικαταστήσουν τον άνθρωπο σε επικίνδυνες εργασίες και εργασίες ρουτίνας στις οποίες παρατηρούνται πιο συχνά τα ατυχήματα. Με την ανάπτυξη στους δυο αυτούς τομείς της επιστήμης έκανε την εμφάνισή του ακόμα ένα τομέας. Στον οποίο τα ρομποτικά χεριά επιστρατεύτηκαν για ψυχαγωγικούς σκοπούς.

Επομένως τα ρομποτικά χέρια μπορούμε να τα χωρίσουμε σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- **Προσθετικές συσκευές για την αποκατάσταση των ακρωτηριασμένων άνω άκρων:** Εδώ η επιστήμη έχει κάνει μεγάλα βήματα αλλά είναι ακόμα σε πρώιμα στάδια λόγω του ότι τα ρομποτικά χέρια σαν προσθετικές συσκευές καλούνται να πληρούν μια σειρά απαιτητικών προδιαγραφών προκειμένου να είναι αποδεκτά από τους χρήστες τους. Αυτές οι προδιαγραφές περιλαμβάνουν: το χαμηλό βάρος, την αθόρυβη λειτουργία, τον εύκολο έλεγχο, το χαμηλό κόστος, την ασφάλεια χρήσης και την αξιοπιστία (Kyberd et al., 2001· Schultz et al., 2004). Παρόλα αυτά ορισμένα πανεπιστήμια και ερευνητικές ομάδες έχουν καταφέρει να κατασκευάσουν κάποια πολύ εντυπωσιακά προσθετικά μέλη ως προς τη κατασκευή και ως προς τον έλεγχο. Αξίζει να σημειωθεί ότι γίνονται έρευνες τοποθετώντας σε άτομα προσθετικά μέλη (ρομποτικό χέρι) τα οποία είναι σε θέση να χειριστούν το προσθετικό μέλος μόνο με τη δύναμη της σκέψης τους όπως ακριβώς γίνεται και σ' ένα βιολογικό χέρι. Αυτό επιτυγχάνεται εμφυτεύοντας ηλεκτρόδια στα νεύρα του πήχη του χεριού ή στον εγκέφαλο, τα οποία στη συνέχεια συνδέονται με το ρομποτικό χέρι. Ειδικά αναφέρουμε το εξής ρομποτικό χέρι: (CyberHand).
- **Για την εργασία σε επικίνδυνο περιβάλλον και εργασίες ρουτίνας:** Έτσι με την ανάπτυξη των ρομποτικών χεριών που είναι ικανά να χρησιμοποιούν τα υπάρχον εργαλεία που χειρίζεται και ο άνθρωπος (κατσαβίδι, πένσα, τρυπάνι, σφυρί κ.τ.λ.) μπορούν πλέον να μας αντικαταστήσουν και να υλοποιήσουν τις επικίνδυνες εργασίες ή εργασίες ρουτίνας για μας, προσαρμοσμένα σε ρομποτικούς βραχίονες ως αρπαγή, σε ανθρωποειδή ρομπότ ή σε κάποιο άλλο σύστημα. Λειτουργώντας αυτόνομα ή

ελεγχοντάς τα από απόσταση ασφάλειας (π.χ. στο διάστημα, στα βάθη της θάλασσας, σε πυρηνικά εργοστάσια, σε ατυχήματα και πυρκαγιές διαλυτηρίων κ.τ.λ.).

- **για ψυχαγωγικούς σκοπούς:** συνήθως τα ρομποτικά χέρια τοποθετούνται σε ανθρωποειδή ρομπότ που κύριος σκοπός τους είναι η ψυχαγωγία όπως σε εκθέσεις, βιτρίνες καταστημάτων, ρεσεψιόν ξενοδοχείου κτλ. Η βασική διαφορά αυτών των ρομποτικών χεριών με σχέση με τα προαναφερόμενα είναι στο ότι υπολείπονται στη ευελιξία και στις ικανότητες τους, καθώς είναι σε θέση να πραγματοποιήσουν μόνο πολύ άπλες χειρονομίες.

## 2.3 Αναφορές σε υπάρχων ανθρωπόμορφα ρομποτικά χεριά

**Shadow Robot (Shadow Robot Company Ltd):** χρησιμοποιεί πνευματικά συστήματα ελέγχου με μυσ (λειτουργούν με αέρα). Το χέρι οδηγείται από 20 πνευματικούς μυσ οι οποίοι βρίσκονται κάτω από τον καρπό. Σύμφωνα με τον βιολογικό σχεδιασμό του χεριού, ένα ζευγάρι από τένοντες ενώνεται με κάθε πνευματικό μυσ με την αντίστοιχη άρθρωση του χεριού. Τα ηλεκτρονικά μέσα κινούν τους πνευματικούς μυσ με μεγάλη ακρίβεια, ενώ ελέγχεται η δυναμική που ασκείται με τα αντίστοιχα αισθητήρια δύναμης. Συνολικό βάρος 4kg [4].

**Elu-2 Hand (Elumotion Ltd):** Μπορεί να κάνει κινήσεις ενός κανονικού χεριού σε ταχύτητες όπως του ανθρώπου. Έχει 9 βαθμούς ελευθέριας (β.ε.) οι οποίοι ελέγχονται από σερβοκινητήρες που ενεργοποιούνται από την ένταση του χεριού. Ο σχεδιασμός αυτής της παλάμης έχει γίνει έτσι ώστε να μπορεί να εφαρμόσει σε διάφορα ρομποτικά χέρια. Σε πολλά μέρη του χεριού υπάρχουν μαλακές περιοχές με αισθητήρια αφής που κάνουν το χέρι να έχει την αίσθηση του πιασίματος. Κάθε (β.ε.) έχει την δυνατότητα αξιόπιστης αίσθησης [4].

**EH1 Milano Hand (Prensilia Srl):** Είναι ένα προγραμματιζόμενο ανθρωπόμορφο χέρι το οποίο είναι ικανό να πιάνει διάφορα αντικείμενα και να τα αισθάνεται μέσω διαφόρων αισθητηρίων. Οι αρθρώσεις είναι τοποθετημένες σε φλάντζες, η μετάδοση της κίνησης από τους επενεργητές στις αρθρώσεις γίνεται μέσω καλωδίων. Το χέρι μόνο του ζυγίζει 250gr. Κάθε επενεργητής περιέχει μια CPU, λογισμικό, αισθητήρα, ηλεκτρονικά επικοινωνίας, έναν σερβο-ελεγκτή και ένα κινητήρα. Το χέρι επικοινωνεί μέσω RS232 ή USB. Επίσης, το χέρι μπορεί να κάνει διάφορες κινήσεις αλλά με το να στέλνει ένα μόνο byte από την εφαρμογή σου [4].

**Actuated Sheffield Hand (Elumotion Ltd):** Έχει 12 (β.ε.). Τα στοιχεία ενεργοποίησης σχεδιάστηκαν σε μονάδες. Κάθε μονάδα προκαλεί κάμψη καθώς και έκταση του δακτύλου με τηλεσκοπικές βέργες με μια σειρά ελαστικών στοιχείων. Οι ράβδοι τραβάνε τους τένοντες των δακτύλων όπως γίνεται περίπου σε ένα κανονικό χέρι. Μια δεύτερη μικρότερη μονάδα που βρίσκεται στον χώρο του χεριού, η οποία βασίζεται σε παρόμοια αρχή, μετακινεί τα δάχτυλα από άκρη σε άκρη. Το χέρι αυτό είναι ακόμα σε εξέλιξη [4].

**Elu-2 Arm (Elumotion Ltd):** Το χέρι έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίξει πειράματα που ερευνούν την συνεργασία μεταξύ ρομπότ και ανθρώπων. Έχει αισθητήρες που δίνουν την δυναμική των αντιδράσεων. Επίσης διαθέτει 7 (β.ε.) που χρησιμοποιούν ισχυρούς σερβοκινητήρες και ελέγχουν τη ροπή και τη θέση των δακτύλων με απίστευτη ακρίβεια χρεσιμοποιώντας τους κατάλληλους αισθητήρες. Κάθε χέρι είναι συνδεδεμένο με καλώδια με ένα μόνο δίαυλο CAN για την λειτουργία των αρθρώσεων και για τον έλεγχο των αισθητηρίων [4].



**Robonaut Hand (NASA):** Το χέρι έχει συνολικά 14 (β.ε.). Αποτελείται από έναν πήχη που στεγάζει τους κινητήρες και τα ηλεκτρονικά, με 2 (β.ε.) του καρπού, και 5 δάχτυλα, 12 (β.ε.) του χεριού. Το αντιβράχιο, το οποίο μετρά 4 εκατοστά σε διάμετρο στη βάση του και είναι περίπου 8 ίντσες μακρύ, στεγάζει τις 14 μηχανές, 12 ξεχωριστά κυκλώματα, και όλες της καλωδίωσης για το χέρι [4].



Εικόνα 2.3.1 το *Shadow Robot* πραγματοποιεί λαβή σε λάμπα



Εικόνα 2.3.2 το *Elu-2 Hand* σε έκταση, ενώ διακρίνονται τα ελαστικά του μέρη



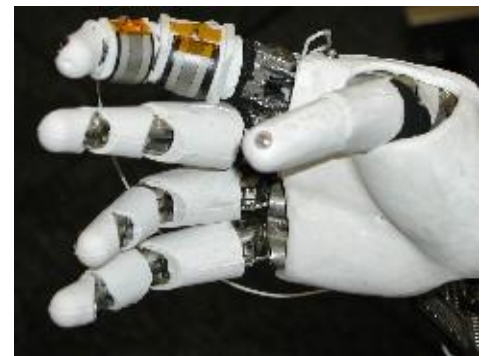
Εικόνα 2.3.3 το *EH1 Milano Hand* σε έκταση, στη βάση του διακρίνονται οι επενεργητές



Εικόνα 2.3.4 το *Actuated Sheffield Hand* σε μερική κάμψη, στη βάση του διακρίνονται οι επενεργητές



Εικόνα 2.3.5 το *Elu-2 Arm* προσαρμοσμένο σε ένα βραχίονα ανθρωπόμορφου ρομπότ



Εικόνα 2.3.6 το *Robonaut Hand* σε επίδειξη ευελιξίας, στο δείκτη διακρίνονται οι εσωτερικοί αισθητήρες

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΡΗ ΑΠΟ ΤΑ ΟΠΟΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΙΤΑΙ ΕΝΑ ΑΝΘΡΩΠΟΜΟΡΦΟ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟ ΧΕΡΙ**

---

### **Εισαγωγή**

Ένα ανθρωπόμορφο ρομποτικό χέρι, όπως και ένα ανθρώπινο χέρι, αποτελείται από υποσυστήματα τα οποία συντονίζονται κατάλληλα μεταξύ τους ώστε να πραγματοποιηθεί η επιθυμητή κίνηση. Το δε ανθρώπινο αποτελείται από κόκαλα, μύες, νεύρα, χόνδρους, αισθητήριες απολήξεις κτλ. Ενώ το ρομποτικό από μηχανολογικά εξαρτήματα, επενεργητές, ελεγκτές, ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά κυκλώματα και αισθητήρια όργανα. Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στα μέρη που αποτελούν ένα ανθρωπόμορφο ρομποτικό χέρι.

### **3.1 Μηχανολογικό υποσύστημα**

Ένα ρομποτικό χέρι αποτελείται από αρθρώσεις οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους με συνδέσμους (φάλαγγες) για να δημιουργήσουν μια ανοιχτή κινηματική αλυσίδα. Οι αρθρώσεις μπορεί να είναι περιστροφικές ή σφαιρικές, ενώ τα υλικά κατασκευής του πρέπει να είναι τέτοια ώστε να έχουν μικρές τριβές, να είναι ανθεκτικά και να μην αναπτύσσουν μεγάλες θερμοκρασίες κατά τη λειτουργία τους. Συνήθως για την επίτευξη της περιστροφής των αρθρώσεων προτιμούνται μικρά έδρανα κύλισης και ολίσθησης ενώ δεν είναι λίγες οι φορές που οι σχεδιαστές των ρομποτικών χεριών επινοούν μια άρθρωση που δεν χρειάζεται να φέρει έδρανα

---

κύλισης και ολίσθησης. Οι σύνδεσμοι πρέπει να είναι κατασκευασμένοι από τέτοια υλικά ώστε να προσδίδουν στιβαρότητα και ακαμψία σε εξωτερικές πιέσεις. Συνήθως χρησιμοποιούν για τη κατασκευή τους σκληρά πλαστικά και ελαφριά κράματα αλουμινίου, τιτανίου και μετάλλου.

Ιδιαίτερη βάση θα πρέπει να δοθεί στη μετάδοση της κίνησης από τους επενεργητές στις αρθρώσεις γιατί συνήθως λόγω έλλειψης χώρου οι επενεργητές είναι απομακρυσμένοι από το σημείο περιστροφής της άρθρωσης (π.χ. μέσα στον βραχίονα του ρομποτικού χεριού). Υπάρχουν όμως και εξαιρέσεις όπου η μετάδοση της κίνησης γίνεται απευθείας από τον κινητήρα στη άρθρωση. Στη περίπτωση που χρειάζεται ένα μέσο μετάδοσης της κίνησης, αυτή μπορεί να επιτευχθεί με διάφορους τρόπους όπως, τροχαλίες και ιμάντες, οδοντωτούς ιμάντες και οδοντωτούς τροχούς, συνεργαζόμενους οδοντωτούς τροχούς, ντίζες κτλ.

Με το πέρασμα των χρόνων η ανάπτυξη των ρομποτικών χεριών έχει αυξηθεί με γοργούς ρυθμούς. Επίσης η τεχνολογία των υλικών έχει σημειώσει μεγάλη πρόοδο με αποτέλεσμα να δημιουργούνται «έξυπνα» υλικά με νέες δυνατότητες τα οποία μπορούν να δώσουν νέα ώθηση στην εφαρμοσμένη μηχανική. Επομένως, κανείς δεν ξέρει τι καινοτομία μας επιφυλάσει το επόμενο ρομποτικό χέρι που θα κατασκευαστεί.

### 3.1.2 Επενεργητές

Για την κίνηση ενός ρομποτικού χεριού, απαιτείται η συνδυασμένη κίνηση των αρθρώσεων του, η οποία πραγματοποιείται με τη χρήση ειδικών επενεργητών. Η ταχύτητα απόκρισης και κίνησης των αρθρώσεων και αφενός των δαχτύλων καθώς και η δύναμη την οποία μπορούν να ασκήσουν, συνδέεται άμεσα με τους επενεργητές που έχουν χρησιμοποιηθεί στο συγκεκριμένο σύστημα. Συνήθως όσο περισσότερους επενεργητές διαθέτει ένα ρομποτικό χέρι, τόσο μεγαλύτερη ευελιξία έχει.

Στην αγορά υπάρχει πληθώρα επενεργητών, όμως για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα ρομποτικό χέρι πρέπει να πληρούν κάποια βασικά χαρακτηριστικά [4]:

- Χαμηλή ροπή αδράνειας
- Μεγάλη σχέση ισχύος- βάρους
- Ικανότητα ανάπτυξης υψηλών επιταχύνσεων
- Μικρή κατανάλωση ενέργειας
- Δυνατότητα λειτουργίας σε ένα μεγάλο φάσμα ταχυτήτων

Παρακάτω αναφέρονται διάφορα είδη επενεργητών οι οποίοι χρησιμοποιούνται συνήθως στα ρομποτικά χεριά.

#### 3.1.2.1 Σερβοκινητήρες (RC servos)

Οι σερβοκινητήρες μπορεί να είναι ηλεκτρικοί, αποτελούνται από ένα ηλεκτρικό κινητήρα ως βασικό μέσο για την δημιουργία ροπής. Άλλοι τύποι σερβοκινητήρων είναι οι πρισματικοί, οι οποίοι δίνουν ευθεία κίνηση ή οι σερβοκινητήρες R/C, οι οποίοι χρησιμοποιούνται κατά κόρον σε τηλεκατευθυνόμενα μοντέλα όπως, πλοία, αεροπλάνα και φυσικά σε ρομποτικές εφαρμογές μικρού μεγέθους. Υπάρχουν επίσης είδη σερβοκινητήρων, οι οποίοι βασίζονται σε υδραυλικά, πνευματικά ή μαγνητικά συστήματα. Οι κύριοι σερβοκινητήρες που χρησιμοποιούνται κυρίως σε ρομποτικά χεριά χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες:

- Τυπικοί σερβοκινητήρες(standard RC servos ή analog RC servo):** αυτοί οι σερβοκινητήρες είναι κυρίως μικροί DC κινητήρες με ενσωματωμένο σύστημα γραναζιών και κύκλωμα ελέγχου ανάδρασης (feedback control loop). Χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο του προσανατολισμού ή της ταχύτητας περιστροφής άθρωσης ο οποίος μπορεί να είναι ένας βραχίονας, ένας τροχός ή κάποιο άλλο αντικείμενο που συνδέεται με τον σερβοκινητήρα. Κατηγοριοποιούνται σε δυο κύριες κατηγορίες, τους τυπικούς σερβοκινητήρες (standard servos) και τους σερβοκινητήρες ταχύτητας (continues servos). Οι τυπικοί σερβοκινητήρες προσπαθούν να καταλήξουν σε μια θέση που καθορίζεται από τον χρήστη και έχουν περιορισμένο εύρος κίνησης(90° ως 180° μοίρες), ενώ οι σερβοκινητήρες ταχύτητας επιχειρούν να καταλήξουν σε μια ταχύτητα που καθορίζεται από τον χρήστη και μπορούν να κινηθούν σε όλο το φάσμα του κύκλου, εκτελώντας πλήρη περιστροφή (360 μοίρες). Ο πιο κοινός τύπος servo, είναι αυτός του ελέγχου θέσης, ο οποίος είναι αρκετά φθηνός και εύκολα διαθέσιμος. Εσωτερικά οι σερβοκινητήρες περιέχουν ένα κινητήρα συνεχούς κίνησης, ένα σύστημα μείωσης των στροφών (μειωτήρες) και τα ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου [5].
- Ψηφιακοί Σερβοκινητήρες (Digital servos):** Οι ψηφιακοί σερβοκινητήρες έχουν τους ίδιους κινητήρες με τους τυπικούς σερβοκινητήρες. Η διαφορά έγκειται στην προσθήκη ενός μικροεπεξεργαστή και ενός ενισχυτή Mosfet, που είναι ενσωματωμένοι στο κύκλωμα ελέγχου των ψηφιακών σερβοκινητήρων. Αυτό δίνει στους σερβοκινητήρες δύο διαφορετικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τους τυπικούς σερβοκινητήρες. Το πρώτο πλεονέκτημα είναι ότι, οι ψηφιακοί σερβοκινητήρες είναι εξωτερικά προγραμματιζόμενοι, πράγμα που σημαίνει ότι οι παράμετροι τους μπορούν να προσαρμοστούν, ώστε να βελτιστοποιηθεί μια δεδομένη εργασία. Το δεύτερο πλεονέκτημα, έγκειται στον τρόπο που αυτοί οι μικροεπεξεργαστές μπορούν να στείλουν σήμα με υψηλότερη ανάλυση στον κινητήρα για να μετακινηθεί ο σερβοκινητήρας. Αυτό επιτρέπει την πολύ πιο γρήγορη και ακριβής ανταπόκριση, καθώς και την ομαλότερη λειτουργία των σερβοκινητήρων συνολικά. [5]



Εικόνα 3.1.2.1.1 εδώ διακρίνεται ο εσωτερικός μειωτήρας του σερβοκινητήρα



Εικόνα 3.1.2.1.1 σερβοκινητήρες σε διάφορα μεγέθη

### 3.1.2.2 Μορφομήμονα Μεταλλικά Κράματα(Shape Memory Alloys)

Τα Μορφομήμονα Μεταλλικά Κράματα (ΜΜΚ) είναι μία κατηγορία μεταλλικών κραμάτων που έχουν το χαρακτηριστικό να συστέλλονται όταν θερμαίνονται. Αυτή η ιδιότητα, γνώστη και ως φαινόμενο της πλαστικής μνήμης, κατά τη διάρκεια συστολής του παράγει μια πολύ μεγάλη δύναμη μεταξύ των ατόμων του υλικού που μπορεί να εκμεταλλευτεί κατάλληλα ως ισχύς ενεργοποίησης. Επιπλέον πλεονεκτήματα αυτών αποτελεί η δυνατότητα προσδιορισμού της ακριβούς τους θέσης λόγω μίας σχεδόν γραμμικής σχέσης μεταξύ της συστολής τους και της ωμικής τους αντίστασης καθώς και η αθόρυβη λειτουργία τους. Οι ενεργοποιητές αυτοί είναι

αποτέλεσμα της τεχνολογικής προόδου που σημειώνει τα τελευταία χρόνια ο τομέας της επιστήμης των υλικών όπου συνεχώς δημιουργεί «έξυπνα» υλικά με νέες δυνατότητες και λειτουργίες, έρχοντας να δώσουν νέα ώθηση στην εφαρμοσμένη μηχανική. Από αυτούς τους ενεργοποιητές, τα MMK φαίνεται να πλεονεκτούν προς το παρόν έναντι των υπολοίπων. Συμπεριφερόμενοι ως γραμμικοί ενεργοποιητές μπορούν να αντιγράψουν επιτυχώς τη κίνηση του ανθρώπινου μυός [6].

Πολλά πανεπιστήμια και ερευνητικές ομάδες χρησιμοποιώντας MMK έχουν αναπτύξει τεχνητά χεριά ή απλά μεσοδακτύλιους μηχανισμούς. Ενδεικτικά αναφέρονται οι εξής εργασίες: (DeLaurentis and Mavroidis, 2002),(Maeno and Hino, 2006), (Cho et al., 2006) και (Bundhoo et al., 2008)

### 3.1.2.3 Τεχνητός Πνευματικός Μυς (Air Muscle)

Ο τεχνητός πνευματικός μυς (ΤΠΜ) είναι μια άριστη προσέγγιση των ανθρώπινων μυών, που στη ουσία είναι μια ελαστική πνευματική συσκευή, και όπως ο βιολογικός μυς, έτσι και ο ΠΤΜ συρρικνώνεται, όταν τροφοδοτηθεί με αέρα. Το κύριο στοιχείο του είναι μια λεπτή μεμβράνη που δημιουργεί μια κύστη η οποία περιβάλεται εξωτερικά με ίνες, για αυτόν το λόγο ο ΤΠΜ είναι ένας πολύ ελαφρύς επενεργητής. Μια πολύ χαλαρή πλέξη στις ίνες επιτρέπει μεγαλύτερη διόγκωση του ΤΠΜ. Η πλήρωση της ελαστικής κύστης του μπορεί να επιτευχθεί με συμπιεσμένο αέρα ή με μια μικρά αντλία. Σε ρομποτικές εφαρμογές συνήθως ομαδοποιούνται σε ζεύγη (ένας αγωνιστής και ένας ανταγωνιστής). Ο τεχνητός πνευματικός μυς αναπτύχθηκε για πρώτη φορά το 1950 από τον J.L.McKibben με σκοπό τη χρήση του σε τεχνητά μέλη. Η Bridgestone εταιρεία καουτσούκ (Ιαπωνία) εμπορεύτηκε την ιδέα στη δεκαετία του 1980 με το όνομα του Rubbertuators. Το μέγεθος του ΠΤΜ και η πίεση λειτουργίας του αέρα, καθορίζει το βάρος του φορτίου που μπορεί να έλξει. Συνήθως ο ΠΤΜ μπορεί να συρρικνωθεί έως και είκοσι πέντε τοις εκατό του αρχικού του μήκους [7]. Επενεργητές τύπου ΤΠΜ χρησιμοποιεί το ρομποτικό χέρι **Shadow Robot**(εικόνα 3.1.2.3.1).



Εικόνα 3.1.2.3.1 ΤΠΜ σε δυο διαφορετικά μεγέθη

### 3.1.2.4 Πιεζοηλεκτρικοί κινητήρες

Ο πιεζοηλεκτρικός κινητήρας (Ultrasonic Motor USM) είναι ένα είδος ηλεκτρικού κινητήρα που η λειτουργία του βασίζεται στη φυσική ιδιότητα κάποιων κρυστάλλων ( πιεζοηλεκτρικά στοιχεία ) να ασκούν μηχανική πίεση ή να ταλαντώνονται όταν βρεθούν υπό τάση ή και το αντίστροφο. Ο στάτης του κινητήρα είναι

κατασκευασμένος από πιεζοηλεκτρικά στοιχεία τα όποια διεγείρονται από δυο υψίσυχνες τάσεις (Ueha S.,1989). Η συχνότητα αυτών είναι >20KHz, που είναι πέρα από την ακουστική συχνότητα του ανθρώπινου αφτιού, γεγονός που αιτιολογεί την ονομασία του κινητήρα. Λόγω των ιδιοτήτων των πιεζοηλεκτρικών στοιχείων, η εφαρμογή ενός εναλλασσόμενου ηλεκτρικού πεδίου μπορεί να προκαλέσει διαδοχικές συστολές και διαστολές, ο κατάλληλος συντονισμός των οποίων οδηγεί σε προσανατολισμένη κίνηση του στάτη [8]. Τα κυρία πλεονεκτήματα του USM είναι: μικρό μέγεθος και βάρος, υψηλή ροπή σε χαμηλές ταχύτητες, γρήγορη απόκριση, μεγάλη σχέση ισχύς-βάρους [9].

### 3.2 Υποσύστημα Αίσθησης

Στις εφαρμογές ρομποτικών χεριών για την εκτέλεση μιας εργασίας πρέπει να υπάρχει ο απόλυτος και ακριβής έλεγχος των κινήσεων του. Αυτό επιτυγχάνεται συλλέγοντας πλήθος πληροφοριών για το περιβάλλον εργασίας του, καθώς και για την κατάσταση στην όποια βρίσκεται το ίδιο το ρομποτικό χέρι (π.χ θέση, ταχύτητα κ.τ.λ). Με τα κατάλληλα αισθητήρια (sensors) επιτυγχάνεται η συλλογή των πληροφοριών αυτών. Ως αισθητήρια, εννοούμε τις συσκευές που μετατρέπουν μία φυσική μεταβλητή σε ηλεκτρική τάση. Η φυσική μεταβλητή μπορεί να είναι θερμοκρασία, πίεση, μετακίνηση, υγρασία, κτλ. Οι προς μετρούμενες μεταβλητές που συλλέγουν τα αισθητήρια σε εφαρμογές ρομποτικών χεριών μπορεί να είναι εσωγενείς (*proprioceptive sensors*) ή εξωγενείς (*heteroceptive sensors*). Στη πρώτη κατηγορία (εσωγενείς) ανήκουν τα αισθητήρια που μετρούν: α) τη γωνία των αρθρώσεων, β) την ταχύτητα των αρθρώσεων, γ) τις δυνάμεις και ροπές που ασκούνται στη μηχανική κατασκευή. Οι σημαντικότεροι αισθητήρες είναι αντίστοιχα: α) τα ποτενσιόμετρα, οι εύκαμπτοι αισθητήρες (*flex sensors*), οι οπτικοί αποκωδικοποιητές (*optical encoders*) και οι *resolvers*, β) τα ταχύμετρα (*tachometers*) και γ) οι αισθητήρες δύναμης-ροπής (*force-torque sensors*). Στη δεύτερη κατηγορία (εξωγενείς) ανήκουν: α) αισθητήρες αφής (*tactile sensors*), β) αισθητήρες προσέγγισης (*proximity sensors*), γ) αισθητήρες μέτρησης εύρους (*range sensors*), δ) υπερηχητικοί αισθητήρες (*ultrasonic sensors*), ε) υπέρυθροι αισθητήρες (*infrared sensors*) και στ) κάμερες.

### 3.3 Υποσύστημα Ελέγχου

Όπως αναφέραμε στο προηγούμενο κεφάλαιο το υποσύστημα ελέγχου αποτελείται συνήθως από ένα ελεγκτή που αντλεί συνεχώς πληροφορίες από το υποσύστημα αίσθησης με σκοπό τον κατάλληλο συντονισμό των επενεργητών. Ο έλεγχος απαιτεί την αρμονική κίνηση όλου του μηχανολογικού υποσυστήματος στοχεύοντας, στο επιθυμητό αποτέλεσμα (π.χ. λαβή αντικειμένου, υλοποίηση επιθυμητής χειρονομίας από το ρομποτικό χέρι).

Το υποσύστημα ελέγχου καθορίζει τον τρόπο λειτουργίας των υπόλοιπων υποσυστημάτων του ρομποτικού μηχανισμού ανάλογα με τις παραμέτρους που παίρνει. Το υποσύστημα ελέγχου μπορεί να είναι ένας μικρού μεγέθους υπολογιστής ή μικροελεγκτής ενσωματωμένος σε ένα ενιαίο ενσωματωμένο σύστημα που περιέχει έναν επεξεργαστή, τη μνήμη και τις περιφερειακές προγραμματιζόμενες μονάδες εισόδου/εξόδου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΧΕΡΙΟΥ

---

### Εισαγωγή

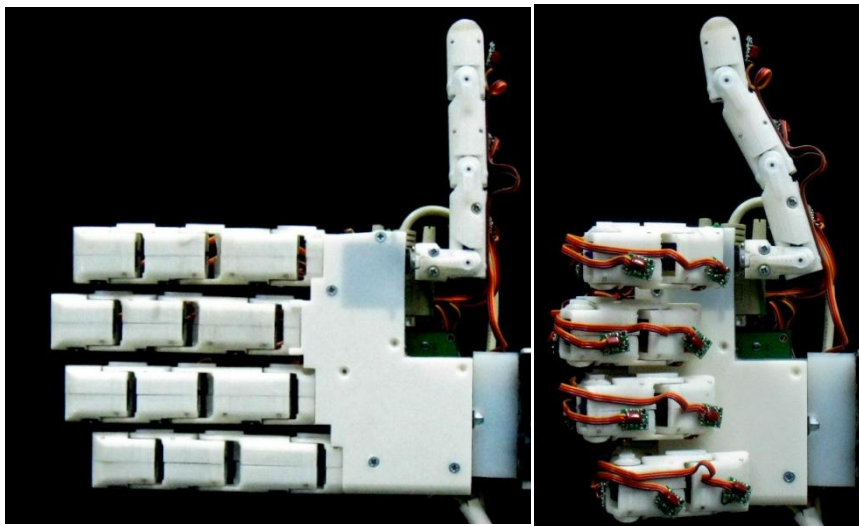
Στο Εργαστήριο Αυτοματικής-Ρομποτικής του ΤΕΙ Κρήτης του τμήματος μηχανολογίας έγινε η ανάπτυξη και η κατασκευή ενός ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού.

Στόχος της παρούσας πτυχιακής επιτέλεσε η κατασκευή ενός ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού με δυνατότητες λαβής αντικειμένων και υλοποίησης χειρονομιών όπως κάνει ο άνθρωπος. Στα πλαίσια αυτής της προσπάθειας το ρομποτικό χέρι σχεδιάστηκε σε συστήματα *CAD/CAM* και κατασκευάστηκε σε μηχανή τρισδιάστατης εκτύπωσης και *CNC* εργαλειομηχανή. Οι παράμετροι που λήφθηκαν υπ' όψιν για τη κατασκευή του ήταν να προσεγγίζει τη μορφή του ανθρωπινού χεριού, να έχει μικρό βάρος, χαμηλό κόστος και ευκολία συντήρησης.

Το ρομποτικό χέρι λόγω της μεγάλης ευελιξίας που διαθέτει έχει τη δυνατότητα να αναπαράγει με το καλύτερο δυνατό τρόπο χειρονομίες και λαβές τις οποίες χρησιμοποιεί ο άνθρωπος στη καθημερινή του ζωή.

---

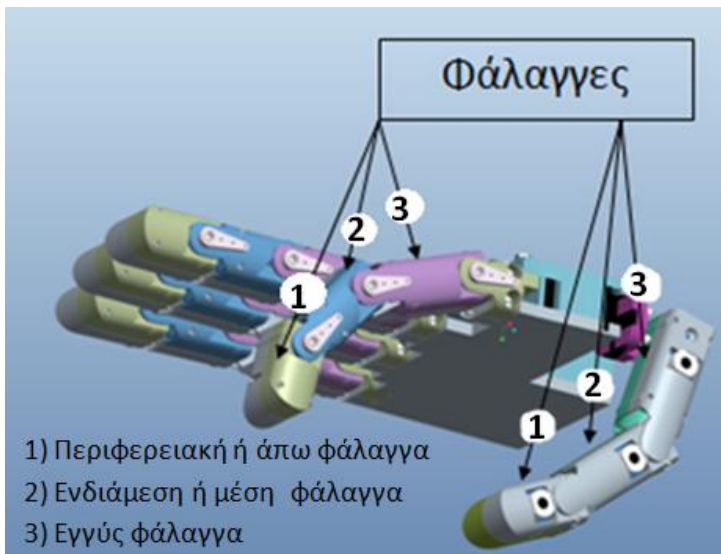
## 4.1 Βαθμοί ελευθερίας, Τεχνικά χαρακτηριστικά, Υλικά



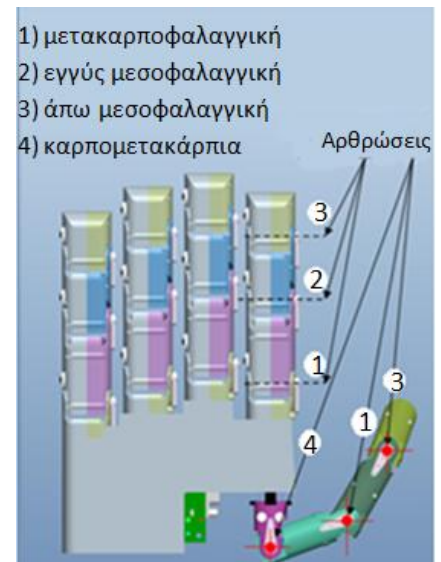
Εικόνα 4.1.1 το πρωτότυπο μοντέλο του ρομποτικού χεριού

Το ρομποτικό χέρι αποτελείται από πέντε δάχτυλα και τη παλάμη. Έχει συνολικά δεκαέξι (16) βαθμούς ελευθερίας (β.ε.). Τα τέσσερα δάχτυλα (δείκτης, μέσος, παράμεσος και μικρός) έχουν τρεις β.ε., το καθένα αποτελείται από τρεις φάλαγγες και τρεις αρθρώσεις (σκόπιμο κρίθηκε για να γίνει πιο απλή και κατανοητή η περιγραφή της κατασκευής οι φάλαγγες του αντίχειρα να έχουν κοινή ονοματολογία με τις φάλαγγες των τεσσάρων δακτύλων εικόνα 1.4.2, ενώ η ονοματολογία των αρθρώσεων των δακτύλων είναι η αντίστοιχη που χρησιμοποιείται σε ένα ανθρώπινο χέρι εικόνα 1.4.3). Ο δε αντίχειρας έχει τέσσερις (4) βαθμούς ελευθερίας ο οποίος αποτελείται από τρεις φάλαγγες και τρεις αρθρώσεις. Ο τέταρτος βαθμός ελευθερίας του αντίχειρα οφείλεται στο ότι η μετακαρποφαλαγγική άρθρωση αποτελείται στην ουσία από δυο αρθρώσεις οι οποίες συμπεριφέρονται σαν μια σφαιρική, για αυτό τη λαμβάνουμε σαν μια άρθρωση. Τα τέσσερα δάχτυλα μπορούν να πραγματοποιήσουν κάμψη και έκταση μόνο ως προς το μετωπιαίο επίπεδο (εικ 4.1.4). Ενώ ο αντίχειρας μπορεί να πραγματοποιήσει κάμψη και έκταση ως προς δύο επίπεδα, το μετωπιαίο και το οβελιαίο (εικ 4.1.4). Με αυτό το τρόπο ο αντίχειρας επιταχύνει κίνηση στο χώρο. Κάθε δάχτυλο και άρθρωση λειτουργεί ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες, με αυτόν το τρόπο μπορούν να επιτευχθούν λαβές και χειρονομίες που χρησιμοποιεί ο άνθρωπος στη καθημερινή του ζωή.





Εικόνα 4.1.2 οι φάλαγγες των δαχτύλων (μοντέλο CAD)

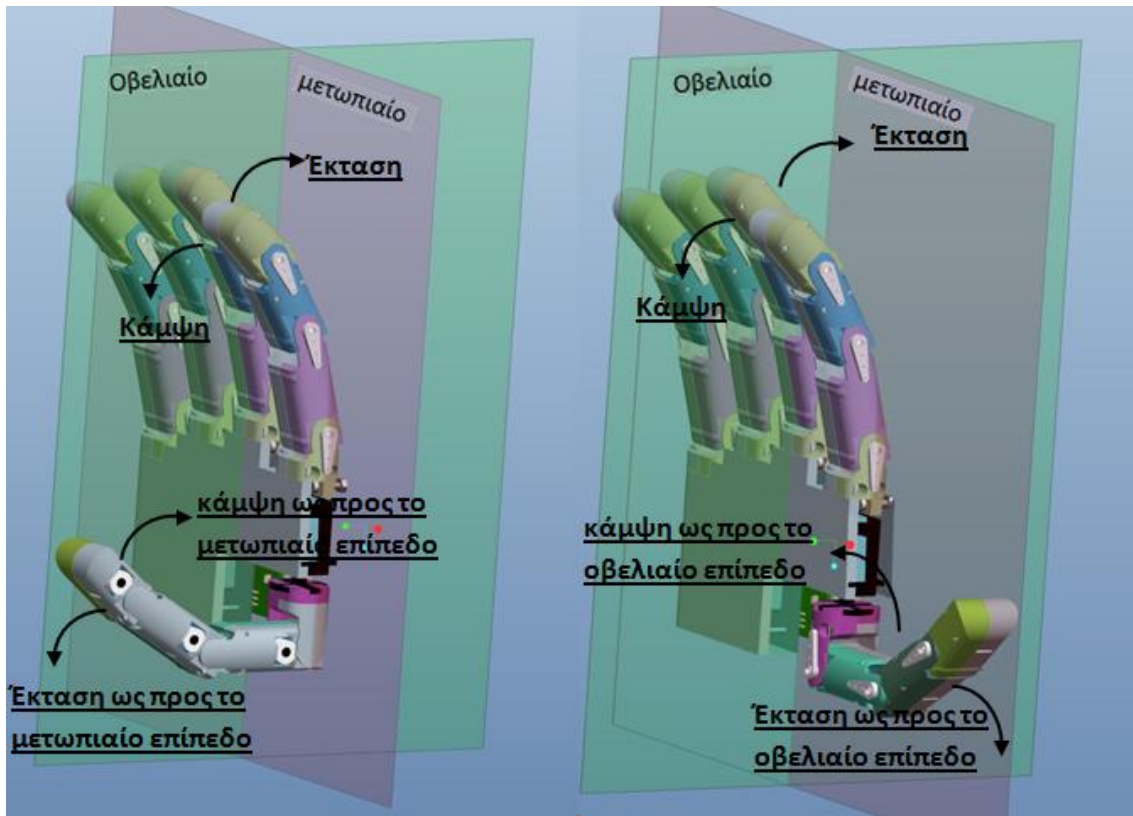


Εικόνα 4.1.3 οι αρθρώσεις των δαχτύλων (μοντέλο CAD)

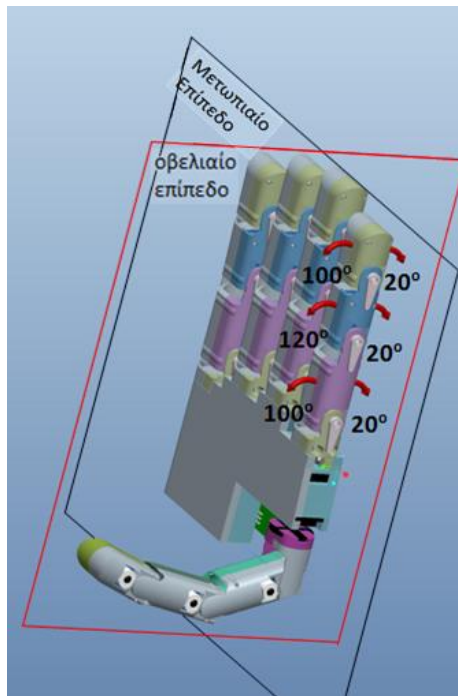
Οι διαστάσεις των δαχτύλων έχουν αναπαραχθεί βάση αναλογίας από το χέρι ενός ενήλικα άντρα. Πιο συγκεκριμένα τα τέσσερα δάχτυλα (δείκτης, μέσος, παράμεσος και μικρός) έχουν το ίδιο μήκος καθώς και οι αντίστοιχες φάλαγγες τους, ενώ οι διαστάσεις των φαλαγγών του αντίχειρα έχουν τις ίδιες αναλογίες σε σχέση με τις φάλαγγες του μέσου, βάση των μετρήσεων που πήραμε από το ανθρώπινο χέρι. Στον πίνακα 4.1.2 παραθέτονται τα μήκη των φαλαγγών κάθε δαχτύλου.

Τα τέσσερα δάχτυλα (δείκτης, μέσος, παράμεσος και μικρός) έχουν τοποθετηθεί στη παλάμη σε διαφορετικό ύψος και σε απόσταση 7mm μεταξύ τους, ενώ ο αντίχειρας είναι τοποθετημένος απέναντι και αντικριστά από το δείκτη σε απόσταση 91,6mm ενώ η παλάμη έχει μέγιστο πλάτος και ύψος 130,58mm 105,37mm αντίστοιχα. Το κάθε δάχτυλο έχει μέγιστο πλάτος 25,62mm (πίνακας 4.1.2). Η παλάμη αποτελείται από δυο επιμέρους τμήματα, το μετωπικό και οπίσθιο το οποίο είναι και ο σκελετός της κατασκευής, καθώς σε αυτό έχουν προσαρμοστεί όλα τα δάχτυλα και οι μηχανισμοί. Το μετωπικό μέρος διακρίνεται κοιτάζοντας τη παλάμη από μπροστά, ενώ το οπίσθιο διακρίνεται κοιτάζοντας τη παλάμη από πίσω (ραχιαία επιφάνεια) (εικόνες 4.1.8 και 4.1.9.)

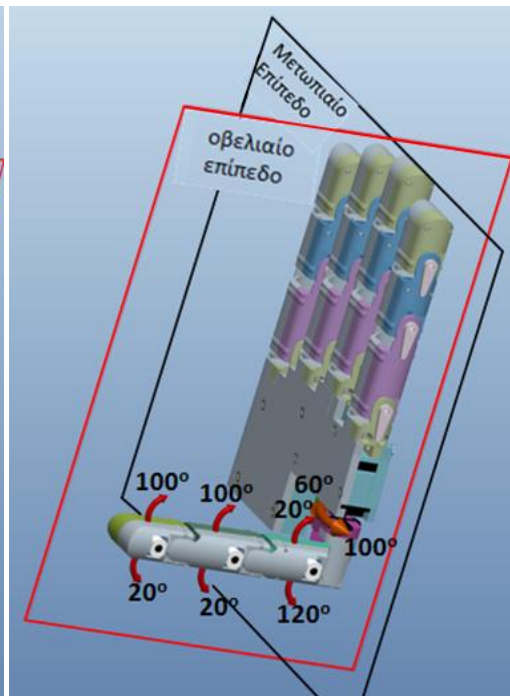
Οι αρθρώσεις των δαχτύλων έχουν συγκεκριμένο εύρος κίνησης (εικόνα 4.1.5, 4.1.6 και πίνακας 4.1.1). Για τα δάχτυλα δείκτη, μέσου, παράμεσου και μικρού η μετακαρποφαλαγγική άρθρωση μπορεί να κάνει κάμψη 100° μοιρών ως προς το μετωπιαίο επίπεδο (το εσωτερικό της παλάμης) και μια ανάδρομη κίνηση, έκταση προς το εξωτερικό της παλάμης 20° μοιρών, η μεσοκαρποφαλαγγική άρθρωση έχει τη δυνατότητα κάμψης 120° μοιρών ως προς την εγγύς φάλαγγα και έκταση 20° μοιρών ενώ η μεσοκαρποφαλαγγική άρθρωση πραγματοποιεί ως προς τη μέση φάλαγγα κάμψη/έκταση 100° και 20° μοιρών αντίστοιχα. Η καρπό-μετακάρπια άρθρωση του αντίχειρα είναι σε θέση να πραγματοποιήσει κάμψη 120° μοιρών, έκταση 20° μοιρών στο μετωπιαίο επίπεδο και επιπλέον κάμψη 60° μοιρών, έκταση 100° στο οβελιαίο επίπεδο, θεωρώντας ως σημείο αναφοράς το σημείο στο οποίο η εγγύς φάλαγγα είναι κάθετη στο μετωπιαίο επίπεδο. Η εγγύς μεσοκαρποφαλαγγική άρθρωση μπορεί να πραγματοποιήσει κάμψη ως προς την εγγύς φάλαγγα 100° μοιρών και έκταση 20° μοιρών και τέλος η άπω-μεσοκαρποφαλαγγική ως προς μέση φάλαγγα κάμψη 100° μοιρών και έκταση 20° μοιρών.



Εικόνα 4.1.4 κίνηση αντίχειρα στα επίπεδα (μοντέλο CAD)



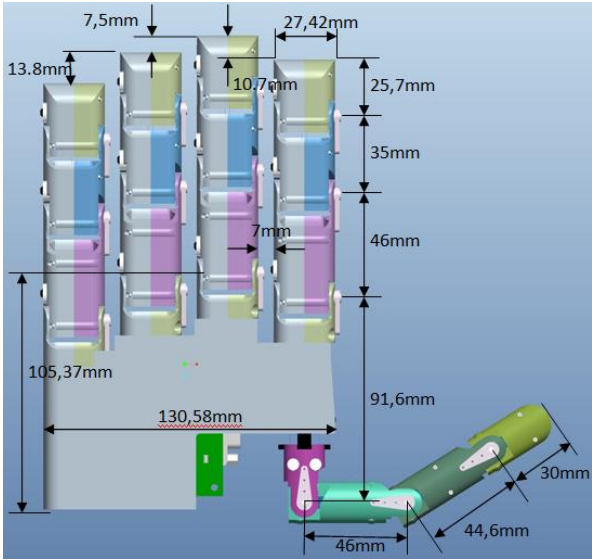
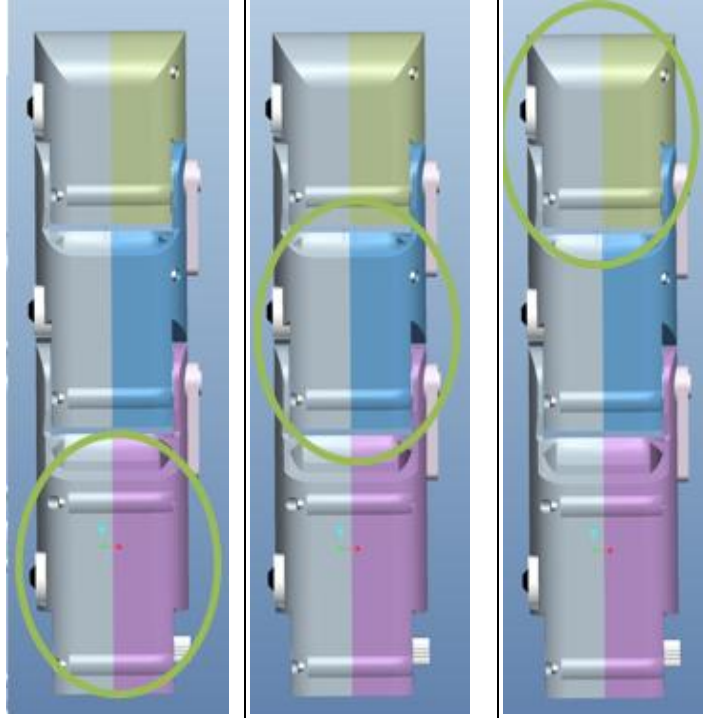
Εικόνα 4.1.5 Εύρος κίνησης δέκτη (μοντέλο CAD)



Εικόνα 4.1.6 Εύρος κίνησης αντίχειρα (μοντέλο CAD)

Δείκτης, Μέσος, Παράμεσος, Μικρός	<b>Μετακαρποφαλαγγική άρθρωση 1 β.ε.</b>				<b>Εγγύς Μεσοκαρποφαλαγγική άρθρωση 1 β.ε.</b>		<b>Άπω μεσοκαρποφαλαγγική άρθρωση 1 β.ε.</b>	
	Κάμψη (μοίρες)		Έκταση (μοίρες)		Κάμψη (μοίρες)	Έκταση (μοίρες)	Κάμψη (μοίρες)	Έκταση (μοίρες)
	100°		20°		120°	20°	100°	20°
Αντίχειρας	<b>καρπομετακάρπια άρθρωση 2 β.ε.</b>				<b>Μεσοκαρποφαλαγγική άρθρωση 1 β.ε.</b>		<b>Άπω μεσοκαρποφαλαγγική άρθρωση 1 β.ε.</b>	
	Κάμψη	Έκταση	Κάμψη	Έκταση	Κάμψη	Έκταση	Κάμψη	Έκταση
	Ως προς το μετωπιαίο επίπεδο		Ως προς το οβελιαίο επίπεδο					
	20°	120°	100°	60°	100°	20°	100°	20°

Πινάκας 4.1.2(εύρος κίνησης των ορθώσεων)

	<b>Διαστάσεις φαλαγγών σε χιλιοστά (mm)</b>		
	<b>Εγγύς</b>	<b>ενδιάμεση ή μέση</b>	<b>Περιφεριακή</b>
			
<b>Δείκτης, Μέσος, Παράμεσος, Μικρός</b>	46	35	25,7
<b>Αντίχειρας</b>	46	44,6	30

πινάκας 4.1.3 μήκη φαλαγγών

Το κύριο υλικό των δαχτύλων και του μετωπικού τμήματος της παλάμης είναι το πολυμερές πλαστικό ABS και κατασκευάστηκαν σε 3D Printer (βλέπε κεφάλαιο 5) ενώ το οπίσθιο τμήμα της παλάμης είναι κατασκευασμένο από teflon (τεφλόν) και η διαμόρφωση του τεμαχίου πραγματοποιήθηκε σε CNC φρέζα τριών αξόνων (βλέπε κεφάλαιο 5).

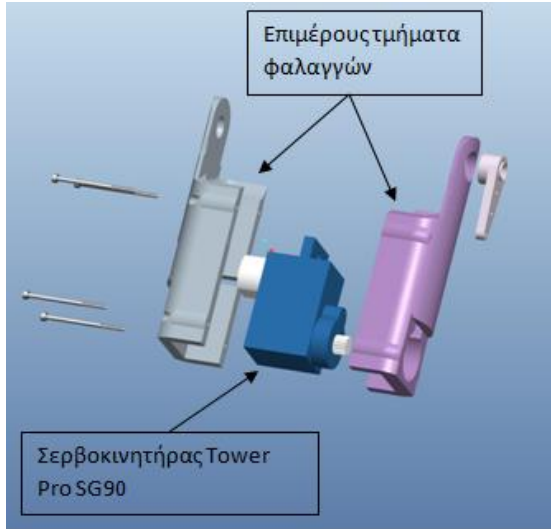
Τη κίνηση του ρομποτικού χεριού έχουν αναλάβει να υλοποιήσουν συνολικά δεκαέξι(16) αναλογικοί σερβοκινητήρες (analog servo) από τους οποίους οι δεκαπέντε(15) είναι μάρκας *Tower Pro*, ο δέκατος εκτός μάρκας *Hitec*. Στους πίνακες 4.1.3 και 4.1.4 αναφέρονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των επενεργείτων που επιλέχθηκαν. Ο σερβοκινητήρας *Hitec* ο οποίος επιτρέπει τη κίνηση του αντίχειρα στα δυο επίπεδα, για αυτό αποδίδει μεγαλύτερη ροπή από τους υπόλοιπους, είναι τοποθετημένος σε μια ειδικά διαμορφωμένη εσοχή στο εσωτερικό του οπισθίου τμήματος της παλάμης, έπειτα εφαρμόζεται ο αντίχειρας πάνω στον σερβοκινητήρα (εικόνες 4.1.8 και 4.1.11). Οι επενεργητές *Tower pro* είναι τοποθετημένοι στο εσωτερικό των φαλαγγών, η κάθε φάλαγγα αποτελείται από δυο επιμέρους τμήματα που συγκρατούνται μεταξύ τους με βίδες (εικ 4.1.10). Όλοι οι σερβοκινητήρες μεταδίδουν την κίνηση στις αρθρώσεις άμεσα. Για τον έλεγχο και τη καθοδήγηση των αρθρώσεων του ρομποτικού χεριού έχει τοποθετηθεί στο οπίσθιο τμήμα της παλάμης και πάνω στη ραχιαία επιφάνεια του χεριού ο σέρβο ελεγκτή *SSC-32* στον οποίο συνδέονται οι σερβοκινητήρες. Ο σερβοελεγκτής επικοινωνεί (σειριακής επικοινωνίας) με έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή ο οποίος περιέχει το κινηματικό μοντέλο του χεριού. Με βάση το κινηματικό μοντέλο και την επιθυμητή λαβή ή χειρονομία του ρομποτικού χεριού υπολογίζονται οι επιθυμητές τιμές για τις αρθρώσεις των δαχτύλων οι οποίες στην συνέχεια διαβιβάζονται πίσω στον μικροελεγκτή προς εκτέλεση [10] (εικ 4.1.12, 4.1.13).

Τεχνικά χαρακτηριστικά Hitec HS-225BB	
	
Είδος επενεργητή	Αναλογικός
Τύπος ρουλεμάν	Σφαιρικό ρουλεμάν
Ταχύτητα(4,8V/6,0)	0,14/0,11 sec/60° deg.
Ροπή Kg/cm(4,8V/6,0V)	3,9/4,8
Διαστάσεις σε χιλιοστά(mm)	1,27 x 16.76 x 31.00
Βάρος σε γραμμάρια (gr)	26.93

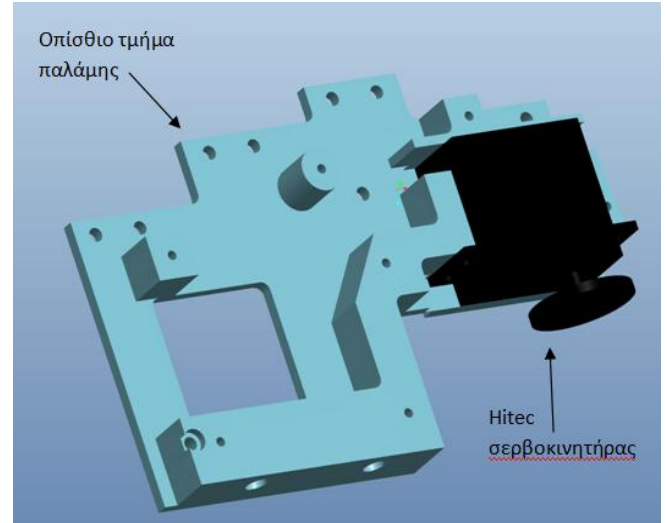
Πίνακας 4.1.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά Hitec HS-225BB

Τεχνικά χαρακτηριστικά Tower Pro SG90	
	
Είδος επενεργητή	Αναλογικός
Τύπος ρουλεμάν	-
Ταχύτητα(4,8V)	0.10 sec/60° deg.
Ροπή Kg/cm(4,8V)	1.80
Διαστάσεις σε χιλιοστά(mm)	23.1 x 29.0 x 12.2
Βάρος σε γραμμάρια(gr)	9

Πίνακας 4.1.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά Tower pro SG90



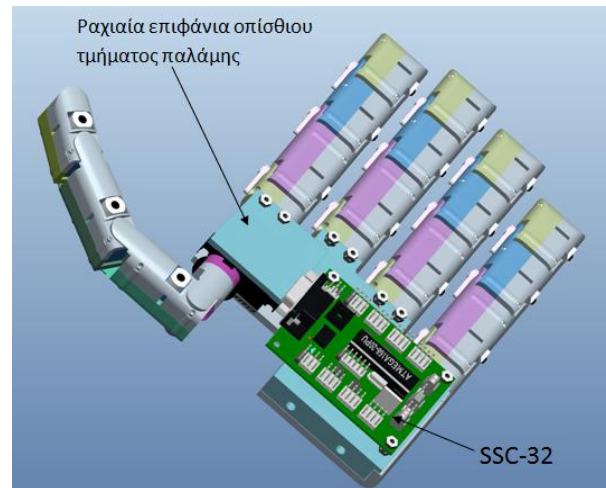
Εικόνα 4.1.11 Ο Hitec προσαρμοσμένος στο οπίσθιο τμήμα της παλάμης (μοντέλο CAD)



Εικόνα 4.1.10 Επιμέρους τμήματα φαλαγγών (μοντέλο CAD)



Εικόνα 4.1.12 Ο SSC-32 προσαρμοσμένος στη ραχιαία επιφάνεια του οπίσθιου τμήματος της παλάμης



Εικόνα 4.1.13 Ο SSC-32 προσαρμοσμένος στη ραχιαία επιφάνεια του οπίσθιου τμήματος της παλάμης (μοντέλο CAD)

## 4.2 Λειτουργικότητα και δυνατότητες ρομποτικού χεριού

### 4.2.1 Χειρονομίες ρομποτικού χεριού

Λόγω ότι ο άνθρωπος είναι κοινωνικό ον ζώντας μέσα σε κοινωνίες, οι χειρονομίες αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της επικοινωνίας του, επιτρέποντας του να ενισχύει το προφορικό του λόγο. Έτσι στη καθημερινή του ζωή χρησιμοποιεί ένα μεγάλο πλήθος από χειρονομίες για να αλληλεπιδράσει με άλλους ανθρώπους και να εκφράσει συναισθήματα διάμεσο αυτών, όπως να χαιρετήσει ένα φίλο του στο δρόμο, να χαϊδέψει το παιδί του, να χτυπήσει το χέρι του στο τραπέζι όταν είναι θυμωμένος κτλ. Σε πολλές περιπτώσεις που ο προφορικός λόγος δεν είναι εφικτός να χρησιμοποιηθεί είτε λόγω προβλημάτων ομιλίας (άτομα με ειδικές δεξιότητες) είτε λόγω του περιβάλλοντος στο οποίο βρισκόμαστε (κατάδυση στη θάλασσα) ο προφορικός λόγος παύει να ισχύει και τη θέση του παίρνει ο λόγος διαμέσου χειρονομιών (νοηματική).

Όπως είναι φυσικό ένα ρομποτικό χέρι θα πρέπει να είναι σε θέση να αναπαράγει αυτές τις χειρονομίες όσο άπλες και αν φαίνονται, αλλά με μεγάλη σημασία για τον άνθρωπο. Το ρομποτικό χέρι που έχουμε κατασκευάσει λόγω της μεγάλης ευελιξίας που διαθέτει είναι σε θέση να πραγματοποιήσει μια πληθώρα από χειρονομίες που εκφράζουν συναισθήματα, άπλες χειρονομίες και χειρονομίες που δεν μπορεί να πραγματοποιήσει ένα ανθρώπινο χέρι.

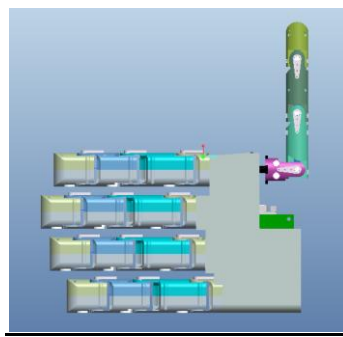
Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν μια σειρά από εικόνες διαφόρων χειρονομιών χωρισμένες σε δύο κατηγορίες (χειρονομίες συναισθημάτων, άπλες χειρονομίες και χειρονομίες που μπορεί να πραγματοποιήσει μονό το ρομποτικό χέρι) οι εικόνες θα περιλαμβάνουν την εκτέλεση της χειρονομίας από ένα ανθρώπινο χέρι, από το εικονικό μοντέλο του χεριού και την αναπαραγωγή της από το ρομποτικό χέρι. Οι συγκεκριμένες χειρονομίες έχουν επιλεγεί για τον λόγο ότι αναδεικνύουν την ευελιξία του ρομποτικού χεριού, καθώς ήταν αδύνατον να παρουσιαστούν όλες οι χειρονομίες που μπορεί να επιτελέσει το ρομποτικό χέρι. Για την επίτευξη των φωτογραφιών το ρομποτικό χέρι έχει προσαρμοστεί στη αρπαγή του ρομποτικού βραχίονα **RV-2A** της Mitsubishi που υπερέχει στο Εργαστήριο Αυτοματικής-Ρομποτικής του ΤΕΙ Κρήτης.

**Χειρονομίες συναισθημάτων:** οι χειρονομίες αυτές συνήθως συμπληρώνουν ή ενισχύουν το προφορικό μας λόγο όπως όταν θέλουμε να εκφράσουμε θύμο, θλίψη, χαρά κτλ

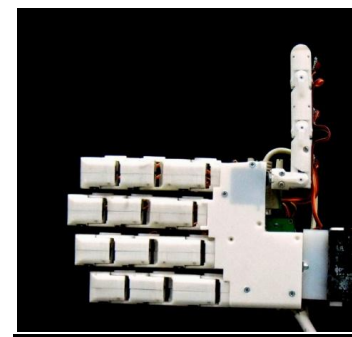
**Ανοικτή παλάμη:** στη χειρονομία αυτή όλα τα δάκτυλα βρίσκονται σε έκταση. Τη χρησιμοποιούμε σαν θετική χειρονομία κάνοντας χειραψία με έναν φίλο μας ή σαν αρνητική χειροδικώντας εναντίον κάποιου.



Εικόνα 4.2.1.1α Φυσική χειρονομία



Εικόνα 4.2.1.1β Εικονική χειρονομία (μοντέλο CAD)

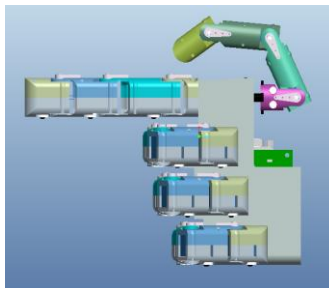


Εικόνα 4.2.1.1γ Χειρονομία ρομποτικού χεριού

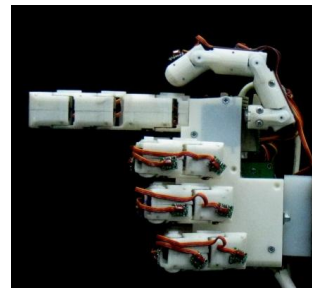
**Έκταση δείκτη:** ο δείκτης βρίσκεται σε έκταση, τα υπόλοιπα δάχτυλα σε κάμψη ενώ ο αντίχειρας βρίσκεται σε κάμψη πάνω στο μετωπιαίο επίπεδο. Η χειρονομία αυτή χρησιμοποιείται συνήθως όταν θέλουμε να υποδείξουμε κατεύθυνση, σαν ένδειξη απορίας όταν σηκώνουμε το χέρι στη τάξη για να κάνουμε μια ερώτηση.



Εικόνα 4.2.1.2α Φυσική χειρονομία



Εικόνα 4.2.1.2β Εικονική χειρονομία (μοντέλο CAD)

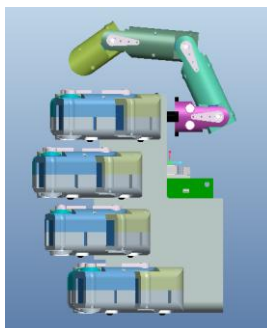


Εικόνα 4.2.1.2γ Χειρονομία ρομποτικού χεριού

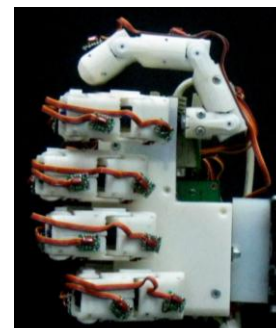
**Γροθιά:** τα δάχτυλα βρίσκονται σε πλήρης κάμψη και ακουμπάνε τη παλάμη, ενώ ο αντίχειρας είναι σε κάμψη βρισκόμενος πάνω στο μετωπιαίο επίπεδο. Τη χρησιμοποιούμε συνήθως όταν θέλουμε να χτυπήσουμε ένα αντικείμενο και δεν έχουμε σφυρί, όταν θέλουμε να χειροδικήσουμε εναντίον κάποιου ή όταν χτυπάμε το χέρι μας πάνω σε ένα τραπέζι λόγω θυμού.



Εικόνα 4.2.1.3α Φυσική χειρονομία



Εικόνα 4.2.1.3β Εικονική χειρονομία (μοντέλο CAD)

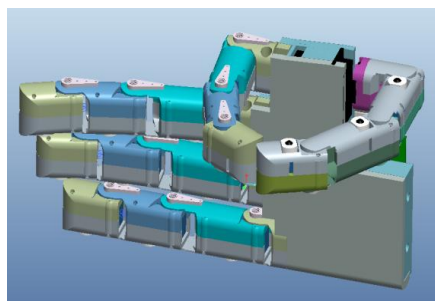


Εικόνα 4.2.1.3γ Χειρονομία ρομποτικού χεριού

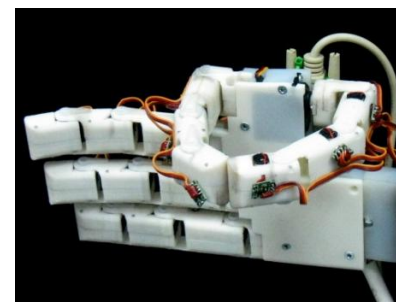
**ΟΚ:** ο αντίχειρας και ο δείκτης είναι σε κάμψη και εφάπτονται μεταξύ τους, τα υπόλοιπα δάχτυλα είναι σε μερική κάμψη. Τη χειρονομία αυτή τη χρησιμοποιούμε συνήθως αντί της έκφρασης όλα καλά (Ο.Κ.).



Εικόνα 4.2.1.4α Φυσική χειρονομία



Εικόνα 4.2.1.4β Εικονική χειρονομία (μοντέλο CAD)

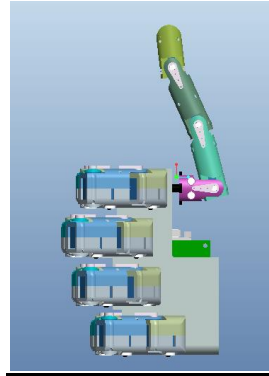


Εικόνα 4.2.1.4γ Χειρονομία ρομποτικού χεριού

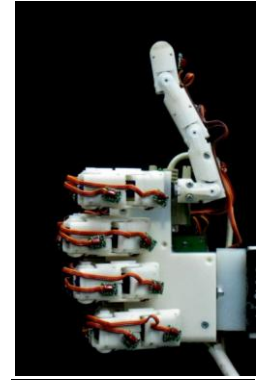
**Like:** ο αντίχειρας είναι σε μερική κάμψη βρισκόμενος στο μετωπιαίο επίπεδο, ενώ τα υπόλοιπα δάχτυλα είναι σε πλήρη κάμψη αγγίζοντας το εσωτερικό της παλάμης. Τη χειρονομία αυτή τη χρησιμοποιούμε συνήθως όταν θέλουμε να δείξουμε ότι μας αρέσει κάτι.



Εικόνα 4.2.1.5α Φυσική χειρονομία



Εικόνα 4.2.1.5β Εικονική χειρονομία (μοντέλο CAD)



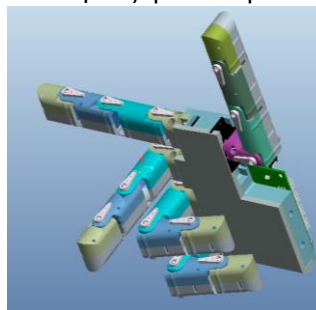
Εικόνα 4.2.1.5γ Χειρονομία ρομποτικού χεριού

**Άπλες χειρονομίες και χειρονομίες που μπορεί να πραγματοποιήσει μόνο το ρομποτικό χέρι:** τις άπλες χειρονομίες της χρησιμοποιεί ο άνθρωπος στη καθημερινή του ζωή χωρίς ουσιαστικά να εκφράζει κάποια συναίσθημα μέσα από αυτές. Οι χειρονομίες που επιτυγχάνονται μονό από το ρομποτικό χέρι παρουσιάζονται για να αναδείξουν τη μεγάλη ευελιξία του ρομποτικού χεριού η όποια είναι μεγαλύτερη από του ανθρωπίνου χεριού.

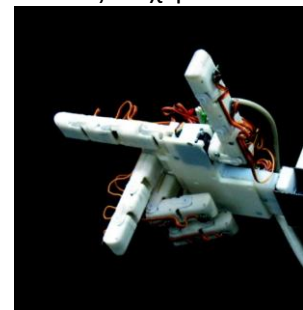
**Άξονες X,Y,Z:** ο δείκτης και αντίχειρας είναι πάνω στο μετωπιαίο επίπεδο σε έκταση ενώ ο μέσος είναι κάθετος στο μετωπιαίο επίπεδο. Τη χρησιμοποιούμε συνήθως για να ορίσουμε το κανόνα του δεξιού χεριού.



Εικόνα 4.2.1.6α Φυσική χειρονομία



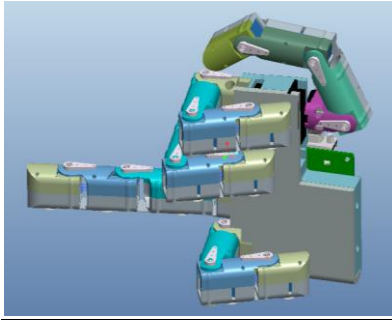
Εικόνα 4.2.1.6β Εικονική χειρονομία (μοντέλο CAD)



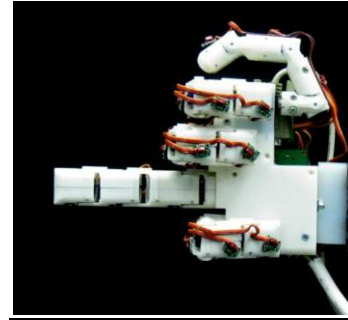
Εικόνα 4.2.1.6γ Χειρονομία ρομποτικού χεριού



**Έκταση παράμεσου:** ο παράμεσος βρίσκεται σε πλήρης έκταση, ο αντίχειρας σε κάμψη πάνω στο μετωπιαίο επίπεδο και τα υπόλοιπα δάχτυλα βρίσκονται σε πλήρη κάμψη.



Εικόνα 4.2.1.7α Φυσική χειρονομία

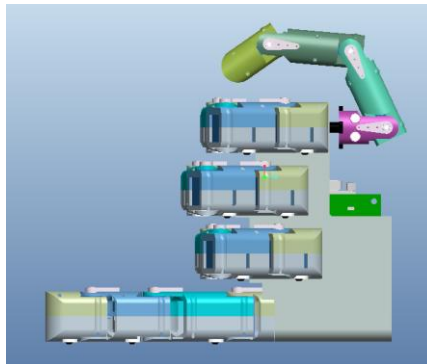


Εικόνα 4.2.1.7β Εικονική χειρονομία (μοντέλο CAD)

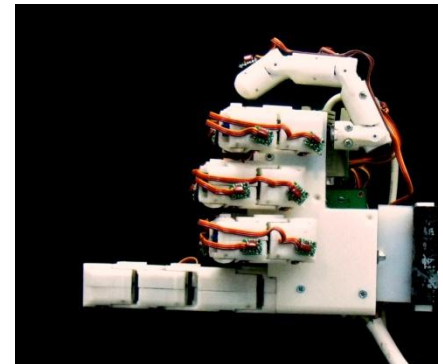
**Έκταση μικρού:** ο μικρός είναι σε πλήρη έκταση, ο αντίχειρας είναι σε κάμψη πάνω στο μετωπιαίο επίπεδο και τα υπόλοιπα δάχτυλα βρίσκονται σε πλήρη κάμψη.



Εικόνα 4.2.1.8α Φυσική χειρονομία



Εικόνα 4.2.1.8β Εικονική χειρονομία (μοντέλο CAD)

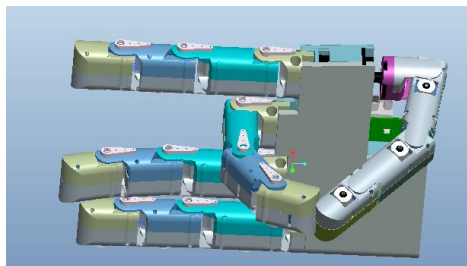


Εικόνα 4.2.1.8γ Χειρονομία ρομποτικού χεριού

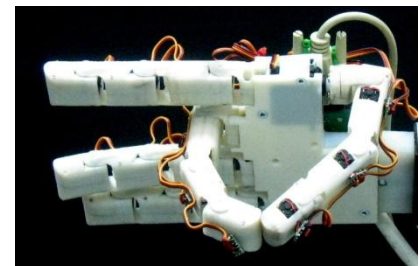
**Επαφή αντίχειρα μέσου:** ο αντίχειρας και ο μέσος βρίσκονται σε κάμψη ενώ τα ακρα τους βρίσκονται σε επαφή.



Εικόνα 4.2.1.9α Φυσική χειρονομία



Εικόνα 4.2.1.9β Εικονική χειρονομία (μοντέλο CAD)

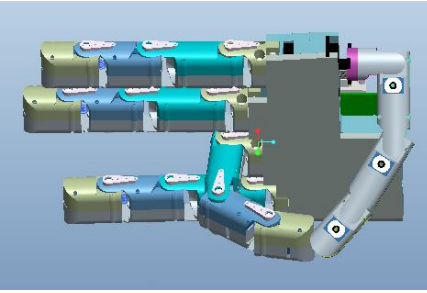


Εικόνα 4.2.1.9γ Χειρονομία ρομποτικού χεριού

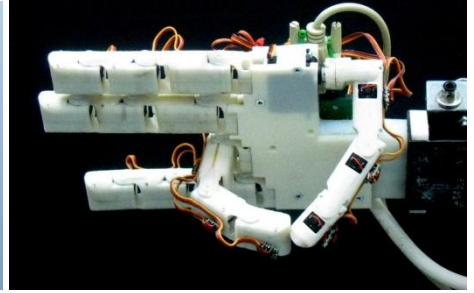
**Επαφή αντίχειρα παράμεσου:** ο παράμεσος είναι σε μερική κάμψη ενώ ο αντίχειρας πραγματοποιεί κάμψη στα δυο επίπεδα (οβελιαίο και μετωπιαίο) ταυτόχρονα μέχρι να δημιουργηθεί επαφή στα άκρα των δάχτυλων.



Εικόνα 4.2.1.10α Φυσική χειρονομία



Εικόνα 4.2.1.10β Εικονική χειρονομία

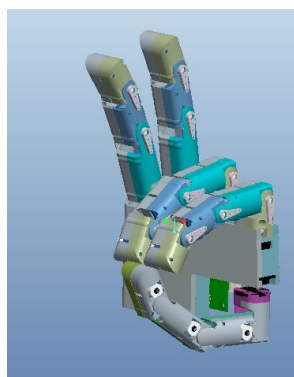


Εικόνα 4.2.1.10γ Χειρονομία ρομποτικού χεριού

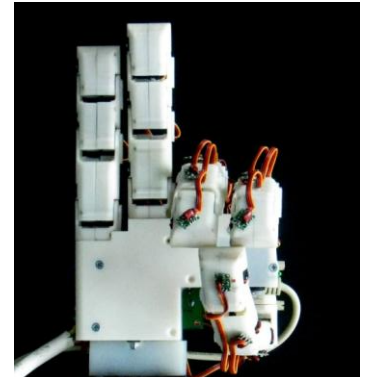
**Επαφή αντίχειρα, δείκτη, μέσου:** ο μέσος και ο δείκτης κάμπτονται μερικός ενώ ο αντίχειρας πραγματοποιεί κάμψη στα δύο επίπεδα (οβελιαίο και μετωπιαίο) μέχρι να επιτευχθεί η επαφή με τα άκρα των άλλων δυο δάχτυλων.



Εικόνα 4.2.1.11α Φυσική χειρονομία



Εικόνα 4.2.1.11β Εικονική χειρονομία (μοντέλο CAD)

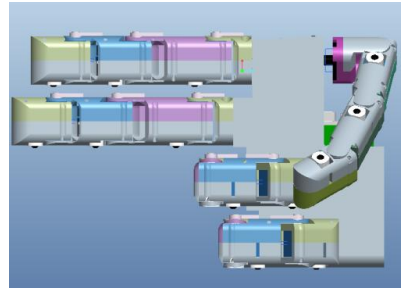


Εικόνα 4.2.1.11γ Χειρονομία ρομποτικού χεριού

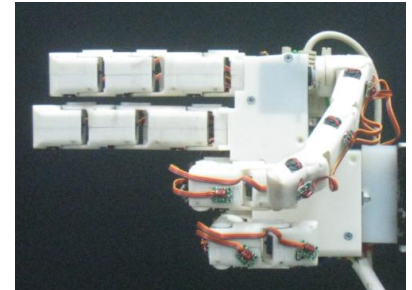
**Δείκτης μέσος έκταση:** ο δείκτης και ο μέσος βρίσκονται σε πλήρη έκταση, ο μικρός και ο παράμεσος σε πλήρη κάμψη ενώ ο αντίχειρας εκτελεί κάμψη στα δύο επίπεδα (οβελιαίο και μετωπιαίο) μέχρι να βρεθεί σε επαφή με τον παράμεσο.



Εικόνα 4.2.1.12α Φυσική χειρονομία



Εικόνα 4.2.1.12β Εικονική χειρονομία (μοντέλο CAD)



Εικόνα 4.2.1.12γ Χειρονομία ρομποτικού χεριού

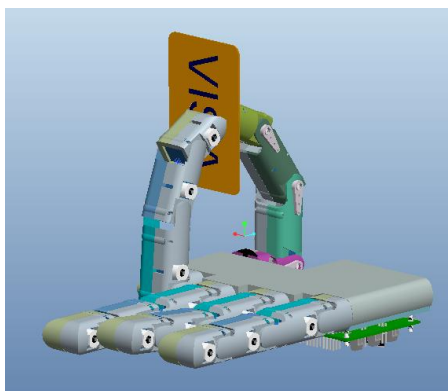
#### 4.2.2 Λαβές ρομποτικού χεριού

Από τη νεολιθική εποχή ο άνθρωπος χρησιμοποιούσε εργαλεία και αντικείμενα για να πραγματοποιήσει πιο γρήγορα και αποτελεσματικά διαφορές εργασίες. Στην αρχή τα εργαλεία και τα αντικείμενα ήταν απλά, συνήθως από πέτρα, ξύλο και κόκαλα ζώων. Με την πάροδο του χρόνου και την εξέλιξη του ανθρώπου εξελίχθηκαν παράλληλα τα εργαλεία και τα αντικείμενα που χρησιμοποιούσε. Έτσι φτάσαμε σήμερα να έχουμε μια μεγάλη πληθώρα εργαλείων και αντικειμένων, που τα χρησιμοποιούμε τόσο στη καθημερινή μας ζωή όσο και σε εξειδικευμένες εργασίες. Για να χειριστεί ο άνθρωπος αυτή τη μεγάλη πληθώρα από εργαλεία και αντικείμενα που διευκολύνουν τη ζωή του χρειάζεται να αποκτήσει τις κατάλληλες ικανότητες οι οποίες περνάνε από το γονέα στο παιδί (π.χ. ο χειρισμός της οδοντόβουρτσας ή ενός ποτηριού), διαμέσου του παιχνιδιού, της σχολικής εκπαίδευσης, και της δια βίου μάθησης. Με αυτό το τρόπο ο άνθρωπος αποκτά τις κατάλληλες ικανότητες για το χειρισμό διαφόρων εργαλείων και αντικειμένων από το πιο απλό όπως μια οδοντογλυφίδα μέχρι κάτι πιο πολύπλοκο όπως τη χρήση ενός κινητού τηλεφώνου.

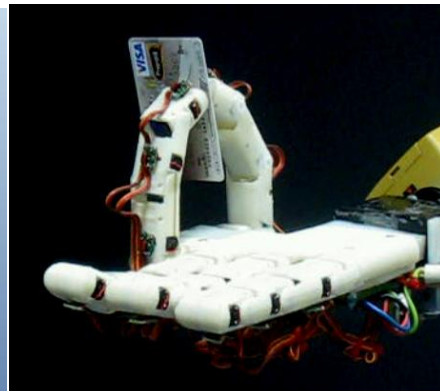
Αυτό επιταχύνετε με τη χρήση των τεσσάρων δαχτύλων, του αντίχειρα και της παλάμης, που μπορούν να λυγίσουν προς αυτήν κάνοντας μια ισχυρή λαβή. Έτσι μπορούμε να κρατήσουμε ένα μπουκάλι νερού κλείνοντας ταυτόχρονα όλα τα δάκτυλα και με τη βοήθεια της παλάμης να το συγκρατήσουμε. Αυτή η λαβή ονομάζεται περιβάλλουσα, στη όπια συμμετέχει και η παλάμη γιατί συγκράτηση του αντικείμενου. Όταν δημιουργείται μια λαβή σε ένα αντικείμενο η όποια δεν του επιτρέπει τη μετακίνηση του αν ασκηθούν σε αυτό εξωτερικές δύναμης τότε αυτή η λαβή ονομάζεται λαβή ισχύος. Στις περισσότερες των περιπτώσεων η περιβάλλουσα λαβή είναι λαβή ισχύος. Χρησιμοποιώντας μόνο τα δάκτυλα για να συγκρατήσουμε μια κάρτα ή ένα άλλο αντικείμενο, αυτή η λαβή ονομάζεται στατική, σε αυτήν τη λαβή το αντικείμενο μπορεί να μετακινηθεί αν του ασκηθούν εξωτερικές δυνάμεις. Επίσης μπορούμε να πιάσουμε ένα αντικείμενο και να το μετακινήσουμε ή να του αλλάξουμε προσανατολισμό χωρίς τη βοήθεια του καρπού ή του αγκώνα αλλά μόνο με την κίνηση των δακτύλων, αυτή η λαβή ονομάζεται δυναμική λαβή, διότι εξασφαλίζεται η ισορροπία δυνάμεων και ροπών σε όλη την διάρκεια χειρισμού του αντικειμένου [11].

Έτσι και ένα ρομποτικό χέρι πρέπει να είναι σε θέση να πραγματοποιήσει τις προαναφερόμενες λαβές. Στη συνέχεια παρουσιάζονται εικόνες του ρομποτικού χεριού πραγματοποιώντας αυτές τις λαβες. Σε μερικές φωτογραφίες παρουσιάζετε και το εικονικό μοντέλο, ενώ σε άλλες όχι λόγο ότι ήταν περιττό και χρονοβόρο να μοντελοποιηθεί το αντικείμενο-δοκίμιο για τη συγκριμένη λαβή.

**Στατική λαβή κάρτας με δείκτη και αντίχειρα:** ο αντίχειρας και δείκτης κάμπτονται μέχρι να συγκρατήσουν τη κάρτα.

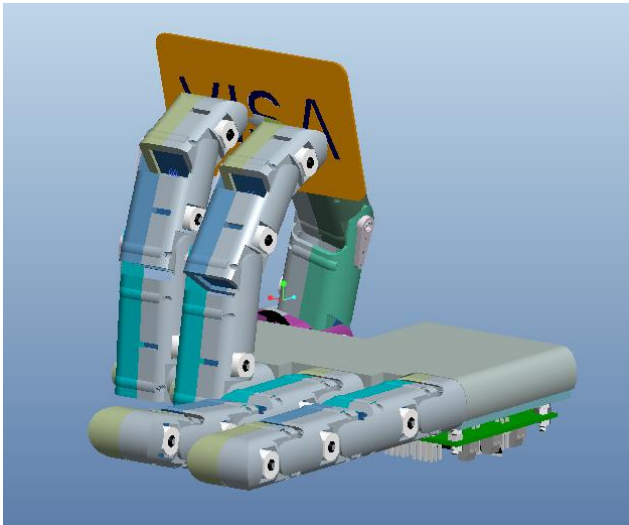


Εικόνα 4.2.2.1α Εικονική λαβή με κάρτα (μοντέλο CAD)

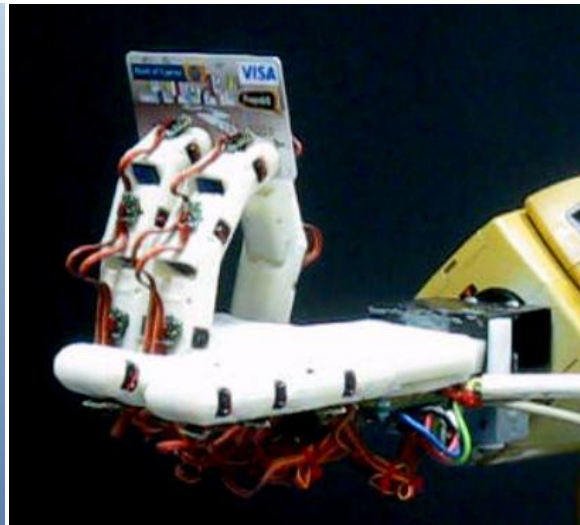


Εικόνα 4.2.2.1β λαβή ρομποτικού χεριού με κάρτα

**Στατική λαβή κάρτας με δείκτη, μέσο και αντίχειρα:** ο αντίχειρας, ο δείκτης και μέσος κάμπτονται μέχρι να συγκρατήσουν τη κάρτα.



Εικόνα 4.2.2.2α Εικονική λαβή με κάρτα (μοντέλο CAD)



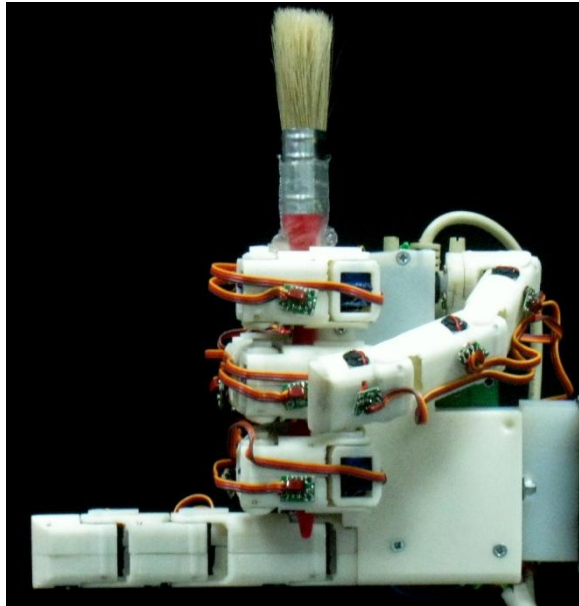
Εικόνα 4.2.2.2β λαβή ρομποτικού χεριού με κάρτα

**Λαβή ισχύος χάρτινου κουτιού:** ο αντίχειρας αγκαλιάζει το κουτί ενώ τα υπόλοιπα δάχτυλα πιέζουν το κουτί στον αντίχειρα, ενώ η παλάμη δεν συμμετέχει στη λαβή.



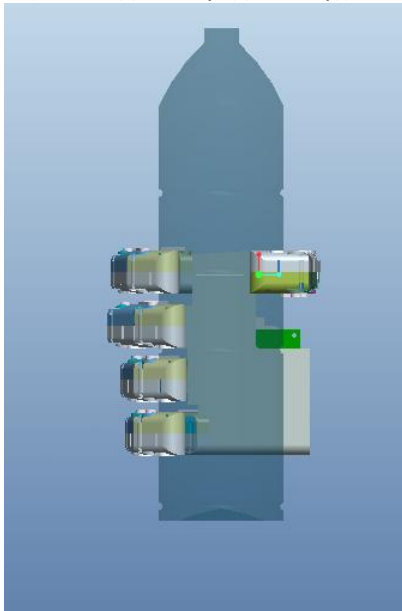
Εικόνα 4.2.2.4 λαβή ρομποτικού χεριού με κουτί

**Λαβή ισχύος πινέλου:** τα δάχτυλα δείκτης, μέσος και παράμεσος αγκαλιάζουν το πινέλο και ο αντίχειρας έρχεται βοηθητικά πάνω από τα άλλα δάχτυλα. Ο μικρός παραμένει σε πλήρη έκταση. Η παλάμη δεν συνεισφέρει στην λαβή.

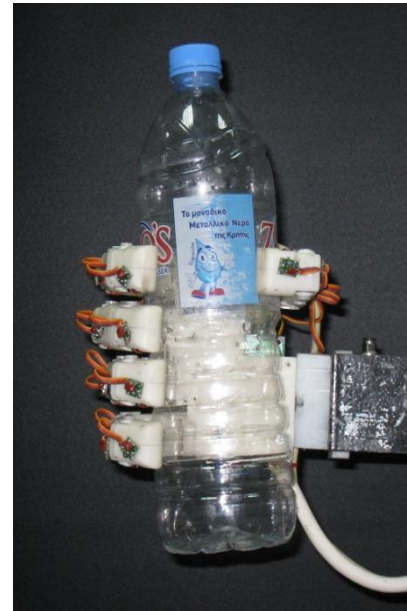


Εικόνα 4.2.2.6 λαβή ρομποτικού χεριού με πινέλο

**Περιβάλλουσα λαβή- λαβή ισχύος άδειου μπουκαλιού νερού 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub> LT:** όλα τα δάχτυλα κλείνουν ταυτόχρονα και με τη βοήθεια της παλάμης επιτυγχάνεται η συγκράτηση του μπουκαλιού.

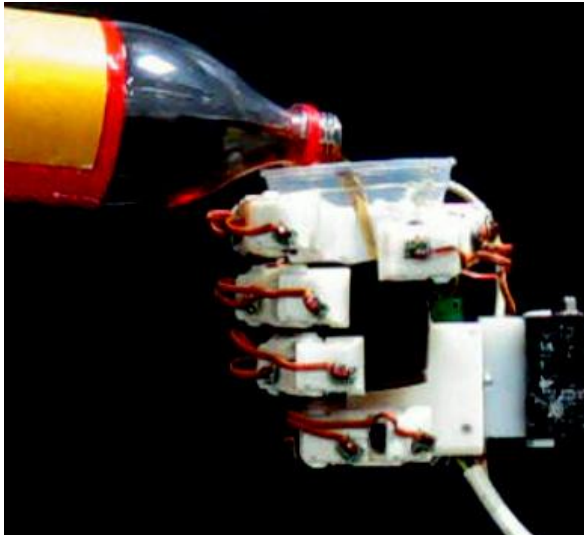


Εικόνα 4.2.2.3α Εικονική λαβή με μπουκάλι (μοντέλο CAD)

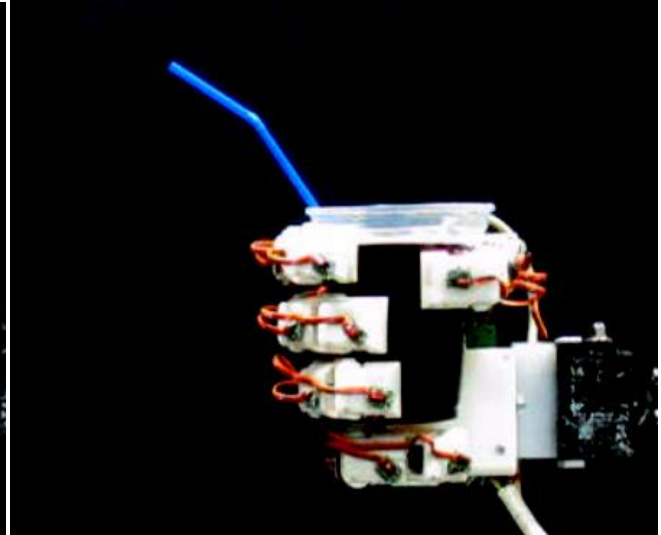


Εικόνα 4.2.2.3β λαβή ρομποτικού χεριού με μπουκάλι

**Περιβάλλουσα λαβή-λαβή ισχύος γεμάτου πλαστικού ποτηριού με υγρό:** όλα τα δάχτυλα κλείνουν μέχρι να συγκρατήσουν το ποτήρι και με τη βοήθεια της παλάμης επιτυγχάνεται η λαβή. Στη συνέχεια το μπουκάλι γεμίζει το ποτήρι με υγρό χωρίς να υποχώρησει αυτό.

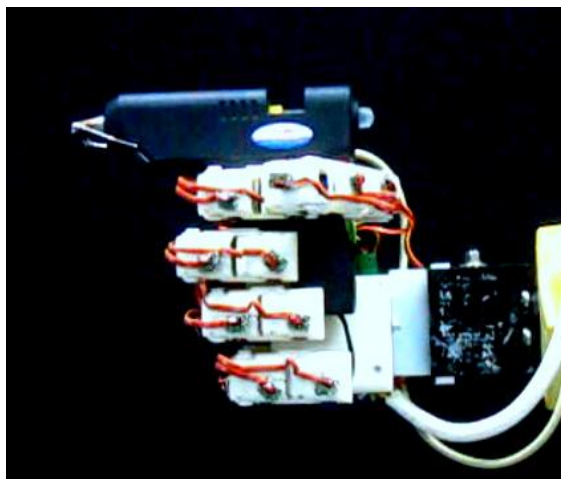


Εικόνα 4.2.2.5α λαβή ρομποτικού χεριού.  
Πλήρωση ποτηριού με υγρό.



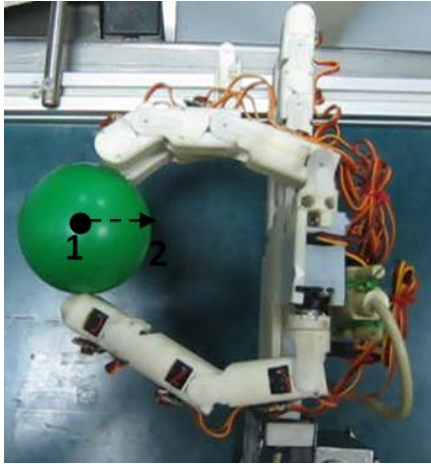
Εικόνα 4.2.2.5β λαβή ρομποτικού χεριού. Συγκράτηση ποτηριού με υγρό

**Περιβάλλουσα λαβή- λαβή ισχύος μπιστολιού σιλικόνης:** τα δάχτυλα κλείνουν ταυτόχρονα και αγκαλιάζουν το μπιστόλι σιλικόνης με τη βοήθεια της παλάμης έκτος του αντίχειρα ο οποίος αγκαλιάζει το μπιστόλι και ένα μέρος του αντίχειρα αφού πρώτα έχουν κλείσει τα υπόλοιπα δάχτυλα. Ο μικρός δεν συμμετέχει ουσιαστικά σε αυτή τη λαβή.

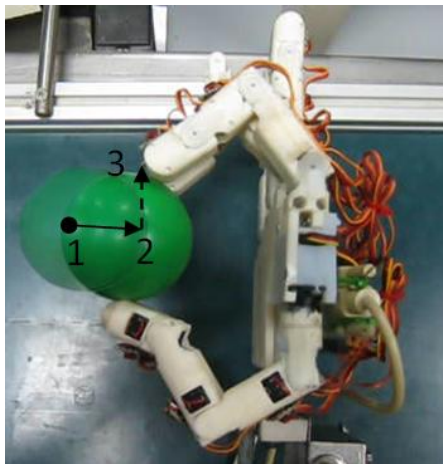


Εικόνα 4.2.2.7 λαβή ρομποτικού χεριού με μπιστόλι σιλικόνης

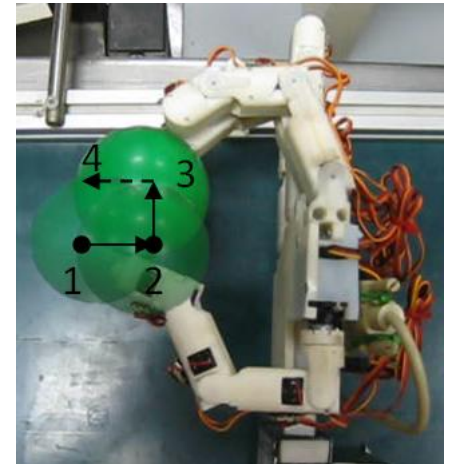
**Δυναμική λαβή σφαίρας από αφρώδες πλαστικό:** με τον αντίχειρα, τον δείκτη και τον μέσο πραγματοποιείται αρχικά στατική λαβή της σφαίρας από αφρώδες πλαστικό. Στη συνέχεια ο δείκτης με το μέσο και μαζί με τον αντίχειρα μετακινούν τη σφαίρα διαγράφοντας της μια τροχιά σε σχήμα τετραγώνου. Κατά τη διάρκεια όλης της λαβή ο αντίχειρας πραγματοποιεί ταυτόχρονη κάμψη και στα δύο επίπεδα (οβελιαίο και μετωπιαίο).



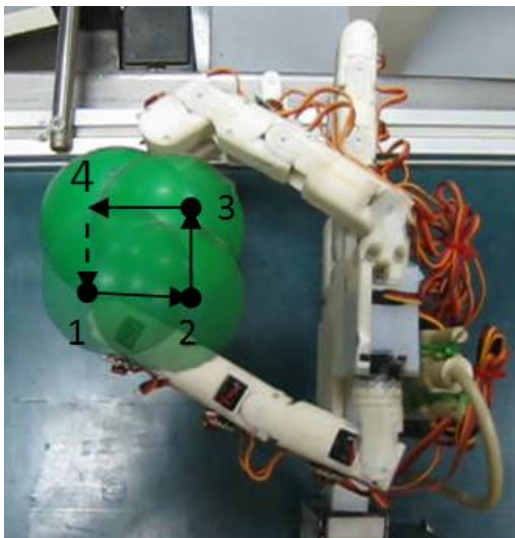
Εικόνα 4.2.2.8α τα δάκτυλα πραγματοποιούν λαβή στη σφαίρα και την μετακινούν από τη θέση 1 στη θέση 2



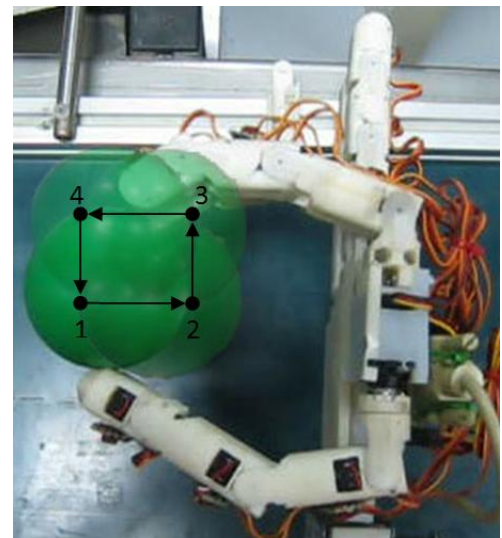
Εικόνα 4.2.2.8β από τη θέση 2 μετακινούν τη σφαίρα στη θέση 3



Εικόνα 4.2.2.8γ από τη θέση 3 μετακινούν τη σφαίρα στη θέση 4



Εικόνα 4.2.2.8δ από τη θέση 4 μετακινούν τη σφαίρα στην αρχική θέση 1



Εικόνα 4.2.2.8ε αφού η σφαίρα διέγραψε μια τετράγωνη διαδρομή έφτασε στο αρχικό της σημείο τη θέση 1.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΧΕΔΙΟΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΒΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΧΕΡΙΟΥ

### Εισαγωγή

Για να κατασκευάσει κάποιος ένα ρομποτικό χέρι θα πρέπει να προσδιορίσει ένα μεγάλο σύνολο παραμέτρων που απαιτεί το εν λόγω εγχείρημα όπως: από πόσα δάχτυλα και αρθρώσεις θα αποτελείτε το ρομποτικό χέρι, ποσούς βαθμούς ελευθερίας θα έχει, τι επενεργητες και αισθητήρια θα χρησιμοποιηθούν κτλ. Επίσης θα πρέπει να επιλεχθούν τα κατάλληλα υλικά και τεχνολογίες για τη κατασκευή του. Επομένως σημαντικό για την υλοποίηση του εγχειρήματος αυτού είναι να υπάρξει ένα σωστό πλάνο με τὰ βήματα κάθε εργασίας που πρέπει να ακολουθηθούν ώστε να είναι εφικτή η κατασκευή του ρομποτικού χεριού.

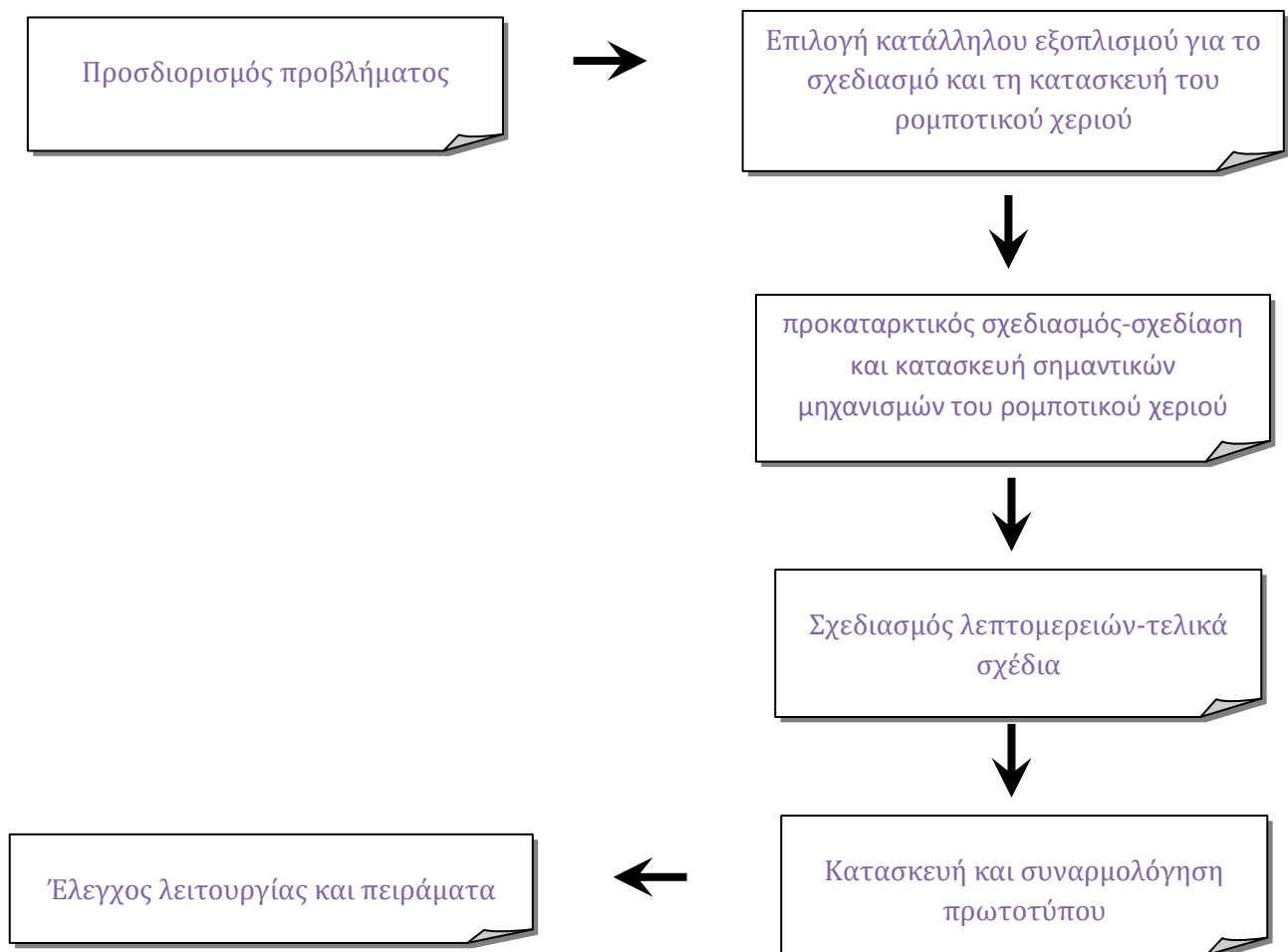
### 5.1 Μέθοδος κατασκευής του ρομποτικού χεριού

Για τη σχεδίαση και κατασκευή του ρομποτικού χεριού λήφθηκε υπόψη ένα μεγάλο **σύνολο από παραμέτρους** που απαιτούσε το εν λόγω εγχείρημα, μερικές από αυτές ήταν: η ευελιξία του ρομποτικού χεριού, το μέγεθος, το βάρος, το πλήθος των δαχτύλων που θα αποτελείται, το κόστος και ο χρόνος κατασκευής, τη ταχύτητα απόκρισης των αρθρώσεων, το τρόπο συντήρησης, τις προσβάσιμες τεχνολογίες κατασκευής που διέθετε το Τ.Ε.Ι., τα λογισμικά σχεδίασης και έλεγχου του ρομποτικού χεριού κτλ. Επομένως μπορούμε να ξεχωρίσουμε έξι βήματα (εικόνα 5.1.1) που ακολουθήθηκαν για τη κατασκευή του ρομποτικού χεριού:

1. Προσδιορισμός προβλήματος: ο όποιος περιλαμβάνει τα γενικά χαρακτηριστικά του ρομποτικού χεριού όπως βαθμοί ελευθερίας (β.ε), πλήθος δαχτύλων και κατά πόσο θα προσεγγίζει τη μορφή και ανατομία του ανθρωπίνου χεριού. Το διαθέσιμο προϋπολογισμό και το διαθέσιμο χρόνο υλοποίησης της κατασκευής.
2. Επιλογή κατάλληλου εξοπλισμού για το σχεδιασμό και τη κατασκευή του ρομποτικού χεριού: η επιλογή του λογισμικού σχεδίασης, της κατασκευαστικής τεχνολογίας, των επενεργητών, του λογισμικού για τον έλεγχο της κίνησης των αρθρώσεων και τέλος την επιλογή μικροελεγκτή για τη καθοδήγηση του ρομποτικού χεριού.



3. Προκαταρκτικός σχεδιασμός-σχεδίαση και κατασκευή σημαντικών μηχανισμών του ρομποτικού χεριού: σχεδίαση τρόπου μετάδοσης και επίτευξη της κίνησης καθώς και η πρωτότυπη κατασκευή τους για τη διαπίστωση της λειτουργικότητας και πρόταση πιθανών εναλλακτικών λύσεων.
4. Σχεδιασμός λεπτομερειών-τελικά σχέδια: στο στάδιο του σχεδιασμού των λεπτομερειών γίνεται επιλογή κατάλληλης θέσης τοποθέτησης του αντίχειρα, σχεδιασμός της παλάμης (εμπρόσθιο και οπίσθιο τμήμα), δημιουργία οπών για τα καλώδια. Έχοντας κάνει όλα τα προαναφερόμενα έχουμε καταλήξει στα τελικά σχέδια του ρομποτικού χεριού.
5. Κατασκευή και συναρμολόγηση πρωτοτύπου: γίνεται κατασκευή του χεριού στις τεχνολογίες που έχουμε επιλέξει από πριν και στη συνέχεια υλοποιούμε τη συναρμολόγηση των επιμέρων τμημάτων ώστε να δημιουργηθεί το ρομποτικό χέρι.
6. Έλεγχος λειτουργίας και πειράματα



Εικόνα 5.1.1

## 5.2 Από τη σύλληψη της ιδέας ως την υλοποίηση της

### 5.2.1 Προσδιορισμός προβλήματος

Από τα πρώτα ερωτήματα που πρέπει να απαντηθούν για την σχεδίαση και κατασκευή του ρομποτικού χεριού είναι η μορφή του κινηματικού μοντέλου που πρέπει να έχει ώστε να έχουμε ένα βέλτιστο αποτέλεσμα για τις χειρονομίες και τις λαβές αντικειμένων που θέλουμε να επιτύχουμε. Μετά από πολλές συζητήσεις και έρευνα στην υπάρχουσα βιβλιογραφία σχετικά με τα ρομποτικά χεριά και την ανατομία του ανθρώπινου χεριού καταλήξαμε σε ένα ανθρωπόμορφο κινηματικό μοντέλο που αποτελείται από πέντε δάχτυλα με το κάθε δάχτυλο να φέρει τρεις αρθρώσεις και τρεις φάλαγγες.

Αποφασίστηκε ότι για τα δάχτυλα της παλάμης (μετακαρποφαλαγγικές αρθρώσεις), εκτός του αντίχειρα, δεν πρόκειται να έχουν τη δυνατότητα κίνησης απαγωγής-προσαγωγής, διότι με αυτόν τον τρόπο προστίθεται αρκετή πολυπλοκότητα και βάρος στην κατασκευή. Τονίστηκε ότι τα δάχτυλα πρόκειται να είναι ίδια για ευκολία κατασκευής και συντήρησης. Εξαιρέση πρέπει να αποτελέσει ο αντίχειρας ο οποίος προκειμένου να επιτυγχάνει κίνηση στον τρισδιάστατο χώρο δύναται να σχεδιαστεί με μία επιπρόσθετη άρθρωση στη βάση του (δηλ. συνολικά θα έχει τέσσερις αρθρώσεις). Επίσης, η υψομετρική διαφορά που παρατηρείται στο ανθρώπινο χέρι ανάμεσα στα δάχτυλα του δείκτη, του μέσου, του παράμεσου και του μικρού, όταν αυτά είναι σε πλήρη έκταση, μπορεί να προκύψει από το διαφορετικό ύψος τοποθέτησης τους πάνω στη παλάμη.

Αρκετό προβληματισμό δημιούργησε το πως έπρεπε να τοποθετηθεί ο αντίχειρας α) αντικρίστα και παράλληλα με το δείκτη; β) απέναντι από το δείκτη και να σχηματίζει γωνιά σε σχέση με αυτόν; ή γ) αντικριστά και στο ενδιάμεσο μεταξύ δείκτη και μέσου; Επειδή ήταν πολύ νωρίς για μια τέτοια κρίσιμη απόφαση οδηγηθήκαμε στο συμπέρασμα ότι θα επιλέγαμε τη θέση τοποθέτησης του αντίχειρα διεξάγοντας εικονικά πειράματα χειρονομιών και λαβών αντικειμένων με την βοήθεια του λογισμικού σχεδίασης CAD μελετώντας παράλληλα τις τρεις εκδοχές τοποθέτησης του αντίχειρα. Τέλος σημαντικός παράγοντας της κατασκευής του ρομποτικού χεριού ήταν ο προϋπολογισμός που απαιτείται να είναι σχετικά μικρός.

### 5.2.2 Επιλογή κατάλληλου εξοπλισμού για το σχεδιασμό και τη κατασκευή του ρομποτικού χεριού

Για να κατασκευάσει κάποιος ένα ρομποτικό χέρι θα πρέπει να επιλέξει το κατάλληλο λογισμικό CAD για τη σχεδίαση του, την επιλογή των κατάλληλων κατασκευαστικών τεχνολογιών που έχει στη διάθεση του, καθώς και τον κατάλληλο τρόπο ελέγχου και λειτουργίας του ρομποτικού χεριού.

Το λογισμικό σχεδίασης που επιλέχθηκε είναι το *Creo Elements/Pro* της εταιρίας *PTC*, η κατασκευή του ρομποτικού χεριού πραγματοποιήθηκε σε μηχανή τρισδιάστατης εκτύπωσης (*3D Printer*) τεχνολογίας κατασκευής *Fused Deposition Modeling (FDM)* της εταιρίας *Dimension* και μοντέλο *elite* καθώς και σε CNC φρέζα τριών αξόνων της εταιρίας *Haas* μοντέλο *Tm-1p*. Το λογισμικό *Matlab* χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη του κινηματικού μοντέλου του ρομποτικού χεριού ενώ για τη καθοδήγηση των σερβοκινητήρων (*RC-Servo*) χρησιμοποιήθηκε ο ελεγκτής *SSC-32*.

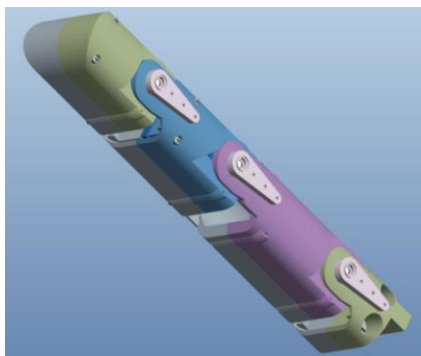
Το *Creo Elements/Pro* επιλέχθηκε για τις μεγάλες δυνατότητες που παρέχει σε σχεδίαση τρισδιάστατων μοντέλων και αφετέρου ήταν γνώριμος ο τρόπος λειτουργίας του. Η κυρία κατασκευή του ρομποτικού χεριού επιλέξαμε να γίνει στο *3D printer* ενώ η χρήση *CNC* εργαλειομηχανής κρίθηκε απαραίτητη για την κατασκευή μεμονωμένων εξαρτημάτων. Παρόλο που η κατασκευή τεμαχίων στο *3D printer* είναι υποδεέστερη σε σχέση με αυτή του *CNC* αποφασίστηκε να γίνει το μεγαλύτερο τμήμα του χεριού στον *printer* λόγω του μικρού χρόνου

κατασκευής που απαιτείται. Αξίζει να αναφέρουμε ότι δεν χρειάζονται ειδικές γνώσεις για το χειρισμό του *3D printer*, σε αντίθεση με την *CNC* εργαλειομηχανή η οποία απαιτεί εξειδικευμένες γνώσεις και ο απαιτούμενος χρόνος παραγωγής τεμαχίων είναι αρκετά μεγαλύτερος έναντι του *3D printer*. Μια μεγάλη διάφορα του *3D printer* στη διαδικασία κατασκευής τεμαχίων είναι ότι η κατασκευή αυτών γίνεται με εναπόθεση και όχι με αφαίρεση υλικού όπως γίνεται στις εργαλειομηχανές *CNC*. Ως επενεργητές αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν σερβοκινητήρες *RC-Servo* καθώς είναι πολύ εύκολο να τους προμηθευτεί κάποιος και υπάρχει μια μεγάλη πληθώρα τόσο ως προς το μέγεθος τους αλλά και στην ροπή τους. Τέλος η επιλογή του σερβοελεγκτή *SSC-32* πραγματοποιήθηκε με βάση την ικανότητα του να ελέγχει ταυτόχρονα μέχρι και 32 κινητήρες *RC-Servo* ενώ, το πρόγραμμα *Matlab* επιλέχθηκε για την απλή σειριακή σύνδεση του με τον *SSC-32*.

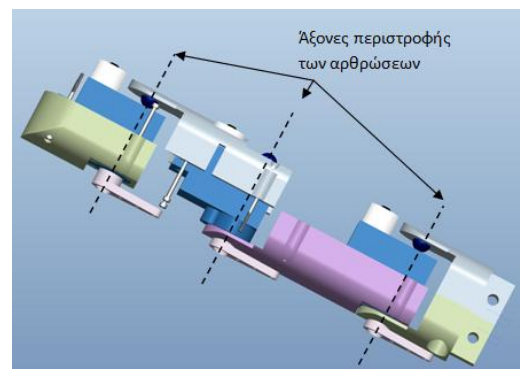
### 5.2.3 Σχεδίαση και κατασκευή σημαντικών μηχανισμών του ρομποτικού χεριού

Μια από τις μεγάλες προκλήσεις που θα αντιμετωπίσει κάποιος κατά τον σχεδιασμό και τη κατασκευή του ρομποτικού χεριού είναι η επίτευξη του τρόπου μετάδοσης της κίνησης από τους επενεργητές στις αρθρώσεις, αν είναι έμμεσος ή άμεσος. Έμμεσος τρόπος μετάδοσης είναι όταν οι επενεργητές είναι απομακρυσμένοι από το σημείο περιστροφής της άρθρωσης και η κίνηση μεταδίδεται στις αρθρώσεις με βοήθεια από ιμάντες, ντίζες, τροχαλίες κτλ. Ενώ στον άμεσο τρόπο η επενεργητές μεταδίδουν τη κίνηση στις αρθρώσεις απευθείας χωρίς τη χρήση συστήματος μετάδοσης της κίνησης.

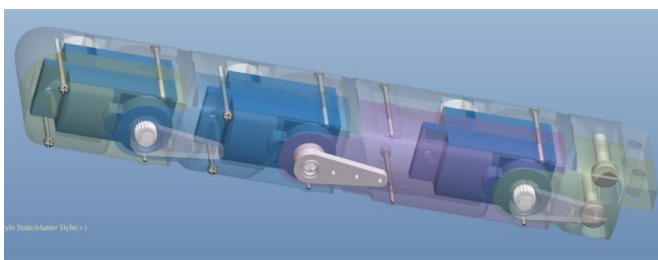
Σε πρώτο βήμα κατασκευάστηκε ένα δάχτυλο το οποίο αποτελείται από τρεις αρθρώσεις και τρεις φάλαγγες (Εικ. 5.2.3.1). Ο τρόπος μετάδοσης της κίνησης από τους σερβοκινητήρες στις αρθρώσεις είναι άμεσος. Οι σερβοκινητήρες τοποθετούνται στο εσωτερικό κάθε φάλαγγας, η οποία αποτελείται από δύο επιμέρους τμήματα που συγκρατούνται με κοχλίες (Εικ. 5.2.3.2). Στο κάτω άκρο της φάλαγγας είναι τοποθετημένος ο σερβοκινητήρας, ενώ στο πάνω μέρος της υπάρχει μια οπή στην οποία τοποθετείται ο άξονας περιστροφής του σερβοκινητήρα της επόμενης φάλαγγας. Το ρολό της άρθρωσης έχει αναλάβει ο ίδιος ο σερβοκινητήρας, ο οποίος συνδέει στην αριστερή μεριά των φαλάγγων, ενώ στη δεξιά μεριά τους τοποθετείται μια μεταλλική σφαίρα η οποία προσαρμόζετε στις φάλαγγες σε ειδικά διαμορφωμένες οπές που φέρουν αυτές. Οι φάλαγγες έχουν σχήμα έλλειψης ενώ η άκρη του δαχτύλου έχει σχήμα ημικυλινδρικό με διάμετρο 18,35mm το οποίο του επιτρέπει να πραγματοποιήσει κίνηση κύλισης χρησιμοποιώντας μόνο την άκρη των δαχτύλων. Όλα τα επιμέρους τμήματα του δαχτύλου κατασκευάστηκαν στον *3D printer*. Η τελική μορφή που απέκτησε το ρομποτικό δάχτυλο προέκυψε από πειραματισμούς με δάχτυλα διαφόρων σχημάτων και διαφόρων τρόπων λειτουργίας ως προς τη κατασκευή των αρθρώσεων και το είδος μετάδοσης της κίνησης σε αυτές.



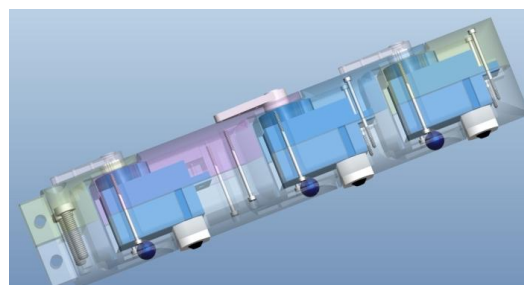
Εικόνα 5.2.3.1 η μορφή του ρομποτικού δαχτύλου



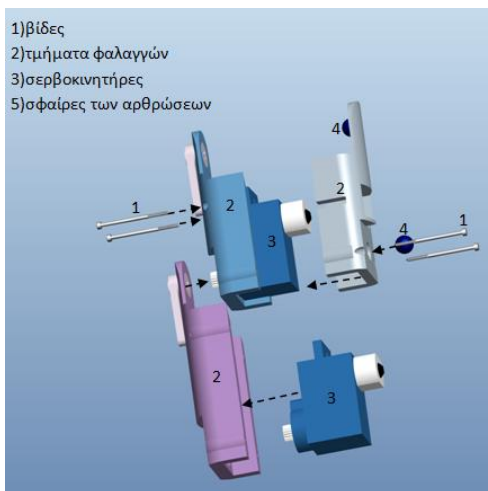
Εικόνα 5.2.3.2 οι εσωτερικοί μηχανισμοί του δαχτύλου



Εικόνα 5.2.3.3 διακρίνονται οι σερβοκινητήρες στο εσωτερικό του δαχτύλου.



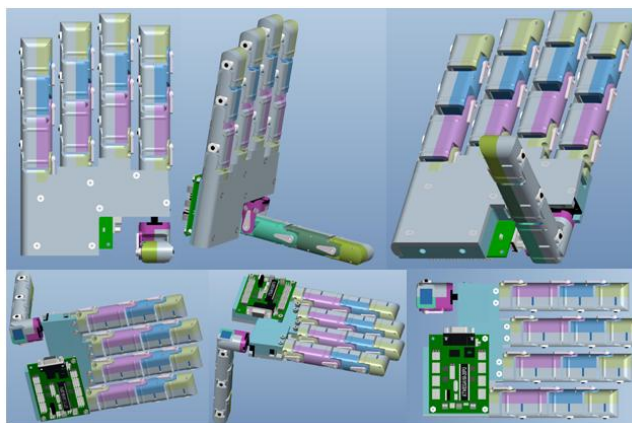
Εικόνα 5.2.3.4 διακρίνονται οι μεταλλικές σφαίρες των αρθρώσεων



Εικόνα 5.2.3.3 τα τμήματα από τα οποία αποτελούνται οι φάλαγγες και ο τρόπος σύνδεσής τους

### 5.2.4 Σχεδιασμός λεπτομερειών-τελικά σχέδια

Έχοντας καταλήξει στη τελική μορφή την οποία θα έχει το δάχτυλο και έχοντας αποφασίσει ότι όλα τα δάχτυλα θα έχουν τα ίδια γεωμετρικά χαρακτηριστικά έκτος του αντίχειρα που το μόνο διαφορετικό είναι τα μήκη των φαλαγγών του (βλ. κεφ. 4). Ο αντίχειρας τοποθετήθηκε αντικριστά και απέναντι από το δείκτη σε απόσταση 91,6mm από αυτόν. Έπειτα σχεδιάστηκε το εμπρόσθιο και το οπίσθιο τμήμα της παλάμης, το οπίσθιο τμήμα είναι ο σκελετός της κατασκευής καθώς σε αυτό προσαρμίζονται τα δάχτυλα και όλα τα εξαρτήματα του ρομποτικού χεριού. Μετά την ολοκλήρωση των σχεδίων (εικ. 5.2.4.1) ξεκίνησε η κατασκευή του ρομποτικού χεριού.



Εικόνα 5.2.4.1 το ρομποτικό χέρι από διαφορετικές οπτικές γωνιές

Ο αντίχειρας έχει διαφορετικό μήκος από τα υπόλοιπα δάχτυλα, το μήκος αυτό προέκυψε βάση αναλογίας την οποία πήραμε από το χέρι ενός ενήλικα άνδρα. Η υψομετρική διάφορα που παρατηρείται στο ρομποτικό χέρι ανάμεσα στα δάχτυλα του δείκτη, του μέσου, του παράμεσου και του μικρού, όταν αυτά είναι σε πλήρη έκταση, πρόκυψε από το διαφορετικό ύψος τοποθέτησης τους πάνω στη παλάμη. Τα ύψη αυτά δημιουργήθηκαν βάση αναλογίας από το ανθρώπινο χέρι.

Για την επιλογή του σωστού σημείου τοποθέτησης του αντίχειρα έγινε διεξαγωγή εικονικών πειραμάτων στο *Creo Elements/Pro* πραγματοποιώντας λαβές διαφόρων αντικείμενων, τοποθετώντας τον αντίχειρα σε τρεις διαφορετικές θέσεις: α) απέναντι και αντικριστά από τον δείκτη σχηματίζοντας γωνιά με αυτόν  $45^\circ$  μοιρών, β) απέναντι και αντικριστά με τον δείκτη και γ) απέναντι και αντικριστά στο μέσο δείκτη και μέσου. Από τα πειράματα αναδείχθηκε ότι η β λύση είναι εκείνη που μπορεί να επιτύχει τις πιο ευσταθείς λαβες. Ποιο αναλυτικά: γιατί στη λύση α ο αντίχειρας δεν εφάπτεται πλήρως με τα αντικείμενα στις περιβάλλουσες λαβες ενώ σε λαβες μονό με τα ακροδάχτυλα χρειάζονται να συμμετέχουν πάντα τρία δάχτυλα για να είναι ευσταθής η λαβή. Στη λύση γ κατά τη περιβάλλουσα λαβή ο αντίχειρας εφάπτεται καλά με τα αντικείμενα άλλα σε λαβές με τα ακροδάχτυλα χρειάζονται πάντα να συμμετέχουν τρία δάχτυλα για να είναι ευσταθής η λαβή. Στη β λύση ο αντίχειρας εφάπτεται καλά με τα αντικείμενα και σε λαβές ακροδαχτύλων απαιτείται μόνο δύο δάχτυλα για να πραγματοποιηθεί η λαβή, για τον λόγο αυτόν η β λύση ήταν και η πιο επιτυχής.



Εικόνα 5.2.4.1 εικονικό πείραμα λαβή μπουκαλιού, με τον αντίχειρα απέναντι και αντικριστά από τον δείκτη σχηματίζοντας γωνιά με αυτόν  $45^\circ$  μοιρών



Εικόνα 5.2.4.2 εικονικό πείραμα λαβή μπουκαλιού, με τον αντίχειρα απέναντι και αντικριστά με τον δείκτη



Εικόνα 5.2.4.3 εικονικό πείραμα λαβή μπουκαλιού, με τον αντίχειρα απέναντι και αντικριστά στο μέσο δείκτη και μέσου

### 5.2.5 Κατασκευή πρωτοτύπου και συναρμολόγηση

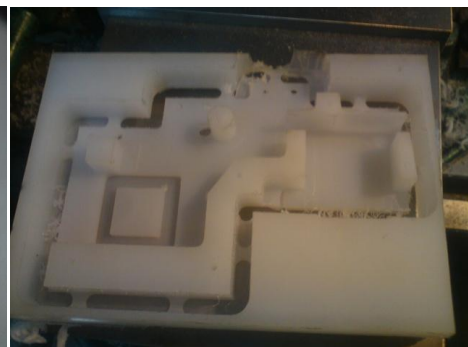
Όλα τα δάχτυλα και το εμπρόσθιο τμήμα της παλάμης κατασκευάστηκαν σε *3D Printer* ενώ, το οπίσθιο τμήμα κατασκευάστηκε σε *CNC* φρέζα τριών αξόνων. Με την ολοκλήρωση της κατασκευής των κομματιών έγινε η συναρμολόγηση τους ξεκινώντας από τα δάχτυλα τα οποία στη συνέχεια προσαρμόστηκαν στο οπίσθιο τμήμα της παλάμης, έπειτα τοποθετήθηκε ο SSC-32 στη ραχιαία επιφάνεια του ρομποτικού χεριού και στο τέλος προσαρμόστηκε το εμπρόσθιο τμήμα της παλάμης. Ακολούθησε η συνδεσμολογία του SSC-32 με τους σερβοκινητήρες και η σειριακή σύνδεση αυτού με τον Η/Υ. Το συνολικό βάρος του ρομποτικού χεριού είναι 600 γραμμάρια.

Για τη κατασκευή των εξαρτημάτων του ρομποτικού χεριού στο 3D printer ακολουθείται η εξής διαδικασία: τα κομμάτια που θέλουμε να κατασκευαστούν στο 3D Printer εξάγονται σε μορφή αρχείου *STL (Stereo Lithography)* από το μοντέλο CAD του ρομποτικού χεριού. Το αρχείο STL αναπαριστά μια τρισδιάστατη επιφάνεια ως ένα σύνολο στοιχειωδών επιπέδων τριγώνων, που θυμίζουν την πολυεδρική όψη της επιφάνειας ενός κατεργασμένου διαμαντιού [12]. Στη συνέχεια ανοίγουμε το πρόγραμμα *CatalystEX* το οποίο προετοιμάζει την κατασκευή του αντικειμένου που αναπαριστά το αρχείο STL. Το λογισμικό του προγράμματος αυτού διαιρεί ("τεμαχίζει") το ψηφιακό μοντέλο σε έναν αριθμό λεπτών εγκάρσιων διατομών, ενώ δημιουργεί και μια βοηθητική δομή, που θα χρησιμοποιείται για τη στήριξη του πρωτοτύπου κατά τη διάρκεια της κατασκευής του, όπου υπάρχουν εσωτερικές κοιλότητες, πρόβολοι, ή λεπτά τοιχώματα [12]. Έπειτα το πρόγραμμα *CatalystEX* στέλνει το αντικείμενο ή τα αντικείμενα στο 3D Printer για κατασκευή. Ο χρόνος της κατασκευής εξαρτάται από το πλήθος των αντικειμένων, τον όγκο τους και την πολυπλοκότητα τους. Για τη κατασκευή των τμημάτων που αποτελούν ένα δάχτυλο χρειάζονται περίπου εννέα ώρες και 26 λεπτά. Μετά την κατασκευή των κομματιών, το επόμενο βήμα είναι η απομάκρυνση των στηριγμάτων του η οποία γίνεται τοποθετώντας τα τεμάχια σε ένα χημικό διάλυμα σε θερμοκρασία 70 C° το οποίο λιώνει και απομακρύνει τα στηρίγματα και αφήνει ανέπαφο το τεμάχιο. Ο χρόνος απομάκρυνσης των στηριγμάτων στο διάλυμα εξαρτάται από τον όγκο που έχουν τα στηρίγματα και από τη πολυπλοκότητα της κατασκευής ενώ δεν παίζει ρόλο το πλήθος των τεμαχίων που έχουν τοποθετηθεί στο διάλυμα (έκτος αν το διάλυμα φτάσει σε σημείο κορεσμού). Για ένα δάχτυλο οι ώρες που απαιτούνται για την απομάκρυνση των στηριγμάτων είναι περίπου δέκα ώρες. Έπειτα τα τεμάχια αφαιρούνται από το διάλυμα, ξεπλένονται με νερό και είναι αίτημα για τη συναρμολόγηση.

Το οπίσθιο τμήμα της παλάμης κατασκευάστηκε σε CNC φρέζα έως εξής: το γεωμετρικό μοντέλο του κομματιού μεταφέρεται από το σύστημα CAD σε σύστημα CAM (το οποίο παρέχει το *Creo Elements/Pro*) με σκοπό τη δημιουργία προγράμματος για την καθοδήγηση της εργαλειομηχανής. Το σύστημα CAM προσομοιώνει στην οθόνη του υπολογιστή τη διαδικασία κοπής, εμφανίζοντας τα αποτελέσματα, σύμφωνα με τις παραμέτρους που έχουν οριστεί. Η διαδικασία κοπής εξάγεται από το σύστημα CAM σε μορφή κώδικα, κατάλληλου για προγραμματισμό των εργαλειομηχανών (G κώδικας). Το πρόγραμμα μεταφέρεται στον ελεγκτή της εργαλειομηχανής [13] και αφού τοποθετηθεί το ακατέργαστο κομμάτι ξεκινάει η διαδικασία κοπής.



Εικόνα 5.2.5.1 τμήματα των δαχτύλων που κατασκευάστηκαν από τον 3D Printer στα οποία δεν έχουν αφαιρεθεί τα στηρίγματα



Εικόνα 5.2.5.2 διαμόρφωση στο CNC του οπίσθιου τμήματος της παλάμης

Για να συναρμολογηθεί το ρομποτικό χέρι χρειάζεται μια συγκεκριμένη διαδικασία και εργαζόμαστε έως εξής: πρώτα πρέπει να προετοιμαστούν οι σερβοκινητήρες *Tower Pro* οι οποίοι θα τοποθετηθούν μέσα στις φάλαγγες.

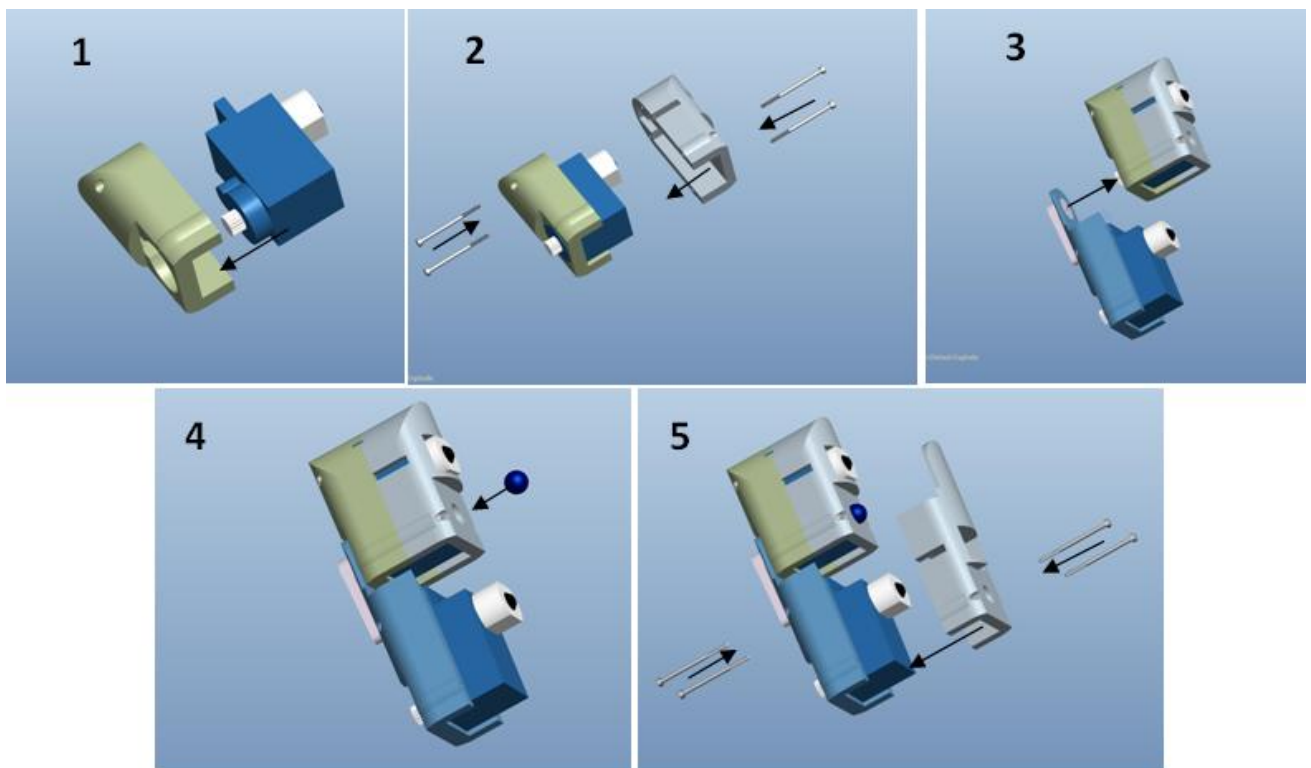
Ο κάθε σερβοκινητήρας αποτελείται από τρία μέρη (εικ. 5.2.5.3), αφαιρούμε τους τέσσερις κοχλίες που βρίσκονται στο κάτω τμήμα του, αφαιρούμε το Α τμήμα στο οποίο υπάρχουν τα ηλεκτρονικά του συστήματα, έπειτα αφαιρούμε το Β τμήμα κόβοντας το μέχρι το σημείο που αρχίζει το ποτενσιόμετρο. Επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία σε όλους τους σερβοκινητήρες *Tower Pro*. Τώρα αρχίζουμε να συναρμολογούμε τον δείκτη ξεκινώντας από την άκρη του και καταλήγοντας στη βάση του. Τοποθετούμε το *Tower Pro* στο τμήμα της Περιφερικής φάλαγγας το οποίο φέρει διαμορφωμένη οπή, έπειτα βιδώνουμε το σερβοκινητήρα με τη φάλαγγα, στη συνέχεια τοποθετούμε και το άλλο τμήμα της φάλαγγας ώστε να ολοκληρωθεί η φάλαγγα. Τα δύο τμήματα συνδέονται μεταξύ τους τοποθετώντας τους κοχλίες που αφαιρέσαμε από το *Tower Pro*. Τα ηλεκτρονικά συστήματα τα τοποθετούμε εξωτερικά της φάλαγγας περνώντας τα μέσα από μια παραλληλόγραμμη οπή που υπάρχει στο πάνω μέρος της φάλαγγας, τώρα έχουμε ολοκληρώσει την συνομολόγηση της μίας φάλαγγας. Στη συνέχεια τοποθετούμε στην ολοκληρωμένη φάλαγγα το ένα τμήμα της επόμενης φάλαγγας όπως φαίνεται στην εικόνα 5.2.5.5 Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία συναρμολογούμε και το υπόλοιπο δάχτυλο.



Εικόνα 5.2.5.3 τμήματα *Tower Pro*

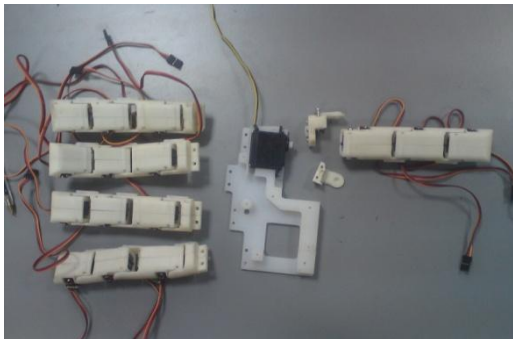


Εικόνα 5.2.5.4 τα τμήματα που αποτελούν τον αντίχειρα

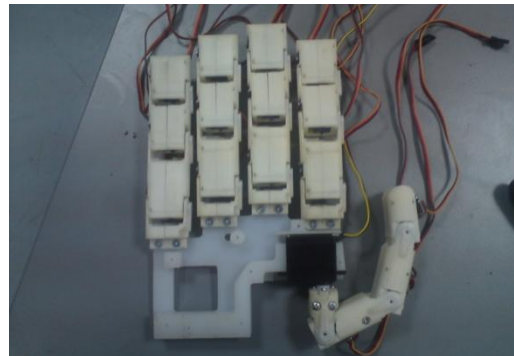


Εικόνα 5.2.5.5 βήματα συνομολόγησης δακτύλου

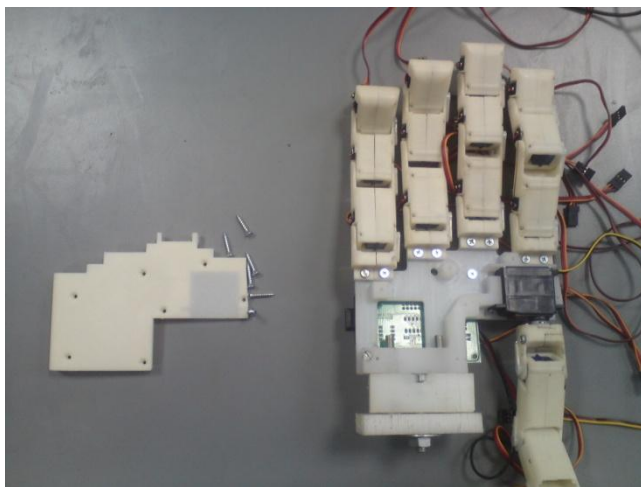
Μετά την συναρμολόγηση των δαχτύλων, τα τοποθετούμε στη παλάμη με κοχλίες M3X15 και με τα αντίστοιχα περικόχλια, στις οπές που φέρει η παλάμη και τα δάχτυλα. Έπειτα τοποθετούμε τον SSC-32 στην ραχιαία επιφάνεια με κοχλίες M3X25 και με αντίστοιχα περικόχλια. Εφαρμόζουμε τον *Hitec* στη διαμορφωμένη οπή που υπάρχει στο οπίσθιο τμήμα και κατόπιν προσαρμόζουμε τον αντίχειρα πάνω σ' αυτόν. Τοποθετούμε το εμπρόσθιο τμήμα της παλάμης βιδώνοντας το με το ραχιαίο τμήμα χρησιμοποιώντας φρέζατες νοβοπανόβιδες 3X10 mm. Τέλος, συνδέουμε τους σερβοκινητήρες στον SSC-32 και τοποθετούμε τα καλώδια τους πάνω στις ραχιαίες επιφάνεις των φαλαγγών, με λίγη κόλλα, με τέτοιο τρόπο ώστε να μην εμποδίζεται η περιστροφή των αρθρώσεων.



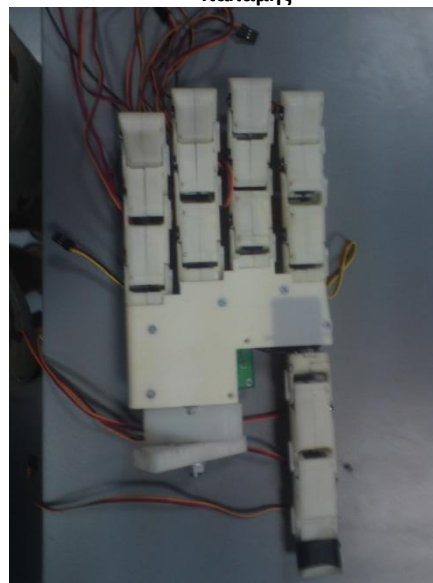
Εικόνα 5.2.5.6 τα δάχτυλα πριν την τοποθέτηση στο ραχιαίο τμήμα της παλάμης



Εικόνα 5.2.5.7 τα δάχτυλα τοποθετημένα στο ραχιαίο τμήμα της παλάμης



Εικόνα 5.2.5.8 το εμπρόσθιο τμήμα της παλάμης πριν και μετά την τοποθέτηση πάνω στο χέρι



### 5.3 Κόστος κατασκευής

Το συνολικό κόστος κατασκευής του ρομποτικού χεριού ανέρχεται στα 259,4 ευρώ. Η μηχανολογική κατασκευή αποτελείται συνολικά από 196 εξαρτήματα από τα οποία, 122 είναι κοχλίες και περικόχλια διαφορών τύπων. Στο κόστος δεν συνυπολογίζεται το κόστος ανάπτυξης της κατασκευής. Παρακάτω παραθέτουμε δύο πίνακες στον πρώτο πίνακα ( πιν. 5.3.1) περιέχονται το κόστος των εξαρτημάτων του χεριού και το συνολικό κόστος



ενώ στο δεύτερο (πιν 5.3.2) το κόστος και χρόνος κατασκευής των σαράντα ένα εξαρτημάτων που κατασκευάστηκαν στον 3D Printer.

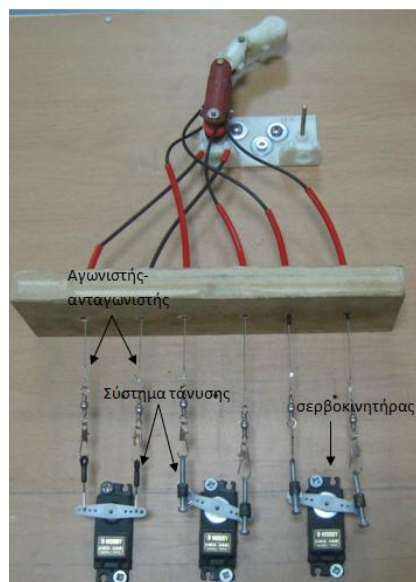
Περιγραφή τεμ.	ποσότητα	Κόστος μονάδας	Συνολικό κόστος
	Τεμ.	εύρο	εύρο
SSC-32	1	40	40
Tower Pro	15	4.4	66
Hit tec	1	20	20
Κύλινδρος τεφλόν Φ100Χ150	1	20	20
Μεταλλική Σφαίρα Φ 5mm	15	0,4	6
Τμήματα που κατασκευάστηκαν στον 3D Printer	41	-	107.4
Συνολικό κόστος κατασκευής			<b>259.4 ευρώ</b>

Περιγραφή τεμ.			Ποσότητα	Υλικό μοντέλου	Συνολ. Υλικό μοντέλου	Υλικο υποστήριξης	Συνολ. Υλικο Υποστήριξης	χρόνος	Συνολ. χρόνος	Κόστος Υλικού μοντέλου αν τεμ.	Κόστος υποστήριξης αν τεμ.	Συνολ. κόστος
Δάχτυλα	Φάλαγγες	Τμήματα φαλαγγών	Τεμ.	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	hh:mm	hh:mm	εύρο	εύρο	εύρο
Δείκτης, Μέσος, Παράμεσος, Μικρός	Εγγύς	Τμήμα A1	4	4,06	16,25	2,09	8,36	1:22	5:28	1,7613	0,9067	10,6724
		Τμήμα B1	4	4,42	17,68	2,05	8,2	1:25	5:40	1,9175	0,8893	9,2321
	Μέση	Τμήμα A2	4	3,7	14,8	1,62	6,48	1:16	5:04	1,6052	0,7028	9,2321
		Τμήμα B2	4	3,62	14,48	1,64	6,55	1:18	5:12	1,5705	0,7114	9,1279
	περιφερική	Τμήμα A3	4	3,6	14,4	1,22	4,88	1:08	4:32	1,5618	0,5292	8,3644
		Τμήμα B3	4	3,61	14,44	1,05	4,2	1:03	4:12	1,5661	0,4555	8,0867
	Βάση δακτύλου	Τμήμα A4	4	2,04	8,16	1,39	5,56	1:00	4:00	0,885	0,603	5,9522
		Τμήμα B4	4	2,43	9,72	1,11	4,44	0:54	3:36	1,0542	0,4815	6,1431
Αντίχειρας	Εγγύς	Τμήμα A1	1	4,99	4,99	1,84	1,84	1:24	1:24	2,1648	0,7982	2,9631
		Τμήμα B1	1	4,55	4,55	1,93	1,93	1:23	1:23	1,8373	0,8373	2,8112
	Μέση	Τμήμα A2	1	4,98	4,98	1,96	1,96	1:27	1:27	2,1605	0,8503	3,0108
		Τμήμα B2	1	4,85	4,85	1,71	1,71	1:22	1:22	2,1041	0,7418	2,8459
	περιφερική	Τμήμα A3	1	4,47	4,47	1,16	1,16	1:10	1:10	1,9392	0,5032	2,4425
		Τμήμα B3	1	4,62	4,62	1,34	1,34	1:13	1:13	2,004	0,5813	2,5856
	Βάση δακτύλου	Τμήμα A4	1	3,9	3,9	2,07	2,07	1:39	1:39	1,6919	0,8980	2,59
		Τμήμα B4	1	1,98	1,98	1,05	1,05	0:49	0:49	0,859	0,4553	1,3145
Εμπρόσθιο τμήμα παλάμης			1	35,2	35,2	6,38	6,38	3:31	3:31	15,2711	2,7678	18,039
Σύνολα			<b>41</b>		<b>179,46</b>		<b>68,1</b>		<b>51:42:00</b>			<b>107,4</b>

## 5.4 Προκαταρκτικός σχεδιασμός και προτάσεις για μελλοντικές βελτιώσεις του ρομποτικού χεριού

Τελειώνοντας αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε στον προκαταρκτικό σχεδιασμό που έγινε πριν καταλήξουμε στο ρομποτικό χέρι που περιγράψαμε παραπάνω, καθώς επίσης προτείνουμε μερικές ιδέες για περαιτέρω βελτίωση της μηχανολογικής κατασκευής.

Στη αρχή μελετήσαμε μια πειραματική διάταξη ενός ρομποτικού δαχτύλου που υπήρχε στο εργαστήριο. Σε αυτή τη διάταξη, το δάχτυλο αποτελείται από τρεις αρθρώσεις, τρεις φάλαγγες και τρεις σερβοκινητήρες. Οι Σερβοκινητήρες μεταδίδουν την κίνηση στις αρθρώσεις με ζεύγη συρματόσχοινων, αγωνιστή και ανταγωνιστή. Ο συγκριμένος τρόπος κατασκευής δεν παρουσίασε την επιθυμητή λειτουργία του ρομποτικού δαχτύλου δημιουργώντας μεγάλα σφάλματα κατά τον έλεγχο των αρθρώσεων. Αυτό οφειλόταν στην έλλειψη συστήματος τάνυσης για τα συρματόσχοινα και στην μη ύπαρξη τροχαλιών στο εσωτερικών των αρθρώσεων. Έτσι, κατά την περιστροφή της άρθρωσης τα συρματόσχοινα χαλάρωναν και δεν λειτουργούσε ο έλεγχος της άρθρωσης κατά την περιστροφή της. Ένα μεγάλο μειονέκτημα επίσης ήταν ο τρόπος κατασκευής των αρθρώσεων που με το πέρασμα μικρού χρόνου λειτουργίας τους οι αρθρώσεις άρχισαν να παρουσιάζουν φθορές στο υλικό τους με αποτέλεσμα την αστοχία του υλικού κατασκευής τους. Βελτιώνοντας την πειραματική κατασκευή (εικόνα 5.4.1) με παρεμβάσεις στα δυσλειτουργικά σημεία της, το ρομποτικό δάχτυλο λειτουργούσε σαφώς καλύτερα άλλα και πάλι το αποτέλεσμα δεν ήταν το αναμενόμενο και για αυτόν το λόγο απορρίφτηκε η εν λόγω κατασκευή.

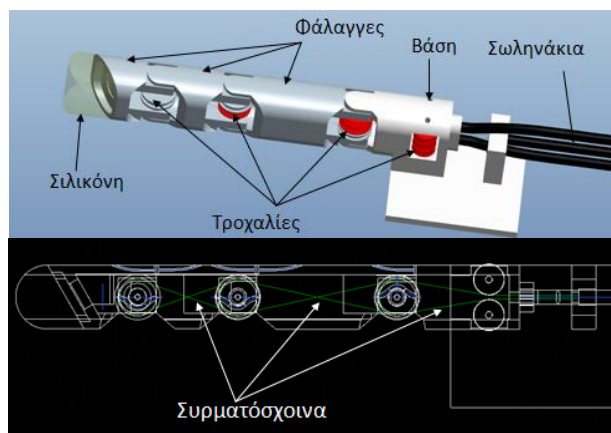


Εικόνα 5.4.1 βελτιωμένη πειραματική κατασκευή

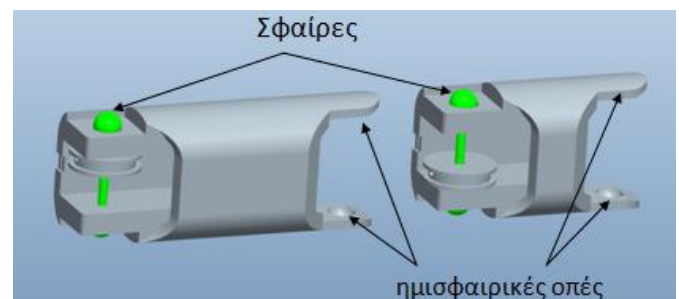
Στη συνέχεια κατασκευάστηκε ένα ρομποτικό δάχτυλο με ίδιο αριθμό φαλαγγών, σερβοκινητήρων και αρθρώσεων όπως το προηγούμενο με τη διάφορα ότι τα ζεύγη των συρματόσχοινων οδηγόντουσαν στο

εσωτερικό των φαλάγγων με της βοήθεια τροχαλιών όπως φαίνεται στην εικόνα 5.4.2. Οι αρθρώσεις σχεδιάστηκαν ξανά και η περιστροφή τους γίνεται με τη βοήθεια μεταλλικών σφαιρών όπως παρουσιάζεται στη εικόνα 5.4.3. Λόγω της κακής ποιότητας κατασκευής των τροχαλιών από τον *3D Printer* αναπτύσσονται πολύ μεγάλες τριβές μεταξύ τροχαλίας και συρματόσχοιου, ενώ όταν περιστρέφεται μια άρθρωση παρασύρει και την επομένη. Στην άκρη του δαχτύλου η τελευταία φάλαγγα αποτελείται κατά το ήμισυ από σιλικόνη στην όποια έχει τοποθετηθεί ένα αισθητήριο αφής.

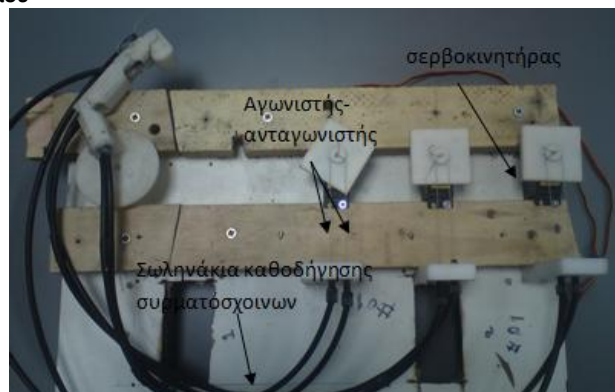
Εφόσον η κατασκευή δεν απέδωσε τα επιθυμητά αποτελέσματα τροποποιήσαμε τα σχέδια και κατασκευάσαμε εκ νέου ένα ρομποτικό δάχτυλο που τα ζεύγη των συρματόσχοινων οδηγόντουσαν με τη βοήθεια σωληνακίων εξωτερικά των φαλάγγων (εικ. 5.4.4). Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτού του τρόπου μετάδοσης της κίνησης είναι ότι όλο το δάχτυλο μπορεί να τοποθετηθεί και να λειτουργήσει με οποιοδήποτε προσανατολισμό στο χώρο και σε οποιαδήποτε απόσταση, με μόνο περιορισμό το μήκος του μικρότερου σωληνακίου, ενώ οι σερβοκινητήρες παρέμεναν σταθεροί στη βάση τους. Το μεγάλο μειονέκτημα ήταν πάλι η τριβή μεταξύ συρματόσχοιου και σωληνακίου από το οποίο περνούσε εσωτερικά. Χρησιμοποιώντας συρματόσχοινα και σωληνάκια διαφόρων διαμετρημάτων και υλικών δεν μπορέσαμε να εξαλείψουμε τη τριβή με αποτέλεσμα να ναυαγήσει και αυτή η ιδέα. Έτσι στραφήκαμε σε ένα άμεσο τρόπο μετάδοσης της κίνησης και το δάχτυλο που προέκυψε ήταν το πλέον λειτουργικό και με αυτό θα συνεχίζαμε περαιτέρω τη κατασκευή μας για την δημιουργία ενός ρομποτικού χεριού. Παρόλα με αυτό, κάναμε μια προσπάθεια να μειώσουμε τη διατομή του δαχτύλου χρησιμοποιώντας τους μικρότερους σερβοκινητήρες που υπάρχουν στη αγορά, άλλα λόγω κακής ποιότητας κατασκευής, δεν απέδιδαν την ονομαστική τους ροπή με αποτέλεσμα η κίνηση του δαχτύλου να είναι προβληματική.



Εικόνα 5.4.2 Σχεδίαση με τα συρματόσχοινα στο εσωτερικό του δαχτύλου



Εικόνα 5.4.3 Υλοποίηση άρθρωσης με σφαίρες στους άξονες



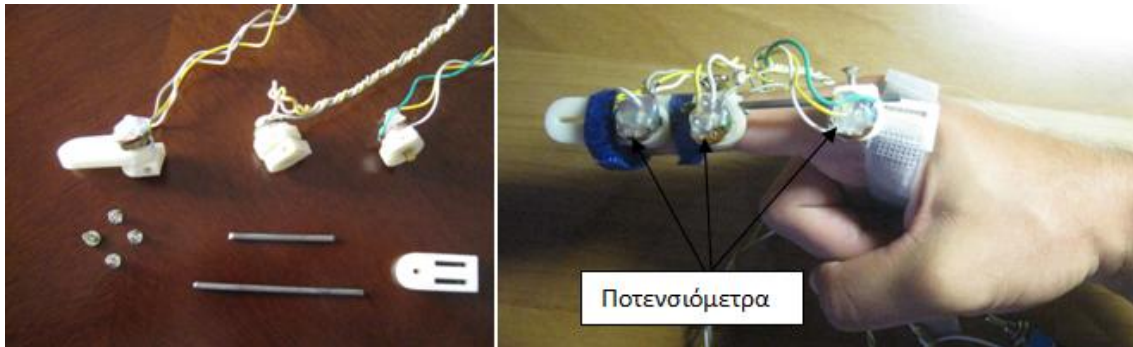
Εικόνα 5.4.4 ρομποτικό δάχτυλο με τα συρματόσχοινα να πέρνανε από το εξωτερικό του

Το πρόβλημα με την κατασκευή στον 3D printer είναι η ακρίβεια στο πάχος και η αντοχή που μπορεί να επιτύχει στα τεμάχια που κατασκευάζει. Η ακρίβεια είναι της τάξης των 0.1778 mm το οποίο είναι αρκετό μεγάλο σφάλμα για εφαρμογές τέτοιου μεγέθους. Στο σφάλμα του τεμαχίου συμβάλει και ο προσανατολισμός τοποθέτησης του στον 3D printer. Το πρόβλημα με την αντοχή των τεμαχίων εστιάζεται στο γεγονός ότι το τεμάχιο δεν αποτελείται από συμπαγή μάζα υλικού αλλά από διαδοχικές εναποθέσεις υλικού σε στρώσεις, με αποτέλεσμα να είναι πολύ δύσκολος ο υπολογισμός της αντοχής του. Για να επιλυθεί αυτό το πρόβλημα ο μονός τρόπος είναι μέσω της διαδικασίας "δοκιμής και αποτυχίας". Κατασκευάζονται τα επιθυμητά τεμάχια και αφού γίνει ο έλεγχος στις διαστάσεις και στην αντοχή τους, τροποποιούνται τα σχέδια, κατασκευάζονται ξανά και αυτό γίνεται μέχρι να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι στο 3D printer τεχνολογίας FDM δεν έχουμε τη δυνατότητα επιλογής υλικού κατασκευής των τεμαχίων, το οποίο στο συγκριμένο Printer είναι το θερμοπλαστικό ABS.

Στη παρούσα κατασκευή του ρομποτικού χεριού μπορούν να γίνουν μελλοντικά μερικές παρεμβάσεις βελτιώνοντας στο έπακρο τη λειτουργικότητα του.

- Αντικατάσταση των σερβοκινητήρων. Οι σερβοκινητήρες Tower pro οι οποίοι βρίσκονται μέσα στις φάλαγγες μπορούν να αντικατασταθούν με σερβοκινητήρες καλύτερης ποιότητας, ώστε η κίνηση του του ρομποτικού χεριού να είναι πιο ομαλή και αφετέρου να δάχτυλα να είναι σε θέση να ασκούν μεγαλύτερες δυνάμεις στα αντικείμενα κατά τις λαβες. Ο σχεδιασμός των φαλαγγών είναι τέτοιος που επιτρέπει να τοποθετηθούν σερβοκινητήρες με λίγο διαφορετικές διαστάσεις με μια μικρή τροποποίηση στα σχέδια η οποία όμως δεν θα επηρεάσει την εξωτερική γεωμετρία των δάχτυλων.
- Υλικό κατασκευής. Όπως έχουμε προ αναφέρει το πρόβλημα έγκειται στο τρόπο κατασκευής τεμαχίων στον 3D Printer, ο οποίος μας δεσμεύει στο υλικό κατασκευής που είναι το ABS και στα τεμαχίων τα οποία αποτελούνται από διαδοχικές στρώσεις υλικού και όχι από μια ενιαία μάζα, το οποίο ελαττώνει σημαντικά τις αντοχές τους. Επομένως κατασκευάζοντας τα τμήματα του ρομποτικού χεριού με άλλη κατασκευαστική τεχνολογία, όπως CNC φρέζα τεσσάρων αξόνων (η οποία υπάρχει στο εργαστήριο), η ακρίβεια στις διαστάσεις τους θα είναι πολύ μεγαλύτερη και επιπλέον μπορούμε να επιλέξουμε μέσα από ένα μεγάλο φάσμα υλικών όπως σκληρών πλαστικών, κράματα αλουμινίου και τιτανίου. Με αυτόν το τρόπο θα αυξηθεί η αντοχή του ρομποτικού χεριού σε μηχανικές καταπονήσεις άλλα επίσης μπορεί να μειωθεί εσθήτα ο όγκος κάθε δαχτύλου καθώς δεν θα υπάρχει η ανάγκη, η κάθε φάλαγγα να φέρει χοντρά τοιχώματα για να αντέχει σε μηχανικές καταπονήσεις, το οποίο έγινε με τις φάλαγγες από ABS.
- Μείωση όγκου ρομποτικού χεριού. Αντί να τοποθετηθούν οι σερβοκινητήρες αυτοίσι οι μέσα στις φάλαγγες μπορούν να αφαιρεθούν τα μηχανικά τους μέρη και να τοποθετηθούν κατευθείαν στο εσωτερικό της φάλαγγας με τη προϋπόθεση να έχουν τροποποιηθεί τα σχέδια της φάλαγγας και η κατασκευή της να πραγματοποιηθεί σε CNC φρέζα. Με αυτόν το τρόπο πλέον η φάλαγγα παίζει και το ρολό του εξωτερικού κελύφους του σερβοκινητήρα το οποίο μειώνει εσθήτα τη διάμετρο κάθε φάλαγγας.
- Αισθητήρια. Στο ρομποτικό χέρι μπορούν να τοποθετηθούν σε διάφορα σημεία πάνω στα δάχτυλα (από τη μεριά της παλάμης) αισθητήρια αφής τα οποία θα μπορούν να υπαγορεύουν στο ρομποτικό χέρι ποτέ έρχεται σε επαφή με ένα αντικείμενο άλλα και σε ποιο δάχτυλο και σημείο του γίνεται η επαφή.
- Εξωσκελετικός έλεγχος. Στα πλαίσια αυτής της πτυχιακής σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε μια διάταξη (εικ. 6.2.1) που προσαρμόζετε στον δείκτη ενός ανθρωπίνου χεριού και η οποία καταγράφει τις

γωνίες του, κατά την κίνηση του σε πραγματικό χρόνο. Η μέτρηση των γωνιών των αρθρώσεων γίνεται με ποτενσιόμετρα που είναι προσαρμοσμένα στην διάταξη. Η καταγραφή των δεδομένων γίνεται διάμεσου *arduino* και *Matalb* [10]. Αυτή η κατασκευή ήταν το πρώτο βήμα στη κατασκευή ενός εξωσκελετου ο οποίος θα τοποθετείται σε ανθρώπινο χέρι και θα καταγραφεί όλες τις θέσεις των δαχτύλων και με την κατάλληλη διασύνδεση του με το ρομποτικό χέρι αυτό θα είναι σε θέση να αναπαριστά την κίνηση του ανθρωπινού χεριού σε πραγματικό χρόνο.



Εικόνα 6.2.1 διάταξη καταγραφής γωνιών από ανθρώπινο δάχτυλο

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στη παρούσα πτυχιακή εργασία σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε ένα ανθρωπόμορφο ρομποτικό χέρι για την επίτευξη χειρονομιών και λαβών αντικειμένων. Το μεγαλύτερο μέρος της κατασκευής έγινε στο *3D printer*, το συμπέρασμα που εξάγεται κατά την κατασκευή σε αυτόν, είναι ότι δεν ενδείκνυται για αυτού του είδους μηχανολογικές εφαρμογές γιατί: α) δεν υπάρχει δυνατότητα επιλογής υλικού κατασκευής πέρα του ABS που χρησιμοποιεί ο συγκεκριμένος *Printer*. β) η απόκλιση των τιμών των διαστάσεων του σχεδίου με του κατασκευασμένου τεμαχίου είναι πολύ μεγάλη της τάξης 0.1778 mm γ) οι αντοχές των τεμαχίων σε μηχανικές καταπονήσεις είναι αρκετά μικρές και δεν μπορούν να υπολογιστούν λόγω ότι το τεμάχιο κατασκευάζεται από διαδοχικές στρώσεις υλικού.

Επομένως ο *Printer* είναι κατάλληλος μονό για κατασκευή φυσικών πρωτοτύπων, τα οποία μπορεί να κατασκευάσει σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα σε σχέση με άλλες τεχνικές κατασκευής φυσικών πρωτοτύπων.

Ο συγκεκριμένος τρόπος κατασκευής και σχεδιασμού του ρομποτικού χεριού ανέδειξε μερικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Πλεονεκτήματα:

- Χαμηλό κόστος κατασκευής: το οποίο είναι της τάξης των 259,4 ευρώ.
- Ευκολία συντήρησης: υπαρχή εναλλασιμότητα των τμημάτων των φαλάγγων, καθώς τα τέσσερα δάκτυλα είναι τα ίδια μεταξύ τους, ενώ οι σερβοκινητήρες είναι εύκολο να προμηθευτούν σε περίπτωση που χρειάζονται αντικατάσταση.
- Μικρό βάρος: το συνολικό βάρος του ρομποτικού χεριού είναι μονό 600 γραμμάρια.
- Ευκολία στη δημιουργία μαθηματικού μοντέλου κίνησης: λόγω άμεσης μετάδοσης της κίνησης από τους σερβοκινητήρες στις αρθρώσεις, δε χρησιμοποιείται σύστημα μετάδοσης της κίνησης με τροχαλίες, ντιζες, ιμάντες κτλ. του οποίου είναι δύσκολη η περιγραφή από μαθηματικό μοντέλο.

- Δυνατότητα χρήσης σαν αρπαγή σε ρομποτικούς βραχίονες: στη συγκεκριμένη κατασκευή οι σερβοκινητήρες βρίσκονται εσωτερικά των δαχτύλων και όχι τοποθετημένη σε απόσταση από το χέρι όπως μέσα στο πήχη του χεριού το οποίο καθίστα όλο το σύστημα πολύ ογκώδες και ακατάλληλο σαν χρήση αρπαγής.

Μειονεκτήματα:

- Μεγάλος όγκος: λόγω ότι οι σερβοκινητήρες βρίσκονται μέσα στις φάλαγγες ο όγκος τους είναι αυξημένος με αποτέλεσμα οι διατάξεις του ρομποτικού χεριού να είναι μεγαλύτερες από το μέσο χέρι ενός ανθρώπου.
- Ακατάλληλο για εργασία σε περιβάλλον με αυξημένη υγρασία: καθώς τα ηλεκτρονικά συστήματα του είναι τοποθετημένα στις ραχιαίες επιφανείς των δαχτύλων και της παλάμης.
- Μικρή αντοχή σε μηχανικές καταπονήσεις: καθώς τα περισσότερα τμήματα του χεριού είναι κατασκευασμένα στο *3D Printer* ο οποίος δεν μπορεί να κατασκευάσει αντικείμενα με καλή αντοχή σε μηχανικές καταπονήσεις.

## Βιβλιογραφία

- [1] "http://www.schools.ac.cy," [Online]. Available: [http://www.schools.ac.cy/klimakio/Themata/epistimi/web\\_Quest\\_main/webquests/human\\_body\\_web\\_quest\\_st/hand\\_leg.html](http://www.schools.ac.cy/klimakio/Themata/epistimi/web_Quest_main/webquests/human_body_web_quest_st/hand_leg.html). [Accessed 23 Σεπτεβρης 2012].
- [2] V. Bundhoo, *Design and evaluation of a shape memory alloy-based tendondriven*, University of Victoria, 2009.
- [3] "http://courseware.mech.ntua.gr," [Online]. Available: [http://courseware.mech.ntua.gr/ml23419/robotics\\_pdf/intro.pdf](http://courseware.mech.ntua.gr/ml23419/robotics_pdf/intro.pdf). [Accessed 27 08 2012].
- [4] "http://courseware.mech.ntua.gr," [Online]. Available: [http://courseware.mech.ntua.gr/ml23419/robotics\\_pdf/kk2009/Electr\\_Subsys.pdf](http://courseware.mech.ntua.gr/ml23419/robotics_pdf/kk2009/Electr_Subsys.pdf). [Accessed 27 08 2012].
- [5] Μ. Τσαντάκης, *Πτυχιακή Robonova*, Τ.Ε.Ι. Κρητης Τμημα μηχανολογιας, 2012.
- [6] Κ. Ανδριανέσης και Α. Τζές, *ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙΝΟΤΟΜΟΥ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟΥ ΧΕΡΙΟΥ*, Πανεπιστήμιο Πατρών Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών Τομέας Συστημάτων και Αυτομάτου Ελέγχου.
- [7] "http://en.wikipedia.org," [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Pneumatic\\_artificial\\_muscles](http://en.wikipedia.org/wiki/Pneumatic_artificial_muscles). [Accessed 27 08 2012].
- [8] Σ. Τσοτουλίδης και Α. Σαφάκας, *ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΣΤΗ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ*, Εργαστήριο Ηλεκτρομηχανικής Μετατροπής Ενέργειας, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Ρίον-Πάτρα.
- [9] Σ. Γ. Μαρινάκη, *Μελέτη και κατασκευή συντονιζόμενου μετατροπέα για την οδήγηση ενός πιεζοηλεκτρικού κινητήρα τύπου Ultrasonic*, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Πατρών, 2010.
- [10] Ν. Κριτωτάκης, *Πτυχιακη εραγασια: Κινηματική ανάλυση και έλεγχος κίνησης-λαβής ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού*, Ηράκλειο: Τ.Ε.Ι Κρητης, 2012.
- [11] Ι. Ι. Φασουλάς, *Διδακτορική διατριβή: Ευσταθής λαβή και χειρισμός αντικείμενου από ρομποτικά δάκτυλα με παραμορφώσιμα άκρα και δυνατότητα κύλισης στο δισδιάστατο χώρο*, Θεσσαλονίκη: ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ & ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗΣ & ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ, Οκτώβριος 2004.
- [12] Η. Παπαθανασης, "Η τεχνολογία της Τρισδιάστατης Εκτύπωσης," *ΕΠΕΙΣΚΟΠΙΟ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ Τεύχος 297*, Οκτώβριος 2005.

[13] Μ. Α. Πετούσης, *Ανάπτυξη Μηχανολογικών Εφαρμογών με τη βοήθεια Η/Υ*, Ηρακλείο: Τ.Ι.Ε ΚΡΗΤΗΣ, Δεκέμβριος 2003.

[14] "<http://www.pdc.co.il>," [Online]. Available: <http://www.pdc.co.il/einstein.htm>.