



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ & ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Σχεδίαση, Κατασκευή και Έλεγχος
Ανθρωπόμορφης Ρομποτικής Πρόθεσης με
δυνατότητες κίνησης και λαβής αντικειμένων

Καλαντζής Σωτ. Σπυρίδων

Επιβλέπων: Δρ. Φασουλάς Ιωάννης

Ηράκλειο Κρήτης, Φεβρουάριος 2018



TECHNOLOGICAL EDUCATIONAL INSTITUTE OF CRETE
SCHOOL OF TECHNOLOGICAL APPLIANCE

INTERMEDIATE PROGRAM OF POSTGRADUATE STUDIES
ADVANCED PRODUCTION, AUTOMATION AND ROBOTIC SYSTEMS

MASTER THESIS

Design, Manufacturing and Testing
of Anthropomorphic Robotic Intent with the ability
to move and handle objects

Kalantzis Sot. Spyridon

Supervisor: Dr. Fasoulas Ioannis

Heraklion Crete, February 2018



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ & ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Σχεδίαση, Κατασκευή και Έλεγχος
Ανθρωπόμορφης Ρομποτικής Πρόθεσης με
δυνατότητες κίνησης και λαβής αντικειμένων

Καλαντζής Σωτ. Σπυρίδων

Επιβλέπων: Δρ. Φασουλάς Ιωάννης

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις .02./02./2018.

Δρ. Καββουσανός Μανόλης, Καθηγητής
(Υπογραφή)

Δρ. Σφακιωτάκης Μηχαήλ, Αναπληρωτής Καθηγητής
(Υπογραφή)

Δρ. Φασουλάς Ιωάννης, Επίκουρος Καθηγητής
(Υπογραφή)

Ηράκλειο Κρήτης, Φεβρουάριος 2018

Περίληψη

Στην παρούσα Μεταπτυχιακή Εργασία, πραγματοποιείται μια εκτενέστερη μελέτη των ανθρωπόμορφων ρομποτικών χεριών που υπάρχουν αυτή τη στιγμή, αναγνωρίζοντας τα πεδία μελέτης του καθενός. Αυτό γίνεται μέσα από ένα πλήθος μελετών από Πανεπιστήμια και εταιρίες. Οι ρομποτικές αυτές κατασκευές κατατάσσονται σύμφωνα με τη χρήση τους ενώ επισημαίνονται οι κυριότερες εξ' αυτών. Εν συνεχεία, ορίζονται τα επίπεδα λειτουργικότητας και οι επιθυμητές προδιαγραφές για την ολοκλήρωση του έργου. Παρακάτω αναλύεται το μηχανολογικό υποσύστημα της κατασκευής, με αναλυτική περιγραφή του σχεδιασμού όλων των εξαρτημάτων που κατασκευάστηκαν και τα χαρακτηριστικά αυτών. Επιπρόσθετα, αναλύεται το σύστημα αίσθησης και επενέργειας της κατασκευής με πληροφορίες από όλα τα ηλεκτρονικά μέσα που χρησιμοποιήθηκαν, παραθέτοντας και τα κυκλώματα προσαρμογής τους. Προς έλεγχο της κατασκευής αναφέρονται τέσσερις διαφορετικοί τρόποι, με τον τελευταίο να πραγματοποιείται μέσω αισθητήρων ηλεκτρομυογραφίας (H/M - EMG). Παράλληλα με τον τρόπο ελέγχου αυτόν, αναλύεται όλη η διαδικασία καταγραφής σημάτων H/M από υγιές άτομο και ένα άτομο με ακρωτηριασμό άνω άκρου, με σκοπό την προτεινόμενη καταγραφή αλγορίθμων ελέγχου. Κλείνοντας, παρουσιάζονται οι πειραματικές αποτιμήσεις από τις επιτυχημένες χειρονομίες και λαβές της Ρομποτικής Πρόθεσης που υλοποιήθηκε, καθώς αναφέρονται και τα συμπεράσματα από τη μελέτη αυτή και τα πεδία εξέλιξης.

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Εργασία επιχορηγήθηκε οικονομικά από το «1ο Εσωτερικό Πρόγραμμα Ενίσχυσης της Έρευνας» του Τ.Ε.Ι. Κρήτης και συγκεκριμένα από τον Ειδικό Λογαριασμό Κονδυλίων Έρευνας (Ε.Λ.Κ.Ε.) του Τ.Ε.Ι. Κρήτης. Η Εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος «Σχεδίαση, Κατασκευή και Έλεγχος Ανθρωπόμορφης Ρομποτικής Πρόθεσης με Δυνατότητες Κίνησης και Λαβής Αντικειμένων - ΑΡΠΑ».

Abstract

In this Master Thesis, a more extensive study of the anthropomorphic robotic hands currently taking place, recognizing the study fields of each one, is carried out. This is done through a lot of studies from universities and companies. These robotic structures are enlisting according to their use and the most important are highlighted. Subsequently, the levels of functionality and the desired specifications for the completion of the project are defined. Below is the mechanical subsystem of the structure, with a detailed description of the design of all the components manufactured and their characteristics. Also, the sensing and effect system is analyzed of the construction with information from all the electronic means used, including their adjustment circuits. There are four different ways to control the construction, the latter being performed by electromyography (EMG) sensors. Along with this way of control, the entire EMG signal recording process is analyzed by a healthy person and a person with an upper limb amputation for the proposed recording of control algorithms. In conclusion, we present the experimental evaluations of the successful gestures and handles of the Robotic Intent that has been implemented, as well as the conclusions from this study and the fields of evolution.

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή - Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	1
Εισαγωγή	1
1.1. Ερευνητικό Πλαίσιο	1
1.2. Στόχοι Διατριβής	4
1.3. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.	4
1.3.1. Σημερινή γνώση αναφορικά με το θέμα.	4
1.3.2. Επικέντρωση βιβλιογραφίας.	7
1.3.3. Κατάταξη - Επισκόπηση Ρομποτικών Χεριών.	9
1.3.4. Αξιοσημείωτες προσεγγίσεις του θέματος.	15
1.4. Συμβολή της Διατριβής.	21
Κεφάλαιο 2. Προδιαγραφές Ρομποτικής Πρόθεσης.	22
Εισαγωγή.	22
2.1. Ανάπτυξη της μεθοδολογίας.	22
2.1.1. Επίπεδα λειτουργικότητας.	22
2.1.2. Απαιτήσεις λειτουργικότητας.	24
2.2. Βασικές προδιαγραφές.	26
2.2.1. Ανθρωπομορφικότητα.	26
2.2.2. Επιδεξιότητα και δυνατότητες.	30
2.2.3. Κατασκευαστικά κριτήρια.	31
Κεφάλαιο 3. Μηχανολογικό Υποσύστημα.	33
Εισαγωγή.	33
3.1. Η Ρομποτική Πρόθεση.	33
3.2. Σχεδίασης Δακτύλων (Αντίχειρας, Δείκτης, Μέσος, Παράμεσος, Μικρός)	34
3.2.1. Πρώτη Υποκατηγορία Δακτύλων (Δείκτης - Index Finger, Μέσος - Middle Finger)	34

3.2.2.	Δεύτερη Υποκατηγορία Δακτύλων (Παράμεσος - Ring Finger, Μικρός - Little Finger)	38
3.2.3.	Σχεδίαση Αντίχειρα (Thumb Finger)	40
3.3.	Σχεδίασης Παλάμης.	44
3.3.1.	Σχεδίαση Βάσης των Τεσσάρων Δακτύλων (I, M, R, L)	44
3.3.2.	Σχεδίαση τεμαχίων Παλάμης.	45
3.4.	Σχεδίαση Μηχανισμού Κίνησης των τεσσάρων (4) Δακτύλων (I-M-R-L)	45
3.5.	Σχεδίαση Μηχανισμού Αντίχειρα.	46
3.5.1.	Βάση Μηχανισμού Αντίχειρα.	47
3.5.2.	Άρθρωση Γραμμικού Επενεργητή Αντίχειρα.	48
3.5.3.	Κάλυμμα μηχανισμού.	48
3.6.	Σχεδίαση βάσης αισθητήρα Η/Μ.	49
	Κεφάλαιο 4. Υποσύστημα Αίσθησης και Επενέργειας.	50
	Εισαγωγή.	50
4.1.	Αρχιτεκτονική Συστήματος - Σχηματικό Διάγραμμα	50
4.1.1.	Αισθητήρες Ηλεκτρομυογραφίας (Η/Μ - EMG)	51
4.1.2.	Επενεργητές (Firgelli L12-I & Batan B2122)	52
4.1.3.	Αισθητήρες Ρεύματος (acs712)	53
4.1.4.	Αισθητήρες Πίεσης (Force Sensor Resistor - FSR)	54
4.2.	Κυκλώματα Προσαρμογής Επενεργητών και Αισθητήρων	55
	Κεφάλαιο 5. Υποσύστημα Ελέγχου.	61
	Εισαγωγή.	61
5.1.	Ελεγκτής Εφαρμογής (Arduino MEGA ADK)	61
5.2.	Τρόποι Ελέγχου Προσθετικού Μέλους.	62
5.2.1.	Έλεγχος μέσω Αισθητήρων Ρεύματος.	62
5.2.2.	Έλεγχος μέσω Αισθητήρων Πίεσης.	62
5.2.3.	Έλεγχος μέσω συνδυασμού των δύο παραπάνω Αισθητήρων.	63
5.2.4.	Έλεγχος μέσω Αισθητήρων Ηλεκτρομυογραφίας (Η/Μ - EMG)	63
5.3.	Διαδικασία ελέγχου μέσω Αισθητήρων Ηλεκτρομυογραφίας (Η/Μ - EMG)	64

5.3.1.	Κινήσεις - Θέσεις Μυών.	64
5.3.2.	Διαδικασία τοποθέτησης Αισθητήρων Η/Μ.	67
5.3.3.	Λήψη πραγματικών δεδομένων.	67
5.3.4.	Αντιστοίχιση Μετρήσεων.	72
5.3.5.	Αλγόριθμοι Ελέγχου.	73
Κεφάλαιο 6. Πειραματικές Αποτιμήσεις.		76
Εισαγωγή.		76
6.1.	Δυνατότητες Μηχανολογικής Σχεδίασης.	76
6.2.	Πειράματα Χειρονομιών και Λαβών.	77
6.2.1.	Διεξαχθείσες Χειρονομίες Προσθετικού Μέλους.	77
6.2.2.	Χειρονομίες αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον - αντικείμενα.	78
6.2.3.	Προ-λαβές.	85
Κεφάλαιο 7. Συμπεράσματα και Μελλοντική Εξέλιξη.		87
Εισαγωγή.		87
7.1.	Συμπεράσματα αποτελέσματος.	87
7.2.	Μελλοντική εξέλιξη.	87

Βιβλιογραφικές Αναφορές

Παράρτημα

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή - Βιβλιογραφική Επισκόπηση

Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται έρευνα επάνω στο θέμα της Μεταπτυχιακής Διατριβής με σκοπό την καθοδήγηση της πορείας της εργασίας. Αρχικά, αναφέρεται το ερευνητικό πλαίσιο της παρούσας διατριβής ενώ στη συνέχεια παρουσιάζονται οι στόχοι της. Παρακάτω πραγματοποιείται μια πιο εκτεταμένη έρευνα στη βιβλιογραφία και παρουσιάζονται αντίστοιχες μελέτες, με βάση την επικέντρωση της βιβλιογραφίας, τις κατατάξεις των μελετών αυτών και τις πιο αξιοσημείωτες προσεγγίσεις του θέματος. Τέλος, αναφέρονται τα πεδία στα οποία συμβάλλει η παρούσα διατριβή.

1.1. Ερευνητικό Πλαίσιο

- **Τα Ανθρώπινα Άνω Άκρα και οι Μύες**

Το ανθρώπινο χέρι είναι το τελικό όργανο των άνω άκρων, το οποίο στον άνθρωπο εξυπηρετεί τη σημαντική λειτουργία της σύλληψης, καθώς είναι ένα σημαντικό όργανο για την αίσθηση και την επικοινωνία. Είναι ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα για το πώς μπορεί να εφαρμοστεί ένας πολύπλοκος μηχανισμός, ικανός να συνειδητοποιούνται περίπλοκες και χρήσιμες εργασίες χρησιμοποιώντας έναν αποτελεσματικό συνδυασμό των μηχανισμών ανίχνευσης, ενεργοποίησης και λειτουργίες ελέγχου.

Το ανθρώπινο χέρι είναι όργανο προσαρμοσμένο να συγκρατεί και να πραγματοποιεί λαβές καθώς βρίσκεται στο τελείωμα του άνω άκρου των πρωτεύοντων, δηλαδή όλων των μελών της βιολογικής τάξης. Ο όρος χρησιμοποιείται επίσης για να περιγράψει όλο το άνω άκρο όπως ώμος, βραχίονας, αντιβράχιο και παλάμη στην οποία βρίσκονται τα δάχτυλα.

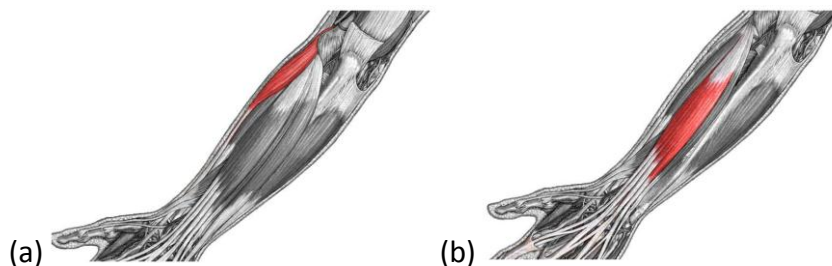
Όπως και άλλα όργανα, τα χέρια είναι σε ζεύγη, αντιστοίχως με τα μάτια και τα πόδια, κάθε χέρι ελέγχεται από το αντίπλευρο εγκεφαλικό ημισφαίριο. Ο σκελετός ενός ενήλικα ανθρώπου αποτελείται από 206 οστά, ενώ κατά τη γέννησή του αποτελείται από σχεδόν 300, μέχρι την ενηλικίωσή του ελαττώνονται στα 206. Το ανθρώπινο χέρι διαθέτει 27 οστά, ενώ 14 από τα οποία είναι οι φάλαγγες των δακτύλων. Τα μετακάρπια οστά συνδέουν τα δάκτυλα με τον καρπό. Κάθε ανθρώπινο χέρι έχει πέντε μετακάρπια και οχτώ καρπιαία οστά (Εικ.1.1.) [1].



Εικόνα 1.1.: Σκελετός άνω Άκρου

Εκτός από τα οστά, το ανθρώπινο χέρι αποτελείται και από τους μύες. Μυς είναι η ανατομική δομή στον ανθρώπινο οργανισμό που παράγει κίνηση ή δύναμη ύστερα από ένα ερέθισμα το οποίο δίνεται μέσω του εγκεφάλου. Αποτελείται από κύτταρα με σχετικά μεγάλο μήκος, τις μυϊκές ίνες. Όλοι οι μύες μετατρέπουν μια χημική ή ηλεκτρική εντολή σε μια μηχανική η οποία στηρίζεται στην λειτουργία του μηχανισμού δύο ινωδών πρωτεϊνών της μυοσίνης και της ακτίνης. Η ιδιότητα των μυών είναι να συστέλλονται μετά από κάποιο ερέθισμα του νευρικού συστήματος και να κινούν τα διάφορα μέρη του σώματος, αυτό λέγεται μυϊκή συστολή και το έναυσμα για αυτήν είναι το ίδιο ανεξάρτητα από το μέρος του σώματος στο οποίο βρίσκεται ο εκάστοτε μυς. Μετά την απομάκρυνση του ερεθίσματος που προκάλεσε τη μυϊκή συστολή, ο μυς επανέρχεται στο αρχικό του μήκος και χαλαρώνει. Ο μυς δηλαδή εργάζεται μόνο όταν συστέλλεται. Οι βασικοί μύες του άνω άκτου με τη λατινική ονομασία τους είναι οι εξής: Extensor Carpi Radialis Longus, Extensor Digitorum, Extensor Carpi Ulnaris, Flexor Carpi Ulnaris και Palmaris Longus (Εικ.1.2.,1.3.).

Σε όλους τους τύπους μυών, ορισμένα συστατικά του μυϊκού κυττάρου είναι ιδιαίτερα εξειδικευμένα για να ολοκληρώσουν τη μοναδική λειτουργία του μυός. Δεδομένης της διαφοράς στους φυσιολογικούς ρόλους τους, ο κάθε τύπος μυός έχει εξελίξει μοναδικές ανατομικές δομές και λειτουργικούς μηχανισμούς. Κατά συνέπεια, οι διάφοροι τύποι των μυϊκών κυττάρων έχουν εξειδικευμένες πλασματικές μεμβράνες, κυτταροσκελετούς, ενδοπλασματικό δίκτυο και μεταβολικές οδούς για παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας [2].



Εικόνα 1.2.: Λατινική Ονομασία Μυών: (a) Extensor Carpi Radialis Longus, (b) Extensor Digitorum



Εικόνα 1.3.: Λατινική Ονομασία Μυών: (c) *Extensor Carpi Ulnaris*, (d) *Flexor Carpi Ulnaris*, (e) *Palmaris Longus*

- **Ανθρώπινο χέρι και Ρομποτικά χέρια**

Μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις των ανθρωποειδή ρομπότ είναι να παρέχουν ένα αυτόνομο και επιδέξιο ρομποτικό σύστημα. Θεμελιώδους σημασίας είναι οι επιδέξιες δυνατότητες για χειραγώγηση, προς προσωπική εξυπηρέτηση του ρομπότ σε αδόμητα περιβάλλοντα, προκειμένου να εκπληρώσουν καθήκοντα χειραγώγησης σε ανθρώπινα περιβάλλοντα, όπως τρόπους και πραγματοποίηση μιας σωστής και ασφαλούς συνεργασίας μεταξύ ανθρώπων και ρομπότ.



Εικόνα 1.4.: *Human - Robotic Hand*

Η απώλεια του άνω άκρου έχει δύο διαφορετικές συνέπειες για το άτομο. Πρώτον, τη δραστική μείωση της λειτουργικότητας και δεύτερον, την έναρξη των ψυχολογικών προβλημάτων. Πολλές ερευνητικές προσπάθειες με στόχο την καινοτόμα τεχνολογία των τεχνητών μελών άνω άκρου και έρευνες σχετικά με την ικανοποίηση των χρηστών στη χρήση προσθετικών χεριών, αποκάλυψαν ότι το 30-50% των ατόμων με ακρωτηριασμό άνω άκρου δεν χρησιμοποιούν το προσθετικό τους χέρι τακτικά.

Ο στόχος πολλών έργων είναι να αναπτυχθεί ένα τεχνητό χέρι με σκοπό την αναπαραγωγή της εμφάνισης και της απόδοσης του φυσικού χεριού. Ως απώτερος στόχος είναι να επιτευχθεί μια πλήρης λειτουργική υποκατάσταση του φυσικού χεριού. Αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης θα πρέπει να αισθάνεται το τεχνητό μέλος ως μέρος του σώματός του το οποίο θα πρέπει να παρέχει τις ίδιες λειτουργίες του φυσικού χεριού, την απτική εξερεύνηση και τη χειραγώγηση. Οι εμπορικά διαθέσιμες προσθετικές συσκευές, καθώς και τα πολυλειτουργικά σχέδια χεριών έχουν καλή έως εξαιρετική αξιοπιστία και ικανότητα αλληλεπίδρασης, αλλά οι ικανότητές τους μπορούν να βελτιωθούν. Έχει αποδειχθεί ότι οι μεθοδολογίες και η γνώση που αναπτύχθηκαν για τα ρομποτικά χέρια μπορούν να εφαρμοστούν στον τομέα της προσθετικής για να αυξήσουν την τελική απόδοση.

1.2. Στόχοι Διατριβής

Στόχος της έρευνας είναι η ανάπτυξη μιας ανθρωπόμορφης ρομποτικής πρόθεσης, αποτελούμενης από δάχτυλα, παλάμη και αντίχειρα, η χρήση της οποίας μπορεί να βρει εφαρμογή σε άτομα με ακρωτηριασμένα άνω άκρα.

Η παρούσα εργασία αφορά τον σχεδιασμό, την κατασκευή και τον έλεγχο ενός πρωτότυπου ανθρωπόμορφου προσθετικού χεριού με ικανότητες κίνησης, λαβής αντικειμένων, και εργασιών αντίστοιχων με αυτών που πραγματοποιεί ο άνθρωπος στην καθημερινή του ζωή.

Το προσθετικό μέλος ξεκίνησε με σκοπό να αποτελείται από τα μέρη που αποτελείται και το πραγματικό, δηλαδή δάχτυλα, παλάμη και αντίχειρα. Επίσης, απαραίτητος σκοπός είναι η δυνατότητα ελέγχου αυτού από άτομα με ακρωτηριασμένα άνω άκρα. Ο λειτουργικός έλεγχος του πρωτοτύπου σκοπεύει στη στήριξή του, κατά κύριο λόγο, σε ηλεκτρικά σήματα τα οποία λαμβάνονται από κατάλληλους βιοαισθητήριες ηλεκτρομυογραφήματος (H/M - EMG) τοποθετημένους εσωτερικά στο κολόβωμα του ασθενούς, δηλαδή στο τμήμα μέλους ή οργάνου που απομένει ύστερα από ακρωτηριασμό.

Βάση της επεξεργασίας των EMG σημάτων, διερευνάται η δυνατότητα ανάπτυξης βασικών αλγόριθμων για τον επιτυχή χειρισμό του προσθετικού μέλους, δημιουργώντας πρότυπες προθέσεις με ενεργά οδηγούμενα δάχτυλα πλεονεκτώντας των κλασικών παθητικών εμπορικών προθέσεων. Όσον αφορά τη σχεδίαση, την κατασκευή και τον έλεγχο της ρομποτικής πρόθεσης, η τεχνολογική προσέγγιση πραγματοποιείται από την πλευρά της Μηχατρονικής η οποία παρέχει τον συνδυασμό επιστημών, όπως η Ρομποτική Τεχνολογία, ο Αυτόματος Έλεγχος, τα Συστήματα Αίσθησης και τα Συστήματα Σχεδιασμού με τη βοήθεια Η/Υ και κατασκευής (C.A.D./C.A.M.).

1.3. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Στην υποενότητα αυτή πραγματοποιείται η βιβλιογραφική ανασκόπηση του θέματος του εγγράφου αυτού. Αρχικά, αναφέρεται η γνώση που υπάρχει έως σήμερα στο θέμα αυτό, στη συνέχεια τα σημεία που επικεντρώνεται η βιβλιογραφία ενώ κλείνει με τις κατατάξεις αντίστοιχων ερευνών σύμφωνα με τη χρήση τους και αναφέρονται οι πιο αξιοσημείωτες από αυτές.

1.3.1. Σημερινή γνώση αναφορικά με το θέμα

Η σχεδίαση, η κατασκευή και ο έλεγχος ρομποτικών χεριών είναι ένα ενδιαφέρον θέμα με πολλές ερευνητικές προκλήσεις, κάτι το οποίο διαφαίνεται και από την προσπάθεια που πραγματοποιείται σε αυτόν τον τομέα από πολλά ερευνητικά ιδρύματα του εξωτερικού. Η χρήση ρομποτικών μηχανισμών, ως προσθετικά μέλη μπορεί να αμβλύνει περιορισμούς που προκύπτουν λόγω ακρωτηριασμών των άνω άκρων, μειώνοντας τις δυσανάλογα μεγάλες κοινωνικές και

οικονομικές επιπτώσεις για τους παθόντες. Όμως, στην πραγματικότητα υπάρχουν ελάχιστες εξελιγμένες ρομποτικές προθέσεις οι οποίες βέβαια έχουν υψηλό κόστος.

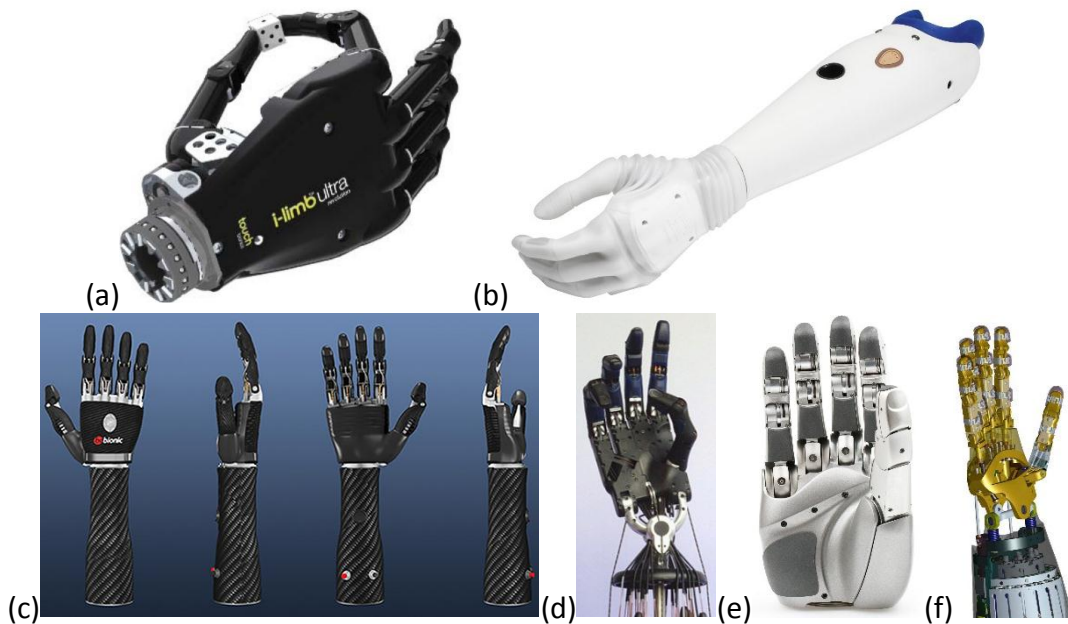
Οι εμπορικά διαθέσιμες προθέσεις, οι οποίες αφορούν τα άνω άκρα μπορούν να χωριστούν σε τρεις βασικές κατηγορίες όπου πλεονεκτούν ή μειονεκτούν έναντι των υπολοίπων. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι εξής:

- i. Οι Κοσμητικές προθέσεις όπου είναι χαμηλού βάρους, υψηλής αισθητικής και χαμηλού κόστους. Όμως αυτές είναι παθητικές στην λειτουργία τους και έχουν περιορισμένες δυνατότητες.
- ii. Οι Μηχανικές όπου είναι μετρίου βάρους, παρουσιάζουν υψηλή ανθεκτικότητα και δυνατότητες λαβής στηριζόμενες σε δύο ή τρία δάχτυλα. Ο τρόπος χειρισμού τους στηρίζεται σε ιμάντες ανάρτησης στον αντίθετο ώμο και παρουσιάζουν μηδαμινές δυνατότητες δυναμικού χειρισμού αντικειμένων. Έχουν μέτρια αισθητική εμφάνιση και απαιτούν ενέργεια από τον χρήστη με αποτέλεσμα να γίνονται αρκετά κουραστικές. Το κόστος αγοράς τους είναι μέτριο.
- iii. Οι Μυσηλεκτρονικές, οι οποίες δεν απαιτούν ενέργεια από τον χρήστη για το χειρισμό. Εμφανίζουν υψηλότερες δυνατότητες λαβής αντικειμένων από τις μηχανικές και έχουν μια σχετικά καλή αισθητική εμφάνιση. Όμως μειονεκτούν στο πρόσθετο βάρος τους, ενώ παράλληλα το κόστος τους ξεπερνά τις αρκετές δεκάδες χιλιάδες δολάρια. Αυτές οι προθέσεις απαιτούν περισσότερη συντήρηση και αρκετή εξάσκηση για την εκμάθηση προς το χειρισμό τους. Σε αυτή την περίπτωση, χρησιμοποιείται ένας πιο προηγμένος τρόπος ελέγχου του προσθετικού άκρου, «αντιλαμβάνοντας» το μέρος του παραμένοντος ακρωτηριασμένου άκρου που ο ασθενής μπορεί ακόμα να αισθάνεται.

Παρ' όλα αυτά, υπάρχει περιορισμένη ποικιλία εμπορικών προσθετικών χεριών υψηλής τεχνολογίας, με το κόστος βέβαια, όπως προαναφέρθηκε, να παραμένει υψηλό. Τέτοια προσθετικά μέλη αποτελούν:

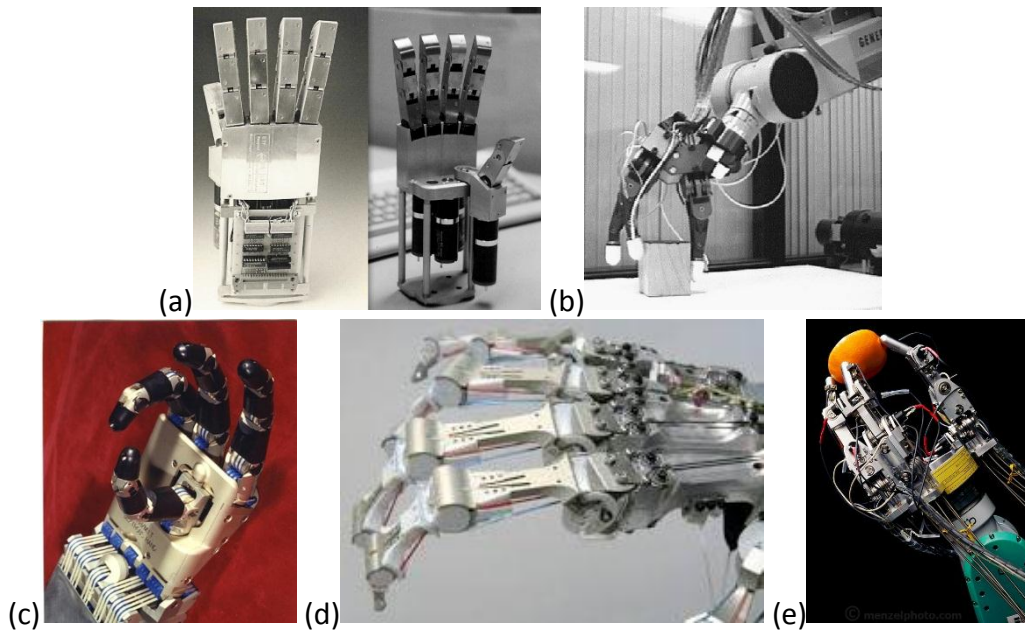
- i. Το i-limb Hand της εταιρείας Touch Bionics (Εικ.1.5.(a)) [3], κατασκευής του 2007 με δυνατότητα εκτέλεσης αρκετών διαφορετικών λαβών. Η ιδιαιτερότητά του έγκειται στο ότι η περιστροφή και αντίταξη του αντίχειρα γίνεται με παθητικό τρόπο, χωρίς την ύπαρξη κάποιου ηλεκτρικού επενεργητή όπως γίνεται στα υπόλοιπα δάκτυλα. Η τελευταία έκδοση της ίδιας εταιρείας, έκανε την εμφάνισή της το 2013, με το i-Limb Ultra Revolution το οποίο χρησιμοποιεί έναν ακόμα κινητήρα στον αντίχειρα με σκοπό την εξάλειψη της παθητικής κίνησής του.
- ii. Το Michelangelo Hand της εταιρείας Otto Bock (Εικ.1.5.(b)) [4] το οποίο διαθέτει τρία ενεργά δάχτυλα, συμπεριλαμβανομένου του αντίχειρα, με τα υπόλοιπα να ενεργούν παθητικά.
- iii. Το Bebionic Hand της εταιρείας RSL Steeper (Εικ.1.5.(c)) [5] όπου επιτρέπει στον χρήστη την υλοποίηση 14 διαφορετικών λαβών με δύο, επιλέξιμες από το χρήστη, θέσεις για τον αντίχειρα. Κάθε δάχτυλο έχει δύο ενεργά ελεγχόμενους βαθμούς ελευθερίας. Επιπρόσθετο χαρακτηριστικό του αποτελεί η κοσμητική επικάλυψή του από γάντι σιλικόνης βελτιώνοντας έτσι την αισθητική του εμφάνιση.

Εκτός από τα προσθετικά χέρια που προαναφέρθηκαν, υπάρχουν και ρομποτικά χέρια τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί αποκλειστικά για ερευνητικούς σκοπούς, από διεθνώς αναγνωρίσιμα Εργαστήρια, Οργανισμούς και Πανεπιστήμια. Τα ευρύτερα γνωστά είναι το Shadow Hand (Εικ.1.5.(d)) [6], το DLR Hand (Εικ.1.5.(e)) [7] και το Nasa/JPL Robonaut Hand (Εικ.1.5.(f)) [8], με τα δύο τελευταία να χρησιμοποιούνται από τις υπηρεσίες διαστήματος της Γερμανίας και των Η.Π.Α., αντίστοιχα. Σε αυτούς τους μηχανισμούς, παρά την υψηλή τεχνολογία τους, ο όγκος, το βάρος και ο θόρυβος κατά την λειτουργία τους δεν παίζει σπουδαίο ρόλο αφού σχεδιάστηκαν εξ' αρχής με σκοπό την έρευνα που αφορά τον τηλεχειρισμό και την υλοποίηση απαιτητικών αλγορίθμων λαβής αντικειμένων.



Εικόνα 1.5.: (a) *i-limb Hand-Touch Bionics*, (b) *Michelangelo Hand-Otto Bock*, (c) *Bebionic Hand-RSL Steeper*, (d) *Shadow Hand*, (e) *DLR Hand*, (f) *Nasa/JPL Robonaut Hand*

Το πρώτο σημαντικό όμως παράδειγμα ενός τεχνητού χεριού σχεδιασμένου σύμφωνα με μια ρομποτική προσέγγιση είναι το Belgrade/USC Hand (Εικ.1.6.(a)) [9]. Στα τέλη της δεκαετίας του 1970 ο Okada ανέπτυξε ένα πολλαπλών δακτύλων ρομποτικό χέρι με ένα σύστημα οδήγησης τένοντα και έδειξε μια περιστροφική κίνηση [10]. Στις αρχές της δεκαετίας του 1980, υπάρχουν δύο μεγάλα έργα για πολλαπλών δακτύλων ρομποτικά χέρια: το Stanford / Jet Propulsion Laboratory (JPL) Hand (Εικ.1.6.(b)) και το Massachusetts Institute of Technology (MIT) / Utah Hand (Εικ.1.6.(c)) [10, 11]. Αυτά τα δύο ρομποτικά χέρια εξακολουθούν να αντιπροσωπεύουν ένα ορόσημο και ένα μέτρο σύγκρισης για το σχεδιασμό των νέων συσκευών. Από τότε, έχουν σχεδιαστεί και αναπτυχθεί πολλά πολλαπλών δακτύλων ρομποτικά χέρια σε μια σειρά ερευνητικών ινστιτούτων σε όλο τον κόσμο. Ανάμεσα στα πιο γνωστά, αναφέρονται το Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR) Hand (Εικ.1.6.(d)), το Mechanical Engineering Laboratory (MEL) Hand (Εικ.1.6.(e)), το Electro-Technical Laboratory (ETL) Hand, το Darmstadt Hand, το Karlsruhe Hand, το Bologna Hand, το Barrett Hand, το Yasukawa Hand, το Gifu Hand, το U-Tokyo-Hand και το Hiroshima Hand [12-16].



Εικόνα 1.6.: (a) Belgrade/USC Hand, (b) Stanford / Jet Propulsion Laboratory (JPL) Hand, (c) Massachusetts Institute of Technology (MIT) / Utah Hand, (d) Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR) Hand, (e) Mechanical Engineering Laboratory (MEL) Hand

1.3.2. Επικέντρωση βιβλιογραφίας

Σύμφωνα με την υπάρχουσα μέχρι σήμερα βιβλιογραφία τα σημεία στα οποία επικεντρώνονται οι μελέτες ποικίλουν. Κάποια από αυτά είναι οι αρθρώσεις και το πλήθος τους σε κάθε δάκτυλο, τα δάκτυλα και το πλήθος τους καθώς και το πλήθος των ενεργών δακτύλων, το πλήθος των επενεργητών, η μείωση της πολυπλοκότητας, η βελτίωση της λαβής, το είδος των αισθητηρίων, τη συνέργεια των δακτύλων, την ταξινόμηση των λαβών και για όσα προορίζονται για τη χρήση στην προσθετική είναι ο ανθρωπομορφισμός.

Όσον αφορά τα είδη των αρθρώσεων των δακτύλων έχουν πραγματοποιηθεί έρευνες όπου αναπτύσσουν αρθρώσεις με μέσο σύνδεσης σπειροειδή ελατήρια έλξεως. Η μέθοδος αυτή προσφέρει μια ευέλικτη και μαλακή άρθρωση προσαρμόσιμη εύκολα σε ακανόνιστες γεωμετρίες. Συνήθως χρησιμοποιούνται πολλαπλά ελατήρια όπου από τον αριθμό τους εξαρτάται η ελαστικότητα και η ευελιξία ενός επιδέξιου δακτύλου. Αυτά τοποθετούνται παράλληλα της αξονικής και κατά μήκος του δακτύλου.

Εκτός από τις ευέλικτες αρθρώσεις έχουν αναπτυχθεί και μαλακές ευέλικτες φάλαγγες. Αυτό συμβαίνει για αντίστοιχους λόγους, ελαστικότητας και ευελιξίας των δακτύλων, με τις αρθρώσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω. Σε έρευνες που υπάρχουν στη βιβλιογραφία έχουν αναπτυχθεί δάκτυλα με σταθερές αρθρώσεις και σταθερές φάλαγγες, ενώ για τα παραμορφώσιμα δάκτυλα έχουν αναπτυχθεί με σταθερές αρθρώσεις και ελαστικές φάλαγγες ή με ελαστικές αρθρώσεις και σταθερές φάλαγγες [17].

Στο κομμάτι της ενεργοποίησης, προκειμένου να μειωθεί ο αριθμός των επενεργητών, στο πλήθος των ερευνών χρησιμοποιούνται τεχνητοί τένοντες και συνήθως και ράουλα οδήγησης-κύλισης των τενόντων, συνήθως τοποθετούνται σε ζεύγη. Μια άλλη εναλλακτική λύση είναι μπάρες για την έλξη, την ώθηση ή και των δύο ταυτόχρονα των φαλαγγών για την πραγματοποίηση των κινήσεων. Έχουν αναπτυχθεί επίσης και μέθοδοι ενεργοποίησης μέσω κραμάτων μνήμης σχήματος SMA. Εν συνεχεία, χρησιμοποιούνται μηχανισμοί οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα κίνησης, μέθοδος υποενεργοποίησης, πολλών δακτύλων με λιγότερους έως και έναν κινητήρα [18].

Σε ένα από τα σημαντικότερα κομμάτια το οποίο είναι η αποδοτικότητα του τεχνητού μέλους συμβάλλουν κατά κύριο λόγο οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται προκειμένου να κατασκευαστεί ένα χέρι με ανεπτυγμένες αισθήσεις. Έχει γίνει μια πολύ μεγάλη μελέτη επάνω σε αυτό και έχουν εφαρμοστεί διάφοροι τύποι για κάθε σκοπό. Για τη μέτρηση της γωνίας των αρθρώσεων έχουν εφαρμοστεί φωτοδίοδοι για τη μέτρηση καθώς και αισθητήρες Hall παράλληλα με ένα μαγνήτη. Στη μέτρηση της δύναμης που ασκούν τα δάκτυλα χρησιμοποιούνται αισθητήρες δύναμης στα ακροδάκτυλα ή στην ελαστική άρθρωση, απτικοί αισθητήρες ή αισθητήρες με φιλμ πίεσης, αισθητήρες πίεσης υγρού ή δυναμικής πίεσης υγρού μέσω δόνησης. Εναλλακτικά χρησιμοποιούνται αισθητήρες για τον έλεγχο τεντώματος του τένοντα, LoadCells με ράουλα. Επίσης, στα ακροδάκτυλα έχουν χρησιμοποιηθεί αισθητήρες θερμοκρασίας για τον έλεγχο θερμοκρασίας του αντικειμένου και την πιθανή καταστροφή αυτού. Κατά την προσέγγιση ενός αντικειμένου έχει εφαρμοστεί η χρήση της μηχανικής όρασης μέσω μικρο-καμερών στην παλάμη και την αναγνώριση αντικειμένων. Άλλοι αισθητήρες που εφαρμόζονται είναι αισθητήρες θέσης κινητήρα, θέσης ακροδακτύλου, ροπής κινητήρα, ροπής άρθρωσης, αισθητήρες αφής καθώς και αισθητήρες ηλεκτρομυογραφίας για την ανάγνωση σημάτων από τους μύες [19].

Προκειμένου να υλοποιηθούν οι επιθυμητές λαβές με τα τεχνητά μέλη αναπτύσσονται στη βιβλιογραφία πειραματικές έρευνες για τους τύπους των λαβών. Τα πειράματα αυτά έχουν να κάνουν με τον τύπο της αντίστασης των δακτύλων, τις αναθέσεις των δακτύλων συνήθως για τις προ-λαβές, τον τύπου όσον αφορά την δύναμη, την ακρίβεια ή την ενδιάμεση λαβή, τη θέση του αντίχειρα, το χώρο της λαβής και τη σταθερότητα στους χειρισμούς αντικειμένων με τα ακροδάκτυλα. Στη συνέχεια, αυτά κατατάσσονται σε συγκριτικούς πίνακες ταξινόμησης λαβών ώστε να αξιολογηθεί και η ποιότητα της εκάστοτε λαβής. Επίσης, πειράματα πραγματοποιούνται για λαβές με 3, 4 ή 5 δάκτυλα και ανιχνεύονται τα σημεία πίεσης σε κάθε περίπτωση. Τέλος, στο κομμάτι αυτό αναλύεται η σταθερότητα της κάθε λαβής πολλαπλών δακτύλων καθώς και προβλήματα που προκύπτουν κατά την επαφή και με την τριβή, υλοποιώντας τη σύνθεση αλγορίθμων τρισδιάστατων λαβών αντικειμένων. Κατά την επαφή έχουν υλοποιηθεί προσαρμοσμένα μοντέλα επαφής, για τη μελέτη επαφής σε ανεπίπεδες επιφάνειες, για την κατανομή της ασκούμενης πίεσης κάθε δακτύλου και τη μέγιστη ροπή τριβής που μπορεί να αναπτυχθεί [20].

Επιπρόσθετα, η έρευνα σε αυτούς τους τομείς ασχολείται, στο κομμάτι του σχεδιασμού, με τις απαιτήσεις της κάθε περίπτωσης, τους περιορισμούς που προκύπτουν και τις πιθανές επιλογές που υπάρχουν για την υλοποίηση. Όσον αφορά επιπρόσθετους παράγοντες αναφέρονται οι αποδώσεις, τα πλεονεκτήματα και

μειονεκτήματα των υπάρχουσών εμπορικών μοντέλων, τα υλικά κατασκευής τους και οι εφαρμογές τους.

Ύστερα από αναλυτική μελέτη της βιβλιογραφία επάνω στο θέμα αυτό, προκειμένου να βγουν κάποια συμπεράσματα ώστε να ξεκινήσει ο σχεδιασμός του προσθετικού μέλους, πραγματοποιήθηκε ταξινόμηση χαρακτηριστικών των ρομποτικών χεριών. Τα χαρακτηριστικά τα οποία ταξινομήθηκαν ήταν όσα είχαν ενδιαφέρον προς μελέτη βελτίωσης. Αυτά αφορούσαν τους βαθμούς ελευθερίας των ρομποτικών χεριών, το βάρος τους, τα υλικά κατασκευής τους, τους επενεργητές που χρησιμοποιούν, την άμεση ή έμμεση ενεργοποίηση κάθε άρθρωσης, τη δυνατή δύναμη άσκησης σε ένα αντικείμενο, τις δυνατές κινήσεις τους, το μέγεθός τους, την τάση λειτουργίας και το ρεύμα κατανάλωσης, τον αριθμό των δακτύλων που το αποτελούν, την ταχύτητά τους, τη χρονολογία κατασκευής τους, τον προορισμό χρήσης τους και το κόστος τους.

Στον παρακάτω πίνακα αναγράφονται τα συνοπτικά χαρακτηριστικά των Ρομποτικών Χεριών όπου μελετήθηκαν.

Πίνακας 1.1.: Χαρακτηριστικά Ρομποτικών Χεριών μελέτης

D.o.F.s	Βάρος	Υλικό	Επενεργητές	Ενεργοποίηση	Δύναμη	Κινήσεις	Μέγεθος	Χρήση	Κόστος	V/A	Δάκτυλα	Ταχύτητα	Έτος
2 ~ 27	0,250 ~ 14[kg]	Aluminium PI Titanium	Servo DC SMA Pneumatic Hydraulic	tendons	0,04 ~ 25[kg] (push 90)	human	Human	Research or Prosthetic	\$750 ~ \$100.000	5 ~ 48[V]DC 0,3 ~ 20[A]	3 ~ 5	human To 3sec	1990 ~ today

Αναλυτικότερα στοιχεία για τα προσθετικά χέρια παρατίθενται σε πίνακες στο Παράρτ.Α. με όλα τα ρομποτικά χέρια της έρευνας, αναγράφοντας επιπλέον το ίδρυμα ή την εταιρία κατασκευής τους παράλληλα με την ονομασία αυτών.

1.3.3. Κατάταξη - Επισκόπηση Ρομποτικών Χεριών

Στην παράγραφο αυτή αναφέρονται κάποια υπάρχοντα Ρομποτικά Χέρια παρουσιάζοντας τα βασικά χαρακτηριστικά τους. Η αναφορά τους γίνεται ανά κατηγορία, σε Ρομποτικές Κατασκευές της δεκαετίας του '80, σε Εμπορικά διαθέσιμα, σε Ερευνητικά και σε Προσθετικά Χέρια.

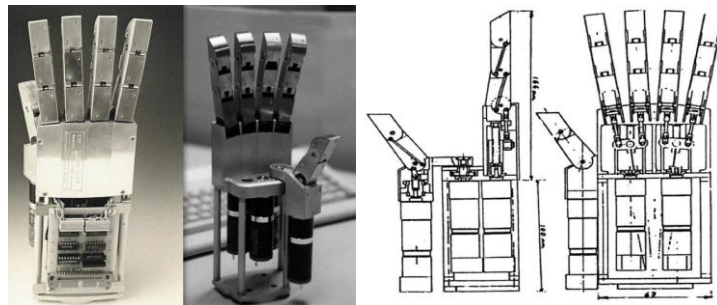
- **Ρομποτικά Χέρια της δεκαετίας του '80**

Η Hirose Soft Gripper (Shigeo Hirose, Tokyo Inst. Technology) αποτελεί την ανάπτυξη μιας μαλακής λαβής όπου ξεκίνησε τη δεκαετία του '70. Αποτελείται από 1 D.o.F. και στις αρθρώσεις του περιέχει τροχαλίες όπου δημιουργούν ομοιόμορφα κατανομημένες δυνάμεις (Εικ.1.7.).



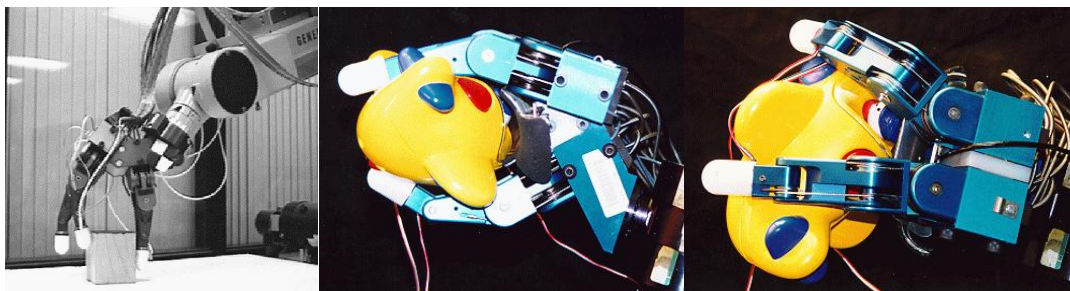
Εικόνα 1.7.: Hirose Soft Gripper (Shigeo Hirose, Tokyo Inst. Technology)

Το Belgrade / USC hand (Rajko Tomovic and George Bekey) είναι μία πρωτοποριακή προσπάθεια ανάπτυξης πρώτων πρωτοτύπων μετά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο. Αποτελείται από 4 D.o.F.s, 1 για κάθε ζευγάρι δάκτυλων και 2 για τον αντίχειρα, ενώ έχει ορισμένη προσαρμοστικότητα, δηλαδή με τη δυνατότητα κάμψης ενός δακτύλου αν κάποιο άλλο βρει αντίσταση (Εικ.1.8.).



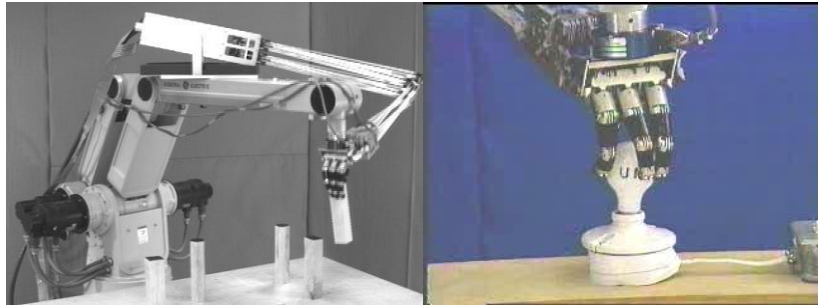
Εικόνα 1.8.: Belgrade / USC hand (Rajko Tomovic and George Bekey)

Το Stanford / JPL Hand είναι ένα χέρι 9 D.o.F.s, με 4 τένοντες ανά δάκτυλο για την επίτευξη της κάμψης κάθε δακτύλου και είναι σχεδιασμένο με σκοπό το χειρισμό δακτύλων. Στα ακροδάκτυλα είναι τοποθετημένοι αισθητήρες μέτρησης καταπόνησης (Εικ.1.9.).



Εικόνα 1.9.: Stanford / JPL Hand

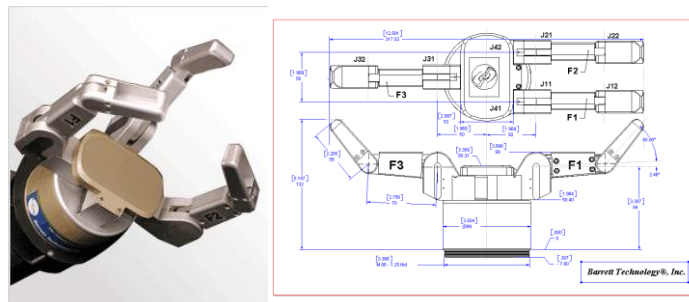
Το Utah / MIT Hand είναι ένα Χέρι 16 D.o.F.s, με συνολικά 32 τένοντες για την επίτευξη κινήσεων. Εκμεταλλεύοντας το φαινόμενο Hall, δίνεται η δυνατότητα ανίχνευσης θέσης και τάσης τένοντα. Η δύναμη των δακτύλων ανέρχεται στις 7[lb], αντίστοιχη σε ανθρώπινο επίπεδο, ενώ η τοποθέτηση του τένοντα αποτελεί ένα σύνθετο σχέδιο (Εικ.1.10.).



Εικόνα 1.10.: Utah / MIT Hand

- **Εμπορικά Χέρια**

Το Barrett Hand (Barrett Technology, Inc), με ανερχόμενο κόστος περίπου στα \$30.000, αποτελείται από 4 ηλεκτροκινητήρες, 1 ανά κάθε δάκτυλο και έναν για την έκταση της παλάμης. Με τεχνολογία αποσπώμενης λαβής, επιτρέπει στα δάχτυλα να προσαρμοστούν στη γεωμετρία κάθε αντικειμένου. Επίσης, περιέχει αισθητήρα θέσης οπτικού κωδικοποιητή και η δύναμη δακτύλων ανέρχεται στις 3.3[lb] με συνολικό βάρος 1,18[kg] (Εικ.1.11.).



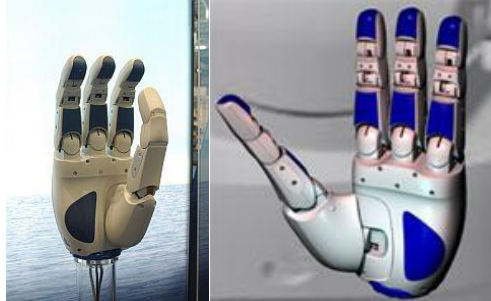
Εικόνα 1.11.: Barrett Hand (Barrett Technology, Inc)

Το Gifu Hand (Kawasaki and Mouri, Gifu Univ. / Sold by Dainichi), με ανερχόμενο κόστος περίπου στα \$50.000, αποτελείται από 16 ελεγχόμενους D.o.F.s, με τις δύο τελευταίες αρθρώσεις συζευγμένες εκτός από τον αντίχειρα. Επίσης, έχει τη δυνατότητα ανίχνευση πίεσης, αλλά χωρίς την ακριβή ανίχνευση θέσης. Η δύναμή του ανέρχεται στις 0,6[lb], το βάρος του στα 1,4[kg] και το μέγεθός του ξεπερνά το ανθρώπινο (Εικ.1.12.).



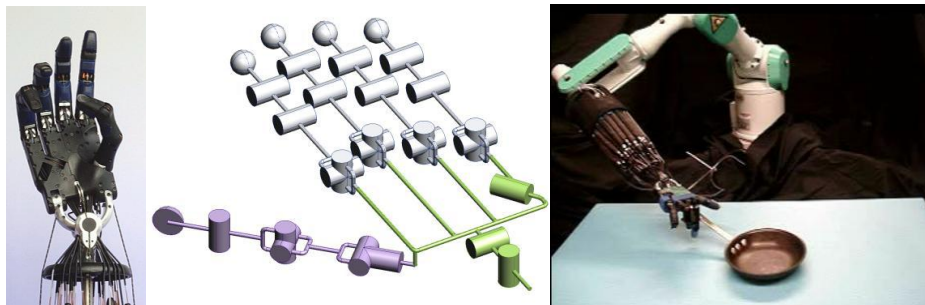
Εικόνα 1.12.: Gifu Hand (Kawasaki and Mouri, Gifu Univ. / Sold by Dainichi)

Το DLR / HIT hand (Gerhard Hirzinger, DLR / sold by Schunk), με ανερχόμενο κόστος περίπου στα \$60.000, αποτελείται από 13 ελεγχόμενους D.o.F.s, με τις δύο τελευταίες αρθρώσεις του κάθε δακτύλου να συνδέονται. Περιέχει αισθητήρες θέσης φαινομένου Hall, η δύναμη του κάθε δακτύλου ανέρχεται στις 1,5[lb], το συνολικό του βάρος στα 2,2[kg] και είναι μεγαλύτερο σε μέγεθος από το ανθρώπινο (Εικ.1.13.).



Εικόνα 1.13.: DLR / HIT hand (Gerhard Hirzinger, DLR / sold by Schunk)

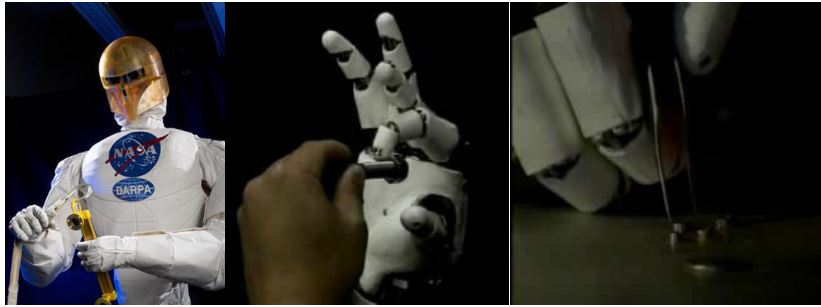
Το Shadow Hand (Shadow Robot Company), με ανερχόμενο κόστος περίπου στα \$100.000 και \$200.000 με τη νέα μηχανοκίνητη έκδοση, αποτελείται από 20 ελεγχόμενους D.o.F.s, με τις δύο τελευταίες αρθρώσεις να είναι συζευγμένες εκτός από του αντίχειρα. Περιέχει αίσθηση θέσης φαινομένου Hall, αίσθηση πίεσης αέρα, απτική αίσθηση, η δύναμη του κάθε δακτύλου ανέρχεται περίπου στη 1[lb] ενώ το βάρος του στα 3,9[kg]. Οι πνευματικοί ενεργοποιητές, όπου χρησιμοποιεί, προσθέτουν προβλήματα συμμόρφωσης, φθοράς και ελέγχου οπότε εφαρμόζονται ηλεκτρικοί κινητήρες με υψηλή αντοχή και χαμηλής αδράνειας, υλοποιώντας έναν ηλεκτρικό τεχνητό μυ. Η Ο ηλεκτρικός τεχνητός μυς δόθηκε για έρευνα από το Βρετανικό Υπουργείο Άμυνας (British MoD) (Εικ.1.14.).



Εικόνα 1.14.: Shadow Hand (Shadow Robot Company)

- **Ερευνητικά Χέρια**

Το Robonaut Hand (Robert Ambrose and colleagues, NASA), αποτελείται από 14 ελεγχόμενους D.o.F.s, συμπεριλαμβανομένου του καρπού, με τους κινητήρες τοποθετημένους στο αντιβράχιο. Τα δύο τελευταία δάκτυλα τοποθετούνται υπό γωνία και περιστρέφονται υπό την άρθρωση CMC. Επίσης, έχει σχεδιαστεί ένα γάντι αισθητήρα με αισθητήρες FSR και QTC, και αποτελεί μία επιτυχημένη τηλεμεταχείριση πολλών σύνθετων εργασιών χειραγώγησης (Εικ.1.15.).



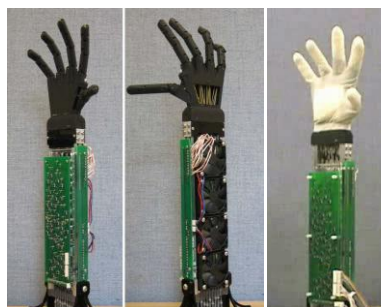
Εικόνα 1.15.: Robonaut Hand (Robert Ambrose and colleagues, NASA)

Το U. Tokyo Hand (Akio Namiki, Masatoshi Ishikawa, U. Tokyo) υλοποιεί 14 D.o.F.s, περιέχοντας αισθητήρες δύναμης και έχοντας χρόνο κύκλου 1[ms] για τον έλεγχο ολόκληρου του συστήματος (Εικ.1.16.).



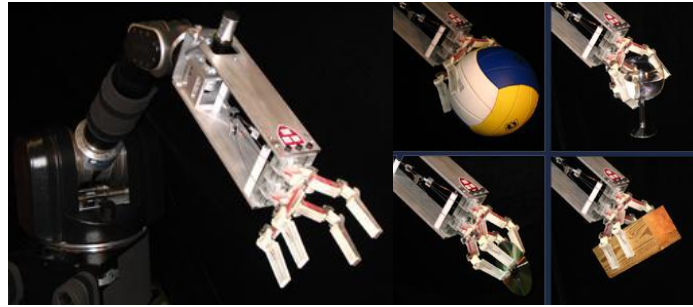
Εικόνα 1.16.: U. Tokyo Hand (Akio Namiki, Masatoshi Ishikawa, U. Tokyo)

Το SBC Hand (Kyu-Jin Cho and Harry Asada, MIT) υλοποιεί 16 ελεγχόμενους D.o.F.s, περιέχει 32 ενεργοποιητές κράματος μνήμης σχήματος (SMA) και εφαρμόζει διαιρούμενο δυαδικό έλεγχο για να ξεπεραστούν οι μη γραμμικότητες του ενεργοποιητή. Το βάρος του ανέρχεται στα 0.8[kg] με άγνωστη δύναμη άκρου, αλλά υψηλή αναλογία δύναμης προς βάρος. Ως μειονεκτήματα έχει το θέμα της ταχύτητας και της φθοράς (Εικ.1.17.).



Εικόνα 1.17.: SBC Hand (Kyu-Jin Cho and Harry Asada, MIT)

Το SDM Hand (Aaron Dollar and Robert Howe, Harvard) είναι ένα ενιαίος ελεγχόμενος D.o.F. για 8 συμμορφούμενες αρθρώσεις και ακροδάκτυλα. Κατασκευασμένο με τη μέθοδο αποθέσεως υλικού, περιέχει ενσωματωμένους αισθητήρες θέσης Hall και οπτικής επαφής ενώ είναι ανθεκτικό, ελαφρύ και φθηνό (Εικ.1.18.).



Εικόνα 1.18.: SDM Hand (Aaron Dollar and Robert Howe, Harvard)

Το ACT Hand (Yoky Matsuoka, University of Washington) αποτελείται από 3 πλήρως ενεργοποιημένα δάκτυλα με ανθρώπινη μυοσκελετική δομή υπεράριθμων ενεργοποιήσεων. Η παθητική και ενεργή δυναμική του είναι αντίστοιχη με το ανθρώπινο χέρι. Στόχος του ήταν η μελέτη του ελέγχου των κινήσεων των ανθρώπινων χεριών (Εικ.1.19.).



Εικόνα 1.19.: ACT Hand (Yoky Matsuoka, University of Washington)

- Προσθετικά Χέρια

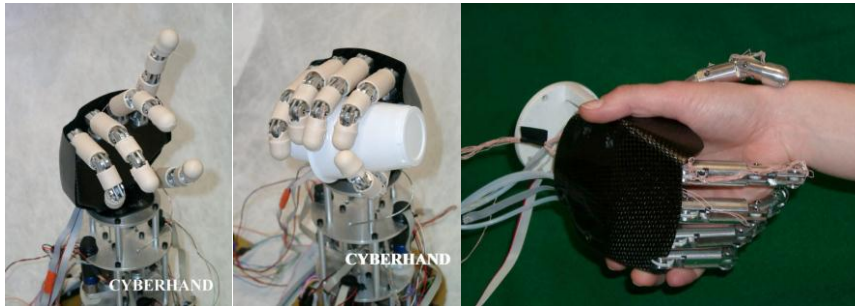
Το i-Limb (Touch Bionics), με ανερχόμενο κόστος περίπου στα \$18.000, περιέχει 5 κινητήρες που οδηγούνται από το σήμα ενός μυ. Ο αντίχειρας είναι κατασκευασμένος με σκοπό τη δύναμη, την ακρίβεια και τη λαβή κλειδιού. Οι κινητήρες είναι ανεξάρτητοι για προσαρμοστική λαβή και αυτή τη στιγμή χρησιμοποιείται από περισσότερα των 250 ατόμων (Εικ.1.20.).



Εικόνα 1.20.: i-Limb (Touch Bionics)

Το Cyberhand (Maria Carrozza, Scuola Superiore Sant'Anna) αποτελείται από 6 κινητήρες όπου ελέγχουν 16 αρθρώσεις οδηγούμενες με τένοντα. Είναι σχεδιασμένο για προσθετικές εφαρμογές με σκοπό τη δύναμη κλεισίματος. Περιέχει

αισθητήρες θέσης, δύναμης τένοντα, δύναμης δακτύλου και απτικής περιοχής. Με δύναμη δακτύλων στις 3,3[lb], κλείνει σε 3 δευτερόλεπτα και το βάρος του ανέρχεται στα 0.45[kg], χωρίς τους κινητήρες του αντιβραχίου (Εικ.1.21.).



Εικόνα 1.21.: Cyberhand (Maria Carrozza, Scuola Superiore Sant'Anna)

Το DEKA (Dean Kamen) υπάγεται σε ένα Πρόγραμμα Επανεμφανιζόμενης Προσθετικής της DARPA με άλλα υπό ανάπτυξη όπως τα JHU / APL, RIC και Otto Bock (Εικ.1.22.).



Εικόνα 1.22.: DEKA (Dean Kamen) Hand

1.3.4. Αξιοσημείωτες προσεγγίσεις του θέματος

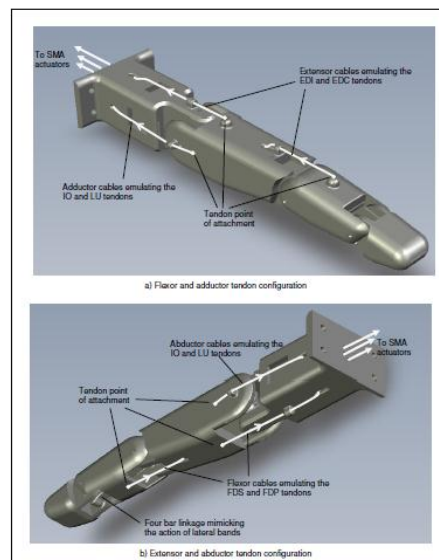
Παρακάτω αναφέρονται κάποιες από τις πιο αξιοσημείωτες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί, μεταξύ των οποίων και δύο (2) από ελληνικά ιδρύματα. Αυτές αφορούν τρεις (3) Διδακτορικές Διατριβές των University of Victoria, University of Naples Federico II και Sant' Anna High School of University and Advanced Studies. Άλλες δύο (2) έρευνες ως Διδακτορική Διατριβή οι οποίες διεξήχθησαν στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο και στο Πανεπιστήμιο Πατρών, και τέλος, μία έρευνα του Columbia University.

- **Design and evaluation of a shape memory alloy-based (S.M.A.) tendon-driven actuation system for biomimetic artificial fingers [18]**

Μια πολύ καλή προσέγγιση του θέματος έχει παρουσιαστεί στο University of Victoria, Department of Mechanical Engineering το 2009, ως Master of Applied Science με τίτλο “Design and evaluation of a shape memory alloy-based (S.M.A.) tendon-driven actuation system for biomimetic artificial fingers”, η οποία

παρουσιάζει μια προκαταρκτική εργασία για την ανάπτυξη ενός προσθετικού μηχανισμού, βιομιμητικής ενεργοποίησης, προς τοποθέτηση ως ρομποτικό χέρι. Σε αυτή την εργασία διερευνάται η χρήση νέων τεχνολογιών τεχνητών μυών, κραμάτων μνήμης σχήματος (S.M.A.) (Εικ.1.23.).

Ο μηχανισμός που αναπτύχθηκε βασίζεται στον συνδυασμό των συμμορφούμενων καλωδίων τένοντα και one-way συρμάτων κράματος μνήμης σχήματος (S.M.A.) που σχηματίζουν ένα σύνολο, αγωνιστή-ανταγωνιστή, ζευγών τεχνητού μυ για την απαιτούμενη κάμψη/έκταση ή απαγωγή/προσαγωγή των αρθρώσεων των δακτύλων. Για τους σκοπούς της διατριβής αυτής, αναπτύχθηκε ένα ανθρωπόμορφο, τεσσάρων βαθμών ελευθερίας, τεχνητό μέλος δοκιμών με τις ίδιες κινηματικές ιδιότητες όπως το ανθρώπινο δάκτυλο. Ως εκ τούτου, το μέγεθος, η εμφάνιση και η αρχιτεκτονική του κινηματικού μοντέλου του δείκτη, ήταν αποτελεσματικά και πρακτικά μιμήσιμα. Το βιομιμητικό σύστημα ενεργοποίησης εκτελέστηκε υπό την ανθρωπομορφική τεχνητού δακτύλου και δοκιμάστηκε με ένα απλό πλάτος παλμού μικροελεγκτή με βάση το διαμορφωμένο αναλογικό ελεγκτή ανάδρασης (PWD-PD). Οι πειραματικές δοκιμές πραγματοποιήθηκαν για την επικύρωση της απόδοσης του μηχανισμού ενεργοποίησης όπως μιμούνται οι αρμοί του φυσικού δακτύλου. Η διατριβή πραγματοποιείται για τις λεπτομέρειες της διαδικασίας σχεδιασμού δακτύλου, καθώς και για τους μηχανισμούς και τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την επίτευξη των στόχων ενεργοποίησης και ελέγχου. Επίσης, παρουσιάζονται αποτελέσματα των πειραμάτων τα οποία πραγματοποιήθηκαν με την πλατφόρμα ενεργοποίησης.



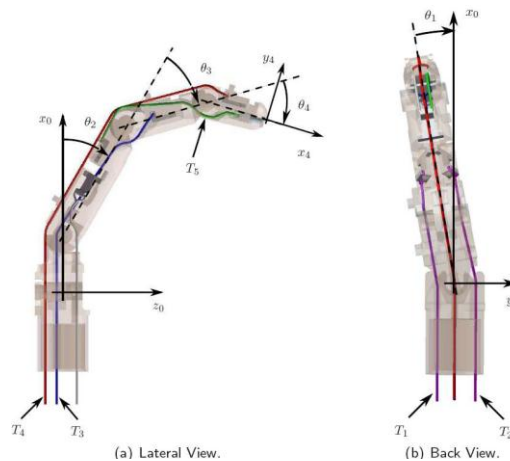
Εικόνα 1.23.: Διάταξη τεχνητού δακτύλου με τη χρήση τένοντα

- **Modelling and Control for Soft Finger Manipulation and Human-Robot Interaction [21]**

Μια ακόμη εργασία που αφορά τον έλεγχο μαλακού δακτύλου, έχει παρουσιαστεί στο University of Naples Federico II, Faculty of Engineering το Νοέμβριο του 2010, ως Διδακτορική Διατριβή με τίτλο “Modelling and Control for Soft Finger

Manipulation and Human-Robot Interaction”, η οποία ασχολείται με τη μοντελοποίηση και τον έλεγχο πολλαπλών δακτύλων ρομποτικών χεριών από μαλακά υλικά για εργασίες χειραγώγησης (Εικ.1.24.).

Το ζήτημα του ελέγχου ενός ρομποτικού συστήματος, χεριού-βραχίονα, εμπλέκεται αναλαμβάνοντας καθήκοντα τα οποία μπορούν να αλληλοεπιδρούν με το περιβάλλον ή τον άνθρωπο. Επίσης, το ίδιο ζήτημα απευθύνεται σε εργασίες αρπάγης στην περίπτωση που αλληλοεπιδρά με το περιβάλλον ή εμπλέκεται με τον άνθρωπο. Ο νόμος ελέγχου που επιλέχθηκε στην έρευνα αυτή για το βραχίονα είναι ένας έλεγχος της συμμόρφωσης στο επίπεδο του αντικειμένου, το οποίο έχει ως στόχο να μειώσει τις δυνάμεις αλληλεπίδρασης. Η δράση ελέγχου βασίζεται στην ανασυγκρότηση του εξωτερικού φορτίου που εφαρμόζεται στο αντικείμενο, χρησιμοποιώντας κατά τη μέτρηση αισθητήρες δύναμης στα άκρα των δακτύλων. Η ανίχνευση δύναμης χρησιμοποιείται επίσης για τον υπολογισμό, σε πραγματικό χρόνο, των επιθυμητών δυνάμεων επαφής, όπου είναι σε θέση να εγγυηθεί τη σταθερότητα της αντίληψης της αρπάγης. Ο έλεγχος του χεριού πραγματοποιείται μέσω του ελέγχου των δυνάμεων της αρπάγης.



Εικόνα 1.24.: Tendon configuration and reference angles. (a) Lateral view, (b) Back view

- **On the Development of a Cybernetic Prosthetic Hand [22]**

Μια επίσης πολύ καλή επίσης προσέγγιση του θέματος έχει παρουσιαστεί στο Sant' Anna High School of University and Advanced Studies, Department of Engineering Sector το Μάρτιο του 2003, στην κατηγορία των Πειραματικών Επιστημών (Class of Experimental Sciences) ως Διδακτορική Διατριβή με τίτλο “On the Development of a Cybernetic Prosthetic Hand”, στην οποία παρουσιάζεται η υλοποίηση ενός κυβερνητικού χεριού (Εικ.1.25.).

Πραγματοποιείται μια λεπτομερής ανάλυση του μοντέλου του ανθρώπινου χεριού, ενώ πραγματοποιείται παράλληλα μια μεγάλη επισκόπηση της κατάστασης της τέχνης των τεχνητών χεριών. Ακολούθως, γίνεται μια εμβιομηχανοτρονική προσέγγιση, συγκρίνοντας τα χαρακτηριστικά αυτών των χεριών με το φυσικό μοντέλο, το ανθρώπινο χέρι, τα όρια των σημερινών τεχνητών συσκευών θα τεθούν σε αποδεικτικά στοιχεία, περιγράφοντας έτσι τους στόχους του σχεδιασμού για μια

νέα κυβερνητική συσκευή. Τα αποτελέσματα από την έρευνα αυτή ήταν αρκετά ελπιδοφόρα, θέτοντας ενδείξεις ότι θα μπορούσαν να υπάρχουν δύο διαφορετικές προσεγγίσεις για την υλοποίηση των τεχνητών συσκευών στο μέλλον. Πρώτον, θα μπορούσαν να υπάρξουν τα EMG-ελεγχόμενα χέρια, με συμβατά δάχτυλα, αλλά μόνο με έναν ενεργό βαθμό ελευθερίας. Δεύτερον, τα πιο εξυπηρετούμενα τεχνητά χέρια θα μπορούσαν να διασυνδεθούν απ' ευθείας με το περιφερειακό νευρικό σύστημα, δημιουργώντας έτσι μια αμφίδρομη επικοινωνία με τον ανθρώπινο εγκέφαλο.



Εικόνα 1.25.: Development of a Cybernetic Prosthetic Hand

- **Σχεδίαση και Κατασκευή Υποεπενεργούμενου, Ανθρωπομορφικού Ρομποτικού Χεριού [23]**

Όσον αφορά ελληνικά Ιδρύματα μια καλή έρευνα επί του θέματος έχει παρουσιαστεί στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, στη Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, στον Τομέα Μηχανολογικών Κατασκευών και Αυτομάτου Ελέγχου στο Εργαστήριο Αυτομάτου Ελέγχου το Μάρτιο του 2016, ως Διπλωματική Εργασία με τίτλο “Σχεδίαση και Κατασκευή Υποεπενεργούμενου, Ανθρωπομορφικού Ρομποτικού Χεριού”, κατά την οποία σχεδιάζεται και κατασκευάζεται ένα ανθρωπομορφικό, υποεπενεργούμενο και παραμετροποιήσιμο ρομποτικό χέρι, χαμηλού κόστους και βάρους (Εικ.1.26.).

Ως κριτήριο σχεδίασης του ρομποτικού χεριού, αναλύεται η ανθρωπομορφικότητα. Για την εξασφάλιση της λειτουργικότητας του ρομποτικού χεριού χρησιμοποιούνται ελαστικές αρθρώσεις που εισάγουν υποχωρητικότητα στην κατασκευή, απαιτούν απλούς νόμους ελέγχου και παρουσιάζουν εξαιρετική λειτουργικότητα σε μη δομημένα περιβάλλοντα. Στην συνέχεια, επιτυγχάνονται χαμηλό κόστος και βάρος της κατασκευής με την χρήση ελαφρών και ευρέως διαδεδομένων υλικών όπως το Plexiglas & το ABS. Ένας άλλος κρίσιμος παράγοντας μείωσης του κόστους και του βάρους είναι η επιλογή των ηλεκτρικών επενεργητών. Στην συγκεκριμένη εργασία, επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί ένας (1) ηλεκτρικός επενεργητής που συνεργάζεται με κατάλληλο διαφορικό μηχανισμό για την μεταφορά της κίνησης στα δάχτυλα του ρομποτικού χεριού. Επιλέχθηκε η χρήση οδοντωτού μηχανισμού σύμπλεξης του αντίχειρα, για την διακριτοποίηση των θέσεων του οποίου μελετήθηκαν ταξινομήσεις αρπάγης του ανθρώπινου χεριού, και αναπτύχθηκε καινοτόμος διαφορικός μηχανισμός επιλεκτικής εμπλοκής των δαχτύλων βασιζόμενος στο Whiffletree. Στην συνέχεια, επαληθεύτηκε μέσω εκτενών

πειραμάτων, η λειτουργικότητα του συνόλου της κατασκευής του ανθρωπομορφικού ρομποτικού χεριού. Τα πειράματα χωρίστηκαν σε δύο μέρη, όπου στο πρώτο μέρος δοκιμάστηκε η λειτουργικότητα του διαφορικού μηχανισμού επιλεκτικής εμπλοκής, ενώ στο δεύτερο μέρος εξετάστηκε η ικανότητα του χεριού να επιτυγχάνει αρπάγες καθημερινών αντικειμένων. Από τα παραπάνω, εξήχθησαν σημαντικά συμπεράσματα που αφορούν την συνεισφορά του διαφορικού μηχανισμού και την συνολική λειτουργικότητα της κατασκευής. Το συγκεκριμένο ρομποτικό χέρι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πληθώρα εφαρμογών ρομποτικής καθώς και ως προσθετικό άκρο χαμηλού κόστους και βάρους.



Εικόνα 1.26.: Υποεπενεργούμενο, Ανθρωπομορφικό Ρομποτικό Χέρι (αριστερό - δεξί)

- **Κατασκευή και Έλεγχος Βιομημητικά Ενεργοποιούμενου Ανθρωπομορφικού Χεριού [24]**

Επίσης άλλη μία προσέγγιση από ελληνικό ίδρυμα έχει παρουσιαστεί στο Πανεπιστήμιο Πατρών, στη Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, στον Τομέας Συστημάτων και Αυτομάτου Ελέγχου το 2014, ως Διδακτορική Διατριβή με τίτλο “Κατασκευή και Έλεγχος Βιομημητικά Ενεργοποιούμενου Ανθρωπομορφικού Χεριού”, στην οποία παρουσιάζεται η κατασκευή και ο έλεγχος ενός καινοτόμου τεχνητού χεριού, για προσθετικές κυρίως εφαρμογές, κάνοντας χρήση βιομημητικών ενεργοποιητών και πιο συγκεκριμένα ειδικά κατατεργασμένων λεπτών κυλινδρικών αγωγών από μορφομήμονα μεταλλικά κράματα (S.M.A.) νικελίου - τιτανίου (Εικ.1.27.).

Εκμεταλλεύοντας τα πλεονεκτήματα των ενεργοποιητών αυτών έναντι των αντίστοιχων συμβατικών, αναπτύσσεται μια πλήρως λειτουργική συσκευή με μικρό μέγεθος και βάρος, ανθρωπομορφική εμφάνιση, αθόρυβη λειτουργία και χαμηλό κόστος κατασκευής και συντήρησης, ικανή να εκπληρώσει σε μεγάλο βαθμό τις απαιτήσεις των ατόμων με αναπηρία στα άνω άκρα. Για τη φυσική υλοποίηση του σκελετού του τεχνητού αυτού χεριού χρησιμοποιείται η τεχνολογία της ταχείας προτυποποίησης. Καθένα από τα πέντε δάκτυλα ελέγχεται ανεξάρτητα μέσω ενός υποενεργοποιούμενου μηχανισμού κίνησης με τεχνητούς τένοντες. Για τον έλεγχο θέσης κάθε δακτύλου, αναπτύσσεται και εφαρμόζεται μία μέθοδος ελέγχου βασισμένη στη δυνατότητα ανάδρασης θέσης των ενεργοποιητών S.M.A. μέσω μέτρησης της ηλεκτρικής τους αντίστασης. Επιπλέον, αναπτύσσεται κατάλληλος αλγόριθμος για τον σχηματισμό διαφόρων θέσεων και συλλήψεων του τεχνητού

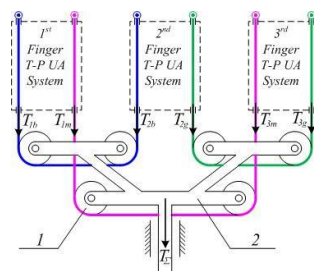
χεριού. Για τη βελτίωση του ελέγχου, το χέρι εξοπλίζεται με αισθητήρες αφής στα ακροδάκτυλα, καθώς και με τη δυνατότητα οδήγησης συσκευών οπτικής και ακτικής ανάδρασης. Όλα τα ηλεκτρονικά κυκλώματα που είναι απαραίτητα για την οδήγηση των ενεργοποιητών και τον έλεγχο του χεριού αναπτύσσονται και ενσωματώνονται στο εσωτερικό του φυσικού πρωτοτύπου. Με τη βοήθεια προγραμματιστικού πακέτου, σχεδιάζεται μία γραφική διεπαφή ελέγχου μέσω της οποίας μελετάται και αξιολογείται η δυνατότητα του αναπτυχθέντος χεριού σε πειράματα σύλληψης διαφόρων αντικειμένων. Τέλος, προτείνονται διάφορες τεχνικές ελέγχου του χεριού από τους χρήστες του, ενώ αναπτύσσεται και κατάλληλος αλγόριθμος ελέγχου βασισμένος στη χρήση ηλεκτρομυογραφικών σημάτων.



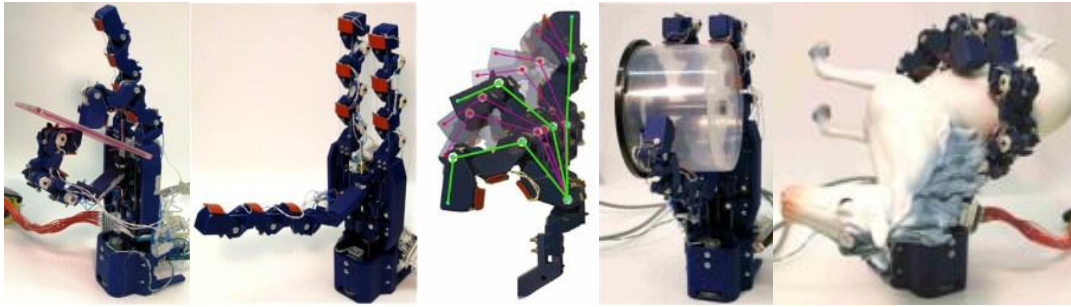
Εικόνα 1.27.: Βιομημητικά Ενεργοποιούμενο Ανθρωπομορφικό Χέρι

- **A highly-underactuated robotic hand with force and joint angle sensors [25]**

Στην έρευνα αυτή, η οποία πραγματοποιήθηκε στο Columbia University, τιτλοφορείται ως “A highly-underactuated robotic hand with force and joint angle sensors” και παρουσιάστηκε στο IROS του 2011, περιγράφεται ένας σχεδιασμός υποεπενεργούμενου Ρομποτικού Χεριού, το οποίο υποτιμείται λόγω του ότι αποτελείται από τρία δάκτυλα με τρεις αρθρώσεις το καθένα τα οποία ελέγχονται από έναν μόνο κινητήρα. Ένα από τα δάκτυλα, ο αντίχειρας, μπορεί επίσης να περιστραφεί ως προς τη βάση του χεριού, αποδίδοντας συνολικά δύο ελεγχόμενους βαθμούς ελευθερίας (D.o.F.s). Ένα βασικό στοιχείο του σχεδίου είναι η προσθήκη αισθητήρων θέσεων και αφής όπου παρέχουν ακριβής γωνιακή ανάδραση και δυαδική ανατροφοδότηση δύναμης. Ο μηχανικός του σχεδιασμός μπορεί να αναλύεται θεωρητικά με σκοπό την πρόβλεψη των δυνάμεων επαφής καθώς και της θέσης του χεριού δίνοντάς του ένα συγκεκριμένο σχήμα αντικειμένου (Εικ.1.28.,1.29.).



Εικόνα 1.28.: Μηχανισμός υπο-ενεργοποίησης



Εικόνα 1.29.: A highly-underactuated robotic hand with force and joint angle sensors

1.4. Συμβολή της Διατριβής

Μόνο στην χώρα μας, σύμφωνα με τον καθηγητή Ορθοπαιδικής Χειρουργικής της Ιατρικής σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κ. Δρ. Μαλίζο Κωνσταντίνο, περίπου 200 από τους 10.000 Έλληνες, που τραυματίζονται στα χέρια κάθε χρόνο, χάνουν το άνω άκρο τους.

Οι συνέπειες ενός ακρωτηριασμού είναι πολλαπλές για το άτομο, όπως η μείωση της δραστηριότητας, η κακή ποιότητας ζωής ή η ανικανότητα για εργασία. Καθώς επίσης πολλαπλές είναι οι συνέπειες και για το άμεσο οικογενειακό περιβάλλον και για το κοινωνικό σύνολο, όπως τα έξοδα νοσηλείας και αποκατάστασης.

Η αντιμετώπιση αυτών των περιστατικών, στην πλειονότητα τους, πραγματοποιούνται με παθητικά προσθετικά μέλη του εμπορίου τα οποία συμβάλουν σε ένα κοσμητικό αποτέλεσμα προσφέροντας ένα υποτυπώδες επίπεδο λειτουργικότητας. Όμως, ακόμα και τα πλέον σύγχρονα εμπορικά προσθετικά χέρια αδυνατούν να ανταποκριθούν πλήρως στις ανάγκες των χρηστών τους με το κόστος τους να ανέρχεται σε αρκετά υψηλά επίπεδα (20,000\$-100,000\$) όταν αυτά χρησιμοποιούν ενεργά οδηγούμενα και όχι παθητικά δάχτυλα.

Η αξία της προσθετικής, για την επανένταξη ατόμων με ακρωτηριασμένα τα άνω άκρα, στις καθημερινές του δραστηριότητες είναι ανεκτίμητη, πόσο άλλωστε όταν συνδυάζεται με υψηλή τεχνολογία, όπως η Ρομποτική και η Μηχατρονική, για την ανάπτυξη νέων καινοτόμων και περισσότερο λειτουργικών τεχνητών μελών. Η σημασία και η συμβολή της παρούσας έρευνας είναι σημαντική διότι στοχεύει στην ανάπτυξη μιας ενεργά οδηγούμενης ανθρωπόμορφης ρομποτικής πρόθεσης, αποτελούμενη από δάχτυλα, παλάμη και αντίχειρα, η οποία θα βοηθήσει σημαντικά στην βελτίωση της ποιότητας ζωής ατόμων με ακρωτηριασμένα άνω άκρα. Σημαντικό είναι να τονιστεί η δυνατότητα ενεργής κίνησης των αρθρώσεων της πρόθεσης πράγμα το οποίο υπερτερεί σε σχέση με τα συμβατικά προσθετικά χέρια που διατίθενται στο εμπόριο και στην πλειονότητά τους έχουν παθητική συμπεριφορά.

Κεφάλαιο 2

Προδιαγραφές της Ρομποτικής Πρόθεσης

Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρεται η ανάπτυξη της μεθοδολογίας για τη διεκπεραίωση της παρούσας έρευνας, καθώς και οι προδιαγραφές που λήφθηκαν υπ' όψιν. Στη μεθοδολογία αναλύονται τα επιθυμητά επίπεδα λειτουργικότητας της Ρομποτικής Πρόθεσης. Αυτά περιγράφουν τη λειτουργία της πρόθεσης γύρω από το πεδίο των λαβών, κάποιων προ-λαβών όπου είναι επιθυμητό να επιτυγχάνει καθώς και την αλληλεπίδραση με το περιβάλλον. Εν συνεχεία, αναφέρονται πιο αναλυτικά οι βασικές προδιαγραφές που λήφθηκαν υπ' όψιν καθ' όλη τη διάρκεια της έρευνας. Ο προδιαγραφές αυτές εκτείνονται στα πεδία της ανθρωπομορφικότητας της πρόθεσης, την επιδεξιότητα και τις δυνατότητές της όπως επίσης και σε ένα σημαντικό κομμάτι όπου είναι τα κατασκευαστικά κριτήρια της πρόθεσης.

2.1. Ανάπτυξη της μεθοδολογίας

Στην παρούσα έρευνα στόχο αποτελεί η σχεδίασή, η κατασκευή και ο έλεγχος μιας πρωτότυπης ανθρωπόμορφης πρόθεσης άνω άκρων, με δεξιότητες πλησιέστερες σε αυτές του ανθρώπινου χεριού. Για το λόγο αυτό, η πρότυπη Ρομποτική Πρόθεση σχεδιάζεται έτσι ώστε η μορφολογία του να προσεγγίζει το ανθρώπινο άνω άκρο διαθέτοντας λειτουργικά δάκτυλα, αντίχειρα και παλάμη. Προκειμένου η σχεδίαση της πρόθεσης να είναι όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστική και λειτουργική, χρησιμοποιούνται πληροφορίες οι οποίες σχετίζονται με την ανατομία και την κινηματική του ανθρώπινου χεριού.

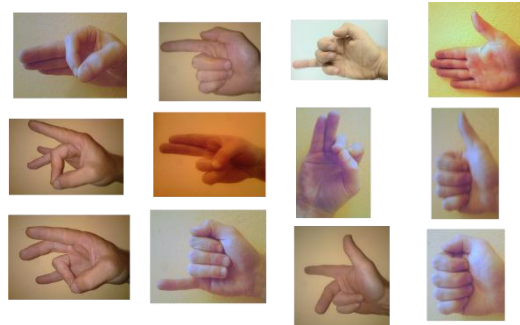
2.1.1. Επίπεδα λειτουργικότητας

Εν συνεχεία, τα χαρακτηριστικά κίνησης της πρόθεσης σχεδιάζονται ώστε να ανταποκρίνονται, όσον το δυνατό περισσότερο, σε τρία βασικά επίπεδα λειτουργικότητας όπου αναλύονται παρακάτω.

- **Πρώτο επίπεδο λειτουργικότητας**

Η εκτέλεση κινήσεων και σχηματισμών των δάχτυλων, όπου επιδεικνύουν ικανότητα οπτικής επικοινωνίας και απόδοσης συναισθηματικής κατάστασης του

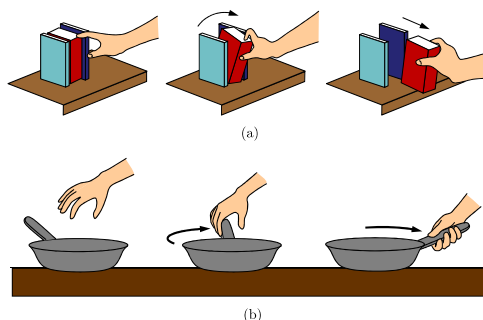
ανθρώπου που το χρησιμοποιεί, όπως νεύματα κλήσης, υπόδειξης, χαιρετισμού, οργής, αγανάκτησης ή τάση για χειραψία (Εικ.2.1.).



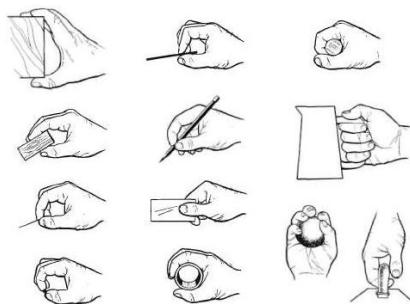
Εικόνα 2.1.: Παραδείγματα από ενδεικτικές χειρονομίες και σχηματισμούς των δαχτύλων του ανθρώπινου χεριού

- **Δεύτερο επίπεδο λειτουργικότητας**

Η δυνατότητα αρχικής προσέγγισης “προ-λαβής” και προτυποποίησης πρωτογενών λαβών αντικειμένων όπως η κυλινδρική λαβή, η πλευρική, η αγκιστροειδής, η σφαιρική, η περιβάλλουσα και η λαβή με τη βοήθεια των ακροδάχτυλων, για την επιτυχή συγκράτηση διαφόρων αντικειμένων όπου χρησιμοποιούνται στην καθημερινότητα. Τα πρότυπα των λαβών αυτών δύναται να καλύψουν μία σειρά από αντικειμένων όπου χρησιμοποιούνται στην καθημερινότητα του ανθρώπου βελτιώνοντας έτσι τον τρόπο αλληλεπίδρασής του με το περιβάλλον και εν κατακλείδι τη βελτίωση της ποιότητας ζωής του. Επίσης, εξετάζεται η δυνατότητα όχι μόνο στατικής αλλά και δυναμικής λαβής γνωστών αντικειμένων με την βοήθεια του δείκτη και του αντίχειρα. Με αυτόν τον τρόπο βελτιώνονται σημαντικά οι δυνατότητες χειρισμού που μπορεί να προσφέρει η Ρομποτική Πρόθεση σε σχέση με τα προσθετικά χέρια που διατίθενται στο εμπόριο τα οποία στην πλειονότητά τους έχουν παθητική συμπεριφορά (Εικ.2.2.,2.3.).



Εικόνα 2.2.: (a), (b) αρχικές προσεγγίσεις, “προ-λαβές” και τελική συγκράτηση αντικειμένου



Εικόνα 2.3.: Πρωτογενείς λαβές αντικειμένων από το ανθρώπινο χέρι

- **Τρίτο επίπεδο λειτουργικότητας**

Η δυνατότητα χρήσης της Ρομποτικής Πρόθεσης για την αλληλεπίδραση με το περιβάλλον και την υλοποίηση στόχων όπως το άνοιγμα μίας πόρτας, ενός παραθύρου, ενός συρταριού, το δίπλωμα ενός υφάσματος την μετακίνηση ενός αντικειμένου.

2.1.2. Απαιτήσεις λειτουργικότητας

Για την υλοποίηση των παραπάνω επιπέδων λειτουργικότητας απαιτείται η επιτυχής ολοκλήρωση σταδίων που αφορούν:

- ✓ Τη σχεδίαση και κατασκευή του μηχανολογικού μέρους της Ρομποτικής Πρόθεσης,
- ✓ την επιλογή κατάλληλων αισθητήρων και επενεργητών για τον έλεγχο κίνησης της Ρομποτικής Πρόθεσης,
- ✓ τη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων από τα αισθητήρια για την εύρεση αλγορίθμων ελέγχου, και τέλος,
- ✓ την τελική ολοκλήρωση του συστήματος και την πειραματική του μελέτη.

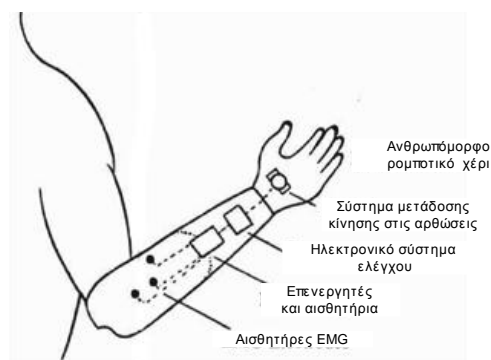
Πριν από τα παραπάνω στάδια, πραγματοποιείται στοχευμένη διερεύνηση της διεθνούς βιβλιογραφίας σε θέματα που άπτονται της μηχανολογικής σχεδίασης ρομποτικών χεριών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως προθέσεις, της χρήσης αισθητήρων αφής και ηλεκτρομυογραφήματος, στα είδη επενεργητών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στους αλγόριθμους λαβής αντικειμένων που χρησιμοποιούνται. Παράλληλα γίνεται διερεύνηση σχετικά με την μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για την σχεδίαση και την κατασκευή της θήκης στήριξης ενός προσθετικού χεριού καθώς επίσης και του τρόπου συγκράτησή του από το κολόβωμα του ατόμου με ακρωτηριασμό. Για το σκοπό αυτό, αναζητήθηκε ενδιαφερόμενο άτομο με ακρωτηριασμό, όπου συνέβαλε στην έρευνα, προκειμένου να σχεδιαστεί και να προσαρμοστεί το προσθετικό μέλος σε αυτό.

Στην παρούσα έρευνα, με βάση τα συμπεράσματα και τις παραπάνω κατευθυντήριες γραμμές, γίνεται η σχεδίαση και κατασκευή του μηχανολογικού μέρους της πρόθεσης επιλέγοντας την μορφή του αντίχειρα, τον αριθμό των

δαχτύλων όπως επίσης και τους ενεργούς και παθητικούς βαθμούς ελευθερίας της Ρομποτικής Πρόθεσης. Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στην σχεδίαση και την τοποθέτηση του αντίχειρα επάνω στην παλάμη, ενώ πρόκληση αποτελεί η επίτευξη του μέγιστου αριθμού κινήσεων και λαβών του προσθετικού μέλους με την χρήση ελάχιστου αριθμού επενεργητών. Κατασκευαστικά κριτήρια όπως το μέγεθος, το βάρος, η ταχύτητα απόκρισης των αρθρώσεων, η ευστάθεια της λαβής, ο τρόπος συντήρησης, ο θόρυβος κατά την λειτουργία και το κόστος κατασκευής, λαμβάνονται υπ' όψιν προκειμένου να εδραιωθούν οι προδιαγραφές του πρωτοτύπου και πιθανών εναλλακτικών λύσεων που προκύπτουν.

Στηριζόμενοι στα προαναφερθέντα κριτήρια, γίνεται επιλογή των επενεργητών βασιζόμενοι στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που έχουν οι διάφοροι τύποι τους, όπως κινητήρες DC, κράματα μνήμης σχήματος SMA ή ο πεπιεσμένος αέρα. Ενδεχομένως, να απαιτείται ένας υβριδικού τύπου τρόπος επενέργησης στις αρθρώσεις των δαχτύλων που να συνδυάζει πλεονεκτήματα από διαφορετικούς τύπους επενεργητών. Στη συνέχεια, διερευνήθηκε και αποφασίστηκε ο τρόπος μετάδοσης της κίνησης από τους επενεργητές στις αρθρώσεις των δαχτύλων με την αξιοποίηση κατάλληλου λογισμικού παραμετρικής μηχανολογικής σχεδίασης Computer Aided Design (C.A.D.).

Παράλληλα, επελέγχθει η τοποθέτηση κατάλληλων αισθητηρίων, αφής και ηλεκτρομυογραφήματος EMG, στο κολόβωμα του εξεταζόμενου ώστε με την βοήθειά τους να γίνει καταγραφή των ηλεκτρικών σημάτων που προκύπτουν από βασικές κινήσεις με σκοπό την κίνηση της Ρομποτικής Πρόθεσης. Αξίζει να αναφερθεί ότι τα ηλεκτρικά σήματα που λαμβάνονται από τα αισθητήρια επηρεάζονται σημαντικά από τον ηλεκτρικό θόρυβο. Αυτό αντιμετωπίζεται με την σχεδίαση κατάλληλων διατάξεων προσαρμογής και απομάκρυνσης του θορύβου ώστε να είναι δυνατή η αξιόπιστη καταγραφή και αποθήκευση των ηλεκτρικών σημάτων από κάρτα συλλογής δεδομένων σε Η/Υ ή κατευθείαν σε μικροελεγκτή.



Εικόνα 2.4.: Σκαρίφημα της προτεινόμενης Ρομποτικής Πρόθεσης

Η καταγραφή των ηλεκτρικών σημάτων αποσκοπεί στην εύρεση συσχετισμών ανάμεσα στις επιθυμητές βασικές κινήσεις του ενδιαφερόμενου χρήστη της Ρομποτικής Πρόθεσης και στα ηλεκτρικά σήματα που καταγράφονται από τα

αισθητήρια. Οι συσχετισμοί αυτοί χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση αλγόριθμου με στόχο τον χειρισμό της Ρομποτικής Πρόθεσης.

Ακολούθως, πραγματοποιείται εκπαίδευση του χρήστη της Ρομποτικής Πρόθεσης ώστε να μπορεί να την χρησιμοποιεί για να εκτελέσει μια σειρά από πειράματα που αντιστοιχούν στα τρία επίπεδα λειτουργικότητας που αναφέρθηκαν παραπάνω.

2.2. Βασικές προδιαγραφές

Το πρώτο στάδιο κατά τη μελέτη της Ρομποτικής Πρόθεσης ήταν η λήψη προδιαγραφών και παραμέτρων αυτής. Όλες οι προδιαγραφές κινούνται με βασικό κριτήριο τη χρήση στην προσθετική. Οπότε αυτές αφορούν τα πεδία του ανθρωπομορφισμού, της επιδεξιότητας και των δυνατοτήτων, των κατασκευαστικών κριτηρίων και των τεχνικών προδιαγραφών. Σύμφωνα με αυτά κινήθηκε όλη η πορεία της μελέτης του σχεδιασμού και της κατασκευής. Παρακάτω αναφέρονται περισσότερες λεπτομέρειες για τις προδιαγραφές αυτές.

2.2.1. Ανθρωπομορφικότητα

Όσων αφορά τη μορφή του, λήφθηκε υπ' όψιν η ανθρωπομορφικότητά του αφού ο σκοπός χρήσης του είναι η προσθετική. Οπότε ως πρώτο κριτήριο σχεδιασμού ήταν η κατασκευή ενός προσθετικού μέλους με πήχη και πέντε δάκτυλα αποτελούμενα από αρθρώσεις, αντίστοιχα χαρακτηριστικά με το ανθρώπινο χέρι. Οι βασικότερες προϋποθέσεις γύρω από την ανθρωπομορφικότητα είναι το μέγεθός του και η μορφή του, η οποία αναλύεται παρακάτω στις αρθρώσεις που σχεδιάστηκαν και η ιδιαίτερη βάση που δόθηκε στον αντίχειρα.

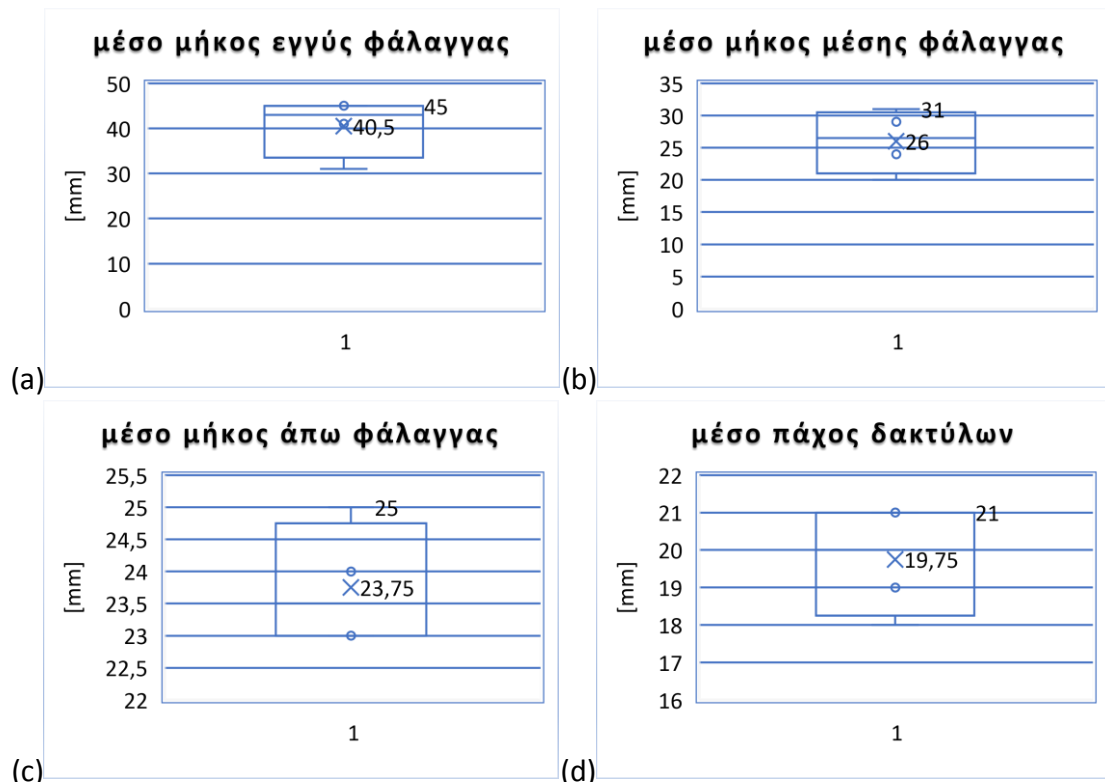
- **Μέγεθος**

Το μέγεθός του αντιστοιχίστηκε με πραγματικά δεδομένα από άτομα τα οποία συμμετείχαν στις μετρήσεις και λήψεις των δεδομένων αυτών. Έτσι, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε άτομα, διαφορετικών ηλικιών και των δύο φύλων, οι οποίες αναφέρονταν στο συνολικό μέγεθος του χεριού, του πήχη, των δακτύλων και κάθε φάλαγγας ξεχωριστά. Από τα δεδομένα αυτά, εξήχθησαν οι μέσοι όροι των μεγεθών όπου αποτέλεσαν τις διαστάσεις όπου στηρίχθηκε ο σχεδιασμός. Ορισμένες αλλαγές πραγματοποιήθηκαν σε σχέση με τα δεδομένα αυτά, για κατασκευαστικούς λόγους και λόγους βελτιστοποίησης της χρήσης του. Στον παρακάτω πίνακα (Πιν.2.1.) και τα γραφήματα (Γραφ.2.1.) παρουσιάζονται τα δεδομένα από τις διαστάσεις των χεριών που μετρήθηκαν.

Πίνακας 2.1.: Μέσοι όροι διαστάσεων δεξιού άνω άκρου από διάφορα άτομα

	καρπικά + μετακάρπια [mm]	Εγγύς [mm]	Ενδιάμεση [mm]	Άπω [mm]	Μέσο Πάχος [mm]
Αντίχειρας	44	40	-	33	23
Δείκτης	85	45	24	24	21
Μέσος	90	45	31	23	21
Παράμεσος	83	41	29	25	19
Μικρός	74	31	20	23	18
	Μέσο Μήκος [mm]	40,4	20,8	25,6	20,4

Στον παραπάνω πίνακα (Πιν.2.1.) αναφέρονται οι μέσοι όροι των διαστάσεων κάθε φάλαγγας ξεχωριστά, μετρούμενα από έναν αριθμό ατόμων. Ο τελικός μέσος όρος των διαστάσεων που προκύπτουν από κάθε φάλαγγα, χρησιμοποιείται στο σχεδιασμό της Ρομποτικής Πρόθεσης.



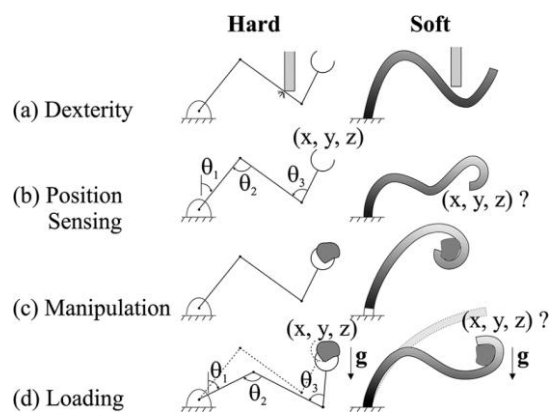
Γραφήματα 2.1.: (α) εγγύς φάλαγγας, (β) μέση φάλαγγα, (γ) άπω φάλαγγα και (δ) πάχος δακτύλων

Τα παραπάνω γραφήματα (Γραφ.2.1.) εμφανίζουν τις μέγιστες τιμές των διαστάσεων που μετρήθηκαν και τη μέση τιμή του μήκους της κάθε φάλαγγας. Σύμφωνα με αυτές σχεδιάστηκαν οι φάλαγγες των δακτύλων της Ρομποτικής Πρόθεσης.

- Άρθρωση

Σε αυτό που δόθηκε η μεγαλύτερη βάση, ήταν ο σχεδιασμός των αρθρώσεων των φαλαγγών των δακτύλων. Ως βασικότερο σημείο της κατασκευής, η κάθε άρθρωση ήταν επιθυμητό να παρέχει την κατάλληλη ευελιξία κατά την τροχιά της κίνησης της. Ακόμη, ο συνδυασμός των κινήσεων μεταξύ των αρθρώσεων επιθυμείται να παρέχει ομαλή προσαρμοστικότητα κατά τη λαβή οποιασδήποτε γεωμετρίας. Τέλος, αρκετά σημαντική είναι η αντοχή των αρθρώσεων, όχι μόνο κατά τις κινήσεις και λάβες αντικειμένων, αλλά και κατά τις απρόβλεπτες και μη ορισμένες κινήσεις. Έτσι, όλα τα παραπάνω λήφθηκαν υπ' όψιν για το σχεδιασμό μιας άρθρωσης όπου να πληρεί όλα αυτά τα στοιχεία.

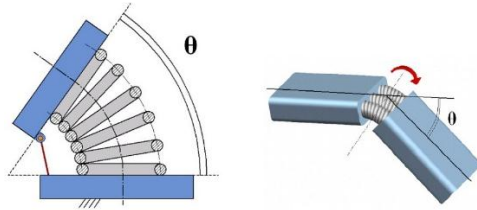
Ως βασικότερη προδιαγραφή είναι η δημιουργία μιας άρθρωσης μεταξύ των φαλαγγών όπου έχει επιπρόσθετα πλεονεκτήματα. Όπως αναφέρεται στην πιο πρόσφατη βιβλιογραφία [26] τα τελευταία χρόνια υπάρχει μία τάση σχεδιασμού αρθρώσεων, οι οποίες να έχουν αυξημένη ευελιξία, προσαρμοστικότητα και αντοχή. Η ιδέα η οποία επικρατεί στηρίζεται στην κατασκευή αρθρώσεων από μαλακά υλικά τα οποία ενεργοποιούνται από τένοντες οδηγούμενους σε αυλούς. Αυτό έχει ως στόχο τη μείωση της πολυπλοκότητας της άρθρωσης και τη μειωμένη χρήση μηχανολογικών εξαρτημάτων, όπως κοχλιών και εδράνων κύλισης.



Εικόνα 2.5.: Σύγκριση σταθερής και μαλακής άρθρωσης

Οι ελαστικές αρθρώσεις παρέχουν πλήρη συμμόρφωση κατά την επαφή σε οποιοδήποτε αντικείμενο, με χαρακτηριστικά τη σταθερότητα και την προσαρμοστικότητα. Τα χαρακτηριστικά αυτά έχουν ευρέως αναγνωριστεί, παρ' όλα αυτά όμως ελάχιστα ρομποτικά χέρια έχουν εφαρμόσει τη μέθοδο αυτή. Όσα έχουν σχεδιαστεί [26], βρίσκονται σε ερευνητικό επίπεδο, με σκοπό τη βελτιστοποίηση αυτής της άρθρωσης.

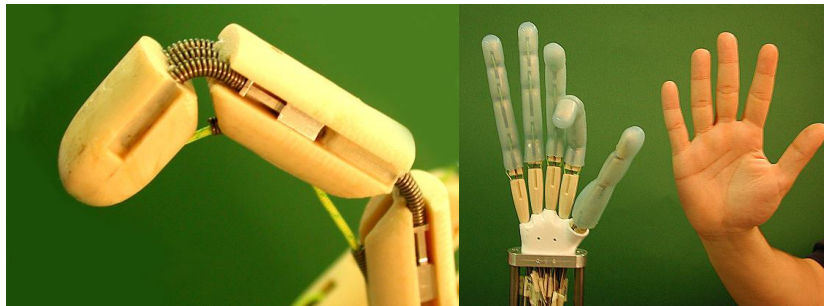
Ένα από τα ρομποτικά χέρια τα οποία κατασκευάστηκαν με μαλακές αρθρώσεις είναι το “University of Bologna Hand 3” [26]. Το “UB Hand 3” χρησιμοποίησε εναλλακτικές λύσεις σχεδιασμού με στόχο την επίτευξη της επιθυμητής συμμόρφωσης κατά τις λάβες αντικειμένων ταυτόχρονα με τη μείωση της μηχανικής πολυπλοκότητας. Η έρευνα αυτή είχε ως στόχο τη διερεύνηση των συμμορφούμενων μηχανισμών μέσα από διάφορες αρχιτεκτονικές δακτύλων όπου είχαν κατασκευαστεί.



Εικόνα 2.6.: Τύπος άρθρωσης “UB Hand 3”

Συμπερασματικά, οι αρθρώσεις αυτές παρέχουν υψηλότερη προσαρμοστικότητα των δακτύλων σε οποιαδήποτε γεωμετρία αντικειμένου κατά τη λαβή αυτού. Επίσης, ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των αρθρώσεων αυτών είναι η υψηλή αντοχή σε καταστάσεις οι οποίες δεν έχουν προβλεφθεί. Οι καταστάσεις αυτές αφορούν κινήσεις των αρθρώσεων οι οποίες δεν περιλαμβάνονται στις ενεργές αλλά υπάρχει η ευελιξία πραγματοποίησης αυτών.

Ο τύπος της ελαστικής άρθρωσης που υλοποιείται στο “University of Bologna Hand 3” είναι με τη χρήση ελικοειδούς ελατηρίου έλξεως [26]. Αντίστοιχη άρθρωση υιοθετήθηκε και στην περίπτωση της παρούσας εργασίας.



Εικόνα 2.7.: Άρθρωση το “University of Bologna Hand 3”

Οι δύο φάλαγγες συνδέονται μεταξύ του καθαρά και μόνο μέσω του ελατηρίου, πακτωμένες στα δύο άκρα του. Η κάμψη της άρθρωσης επιτυγχάνεται με την κάμψη του ελατηρίου έλξεως προς μία κάθετη κατεύθυνση του. Περιορισμένος αριθμός σπειρών αρκεί για την επίτευξη μεγάλων μετατοπίσεων, με πρόσθετη ιδιότητα της άρθρωσης αυτής, λόγω των ελατηρίων, σε αποφυγή μόνιμων παραμορφώσεων σε καταστάσεις κάμψης. Κατά την υλοποίηση αυτής της άρθρωσης υπάρχει η δυνατότητα τοποθέτησης πολλαπλών παράλληλων ελατηρίων για έναν D.o.F.. Σύμφωνα με την αντιστοίχιση του ανθρώπινου χεριού το γωνιακό εύρος της άρθρωσης που μας ενδιαφέρει είναι από 0° - 90° .

Τα ελικοειδή ελατήρια υποβάλλονται σε κάμψη μέσω της δράσης τένοντα. Κάθε τένοντας κάμπει την συνδεδεμένη άρθρωση, ενώ η επιστροφή επιτυγχάνεται μέσω της ελαστικότητας του ελατηρίου. Έτσι, η δυσκαμψία της άρθρωσης εξαρτάται από τη δυσκαμψία των ελατηρίων, οπότε από τη σκληρότητά τους που ορίζεται από το Νόμο του Hooke ως σταθερά ελατηρίου k .

Επιπρόσθετο πλεονέκτημα της άρθρωσης αυτής είναι η επαναφορά στην αρχική της θέση, όταν δεν υπόκειται σε κάμψη χωρίς την κατανάλωση επιπρόσθετης ενέργειας.

Στην έρευνα που αναπτύσσεται στο έγγραφο αυτό, επηρεασμένοι από τις τάσεις αυτές και πεπεισμένοι για μια βέλτιστη άρθρωση, επιδιώχθηκε ο σχεδιασμός μιας άρθρωσης η οποία να μπορεί να επιτυγχάνει κάθε επιθυμητή κίνηση παρέχοντας την απαραίτητη ευελιξία, χωρίς βέβαια να διαγράφει μια απόλυτη τροχιά.

- **Αντίχειρας**

Όσον αφορά τον Αντίχειρα, ως το μεγαλύτερο δάκτυλο του άνω άκρου, έχει τις περισσότερες λειτουργίες. Ο Αντίχειρας είναι το μόνο δάκτυλο το οποίο μπορεί να κινηθεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να έρθει απέναντι από οποιοδήποτε άλλο δάκτυλο της παλάμης, έτσι βοηθά στην υλοποίηση κάθε λαβής. Για το λόγο αυτό επιβάλλεται να παρέχει επιπρόσθετες λειτουργίες.



Εικόνα 2.8.: Αντίχειρας ενός ρομποτικού χεριού

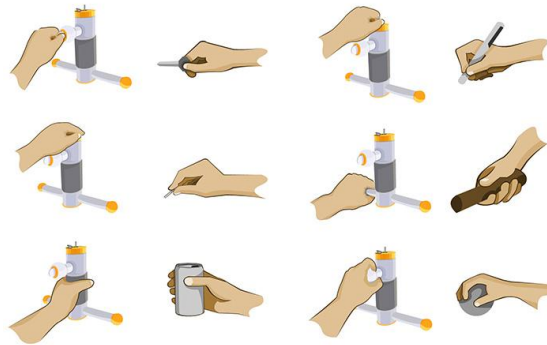
Έτσι, επιδιώχθηκε να σχεδιαστεί ένας πλήρως ανθρωπομορφικός αντίχειρας, οποίος να πληρεί και τις προϋποθέσεις μορφής αλλά και κινήσεων. Κατά το σχεδιασμό δόθηκε βάση σε ένα μηχανισμό αντίχειρα ο οποίος να έχει τους αντίστοιχους βαθμούς ελευθερίας με τον ανθρώπινο.

2.2.2. Επιδεξιότητα και δυνατότητες

Ένας ευρέως αποδεκτός ορισμός της επιδεξιότητας αναφέρει πως, ένας ρομποτικός μηχανισμός έχει την ικανότητα να αλλάξει τη θέση ενός αντικειμένου στο χώρο εργασίας του από μια αρχική σε μια τελική. Σε γενικές γραμμές, με τον όρο αυτό αναφέρεται η ικανότητα του ρομποτικού μηχανισμού, να εκτελεί αυτόνομα εργασίες με ένα ορισμένο επίπεδο πολυπλοκότητας. Μια ευρεία ανασκόπηση των επιστημονικών εργασιών που έχουν αναπτυχθεί σχετικά με την επιδεξιότητα των ρομποτικών χεριών, υπάρχει ένας αρκετά πλήρης και ενημερωμένος κατάλογος αναφορών [15].

Στην παρούσα έρευνα ιδιαίτερη βάση δόθηκε, κατά τη μελέτη, στην επιδεξιότητα της Ρομποτικής Πρόθεσης και στις δυνατότητές της. Επιθυμητό ήταν να έχει όσο γίνεται περισσότερες δυνατότητες κινήσεων και λαβών έτσι ώστε να έχει μία πλήρη λειτουργικότητα (Εικ.2.9.). Λόγω αυτών, επελέχθη το πλήθος των δακτύλων να αντιστοιχίζεται με το πραγματικό άκρο, καθώς και όλα να είναι ενεργά. Στα περισσότερα εμπορικά προσθετικά μέλη, τα τρία δάκτυλα είναι ενεργά (αντίχειρας-

δείκτης-μέσος). Η λειτουργικότητα όλων των δακτύλων βοηθά στη βελτίωση των επιθυμητών λαβών, στην ευελιξία των αντικειμένων λαβής.



Εικόνα 2.9.: Επιδεξιότητα Λαβών

2.2.3. Κατασκευαστικά κριτήρια

Ένα ακόμη βασικό στοιχείο κατά τη σχεδίαση, ήταν η πρόβλεψη των παραμέτρων γύρω από τα κατασκευαστικά κριτήρια, όπως οι τεχνικές προδιαγραφές και τα ηλεκτρονικά μέσα της Ρομποτικής Πρόθεσης. Αυτά συσχετίζονται άμεσα με την ανθρωπομορφικότητα και τις δυνατότητες του μέλους λόγω του σκοπού του.

- **Τεχνικές προδιαγραφές**

Ένα από τα σημαντικότερα κριτήρια είναι το συνολικό βάρος της κατασκευής όπου επιθυμητό είναι το ελάχιστο. Αυτό εξαρτάται άμεσα από τον τρόπο κατασκευής του και τα μηχανολογικά και ηλεκτρονικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται.

Επιθυμητό επίσης είναι η παροχή μιας ισχυρής και ταχύτατης λαβής καθώς και η ανθεκτικότητά σε απρόβλεπτες καταστάσεις. Οι αρθρώσεις που υιοθετήθηκαν παρέχουν το πλεονέκτημα αυτό, της μη καταστροφής του μέλους σε κρούσεις πέραν των προβλεπόμενων.

Μια ισχυρή και ταχύτατη λαβή εξαρτάται ταυτόχρονα και από τους κινητήρες οι οποίοι επιλέχθηκαν για την κάμψη των δακτύλων, είναι γραμμικοί και παρέχουν μειωμένο μέγεθος και βάρος στην κατασκευή. Οι κινητήρες, επίσης, συμβάλουν στην ταχύτητα απόκρισης των δακτύλων.

Στο πεδίο των λαβών προδιαγραφή αποτελεί το πλήθος των αρθρώσεων των δακτύλων, όπου επιθυμητό είναι το αντίστοιχο με το ανθρώπινο άκρο. Αυτό συμβάλει στην επίτευξη μεγαλύτερου εύρους λαβών καθώς και στην μεγαλύτερη ευστάθεια των αντικειμένων λαβής. Επίσης, στην ευστάθεια των αντικειμένων λαβής συμβάλλουν οι ελαστικές απολήξεις που προβλέφθηκαν στα ακροδάκτυλα, όπως και στο εσωτερικό των υπολοίπων φαλαγγών.

Ένα ακόμη σημαντικό στοιχείο της Ρομποτικής Πρόθεσης, λόγω της χρήσης ως προσθετικό μέλος είναι ο τρόπος συντήρησης. Η συντήρηση είναι απαραίτητη σε κάθε κατασκευή οπότε θετικό είναι να πραγματοποιείται εύκολα. Έτσι, το μέλος που κατασκευάστηκε παρέχει μειωμένη πολυπλοκότητα, οπότε και μειωμένο κόστος.

Αξιοσημείωτο επάνω στο σχεδιασμό είναι πως καθ' όλη τη διάρκειά του κριτήριο ήταν ο τρόπος σχεδίασης. Το πρωτότυπο κατασκευάστηκε με τη μέθοδο της Ταχείας Προτυποποίησης (3D Printing). Ο τρόπος όμως ο οποίος έγινε όλος ο σχεδιασμός παρέχει τη δυνατότητα της κατασκευής όλων των τεμαχίων σε Μηχανές Αριθμητικού Ελέγχου (CNC).

Τέλος, το μέγεθος του μέλους μπορεί να αλλάζει ανάμεσα στους χρήστες. Έτσι, ο σχεδιασμός πραγματοποιήθηκε παραμετρικός με αποτέλεσμα να μπορεί να προσαρμοστεί η κατασκευή, σε κάποιο εύρος μεγέθους, αναλόγως με τον χρήστη.

- **Ηλεκτρονικά στοιχεία**

Βάση δόθηκε, επίσης, στα ηλεκτρονικά στοιχεία όπου ήταν απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν, κυρίως παθητικά αλλά και ενεργητικά, τα οποία δίνουν τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης του χρήστη με το περιβάλλον. Κάποια από αυτά βοηθούν στην “επικοινωνία” του χρήστη με το προσθετικό μέλος, στην υλοποίηση των λαβών αλλά και στην υλοποίηση αυτόνομων λαβών χωρίς προκαθορισμένες θέσεις των δακτύλων. Στα ηλεκτρονικά στοιχεία υπάγονται οι επενεργητές, οι αισθητήρες και το είδος τους καθώς και κάποια επιπλέον στοιχεία που βοηθούν στην αλληλεπίδραση του χρήστη με το περιβάλλον. Όλα αυτά βοηθούν στον έλεγχο της Ρομποτικής Πρόθεσης.

Οι επενεργητές που χρησιμοποιούνται παρέχουν το επιπλέον πλεονέκτημα του μειωμένου θορύβου, και αναλόγως με τα χαρακτηριστικά και το πλήθος τους στην κατανάλωση ενέργειας. Στη Ρομποτική Πρόθεση αυτή χρησιμοποιήθηκαν έξι (6) επενεργητές για τον πλήρη έλεγχο του μέλους.

Τέλος, για την αλληλεπίδραση χρήστη-περιβάλλοντος, χρησιμοποιούνται αισθητήρες ρεύματος και πίεσης. Αυτοί συμβάλουν στον έλεγχο των κινητήρων κατά την κίνηση των δακτύλων και την επίτευξη λαβών. Επίσης, χρησιμοποιούνται φωτοδιόδοι LED με σκοπό την οπτική επαφή του χρήστη για τη συμπεριφορά κατά τη χρήση της Ρομποτικής Πρόθεσης.

Κεφάλαιο 3

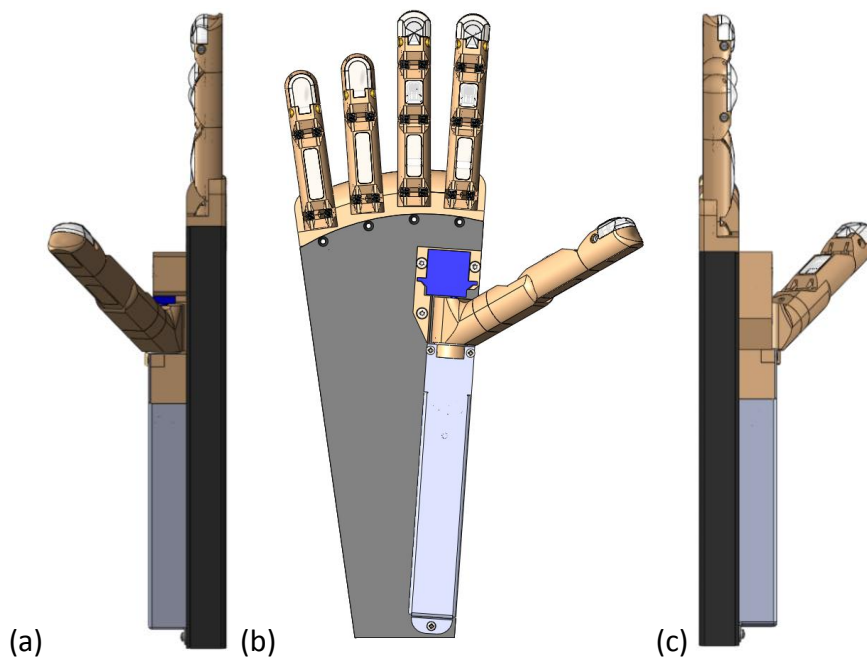
Μηχανολογικό Υποσύστημα

Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το Μηχανολογικό Υποσύστημα της κατασκευής. Αναφέρονται σε κατηγορίες τα μέρη της κατασκευής της Ρομποτικής Πρόθεσης και στη συνέχεια αναλύονται ξεχωριστά. Επίσης, αναλύεται κάθε λεπτομέρεια κατά το σχεδιασμό του εκάστοτε τεμαχίου.

3.1. Η Ρομποτική Πρόθεση

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές που λήφθηκαν υπ' όψιν (Κεφ.2), ο σχεδιασμός της Ρομποτικής Πρόθεσης κινήθηκε με γνώμονα όλα αυτά. Τα βασικότερα κριτήρια στο κομμάτι του σχεδιασμού ήταν τρία (3). Πρώτον, η χρήση του με σκοπό την προσθετική, δεύτερον η ανθρωπομορφικότητα σε εμφάνιση και μέγεθος, και τρίτον η επιδεξιότητά του σε χειρονομίες και λαβές της καθημερινότητας. Το μεγαλύτερο μέρος του πρώτου πρωτοτύπου του Ρομποτικής Πρόθεσης κατασκευάστηκε με τη διαδικασία Ταχείας Προτυποποίησης (3D Printing), για λόγους γρήγορης κατασκευής δοκιμαστικών τεμαχίων. Παρακάτω απεικονίζεται η συνολική κατασκευή σε αριστερή πλάγια όψη (Εικ.3.1.(a)), πρόοψη (Εικ.3.1.(b)) και δεξιά πλάγια όψη (Εικ. 3.1.(c)) (Παράρτ.Β.).



Εικόνα 3.1.: Σχέδιο CAD Ρομποτικής Πρόθεσης

Όλη η κατασκευή μπορεί να ταξινομηθεί σε τέσσερις (4) κατηγορίες ως εξής:

- i. Η πρώτη κατηγορία αφορά τα δάκτυλα. Στη συνέχεια, τα πέντε (5) δάκτυλα όπου σχεδιάστηκαν, μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις (3) υποκατηγορίες, την πρώτη υποκατηγορία όπου αποτελείται από τον **Δείκτη (Index Finger)** και τον **Μέσο (Middle Finger)**, τη δεύτερη υποκατηγορία όπου αποτελείται από τον **Παράμεσο (Ring Finger)** και τον **Μικρό (Little Finger)** και την τρίτη υποκατηγορία όπου αφορά τον **Αντίχειρα (Thumb Finger)**.
- ii. Η δεύτερη κατηγορία αφορά την παλάμη. Η παλάμη αποτελείται από τρία (3) τεμάχια, τη βάση των τεσσάρων (4) δακτύλων (Index-Middle-Ring-Little) και δύο κομμάτια τα οποία σχηματίζουν την υπόλοιπη παλάμη.
- iii. Η Τρίτη κατηγορία αφορά το μηχανισμό κίνησης των τεσσάρων (4) δακτύλων (I-M-R-L).
- iv. Τέλος, η τέταρτη κατηγορία αφορά το μηχανισμό του αντίχειρα.

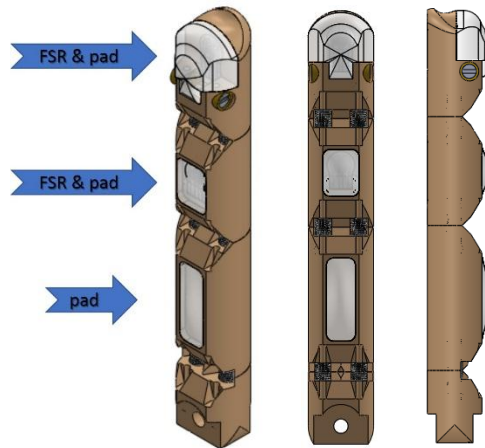
Παρακάτω περιγράφεται κάθε κατηγορία αναλυτικά.

3.2. Σχεδίασης Δακτύλων (Αντίχειρας, Δείκτης, Μέσος, Παράμεσος, Μικρός)

Στην παράγραφο αυτή αναλύεται ο σχεδιασμός των πέντε (5) δακτύλων. Της πρώτης υποκατηγορίας όπου αποτελείται από τον **Δείκτη (Index Finger)** και τον **Μέσο (Middle Finger)** όπου είναι πανομοιότυποι, της δεύτερη υποκατηγορίας όπου αποτελείται από τον **Παράμεσο (Ring Finger)** και τον **Μικρό (Little Finger)** όπου και αυτοί είναι αντίστοιχα πανομοιότυποι και της τρίτης υποκατηγορίας όπου αφορά τον **Αντίχειρα (Thumb Finger)**.

3.2.1. Πρώτη Υποκατηγορία Δακτύλων (Δείκτης - Index Finger, Μέσος - Middle Finger)

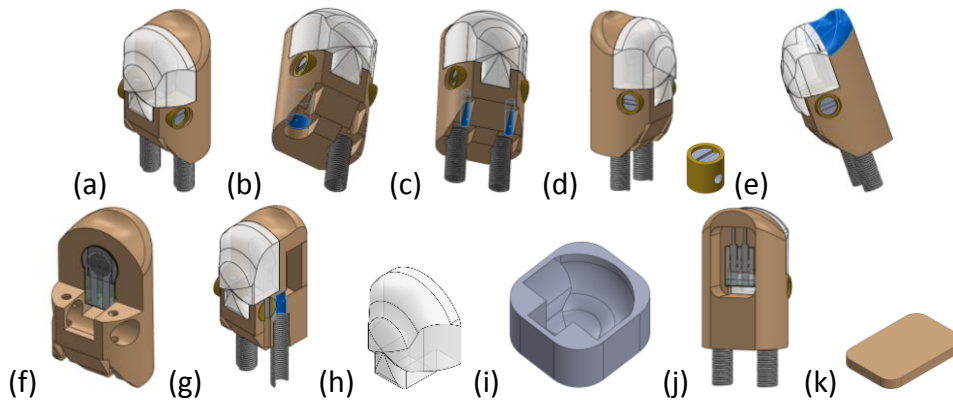
Ο Δείκτης και ο Μέσος, όπου ανήκουν σε αυτή την κατηγορία, αποτελούνται από τρεις φάλαγγες, την άπω, τη μέση και την εγγύς, αντίστοιχα με τον πραγματικό. Η γενική διαμόρφωση των δακτύλων είναι κυλινδρική, ενώ στο εσωτερικό και εξωτερικό μέρος σχεδιάστηκε μία επίπεδη επιφάνεια για κατασκευαστικούς λόγους, λόγους εξυπηρέτησης λαβών και καλαισθησίας. Οι διαστάσεις του καθενός αντιστοιχίζονται με το πραγματικό χέρι, με συνολικό μήκος 100[mm] από την πρώτη άρθρωση και διαμετρικό πάχος 18[mm]. Στον καθένα τοποθετούνται δύο αισθητήρες πίεσης (FSR), στην άπω και στη μέση φάλαγγα, και τρεις υποδοχές αντιολισθητικών, μία σε κάθε φάλαγγα. Η διαφορά των δύο δακτύλων της κατηγορίας αυτής είναι στην εκάστοτε Εγγύς φάλαγγα και τη βάση τους. Στον Δείκτη έχει προβλεφθεί η δυνατότητα απαγωγής ή προσαγωγής του δακτύλου, ενώ ο Μέσος είναι σταθερός ως προς τις κινήσεις αυτές. Περισσότερες λεπτομέρειες για τη βάση των δακτύλων και τα εκάστοτε μέρη της κατηγορίας αυτής περιγράφονται παρακάτω (Εικ.3.2.).



Εικόνα 3.2.: Δάκτυλο Δείκτη και Μέσου

- Άπω Φάλαγγα (Distal Phalanx)

Η άπω φάλαγγα αποτελεί την πιο περίπλοκη γεωμετρία του δακτύλου, όπως περιγράφονται παρακάτω, διότι εξυπηρετεί πολλές λειτουργίες αυτού. Το συνολικό της μήκος είναι 30[mm] (Εικ.3.3.(a)).



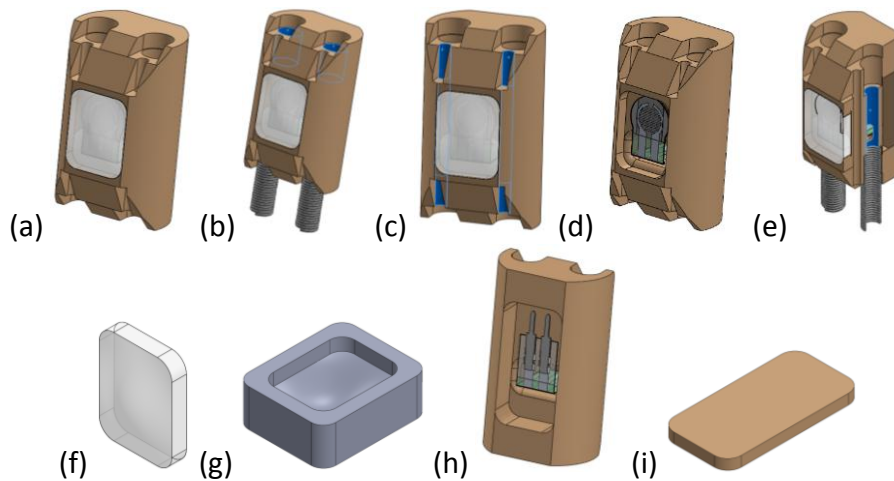
Εικόνα 3.3.: Άπω Φάλαγγα

Στο κάτω μέρος σχεδιάστηκαν εσοχές με σκοπό την τοποθέτηση δύο ελατηρίων για την υλοποίηση της άρθρωσης (Εικ.3.3.(b)). Παράλληλα από τις εσοχές των ελατηρίων της άρθρωσης σχεδιάστηκαν διαμπερείς αυλοί, με σκοπό την ολίσθηση των τενόντων (Εικ.3.3.(c)). Στο μέσο σχεδόν της άρθρωσης σχεδιάστηκαν εσοχές τοποθέτησης των σφικτήρων των τενόντων και τάνυσης αυτών (Εικ.3.3.(d)). Στην άνω άκρη της σχεδιάστηκε μία διαμόρφωση πανομοιότυπη με το ανθρώπινο νύχι, η οποία εξυπηρετεί κάποιες λαβές μικρών αντικειμένων (Εικ.3.3.(e)). Στην εσωτερική πλευρά σχεδιάστηκε μία εσοχή με σκοπό την τοποθέτηση αντιολισθητικού για την εξυπηρέτηση λαβών ή κύλισης, ενώ ενδιάμεσα στη φάλαγγα και το αντιολισθητικό τοποθετείται ένας αισθητήρας πίεσης (Εικ.3.3.(f)). Κατά τη διεύθυνση των ελατηρίων της άρθρωσης, εσωτερικά αυτών, προβλέφθηκε ένας διαμπερής αυλός με σκοπό τη διόδο των καλωδίων των αισθητήρων πίεσης (Εικ.3.3.(g)). Η

σχεδίαση του αντιολισθητικού είναι γεωμετρία αντίστοιχα διαμορφωμένη με την εσοχή που σχεδιάστηκε. Στο αντιολισθητικό σχεδιάστηκε επίσης ένα εξόγκωμα στο εξωτερικό μέρος ως επιφάνεια τριβής (Εικ.3.3.(h)). Τα αντιολισθητικά κατασκευάστηκαν με τη μέθοδο της χύτευσης, οπότε σχεδιάστηκαν αντίστοιχα καλούπια αυτών (Εικ.3.3.(i)). Εγκάρσια της άρθρωσης σχεδιάστηκε διαμπερής εσοχή με τη χρήση ως αυλός καλωδίων του αισθητήρα. Στην εξωτερική πλευρά της φάλαγγας υπάρχει εσοχή όπου καταλήγουν τα καλώδια και οι συνδέσεις του αισθητήρα (Εικ.3.3.(j)). Τέλος, στην εξωτερική πλευρά σχεδιάστηκε ένα κάλυμμα προστασίας των καλωδίων, πάχους 1.5[mm] (Εικ.3.3.(k)).

- **Μέση Φάλαγγα (Intermediate Phalanx)**

Η Μέση φάλαγγα συνδυάζει μια πιο απλή γεωμετρία, σε σχέση με την άπω φάλαγγα, και ταυτόχρονα την υλοποίηση πολλών λειτουργιών. Το συνολικό της μήκος είναι 30[mm] (Εικ.3.4.(a)).



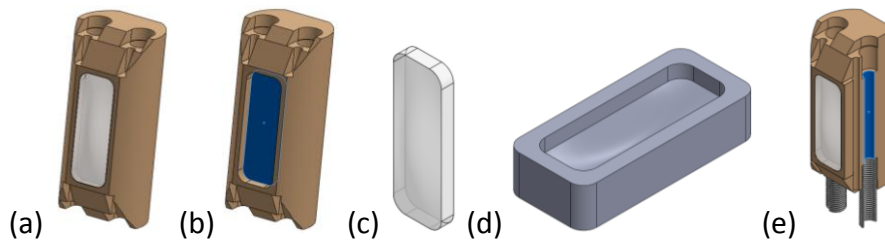
Εικόνα 3.4.: Μέση Φάλαγγα

Οι άκρες της που υλοποιούν την κάθε άρθρωση είναι συμμετρικά πανομοιότυπες, μεταξύ τους και με το κάτω μέρος της άπω φάλαγγας, όπου σχεδιάστηκαν εσοχές με σκοπό την τοποθέτηση δύο ελατηρίων για την υλοποίηση της άρθρωσης (Εικ.3.4.(b)). Παράλληλα από τις εσοχές των ελατηρίων της άρθρωσης σχεδιάστηκαν διαμπερείς αυλοί, με σκοπό την ολίσθηση των τενόντων (Εικ.3.4.(c)). Στην εσωτερική πλευρά σχεδιάστηκε μία εσοχή με σκοπό την τοποθέτηση αντιολισθητικού για την εξυπηρέτηση λαβών (Εικ.3.4.(c)). Ενδιάμεσα στη φάλαγγα και το αντιολισθητικό τοποθετείται ένας αισθητήρας πίεσης (Εικ.3.4.(d)). Κατά τη διεύθυνση των ελατηρίων της άρθρωσης, εσωτερικά αυτών, προβλέφθηκε ένας διαμπερής αυλός με σκοπό τη διόδο των καλωδίων των αισθητήρων πίεσης (Εικ.3.4.(e)). Η σχεδίαση του αντιολισθητικού είναι γεωμετρία αντίστοιχα διαμορφωμένη με την εσοχή που σχεδιάστηκε. Στο αντιολισθητικό σχεδιάστηκε επίσης ένα εξόγκωμα στο εξωτερικό μέρος ως επιφάνεια τριβής (Εικ.3.4.(f)). Τα αντιολισθητικά κατασκευάστηκαν με τη μέθοδο της χύτευσης, οπότε σχεδιάστηκαν αντίστοιχα καλούπια αυτών (Εικ.3.4.(g)). Εγκάρσια της άρθρωσης σχεδιάστηκε διαμπερής εσοχή με τη χρήση ως αυλός καλωδίων του αισθητήρα. Στην εξωτερική πλευρά της φάλαγγας υπάρχει εσοχή όπου καταλήγουν τα καλώδια και οι συνδέσεις

του αισθητήρα (Εικ.3.4.(h)). Τέλος, στην εξωτερική πλευρά σχεδιάστηκε ένα κάλυμμα προστασίας των καλωδίων, πάχους 1.5[mm] (Εικ.3.4.(i)).

- **Εγγύς Φάλαγγα (Proximal Phalanx)**

Η Εγγύς φάλαγγα γεωμετρικά είναι πανομοιότυπη με τη Μέση φάλαγγα. Το συνολικό της μήκος είναι 40[mm]. Η βασική διαφορά τους είναι στο μήκος, καθώς είναι μεγαλύτερη, αντίστοιχα με την Μέση. Επίσης, στη φάλαγγα αυτή δεν χρησιμοποιείται αισθητήρας πίεσης (FSR) (Εικ.3.5.(a)).

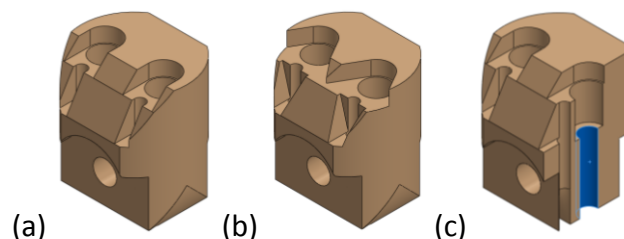


Εικόνα 3.5.: Εγγύς Φάλαγγα

Στη φάλαγγα αυτή δεν τοποθετείται αισθητήρας πίεσης, οπότε στην εσωτερική πλευρά σχεδιάστηκε μία εσοχή με μόνο σκοπό την τοποθέτηση αντιολισθητικού για την εξυπηρέτηση λαβών (Εικ.3.5.(b)). Η σχεδίαση του αντιολισθητικού είναι γεωμετρία αντίστοιχα διαμορφωμένη με την εσοχή που σχεδιάστηκε. Στο αντιολισθητικό σχεδιάστηκε επίσης ένα εξόγκωμα στο εξωτερικό μέρος ως επιφάνεια τριβής (Εικ.3.5.(c)). Τα αντιολισθητικά κατασκευάστηκαν με τη μέθοδο της χύτευσης, οπότε σχεδιάστηκαν αντίστοιχα καλούπια αυτών (Εικ.3.5.(d)). Κατά τη διεύθυνση των ελατηρίων της άρθρωσης, εσωτερικά αυτών, προβλέφθηκε ένας διαμπερής αυλός με σκοπό τη δίοδο των καλωδίων των αισθητήρων πίεσης των υπολοίπων φαλαγγών (Εικ.3.5.(e)).

- **Βάση δακτύλου**

Με σκοπό τη διευκόλυνση της συναρμολόγησης, σχεδιάστηκε μία ξεχωριστή βάση για κάθε δάκτυλο, όπου θα μπορούσε να αντιστοιχισθεί με τη Μετακάρπια Φάλαγγα (Metacarpal Phalanx) (Εικ.3.6.(a),(b)).



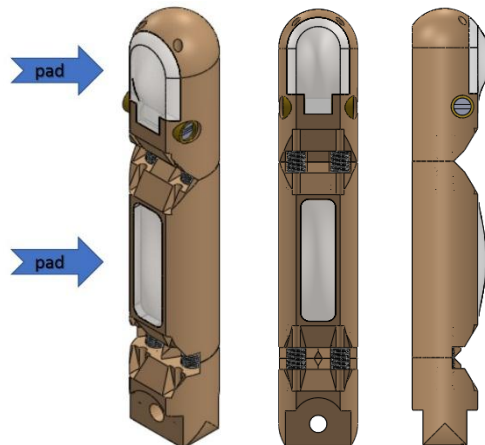
Εικόνα 3.6.: Βάση Δακτύλου

Στο άνω μέρος έχει μία σχεδιάστηκε εσοχές με σκοπό την τοποθέτηση δύο ελατηρίων για την υλοποίηση της άρθρωσης. Κατά τη διεύθυνση των ελατηρίων της άρθρωσης, εσωτερικά αυτών, προβλέφθηκε ένας διαμπερής αυλός με σκοπό τη

δίοδο των καλωδίων των αισθητήρων πίεσης των υπολοίπων φαλαγγών (Εικ.3.6.(c)). Στο κάτω μέρος σχεδιάστηκαν διαμορφώσεις με σκοπό τη συναρμολόγηση.

3.2.2. Δεύτερη Υποκατηγορία Δακτύλων (Παράμεσος - Ring Finger, Μικρός - Little Finger)

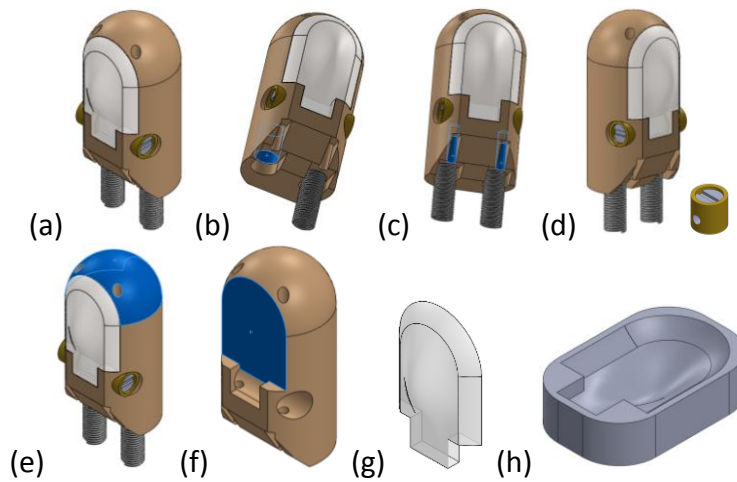
Ο Παράμεσος και ο Μικρός, όπου ανήκουν σε αυτή την κατηγορία, αποτελούνται από δύο φάλαγγες, την άπω και την εγγύς. Επιλέχθηκε να αποτελείται από μόνο δύο φάλαγγες διότι είναι λιγότερος σημαντικός ο ρόλος τους, αφού ενεργούν σε λιγότερες λαβές του χεριού. Η γενική διαμόρφωση των δακτύλων, και αυτής της κατηγορίας είναι κυλινδρική, ενώ στο εσωτερικό και εξωτερικό μέρος σχεδιάστηκε μία επίπεδη επιφάνεια για κατασκευαστικούς λόγους, λόγους εξυπηρέτησης λαβών και καλαισθησίας. Οι συνολικές διαστάσεις του καθενός αντιστοιχίζονται με το πραγματικό χέρι, με συνολικό μήκος 82[mm] από την πρώτη άρθρωση και διαμετρικό πάχος 18[mm]. Στον καθένα σχεδιάστηκαν δύο υποδοχές αντιολισθητικών, μία σε κάθε φάλαγγα. Στα δάκτυλα της κατηγορίας αυτής έχει προβλεφθεί η δυνατότητα απαγωγής ή προσαγωγής, αντίστοιχα με τον Δείκτη της πρώτης κατηγορίας δακτύλων. Παρακάτω περιγράφονται τα εκάστοτε μέρη που αποτελείται το καθενός (Εικ.3.7.).



Εικόνα 3.7.: Δάκτυλο Παράμεσου και Μικρού

- **Άπω Φάλαγγα (Distal Phalanx)**

Η άπω φάλαγγα της κατηγορίας αυτής έχει συνολικό μήκος 37[mm]. Είναι μεγαλύτερη στο μήκος, καθώς επιλέχθηκε να σχεδιαστεί η δεύτερη κατηγορία δακτύλων με δύο μόνο φάλαγγες (Εικ.3.8.(α)).

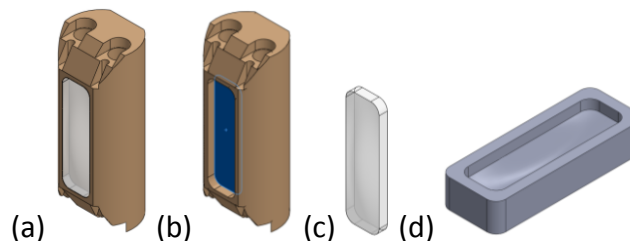


Εικόνα 3.8.: Άπω Φάλαγγα

Στο κάτω μέρος σχεδιάστηκαν εσοχές με σκοπό την τοποθέτηση δύο ελατηρίων για την υλοποίηση της άρθρωσης (Εικ.3.5.(b)). Παράλληλα από τις εσοχές των ελατηρίων της άρθρωσης σχεδιάστηκαν διαμπερείς αυλοί, με σκοπό την ολίσθηση των τενόντων (Εικ.3.5.(c)). Στο μέσο σχεδόν της άρθρωσης σχεδιάστηκαν εσοχές τοποθέτησης των σφικτήρων των τενόντων και τάνυσης αυτών (Εικ.3.5.(d)). Η άνω άκρη της σχεδιάστηκε ως μία ημισφαιρική διαμόρφωση (Εικ.3.5.(e)). Στην εσωτερική πλευρά της σχεδιάστηκε μία εσοχή με σκοπό την τοποθέτηση αντιολισθητικού για την εξυπηρέτηση λαβών (Εικ.3.5.(f)). Η σχεδίαση του αντιολισθητικού είναι γεωμετρία αντίστοιχα διαμορφωμένη με την εσοχή που σχεδιάστηκε. Στο αντιολισθητικό σχεδιάστηκε επίσης ένα εξόγκωμα στο εξωτερικό μέρος ως επιφάνεια τριβής (Εικ.3.5.(g)). Τα αντιολισθητικά κατασκευάστηκαν με τη μέθοδο της χύτευσης, οπότε σχεδιάστηκαν αντίστοιχα καλούπια αυτών (Εικ.3.5.(h)).

• Εγγύς Φάλαγγα (Proximal Phalanx)

Η Εγγύς φάλαγγα είναι μια πιο απλή γεωμετρία, αντίστοιχη με την Εγγύς φάλαγγα της πρώτης κατηγορίας δακτύλων. Η διαφορά τους είναι στο μήκος, καθώς είναι μεγαλύτερη αφού επιλέχθηκε να σχεδιαστεί η δεύτερη κατηγορία δακτύλων με δύο μόνο φάλαγγες. Το συνολικό της μήκος είναι 45[mm] (Εικ.3.9.(a)).



Εικόνα 3.9.: Εγγύς Φάλαγγα

Στην εσωτερική πλευρά της σχεδιάστηκε μία εσοχή με σκοπό την τοποθέτηση αντιολισθητικού για την εξυπηρέτηση λαβών (Εικ.3.9.(b)). Η σχεδίαση του αντιολισθητικού είναι γεωμετρία αντίστοιχα διαμορφωμένη με την εσοχή που σχεδιάστηκε. Στο αντιολισθητικό σχεδιάστηκε επίσης ένα εξόγκωμα στο εξωτερικό

μέρος ως επιφάνεια τριβής (Εικ.3.9.(c)). Τα αντιολισθητικά κατασκευάστηκαν με τη μέθοδο της χύτευσης, οπότε σχεδιάστηκαν αντίστοιχα καλούπια αυτών (Εικ.3.9.(d)).

- **Βάση δακτύλου**

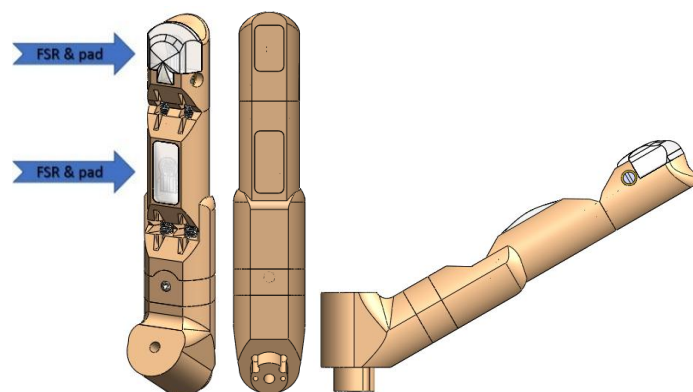
Αντίστοιχα με την πρώτη κατηγορία δακτύλων, σχεδιάστηκε πανομοιότυπη βάση δακτύλων, όπου βοηθά στη συναρμολόγηση και αντιστοιχίζεται με τη Μετακάρπια Φάλαγγα (Metacarpal Phalanx) (Εικ.3.10.).



Εικόνα 3.10.: Βάση Δακτύλου

3.2.3. Σχεδίαση Αντίχειρα (Thumb Finger)

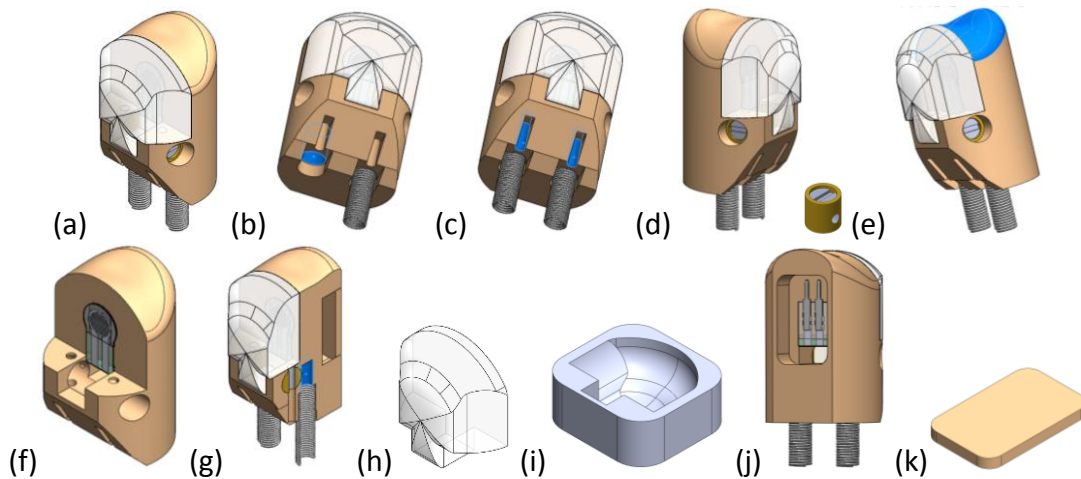
Ο Αντίχειρας, αποτελείται από τρεις φάλαγγες, την άπω, την εγγύς και τη μετακάρπια, αντίστοιχα με τον πραγματικό. Η γενική διαμόρφωσή του είναι κυλινδρική, ενώ στο εσωτερικό και εξωτερικό μέρος σχεδιάστηκε μία επίπεδη διαμόρφωση για κατασκευαστικούς λόγους, λόγους εξυπηρέτησης λαβών και καλαισθησίας. Οι διαστάσεις του αντιστοιχίζοντας με το πραγματικό χέρι, επιλέχθηκαν σε μεγαλύτερη κλίμακα λόγω του ότι βοηθά σε όλες τις λαβές οπότε είναι χρήσιμη η μεγαλύτερη αντοχή του. Έτσι, σχεδιάστηκε με συνολικό μήκος 78[mm] από την πρώτη άρθρωση και διαμετρικό πάχος 22[mm]. Στον αντίχειρα τοποθετούνται δύο αισθητήρες πίεσης (FSR), στην άπω και στην εγγύς φάλαγγα, και δύο υποδοχές αντιολισθητικών, μία στην άπω και μία στην εγγύς φάλαγγα. Για κατασκευαστικούς λόγους χρησιμοποιείται και ένα επιπλέον τεμάχιο, αντίστοιχο με τη βάση των δακτύλων της πρώτης και της δεύτερης κατηγορίας δακτύλων, με σκοπό τη σύνδεση της εγγύς φάλαγγας με τη μετακάρπια. Παρακάτω περιγράφονται τα εκάστοτε μέρη που αποτελείται (Εικ.3.11.).



Εικόνα 3.11.: Δάκτυλο Αντίχειρα

- Άπω Φάλαγγα (Distal Phalanx)

Η Άπω φάλαγγα του Αντίχειρα έχει συνολικό μήκος 33[mm]. Σε όλα τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά της είναι όμοια με την Άπω φάλαγγα της πρώτης κατηγορίας δακτύλων (Εικ.3.12.(a)).

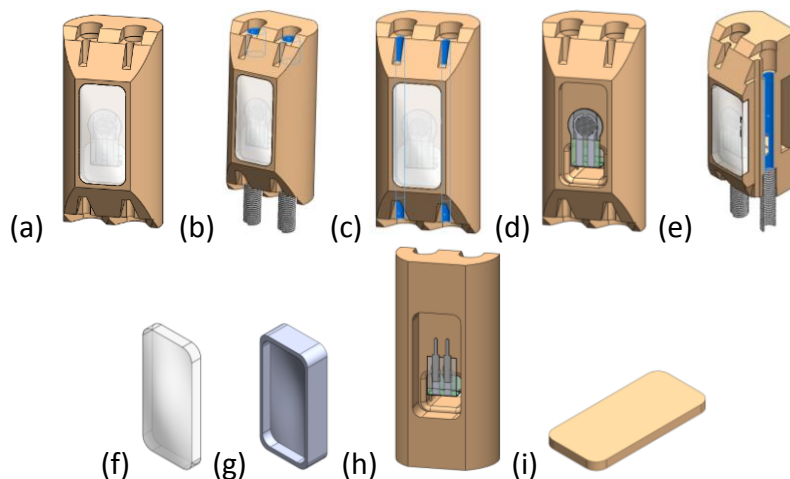


Εικόνα 3.12.: Άπω Φάλαγγα

Στο κάτω μέρος σχεδιάστηκαν εσοχές με σκοπό την τοποθέτηση δύο ελατηρίων για την υλοποίηση της άρθρωσης (Εικ.3.12.(b)). Παράλληλα από τις εσοχές των ελατηρίων της άρθρωσης σχεδιάστηκαν διαμπερείς αυλοί, με σκοπό την ολίσθηση των τενόντων (Εικ.3.12.(c)). Στο μέσο σχεδόν της άρθρωσης σχεδιάστηκαν εσοχές τοποθέτησης των σφικτήρων των τενόντων και τάνυσης αυτών (Εικ.3.12.(d)). Στην άνω άκρη της σχεδιάστηκε μία διαμόρφωση πανομοιότυπη με το ανθρώπινο νύχι, η οποία εξυπηρετεί κάποιες λαβές μικρών αντικειμένων (Εικ.3.12.(e)). Στην εσωτερική πλευρά σχεδιάστηκε μία εσοχή με σκοπό την τοποθέτηση αντιολισθητικού για την εξυπηρέτηση λαβών ή κύλισης, ενώ ενδιάμεσα στη φάλαγγα και το αντιολισθητικό τοποθετείται ένας αισθητήρας πίεσης (Εικ.3.12.(f)). Κατά τη διεύθυνση των ελατηρίων της άρθρωσης, εσωτερικά αυτών, προβλέφθηκε ένας διαμπερής αυλός με σκοπό τη δίοδο των καλωδίων των αισθητήρων πίεσης (Εικ.3.12.(g)). Η σχεδίαση του αντιολισθητικού είναι γεωμετρία αντίστοιχα διαμορφωμένη με την εσοχή που σχεδιάστηκε. Στο αντιολισθητικό σχεδιάστηκε επίσης ένα εξόγκωμα στο εξωτερικό μέρος ως επιφάνεια τριβής (Εικ.3.12.(h)). Τα αντιολισθητικά κατασκευάστηκαν με τη μέθοδο της χύτευσης, οπότε σχεδιάστηκαν αντίστοιχα καλούπια αυτών (Εικ.3.12.(i)). Εγκάρσια της άρθρωσης σχεδιάστηκε διαμπερής εσοχή με τη χρήση ως αυλός καλωδίων του αισθητήρα. Στην εξωτερική πλευρά της φάλαγγας υπάρχει εσοχή όπου καταλήγουν τα καλώδια και οι συνδέσεις του αισθητήρα (Εικ.3.12.(j)). Τέλος, στην εξωτερική πλευρά σχεδιάστηκε ένα κάλυμμα προστασίας των καλωδίων, πάχους 1.5[mm] (Εικ.3.12.(k)).

- **Εγγύς Φάλαγγα (Proximal Phalanx)**

Η Εγγύς φάλαγγα του Αντίχειρα έχει συνολικό μήκος 45[mm]. Σε όλα τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά της είναι όμοια με την Μέση φάλαγγα της πρώτης κατηγορίας δακτύλων (Εικ.3.13.(a)).

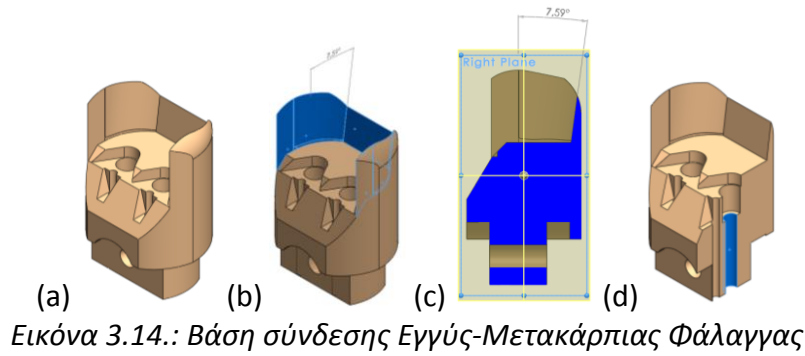


Εικόνα 3.13.: Εγγύς Φάλαγγα

Οι άκρες της που υλοποιούν την κάθε άρθρωση είναι συμμετρικά πανομοιότυπες, μεταξύ τους και με το κάτω μέρος της άπω φάλαγγας, όπου σχεδιάστηκαν εσοχές με σκοπό την τοποθέτηση δύο ελατηρίων για την υλοποίηση της άρθρωσης (Εικ.3.13.(b)). Παράλληλα από τις εσοχές των ελατηρίων της άρθρωσης σχεδιάστηκαν διαμπερείς αυλοί, με σκοπό την ολίσθηση των τενόντων (Εικ.3.13.(c)). Στην εσωτερική πλευρά σχεδιάστηκε μία εσοχή με σκοπό την τοποθέτηση αντιολισθητικού για την εξυπηρέτηση λαβών (Εικ.3.13.(c)). Ενδιάμεσα στη φάλαγγα και το αντιολισθητικό τοποθετείται ένας αισθητήρας πίεσης (Εικ.3.13.(d)). Κατά τη διεύθυνση των ελατηρίων της άρθρωσης, εσωτερικά αυτών, προβλέφθηκε ένας διαμπερής αυλός με σκοπό τη δίοδο των καλωδίων των αισθητήρων πίεσης (Εικ.3.13.(e)). Η σχεδίαση του αντιολισθητικού είναι γεωμετρία αντίστοιχα διαμορφωμένη με την εσοχή που σχεδιάστηκε. Στο αντιολισθητικό σχεδιάστηκε επίσης ένα εξόγκωμα στο εξωτερικό μέρος ως επιφάνεια τριβής (Εικ.3.13.(f)). Τα αντιολισθητικά κατασκευάστηκαν με τη μέθοδο της χύτευσης, οπότε σχεδιάστηκαν αντίστοιχα καλούπια αυτών (Εικ.3.13.(g)). Εγκάρσια της άρθρωσης σχεδιάστηκε διαμπερής εσοχή με τη χρήση ως αυλός καλωδίων του αισθητήρα. Στην εξωτερική πλευρά της φάλαγγας υπάρχει εσοχή όπου καταλήγουν τα καλώδια και οι συνδέσεις του αισθητήρα (Εικ.3.13.(h)). Τέλος, στην εξωτερική πλευρά σχεδιάστηκε ένα κάλυμμα προστασίας των καλωδίων, πάχους 1.5[mm] (Εικ.3.13.(i)).

- **Βάση σύνδεσης Εγγύς - Μετακάρπιας Φάλαγγας**

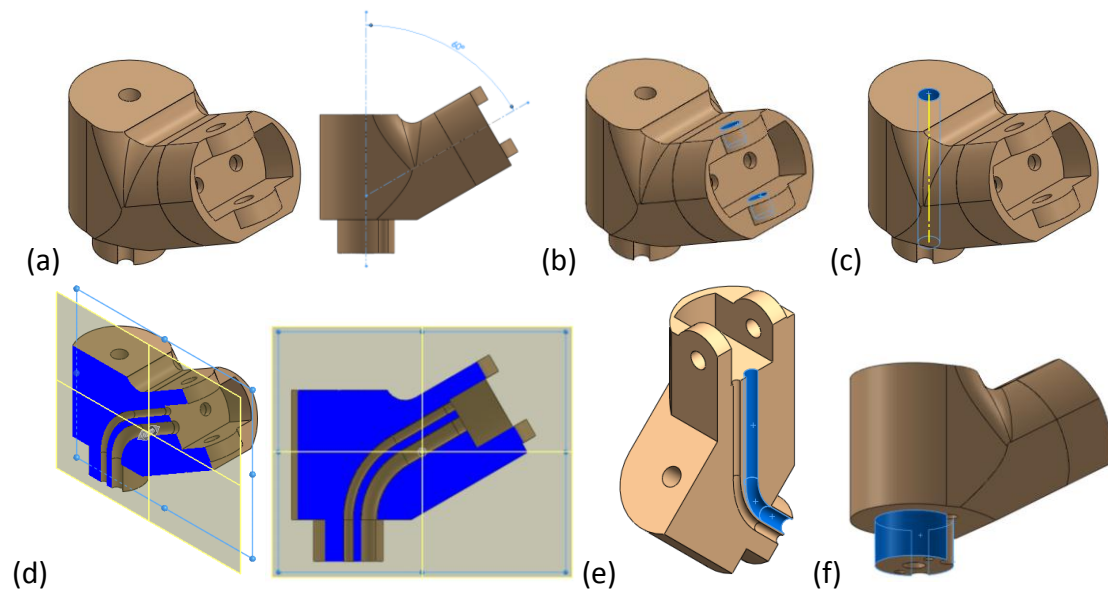
Αντίστοιχα με την πρώτη και τη δεύτερη κατηγορία δακτύλων, σχεδιάστηκε πανομοιότυπη βάση δακτύλων, όπου βοηθά στη συναρμολόγηση την Εγγύς με τη Μετακάρπιας Φάλαγγας (Εικ.3.14.(a)).



Περιμετρικά της περιοχής της άρθρωσης σχεδιάστηκε τοίχωμα με σκοπό τη συγκράτηση διαταραχών της άρθρωσης στις κατευθύνσεις της απαγωγής ή προσαγωγής (Εικ.3.14.(b)). Τέλος, στην πίσω πλευρά του τοιχώματος αυτού, παραχωρήθηκε σχεδιαστικά το περιθώριο κλίσης της Εγγύς Φάλαγγας προς την εξωτερική πλευρά του δακτύλου (Εικ.3.14.(c)). Αυτό επιτρέπει την αποφυγή καταστροφής του δακτύλου σε απρόβλεπτες καταστάσεις. Κατά τη διεύθυνση των ελατηρίων της άρθρωσης, εσωτερικά αυτών, προβλέφθηκε ένας διαμπερής αυλός με σκοπό τη δίοδο των καλωδίων των αισθητήρων πίεσης των φαλαγγών (Εικ.3.14.(d)).

- **Μετακάρπια Φάλαγγα (Metacarpal Phalanx)**

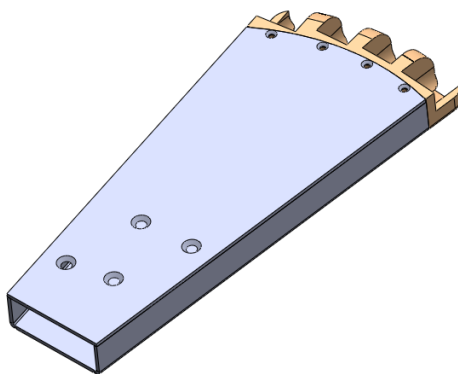
Η Μετακάρπια φάλαγγα του αντίχειρα αποτελεί μια πολύπλοκη γεωμετρία για το λόγο ότι συμβάλλει στην υλοποίηση πολλών λειτουργιών. Η γωνία απαγωγής-προσαγωγής του αντίχειρα σχεδιάστηκε σταθερή, ύστερα από πειραματισμούς, στις 60° για λόγους εξυπηρέτησης περισσότερων λαβών (Εικ.3.15.(a)).



Η γεωμετρία της φάλαγγας αυτής περιλαμβάνει τη σύνδεση με τη βάση του Αντίχειρα μέσω ενός κοχλίου (Εικ.3.15.(b)). Στη διαμπερή οπή όπου σχεδιάστηκε υλοποιεί την **Άρθρωση της Αντίθεσης** του Αντίχειρα, μέσω ενός dc-servo 0° - 180° (Εικ.3.15.(c)). Σε τομή εμφανίζονται οι αυλοί όπου σχεδιάστηκαν με σκοπό τη δίοδο των τενόντων υλοποίησης της κάμψης του αντίχειρα, καθώς επίσης και τη δίοδο των καλωδίων των αισθητήρων πίεσης (Εικ.3.15.(d),(e)). Τέλος, στο κάτω μέρος της άρθρωσης σχεδιάστηκε κυλινδρική διαμόρφωση με σκοπό τη σύνδεση με έδρανο κύλισης για την υλοποίηση **της κίνησης της άρθρωσης της αντίθεσης** (Εικ.3.15.(f)). Ο ολοκληρωμένος μηχανισμός περιγράφεται και απεικονίζεται σε επόμενη ενότητα.

3.3. Σχεδίασης Παλάμης

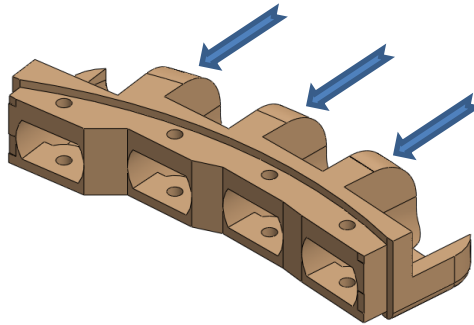
Στην παράγραφο αυτή αναλύεται ο σχεδιασμός της παλάμης. Η παλάμη αποτελείται από τρία (3) τεμάχια, τη βάση των τεσσάρων (4) δακτύλων (Index-Middle-Ring-Little) και δύο κομμάτια τα οποία σχηματίζουν την υπόλοιπη παλάμη (Εικ.3.16.).



Εικόνα 3.16.: Σχέδιο CAD Παλάμης

3.3.1. Σχεδίαση Βάσης των Τεσσάρων Δακτύλων (I, M, R, L)

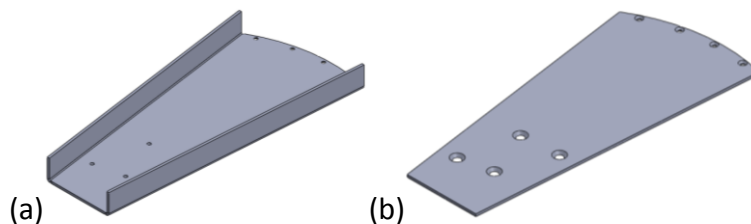
Η παρακάτω εικονιζόμενη βάση σχεδιάστηκε με σκοπό τη στήριξη των τεσσάρων δακτύλων, Δείκτη-Μέσου-Παράμεσου-Μικρού. Οι θέσεις των δακτύλων αντιστοιχίζονται με τις θέσεις στο ανθρώπινο χέρι. Κάθε δάκτυλο στηρίζεται σε αυτή μέσω της βάσης του εκάστοτε δακτύλου όπου περιεγράφηκαν παραπάνω. Ενδιάμεσα στα δάκτυλα σχεδιάστηκε μία διαμόρφωση για την καλύτερη στήριξη των δακτύλων στη θέση ισορροπίας, όπως απεικονίζεται με τα βέλη παρακάτω (Εικ.3.17.). Τέλος, στη βάση αυτή στηρίζεται η υπόλοιπη παλάμη με τους κινητήρες και το μηχανισμό κίνησης.



Εικόνα 3.167.: Βάση τεσσάρων (4) Δακτύλων

3.3.2. Σχεδίαση τεμαχίων Παλάμης

Η παλάμη ως το εσωτερικό τμήμα του ανθρώπινου άνω άκρου, περιλαμβάνει το τμήμα από την άρθρωση του καρπού μέχρι την Μετακαρποφαλάγγια (Metacarpophalangeal - MCP) άρθρωση των δακτύλων. Σκοπός της είναι να βοηθά τις λαβές αντικειμένων με τέτοιο τρόπο ώστε να περιβάλλει κάθε αντικείμενο στο εσωτερικό της, με την επιπρόσθετη βοήθεια των δακτύλων. Κατά το σχεδιασμό προτιμήθηκε η υλοποίηση μιας παλάμης απλού γεωμετρικού σχήματος, η οποία περιβάλλει όλο το μηχανολογικό εξοπλισμό (Εικ.3.18.). Στη συνέχεια, σκοπό έχει η τοποθέτηση ενός εξωτερικού περιβλήματος ως γάντι με σκοπό την καλαισθησία.

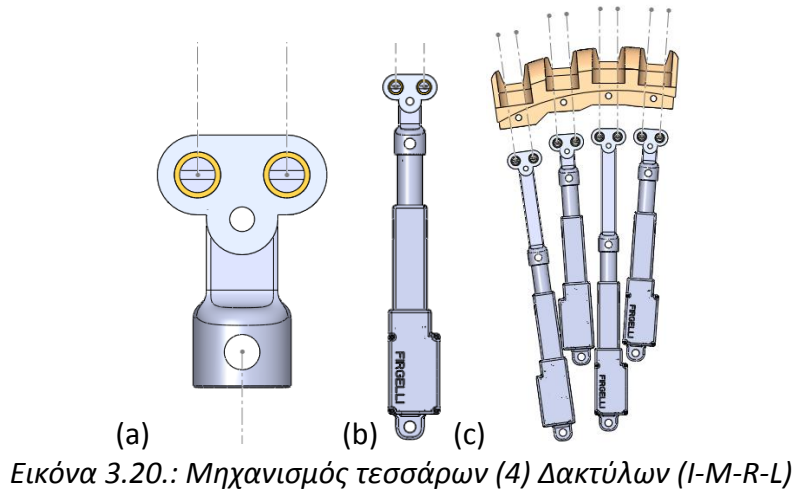
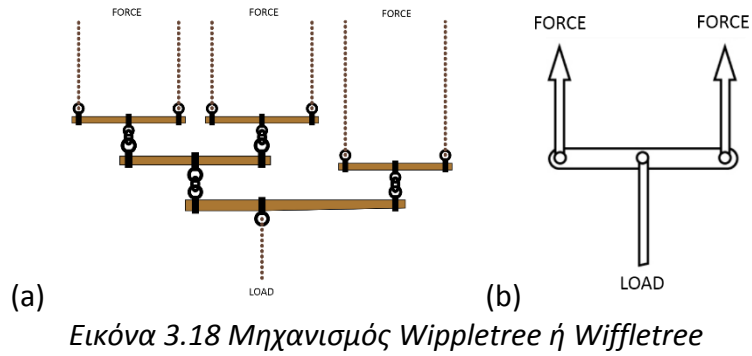


Εικόνα 3.17 Τεμάχια Παλάμης

Η παλάμη αποτελείται από δύο κομμάτια, το εξωτερικό μέρος της παλάμης (Εικ.3.18.(a)) και το εσωτερικό (Εικ.3.18.(b)), όπου συνδέονται με τη βάση των δακτύλων. Τα δύο αυτά κομμάτια είναι κατασκευασμένα από μεταλλικό φύλλο πάχους 1[mm] με τη βοήθεια μηχανήματος διαμόρφωσης ελασμάτων.

3.4. Σχεδίαση Μηχανισμού Κίνησης των τεσσάρων (4) Δακτύλων (I-M-R-L).

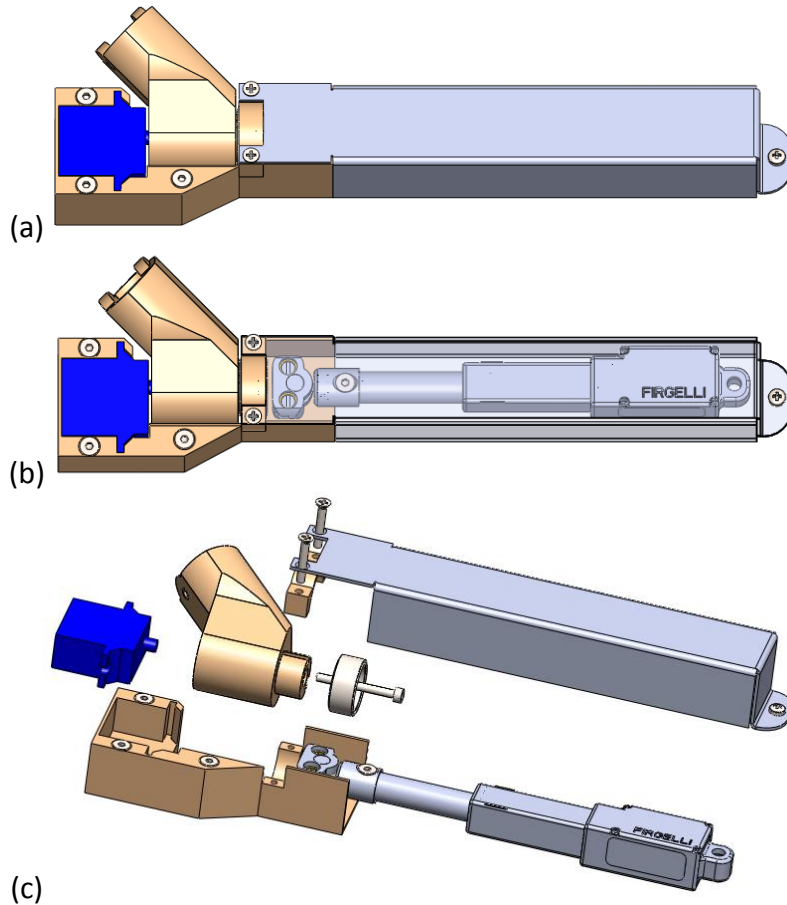
Ο μηχανισμός κίνησης των δακτύλων στηρίχθηκε στο μηχανισμό **Whippletree** ή **Whiffletree** (Εικ.3.19.(a)), [27]. Όμως, λόγω της απόφασης της χρήσης του ενός κινητήρα σε κάθε δάκτυλο ξεχωριστά, ο μηχανισμός απλοποιήθηκε αρκετά. Για το τελικό πρωτότυπο, σχεδιάστηκε ο αντίστοιχος αλλά απλούστερος μηχανισμός με ένα σημείο άσκησης δύναμης (LOAD) και μία οριζόντια μπάρα όπου ασκεί δύναμη σε δύο σημεία (FORCE) (Εικ.3.19.(b)). Ο μηχανισμός που σχεδιάστηκε απεικονίζεται παρακάτω (Εικ.3.20.).



Στην παραπάνω εικόνα (Εικ.3.20.) απεικονίζεται ο μηχανισμός που σχεδιάστηκε για την κάμψη των τεσσάρων δακτύλων (I-M-R-L). Απεικονίζεται σκέτος ο αντίστοιχος μηχανισμός Whippletree ή Whiffletree που σχεδιάστηκε (Εικ.3.20.(a)), συναρμολογημένος σε έναν γραμμικό επενεργητή (Εικ.3.20.(b)) και συνολικά και με τους τέσσερις γραμμικούς επενεργητές εσωτερικά της παλάμης (Εικ.3.20.(c)).

3.5. Σχεδίαση Μηχανισμού Αντίχειρα

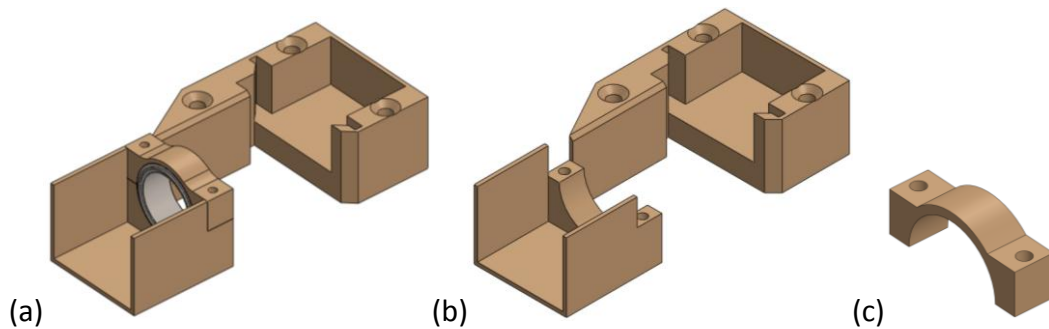
Για την προσαρμογή του Αντίχειρα σχεδιάστηκε ένας μηχανισμός ο οποίος δίνει τη δυνατότητα της ταυτόχρονης κίνησής του κατά την κάμψη και κατά την αντίθεσή του (Εικ.3.21.(a),(b)). Ολόκληρος ο μηχανισμός στηρίζεται στο εσωτερικό μέρος της παλάμης. Τα μέρη του μηχανισμού που απεικονίζονται στο ανάπτυγμα (Εικ.3.21.(c)), αναλύονται στις παρακάτω υποενότητες.



Εικόνα 3.21.: Μηχανισμός Αντίχειρα

3.5.1. Βάση Μηχανισμού Αντίχειρα

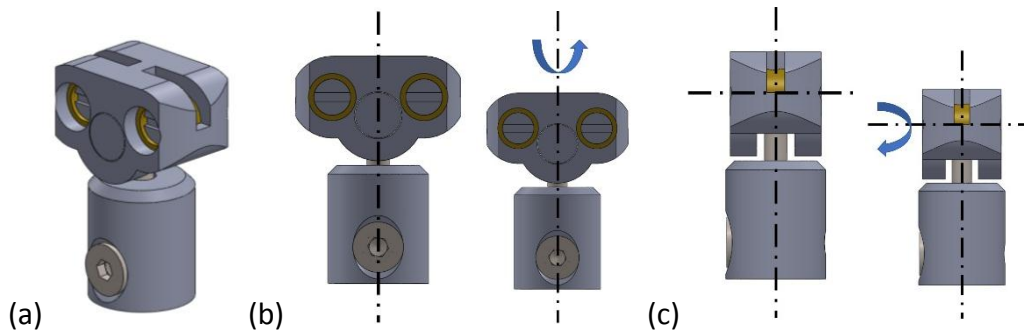
Το σύνολο του μηχανισμού φιλοξενείται σε μία βάση όπου βοηθά στην πραγματοποίηση όλων των κινήσεων του Αντίχειρα (Εικ.3.22.(a)). Σε αυτή περιλαμβάνεται η Μετακάρπια Φάλαγγα του Αντίχειρα στηριζόμενη σε ένα αξονικό έδρανο κύλισης, το οποίο πακτώνεται μέσω ενός καβαλέτου (Εικ.3.22.(b),(c)). Στη βάση αυτή επίσης, στηρίζεται ένας micro-servo DC motor ο οποίος υλοποιεί την περιστροφική κίνηση του Αντίχειρα κατά 0° - 90° , όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα.



Εικόνα 3.22.: Βάση Μηχανισμού Αντίχειρα

3.5.2. Άρθρωση Γραμμικού Επενεργητή Αντίχειρα

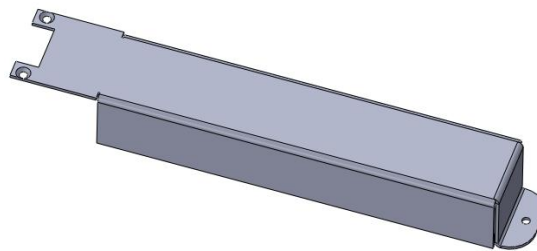
Προς τη σύνδεση του γραμμικού επενεργητή και των τενόντων του Αντίχειρα, σχεδιάστηκε μία άρθρωση η οποία έχει τη δυνατότητα της προσαρμογής της σε οποιαδήποτε κίνηση του αντίχειρα (κάμψη, απαγωγή-προσαγωγή, αντίθεση) (Εικ.3.23.(a)). Η άρθρωση αυτή, συνδέοντας στον γραμμικό επενεργητή, έλκει τους δύο τενόντες ώστε να υλοποιήσει την κάμψη του αντίχειρα. Παράλληλα, κατά την αντίθεση του Αντίχειρα στα υπόλοιπα δάκτυλα η άρθρωση αυτή δίνει τη δυνατότητα της ελεύθερης κίνησής του ως προς τον κάθετο άξονα που απεικονίζεται παρακάτω (Εικ.3.23.(b)). Τέλος, η ελεύθερη περιστροφή της άρθρωσης ως προς τον οριζόντιο άξονα, όπως απεικονίζεται, επιτρέπει την τάνυση των τενόντων στην περίπτωση κατά την κίνηση της απαγωγής-προσαγωγής του Αντίχειρα (Εικ.3.23.(b)).



Εικόνα 3.19 Άρθρωση Μηχανισμού Αντίχειρα

3.5.3. Κάλυμμα μηχανισμού

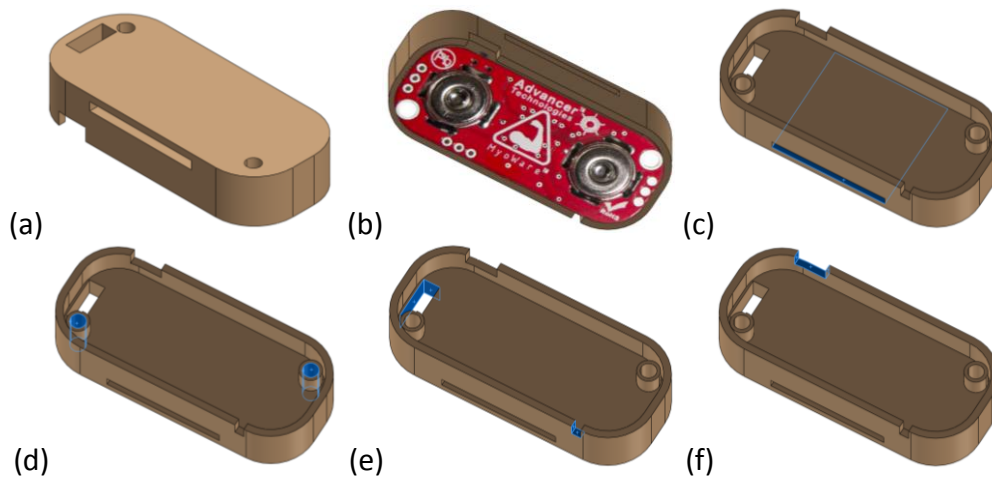
Τέλος, κατασκευάστηκε ένα κάλυμμα το οποίο περιβάλλει τον γραμμικό επενεργητή και την άρθρωσή του (Εικ.3.24.). Αυτό στηρίζεται στη βάση του μηχανισμού και στο εσωτερικό μέρος της παλάμης. Το κομμάτι αυτό είναι κατασκευασμένο από μεταλλικό φύλλο πάχους 1[mm] με τη βοήθεια μηχανήματος διαμόρφωσης ελασμάτων.



Εικόνα 3.20 Κάλυμμα μηχανισμού Αντίχειρα

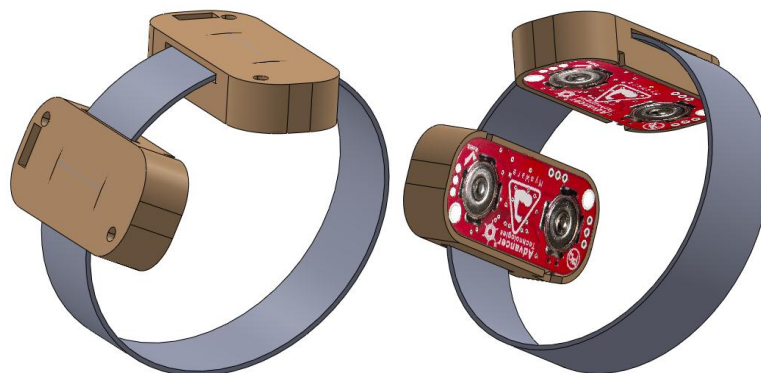
3.6. Σχεδίαση βάσης αισθητήρα Η/Μ

Ένα επιπλέον τεμάχιο που σχεδιάστηκε είναι η βάση του αισθητήρα Η/Μ (Εικ.3.26.(a)). Η βάση αυτή έχει σκοπό την τοποθέτηση του αισθητήρα Η/Μ (Εικ.3.26.(b)) και μέσω της τετραγωνικής οπής στο άνω μέρος της (Εικ.3.26.(c)) να τοποθετηθεί στη ζώνη-επίδεσμο (band) που χρησιμοποιείται στην ανάγνωση των σημάτων από τους μύες. Κάποιες ακόμη διαμορφώσεις που σχεδιάστηκαν έχουν σκοπό τη σύνδεση του αισθητήρα με τη βάση (Εικ.3.26.(d)), τον διαπερασμό των καλωδίων του αισθητήρα (Εικ.3.26.(e)) και την πρόσβαση στον διακόπτη ενεργοποίησης/απενεργοποίησής του (Εικ.3.26.(f)).



Εικόνα 3.21.: Βάση αισθητήρα Η/Μ

Η ζώνη-επίδεσμος (band) που φτιάχτηκε σκοπό έχει την τοποθέτηση στον πήχη αμέσως μετά τον αγκώνα για την ανάγνωση των σημάτων από τους μύες του ατόμου (Εικ.3.26.).



Εικόνα 3.22.: Ζώνη-επίδεσμος (band)

Κεφάλαιο 4

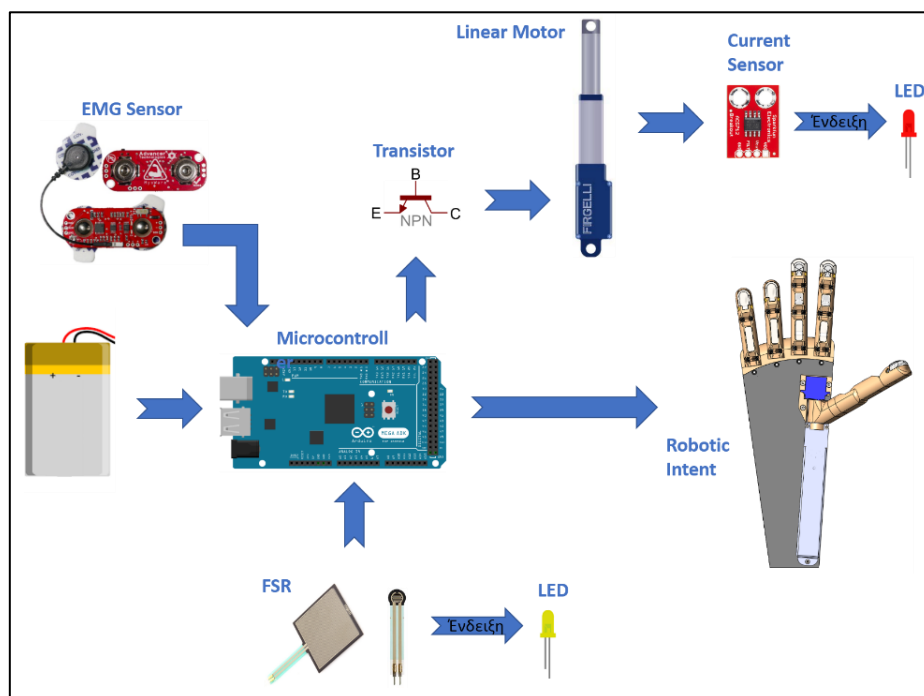
Υποσύστημα Αίσθησης και Επενέργειας

Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται κάθε μέρος του Υποσυστήματος Αίσθησης και Επενέργειας. Το σύστημα αυτό αποτελείται από τους αισθητήρες, τους επενεργητές και οποιοδήποτε άλλο ηλεκτρονικό μέσο χρησιμοποιήθηκαν στην εφαρμογή. Κάθε ένα αναλύεται ξεχωριστά. Στη συνέχεια, περιγράφονται τα κυκλώματα προσαρμογής επάνω στο σύστημα, του καθενός από τα ηλεκτρονικά μέσα που χρησιμοποιήθηκαν.

4.1. Αρχιτεκτονική Συστήματος - Σχηματικό Διάγραμμα

Με βάση το επιθυμητό αποτέλεσμα, το ηλεκτρονικό σύστημα μελετήθηκε έτσι ώστε να δέχεται εντολές από τους μύες του ανθρώπου και ύστερα από επεξεργασία των εντολών αυτών να χειρίζεται το προσθετικό μέλος. Το βασικό σύστημα αποτελείται από τους **Αισθητήρες Ηλεκτρομυογραφίας (H/M - EMG) MyoWare [28]**, τους γραμμικούς **Επενεργητές Firgelli L12-I [29]** και τον **Ελεγκτή Arduino MEGA ADK [30]**. Επιπλέον, για την αλληλεπίδραση του προσθετικού μέλους με το χρήστη και το περιβάλλον, χρησιμοποιούνται κάποιοι επιπλέον αισθητήρες οι οποίοι είναι, **Αισθητήρες Ρεύματος acs712 [31]**, **Αισθητήρες Πίεσης FSR400 και FSR406 [32]** καθώς και κάποιοι φωτοδίοδοι **LED** (Εικ.4.1.).

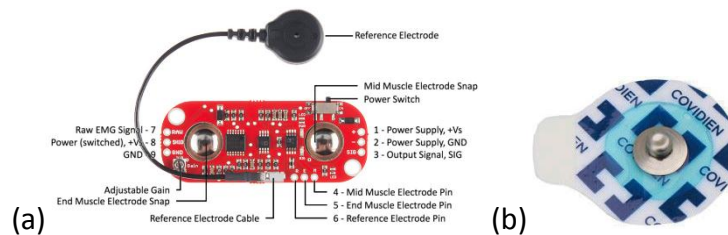


Εικόνα 4.1.: Αρχιτεκτονική Συστήματος

Πιο αναλυτικά, οι αισθητήρες Η/Μ χρησιμοποιούνται για τη λήψη σημάτων από τους μύες του ανθρώπου, με σκοπό την αποστολή εντολής κίνησης στους επενεργητές για την κίνηση των δακτύλων. Οι αισθητήρες ρεύματος χρησιμοποιήθηκαν με σκοπό τον έλεγχο. Έτσι, πραγματοποιείται μέτρηση του ρεύματος του κάθε κινητήρα, όπου μέσω της δυνατότητας αυτής, σε κάποια τιμή ρεύματος, διακόπτεται η λειτουργία του κινητήρα με αποτέλεσμα να μην ασκεί μεγαλύτερη πίεση στο αντικείμενο λαβής. Πριν από κάθε γραμμικό επενεργητή χρησιμοποιείται ένα **τρανζίστορ NPN** για την αποκοπή του ρεύματος όταν ο επενεργητής σταματά, οπότε και την αποφυγή κατανάλωσης περίσσιας ενέργειας στο σύστημα. Οι αισθητήρες πίεσης χρησιμοποιήθηκαν για την δυνατότητα αίσθησης της αφής στο αντικείμενο λαβής, με απώτερο σκοπό έναν άλλο τρόπο ελέγχου μέσω της αίσθησης της πίεσης που ασκεί το εκάστοτε δάκτυλο στο αντικείμενο λαβής.

4.1.1. Αισθητήρες Ηλεκτρομυογραφίας (Η/Μ - EMG)

Ηλεκτρομυογραφία (Electromyography MyoWare - EMG) είναι η μέτρηση της ενεργοποίησης των μυών μέσω ηλεκτρικού δυναμικού και χρησιμοποιείται στην ιατρική έρευνα και τη διάγνωση νευρομυϊκών διαταραχών. Με την εμφάνιση συνεχώς συρρικνωμένων ακόμα πιο ισχυρών μικροελεγκτών και ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, τα κυκλώματα EMG και οι αισθητήρες (Εικ.4.2.(α)) εφαρμόζονται σε προσθετικά, ρομποτικά και άλλα συστήματα ελέγχου ενώ έχουν μικρό μέγεθος [28].

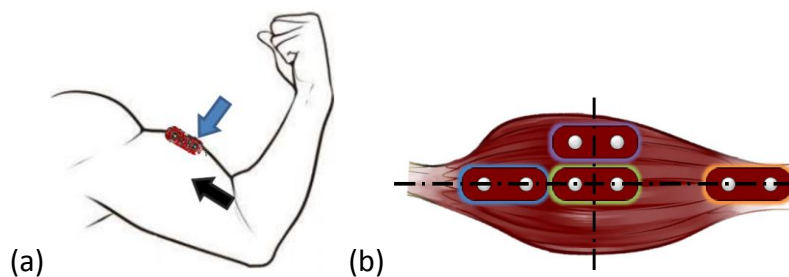


Εικόνα 4.2.: Electromyography MyoWare - EMG

Οι αισθητήρες αυτοί έχουν τυπική τάση λειτουργίας +3.3 [V] ή +5 [V] και τάση εξόδου σε κατάσταση αναμονής +0 [V]. Το τυπικό ρεύμα κατανάλωσης είναι 9 [mA] ενώ το μέγιστο 14 [mA], οπότε η επιβάρυνση κατανάλωσης στο σύστημα είναι πολύ μικρή. Ο αισθητήρας ενεργοποιείται μέσω ενός διακόπτη ON/OFF (Power Switch). Οι οπτικές ενδείξεις που παρέχονται είναι μέσω δύο SMD LED, ενός κόκκινου για την ενεργοποίηση και ενός πράσινου για την ανίχνευση σήματος. Η βασική τους συνδεσμολογία πραγματοποιείται μέσω τριών ακίδων 1, 2 και 3. Στις θέσεις **Mid Muscle Electrode Snap**, **End Muscle Electrode Snap** και **Reference Electrode** τοποθετούνται τα EMG pads (Εικ.4.2.(b)) που βοηθούν στη ανάγνωση του σήματος από τον μυ. Υπάρχει η δυνατότητα σύνδεσης εξωτερικών καλωδίων ηλεκτροδίων από τους ακροδέκτες 4, 5 και 6. Η κύρια έξοδός τους είναι ένα σήμα ενισχυμένο, διορθωμένο και ολοκληρωμένο που λειτουργεί σωστά με τον μετατροπέα αναλογικού προς ψηφιακό (ADC) ενός μικροελεγκτή. Βέβαια από τις ακίδες 7, 8 και 9 μπορεί να εξαχθεί ένα ενισχυμένο ακατέργαστο σήμα. Η ρύθμιση ευαισθησίας του

αισθητήρα πραγματοποιείται μέσω ενός ποτενσιομέτρου με τυπική ρύθμιση στα 50 [kΩ] και εύρος 0.01 [Ω] - 100 [kΩ] (Εικ.4.2.(a)).

Η θέση και ο προσανατολισμός των ηλεκτροδίων του αισθητήρα έχει υψηλή επίδραση στην ισχύ του σήματος. Κατά την τοποθέτηση των αισθητήρων επιβάλλεται ο καθαρισμός της θέσης τοποθέτησης. Στη συνέχεια, τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια στους συνδετήρες του αισθητήρα και τοποθετείται ο αισθητήρας στον επιθυμητή μετρούμενη μυϊκή ομάδα. Τα ηλεκτρόδια πρέπει να τοποθετούνται στο μέσο του μυϊκού σώματος και πρέπει να ευθυγραμμίζονται με τον προσανατολισμό των μυϊκών ινών. Το ηλεκτρόδιο αναφοράς τοποθετείται σε ένα οστέινο ή μη δίπλα στο μυϊκό μέρος του σώματός, κοντά στον στοχευόμενο μυ. Η τοποθέτηση του αισθητήρα σε άλλες θέσεις μειώνει την ένταση και την ποιότητα του σήματος του αισθητήρα. Η πράσινη θέση είναι η ορθή θέση τοποθέτησης (Εικ.4.3.).

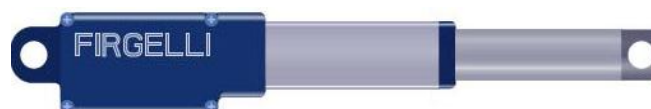


Εικόνα 4.3.: Θέση Τοποθέτησης Αισθητηρίου

4.1.2. Επενεργητές (Firgelli L12-I & Batan B2122)

Επιθυμητό είναι όλα τα δάκτυλα να είναι ενεργά, οπότε όλα θα πρέπει να συνδέονται είτε άμεσα είτε έμμεσα με οποιονδήποτε επενεργητή. Έτσι, για λόγους εξυπηρέτησης κίνησης και μεγέθους της κατασκευής, επιλέχθηκε να σχεδιαστεί το προσθετικό μέλος χρησιμοποιώντας γραμμικούς επενεργητές για της κάμψη των δακτύλων και έναν επιπλέον περιστροφικό για την κίνηση της αντίχειρα.

Οι γραμμικοί επενεργητές που επιλέχθηκαν είναι της εταιρείας **Firgelli ή Actuonix (Miniature Linear Motion Series) τύπου L12-I**, όπου παρέχουν μειωμένο μέγεθος, συνολικό μέγεθος συμπυκνμένος 82x18x15.1[mm], και διαδρομή 30[mm]. Σημαντικό χαρακτηριστικό αποτελεί η σταθεροποίησή τους όταν σταματούν σε μία θέση, δηλαδή “κλειδώνουν” στη θέση αυτή και σταθεροποιούνται χωρίς να καταναλώνουν ενέργεια. Οι κινητήρες αυτοί είναι απλοί στον έλεγχο, λειτουργούν σε χαμηλή τάση ενώ έχουν ίσης δύναμης ώθηση και έλξη. Χρησιμοποιούνται στη ρομποτική, σε εφαρμογές που καταναλώνουν πολύ ενέργεια και σε αυτοματισμούς (Εικ.4.4.), [29].



Εικόνα 4.4.: Firgelli - Miniature Linear Motion Series τύπου L12-I

Η τάση λειτουργίας του επενεργητή αυτού είναι 6 - 7.5 [V] και το ρεύμα κατανάλωσης 550 [mA] εν κινήσει και το στατικό 7.2 [mA]. Το βάρος του κινητήρα είναι 34 [gr] ενώ η δύναμη ανύψωσης εν κινήσει ανέρχεται στα 23 [N] με ταχύτητα 6 [mm/s] και η στατική δύναμη στα 40 [N]. Η συνδεσμολογία τους γίνεται όπως ακριβώς ένας απλός R/C servo.

Οι επενεργητές αυτοί διαθέτουν ενσωματωμένο ελεγκτή θέσης λογισμικού που βασίζεται σε λογισμικό, χωρίς ο χρήστης να μπορεί να επέμβει στον προγραμματισμό του. Ο επενεργητής διαθέτει τη δυνατότητα τεσσάρων λειτουργιών, **0-5 [V] Interface Mode**, **4-20 [mA] Interface Mode**, **RC Servo Interface Mode** και **PWM Mode**. Αρχικά, όταν ενεργοποιηθεί ο επενεργητής, ανιχνεύει επανειλημμένα τους ακροδέκτες 1, 2 και 4 για ένα σήμα εισόδου που ισχύει σε οποιαδήποτε από τις τέσσερις υποστηριζόμενες λειτουργίες του. Όταν ανιχνευθεί έγκυρο σήμα, ο επενεργητής θα διαμορφωθεί αυτομάτως στην αντίστοιχη λειτουργία, ενώ όλες οι άλλες λειτουργίες και οι αγωγοί εισόδου θα απενεργοποιηθούν μέχρι να ενεργοποιηθεί ξανά ο επενεργητής.

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή ο κινητήρας αυτός χρησιμοποιήθηκε με τη λειτουργία **PWM Mode**. Η λειτουργία αυτή επιτρέπει τον έλεγχο του επενεργητή χρησιμοποιώντας έναν ακροδέκτη ψηφιακής εξόδου από έναν εξωτερικό μικροελεγκτή. Η κυματομορφή επιβάλλεται να είναι 0 έως +5 V με σκοπό να υπάρχει πρόσβαση στο πλήρες εύρος διαδρομής του επενεργητή.

Ο περιστροφικός επενεργητής, R/C servo, που χρησιμοποιήθηκε είναι ένας **Batan B2122 analog feedback micro servo**, βάρους 15.81 [gr], με τάση λειτουργίας 6 [V]. Η ταχύτητά του είναι 0.1 [sec/60°], ενώ η ροπή του 1.8 [kg*cm]. Αυτός χρησιμοποιήθηκε για την κίνηση της αντίθεσης του αντίχειρα ως προς τα υπόλοιπα δάκτυλα (Εικ.4.5.).



Εικόνα 4.5.: *Batan B2122 analog feedback micro servo*

4.1.3. Αισθητήρες Ρεύματος (acs712)

Ο acs712 είναι ένας πλήρως ολοκληρωμένος αισθητήρας ρεύματος, γραμμικής ανίχνευσης, βασισμένος στην επίδραση του φαινομένου Hall. Ο αισθητήρας αυτός είναι ακριβής για ανίχνευση ρεύματος AC ή DC σε βιομηχανικά, εμπορικά και επικοινωνιακά συστήματα, ενώ είναι εφικτός στην εφαρμογή. Εφαρμόζεται σε έλεγχο κινητήρων, ανίχνευση και διαχείριση φορτίου, τροφοδοτικά σε κατάσταση λειτουργίας σε λειτουργία και προστασία από σφάλματα υπέρτασης.

Μέσω του αισθητήρα αυτού παρέχεται αναλογικό σήμα χαμηλού θορύβου με χρόνο απόκρισης 5[μs] και σφάλμα 1,5%. Είναι μικρού μεγέθους και η τάση λειτουργίας του είναι 5 [V] ενώ έχει ακρίβεια 185 [mV/A]. Η ενεργοποίηση του γίνεται μέσω των ακίδων Vcc και GND, ενώ η ανάγνωση του σήματος μέσω της ακίδας Vout.

Μπορεί επίσης να αναγνωστεί ένα φίλτραρισμένο σήμα με την κατάλληλη σύνδεση της ακίδας FILT. Από τις οπές που παρέχονται επάνω στην πλακέτα του αισθητήρα συνδέεται ο αισθητήρας σε σειρά στο Vcc ή το GND του κινητήρα ακριβώς όπως ένα αμπερόμετρο (Εικ.4.6.), [31].



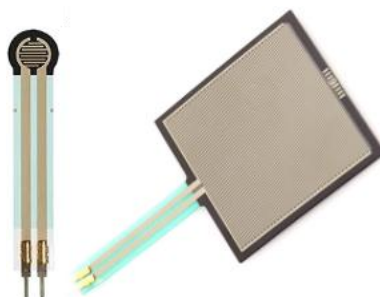
Εικόνα 4.6.: Αισθητήρας Ρεύματος - acs712

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε με σκοπό τον έλεγχο του εκάστοτε δακτύλου μέσω του ρεύματος που καταναλώνει ο αντίστοιχος κινητήρας.

4.1.4. Αισθητήρες Πίεσης (Force Sensor Resistor - FSR)

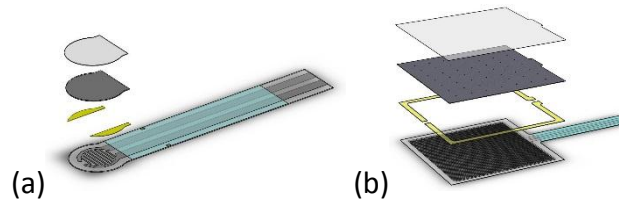
Σημαντικό ρόλο για τη αλληλεπίδραση χρήστη-περιβάλλοντος είναι τα ηλεκτρονικά μέσα, όπου βοηθούν τον χρήστη να λαμβάνει πληροφορίες για την κατάσταση όπου επικρατεί στο περιβάλλον δράσης. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθούν αισθητήρες πίεσης - Force Sensor Resistor (FSR) ώστε να υπάρχει μια αλληλεπίδραση επαφής και πίεσης κατά την πραγματοποίηση των λαβών. Οι αισθητήρες αυτοί τοποθετήθηκαν στις φάλαγγες των δακτύλων και στην παλάμη του Προσθετικού Ρομποτικού Χεριού, με σκοπό την αίσθηση της αφής αλλά και τον έλεγχο του μέλους μέσω αυτών.

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι “**Interlink Electronics FSR400 Series**” της οικογένειας αισθητήρων ανίχνευσης δύναμης, Force Sensing Resistor (FSR). Η δύναμη ενεργοποίησής τους ευρύνεται στα 0,2 έως 20N είναι λεπτοί, αποδοτικοί, ανθεκτικοί μέχρι 10M ενεργοποιήσεις, απλοί και εύκολοι στην εφαρμογή. Οι αισθητήρες είναι ισχυρές διατάξεις πολυμερούς παχιάς μεμβράνης “polymer thick film” (PTF) οι οποίοι παρουσιάζουν μείωση της αντίστασης με αύξηση της δύναμης όπου εφαρμόζεται στην επιφάνεια του αισθητήρα. Αυτή η ευαισθησία δύναμης είναι βελτιστοποιημένη για χρήση στον ανθρώπινο έλεγχο αφής ηλεκτρονικών συσκευών όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, τα ιατρικά συστήματα, οι βιομηχανικές και οι ρομποτικές εφαρμογές (Εικ.4.7.), [32].



Εικόνα 4.7.: Απεικόνιση Τύπων Αισθητήρων Πίεσης - Force Sensor Resistor (FSR)

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι “**Model 400**” στις φάλαγγες των δακτύλων. Η ενεργή επιφάνειά τους είναι $\varnothing 5$ [mm] και το πάχος τους 0.30 [mm] (Εικ.4.8.(a)). Εσωτερικά της παλάμης χρησιμοποιήθηκε ο “**Model 406**”. Η ενεργή επιφάνειά τους είναι 38x38 [mm] και το πάχος τους 0.46 [mm] (Εικ.4.8.(b)).



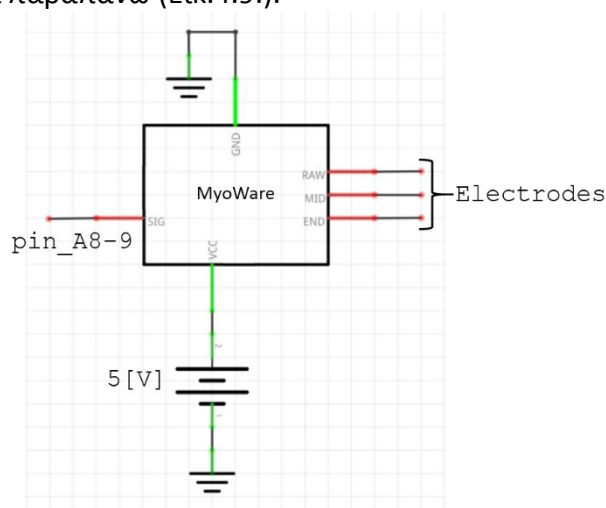
Εικόνα 4.8.: (a) FSR400, (b) FSR406

4.2. Κυκλώματα Προσαρμογής Επενεργητών και Αισθητήρων

Στους Επενεργητές και τους Αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή, απαραίτητη ήταν η υλοποίηση κάποιων Κυκλωμάτων Προσαρμογής για την ορθή λειτουργία τους. Επίσης, υλοποιήθηκαν κάποια κυκλώματα για τη βέλτιστη λειτουργία της κατασκευής. Στην παράγραφο αυτή αναφέρονται και περιγράφονται τα κυκλώματα προσαρμογής του εκάστοτε Επενεργητή και Αισθητήρα, καθώς και οι ακίδες (pins) του Μικροελεγκτή για τη συνδεσμολογία αυτών (Παράρτ.С.).

- **Κύκλωμα Προσαρμογής Αισθητήρων Ηλεκτρομυογραφίας EMG.**

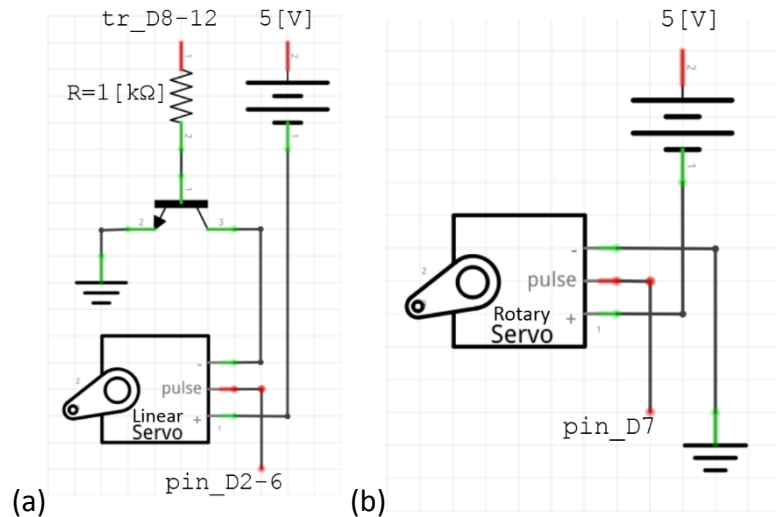
Στην κατασκευή χρησιμοποιήθηκαν δύο (2) αισθητήρες Ηλεκτρομυογραφίας. Το κύκλωμα του καθενός αποτελείται από τις ακίδες ανόδου (+) και καθόδου (-) καθώς και την ακίδα SIG όπου είναι η έξοδος του σήματος. Οι ακίδες RAW, MID και END είναι οι ακίδες των ηλεκτροδίων, όπως περιγράφονται παραπάνω (Εικ.4.9.).



Εικόνα 4.9.: Κύκλωμα Προσαρμογής Αισθητήρων Ηλεκτρομυογραφίας

- **Κύκλωμα Προσαρμογής Επενεργητών.**

Στην κατασκευή χρησιμοποιήθηκαν έξι (6) επενεργητές, πέντε (5) γραμμικοί για την κάμψη των δακτύλων και ένας (1) περιστροφικός για τη θέση αντίθεσης του Αντίχειρα. Για την ενεργοποίηση των γραμμικών επενεργητών χρησιμοποιήθηκε από ένα κύκλωμα με ένα τρανζίστορ NPN συνδεδεμένο στην ακίδα της καθόδου (-) και στο GND, τα οποία ενεργοποιούνται από τα pin_D8-12, με σκοπό τη διακοπή παροχής τάσης στους κινητήρες όταν δεν κινούνται και την εξοικονόμηση ενέργειας στο σύστημα (Εικ.4.10.(a)). Κατά την εντολή κίνησης του κάθε επενεργητή, ενεργοποιείται αρχικά το τρανζίστορ και ο κινητήρας δέχεται το PWM σήμα. Οι ακίδες της ανόδου (+) και pulse συνδέονται όπως ένας κλασικός σερβοκινητήρας στα pin_D2-6. Ο περιστροφικός επενεργητής συνδέθηκε όπως ένας κλασικός σερβοκινητήρας με την ακίδα pulse στο pin_D7 (Εικ.4.10.(b)).

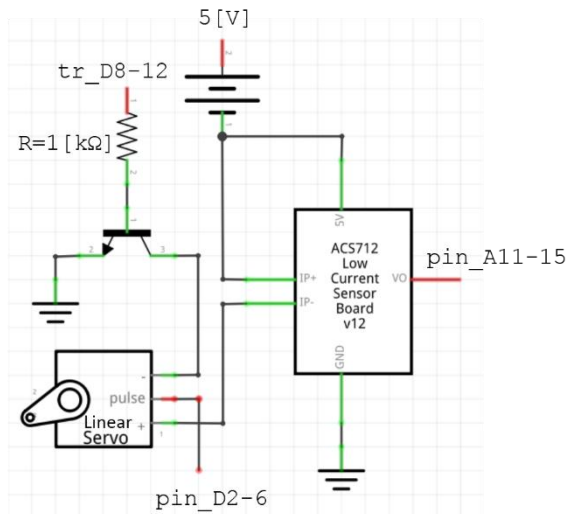


Εικόνα 4.10.: Κυκλώματα Προσαρμογής Επενεργητών

- **Κύκλωμα Προσαρμογής Αισθητήρων Ρεύματος acs712.**

Οι Αισθητήρες Ρεύματος που χρησιμοποιήθηκαν, σκοπό έχουν τη μέτρηση του ρεύματος κατά τη λειτουργία του εκάστοτε γραμμικού επενεργητή και την υλοποίηση ελέγχου μέσω αυτών. Ο κάθε αισθητήρας έχει πέντε (5) ακίδες, την ακίδα ανόδου (+) και την καθόδου (-) για την ενεργοποίησή του, την ακίδα Vout όπου εξάγεται η τιμή μέτρησης στις ακίδες pin_A11-15 του μικροελεγκτή και τις ακίδες IP+ και IP- όπου συνδέεται σε σειρά στην άνοδο (+) του επενεργητή, ακριβώς όπως ένα Αμπερόμετρο (Εικ.4.11.). Η τάση εξόδου του αισθητήρα είναι 2.5 [V], οπότε αναλόγως με τη

φορά που θα συνδεθεί, η έξοδος του θα αυξάνεται ή θα μειώνεται. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή συνδέθηκε έτσι ώστε η τάση να μειώνεται.



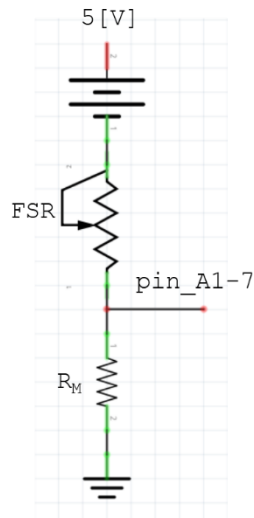
Εικόνα 4.11.: Κύκλωμα Προσαρμογής Αισθητήρα Ρεύματος

Όμως αφού ο μικροελεγκτής λειτουργεί στα 5 [V] οπότε χρειάζεται για να αντιστοιχισθεί το εύρος της τάσης του στο εύρος των 2.5 [V] του αισθητήρα ρεύματος. Μέσω της εντολής analogReference() ρυθμίζεται η τάση αναφοράς που χρησιμοποιείται για την αναλογική είσοδο ο μικροελεγκτής, δηλαδή την τιμή που χρησιμοποιείται ως κορυφή του εύρους εισόδου. Χρησιμοποιώντας ως όρισμα το INTERNAL2V56 μετατρέπεται το εύρος εισόδου στα 0 έως 2.56V και έτσι έχουμε και καλύτερη ακρίβεια της μέτρησης. Άρα όλο το κύκλωμα πλέον λειτουργεί στα 2.5 [V]. Αυτό διευκολύνει επίσης στην αντιστοίχιση του εύρους της νέας τάσης λειτουργίας του μικροελεγκτή στο εύρος λειτουργίας του αισθητήρα ρεύματος. Αφού η τάση λειτουργίας του αισθητήρα για θετικό ρεύμα ευρύνεται στα 2.5 έως 5 [V] με την αλλαγή της πολικότητας των ακροδεκτών μέτρησής του, ευρύνεται στα 2.5 έως 0 V. Οπότε κατά τη λειτουργία του κυκλώματος, κατά την κατανάλωση ρεύματος του φορτίου η ένδειξη της τάσης εξόδου του αισθητήρα θα ευρύνεται από τα 2.5 προς τα 0 [V].

- **Κύκλωμα Προσαρμογής Αισθητήρων Πίεσης FSR.**

Αισθητήρες πίεσης FSR χρησιμοποιήθηκαν στις άπω και τις μέσες φάλαγγες των δακτύλων του αντίχειρα, του δείκτη και του μέσου, και ένας επιπλέον εσωτερικά της παλάμης. Απαραίτητη προϋπόθεση για τη χρήση των αισθητήρων αυτών είναι η υλοποίηση ενός κυκλώματος διαιρέτη τάσης. Οι έξοδοι από τους διαιρέτες τάσης των αισθητήρων συνδέονται στις ακίδες pin_A1-7 αντίστοιχα για τους αισθητήρες index-distal (ID), index-intermediate

(II), middle-distal (MD), middle-intermediate (MI), thumb-distal (TD), thumb-intermediate (TI) και palm (P) (Εικ.4.12.).



Εικόνα 1.12.: Κύκλωμα Προσαρμογής Αισθητήρων Πίεσης

Ο κάθε αισθητήρας χωρίς φορτίο πίεσης εμφανίζει άπειρη αντίσταση. Ύστερα από πειραματικές μετρήσεις του καθενός, για μία τυπική πίεση (1kg) του καθενός μετρήθηκαν οι παρακάτω τιμές αντίστασης (Πιν.4.1.):

Πίνακας 4.1.: Μετρούμενες τιμές FSR

FSR	R _{FSR} [kΩ]
Distal - Thumb	150
Intermediate - Thumb	6,5
Distal - Index	5,5
Intermediate - Index	4
Distal - Middle	4
Intermediate - Middle	4
Palm	1

Λόγω των αισθητήρων ρεύματος, όπως προαναφέρθηκε στο κύκλωμα του αισθητήρα ρεύματος, αφού το κύκλωμα πλέον λειτουργεί στα 2.5 [V], η μέγιστη επιθυμητή τάση εξόδου των αισθητήρων πίεσης επιβάλλεται να είναι 2.5 [V]. Για λόγους ασφαλείας του μικροελεγκτή υπολογίστηκε η μέγιστη επιθυμητή τάση εξόδου έως τα 2 [V].

Η τάση εξόδου V_{out} του διαιρέτη τάσης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$V_{out} = V_{in} \frac{R_M}{R_M + R_{FSR}} \quad (1)$$

Άρα η επιθυμητή τιμή της αντίστασης R_M για κάθε αισθητήρα πίεσης, σύμφωνα με τη σχέση (1), είναι (Πιν.4.2.):

Πίνακας 4.2.: Τιμές αντιστάσεων R_M

FSR	R_M [kΩ]
Distal - Thumb	100
Intermediate - Thumb	4,34
Distal - Index	3,67
Intermediate - Index	2,67
Distal - Middle	2,67
Intermediate - Middle	2,67
Palm	0,67

Στους αισθητήρες index-distal (ID), index-intermediate (II), middle-distal (MD), middle-intermediate (MI) και thumb-intermediate (TI) χρησιμοποιήθηκαν ίδιες αντιστάσεις στα 2.2 [kΩ]. Οι τιμές όλων των αντιστάσεων R_M που χρησιμοποιήθηκαν είναι (Πιν.4.3.):

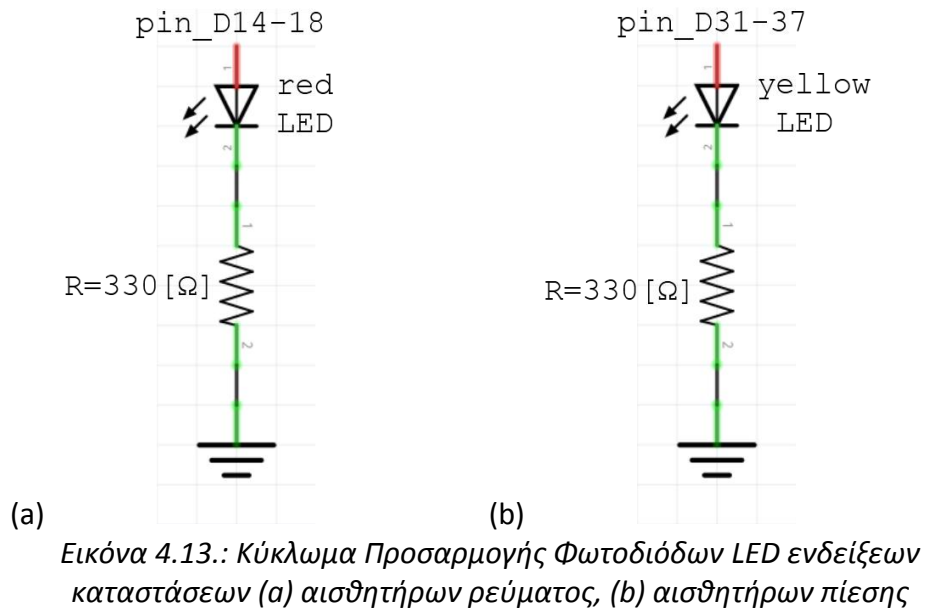
Πίνακας 4.3.: τιμές αντιστάσεων R_M

FSR	R_M [kΩ]
Distal - Thumb	100
Intermediate - Thumb	2,2
Distal - Index	2,2
Intermediate - Index	2,2
Distal - Middle	2,2
Intermediate - Middle	2,2
Palm	0,5

- **Κύκλωμα Προσαρμογής Φωτοδιόδων LED ενδείξεων καταστάσεων.**

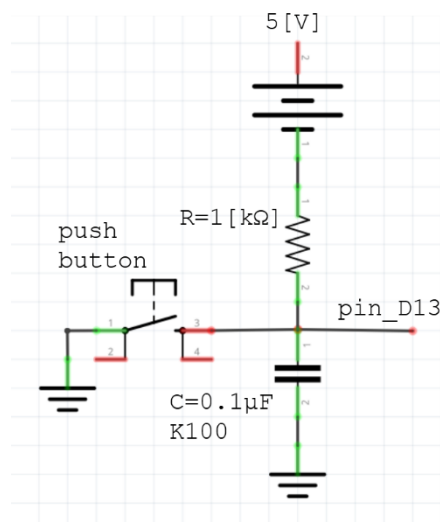
Όπως προαναφέρθηκε, χρησιμοποιήθηκαν κάποιες Φωτοдиодοι LED με σκοπό την ένδειξη καταστάσεων των αισθητήρων ρεύματος και των αισθητήρων πίεσης. Το κύκλωμα που υλοποιήθηκε για τις Φωτοдиодους αυτές είναι μόνο μία αντίσταση σε σειρά μετά τα LED. Τα LED των αισθητήρων

ρεύματος συνδέονται στις ακίδες pin_D14-18 (Εικ.4.13.(a)) και τα LED των αισθητήρων πίεσης στις ακίδες pin_D31-37 (Εικ.4.13.(b)) του μικροελεγκτή.



- **Κύκλωμα Προσαρμογής βοηθητικού Button πειραμάτων.**

Στη διεξαγωγή πειραμάτων χρειάστηκε η χρήση ενός button. Με την βοήθεια του button αυτού, πατώντας το, υλοποιούμε μία οποιαδήποτε επιτηδευμένη λαβή και στη συνέχεια πραγματοποιείται ο έλεγχος των δακτύλων. Για την ορθή λειτουργία του button υλοποιήθηκε ένα κύκλωμα με ένα χαμηλοπερατό φίλτρο RC όπου αποτρέπει τη δίοδο των υψηλών συχνοτήτων. Η είσοδος του button συνδέεται στην ακίδα pin_D13 του μικροελεγκτή (Εικ.4.14.).



Εικόνα 4.14.: Κύκλωμα Προσαρμογής βοηθητικού Button πειραμάτων

Κεφάλαιο 5

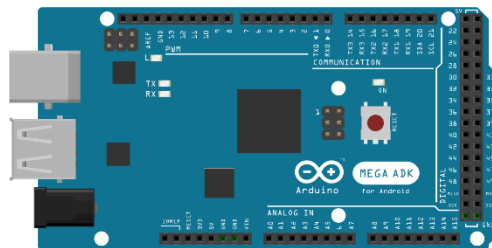
Υποσύστημα Ελέγχου

Εισαγωγή

Το τελευταίο μέρος για την ολοκλήρωση της κατασκευής είναι το σύστημα ελέγχου του προσθετικού μέλους. Στο σύστημα αυτό περιλαμβάνεται ο ελεγκτής όπου υλοποιεί τις προδιαγεγραμμένες επιθυμητές εφαρμογές για τη χρήση του μέλους. Επίσης, στην παρούσα ενότητα, παρουσιάζονται και αναλύονται οι μέθοδοι όπου υλοποιήθηκαν για τη χρήση του προσθετικού μέλους, αναλόγως με τον επιθυμητό τρόπο ελέγχου. Οι τρόποι ελέγχου που επιλέχθηκαν είναι μέσω των αισθητήρων ρεύματος acs712, μέσω των αισθητήρων πίεσης FSR, μέσω συνδυασμού των δύο παραπάνω αισθητήρων, και μέσω των αισθητήρων Ηλεκτρομυογραφίας EMG. Στη συνέχεια, αναλύεται η διαδικασία αναγνώρισης των μυών και καταγραφής σημάτων από τον πήχη, σε υγιές άτομο και σε άτομο με ακρωτηριασμό άνω άκρου, με σκοπό τη δημιουργία αλγορίθμων ελέγχου της Ρομποτικής Πρόθεσης.

5.1. Ελεγκτής Εφαρμογής (Arduino MEGA ADK)

Προς τη διασύνδεση και τον έλεγχο όλων των παραπάνω ηλεκτρονικών, χρησιμοποιήθηκε ο μικροελεγκτής “Arduino MEGA ADK”. Ο μικροελεγκτής αυτός διαθέτει 54 ψηφιακές εισόδους / εξόδους, από τις οποίες οι 15 μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έξοδο PWM, 16 αναλογικές εισόδους. Επίσης, διαθέτει υποδοχή σύνδεσης USB, υποδοχή τροφοδοσίας και ένα κουμπί επαναφοράς (RESET) (Εικ.5.1.), [30].



Εικόνα 5.1.: Microcontroller Arduino MEGA ADK

Η συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιεί:

- i. 2 αναλογικές εισόδους για τους αισθητήρες EMG,
- ii. 6 εξόδους PWM για τον έλεγχο των κινητήρων,
- iii. 5 ψηφιακές εξόδους για την ενεργοποίηση / απενεργοποίηση των κινητήρων μέσω NPN transistor,
- iv. 5 αναλογικές εισόδους για τους αισθητήρες ρεύματος,
- v. 5 ψηφιακές εξόδους για την ένδειξη μέσω led των αισθητήρων ρεύματος,

- vi. 7 ψηφιακές εισόδους για τους αισθητήρες πίεσης,
- vii. 7 ψηφιακές εξόδους για την ένδειξη μέσω led των αισθητήρων πίεσης.

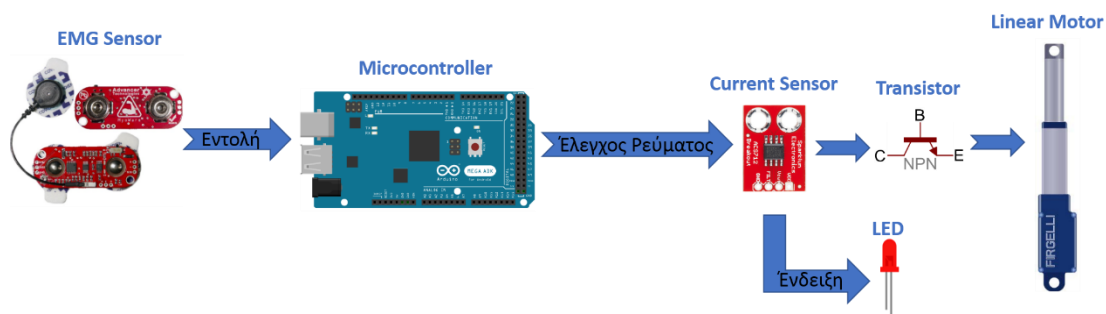
Αναλυτικά οι ακίδες που χρησιμοποιούνται και ο σκοπός τους αναφέρονται στο (Παράρτ.Σ).

5.2. Τρόποι Ελέγχου Προσθετικού Μέλους

Όπως προαναφέρθηκε, ο έλεγχος του προσθετικού μέλους υλοποιήθηκε με τέσσερις διάφορους τρόπους. Οι τρόποι αυτοί αφορούν διαφορετικούς αλγόριθμους ελέγχου μέσω των αισθητήρων που χρησιμοποιήθηκαν στην εφαρμογή. Παρακάτω αναλύεται ο κάθε τρόπος ελέγχου ξεχωριστά.

5.2.1. Έλεγχος μέσω Αισθητήρων Ρεύματος

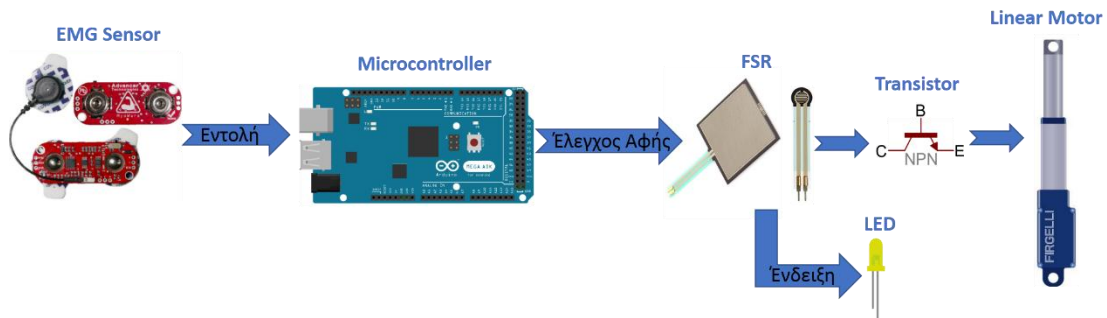
Ο πρώτος τρόπος ελέγχου που υλοποιήθηκε ήταν μέσω του ελέγχου κατανάλωσης ρεύματος των κινητήρων. Για κάθε γραμμικό επενεργητή χρησιμοποιήθηκε ένας Αισθητήρας Ρεύματος acs712 όπου μετρά σε πραγματικό χρόνο το ρεύμα του συνδεδεμένου κινητήρα. Ορίζοντας ένα κατώφλι σε αυτόν, διακόπτεται το σήμα PWM που στέλνεται στον κινητήρα και έτσι ο επενεργητής σταματά να κινείται. Ταυτόχρονα, μέσω ενός τρανζίστορ NPN για κάθε κινητήρα διακόπτεται η τροφοδοσία του κινητήρα με σκοπό τη μηδενική κατανάλωση σε κατάσταση αναμονής (Εικ.5.2.).



Εικόνα 5.2.: Αρχιτεκτονική Ελέγχου μέσω Αισθητήρων Ρεύματος acs712

5.2.2. Έλεγχος μέσω Αισθητήρων Πίεσης

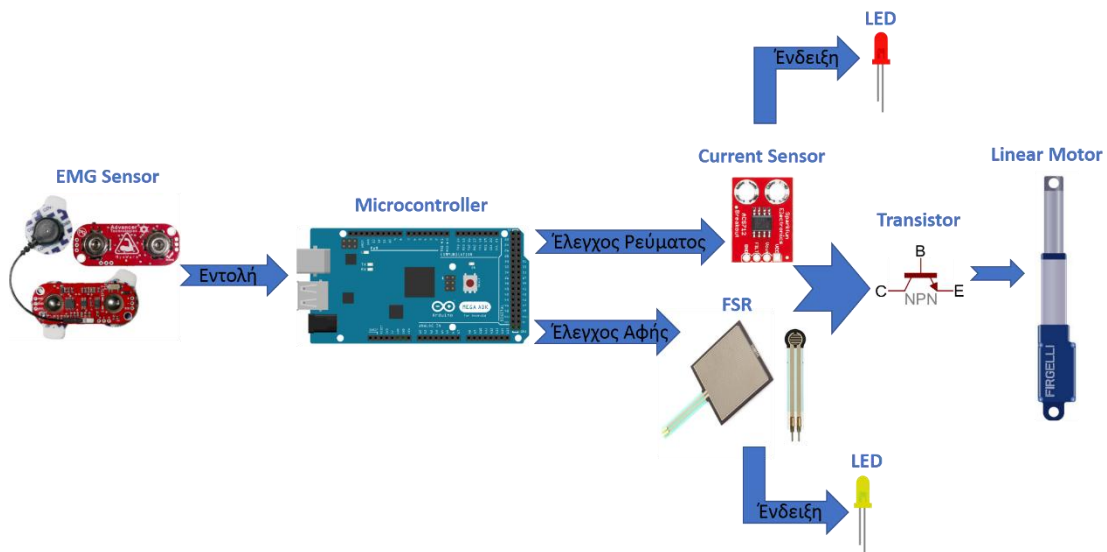
Ένας άλλος τρόπος ελέγχου που υλοποιήθηκε ήταν μέσω Αισθητήρων Πίεσης τοποθετημένους στα δάκτυλα και την παλάμη. Σε κάθε δάκτυλο από τα Αντίχειρας, Δείκτης και Μέσος τοποθετήθηκαν δύο αισθητήρες αφής, ένας στην άπω φάλαγγα και ένας στη μέση φάλαγγα. Ορίζοντας ένα κατώφλι σε καθέναν από αυτούς, όταν κάποιος αισθητήρας έρθει σε επαφή με το αντικείμενο λαβής, διακόπτεται το σήμα PWM που στέλνεται στον κινητήρα και έτσι ο επενεργητής σταματά να κινείται, αντίστοιχα με τον τρόπο ελέγχου μέσω Αισθητήρων Ρεύματος. Και σε αυτόν τον τρόπο ελέγχου, διακόπτεται η τροφοδοσία του κινητήρα μέσω του τρανζίστορ NPN με σκοπό τη μηδενική κατανάλωση σε κατάσταση αναμονής (Εικ.5.3.).



Εικόνα 5.3.: Αρχιτεκτονική Ελέγχου μέσω Αισθητήρων Πίεσης FSR400, FSR406

5.2.3. Έλεγχος μέσω συνδυασμού των δύο παραπάνω Αισθητήρων

Ο επόμενος τρόπος ελέγχου που υλοποιήθηκε ήταν παράλληλα μέσω του ελέγχου κατανάλωσης ρεύματος των κινητήρων και μέσω Αισθητήρων Πίεσης στα δάκτυλα και την παλάμη. Σε αυτόν τον τρόπο ελέγχου πραγματοποιείται ένας συνδυασμένος έλεγχος, είτε υπερβεί το σύστημα το κατώφλι που έχει οριστεί σε κάθε Αισθητήρα Ρεύματος, είτε σε κάθε Αισθητήρα Πίεσης, τότε διακόπτεται το σήμα PWM που στέλνεται στον κινητήρα και έτσι ο επενεργητής σταματά να κινείται, ενώ ταυτόχρονα, μέσω των τρανζίστορ διακόπτεται και η τροφοδοσία των κινητήρων όπως στους προηγούμενους τρόπους ελέγχου (Εικ.5.4.).

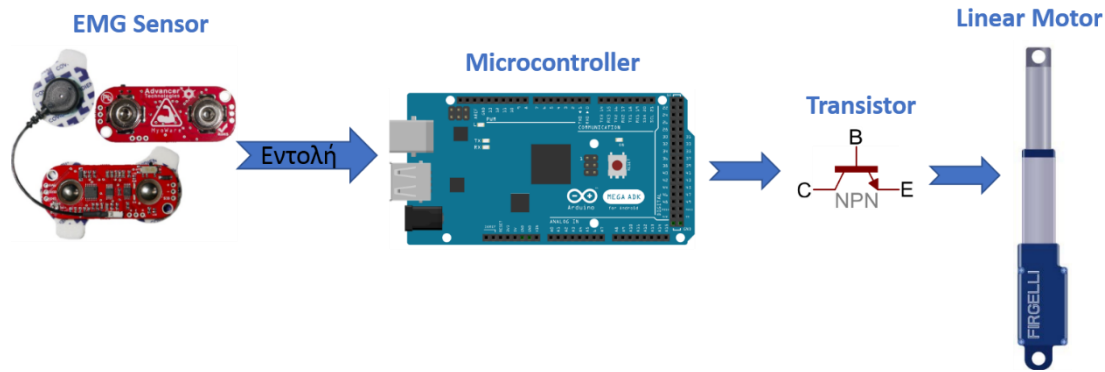


Εικόνα 5.4.: Αρχιτεκτονική Ελέγχου μέσω Αισθητήρων Ρεύματος acs712 και Αισθητήρων Πίεσης FSR400, FSR406

5.2.4. Έλεγχος μέσω Αισθητήρων Ηλεκτρομυογραφίας (Η/Μ - EMG)

Ο τελευταίος τρόπος ελέγχου που υλοποιήθηκε ήταν μέσω των Αισθητήρων Ηλεκτρομυογραφίας (Η/Μ - EMG). Σε αυτόν τον τρόπο ελέγχου πραγματοποιείται έλεγχος μέσω του σήματος που αναγνωρίζεται μέσω των μυών. Τοποθετώντας δύο Αισθητήρες Η/Μ ανιχνεύονται δύο διαφορετικά σήματα τα οποία μπορούν να αντιστοιχισθούν με το άνοιγμα ή το κλείσιμο των δακτύλων. Έτσι, ο χρήστης, έχοντας

οπτική επαφή με το προσθετικό μέλος, μπορεί να δώσει το αντίστοιχο σήμα PWM στους επενεργητές για το άνοιγμα ή το κλείσιμο των δακτύλων. Όταν διακόπτεται το σήμα από κάθε Αισθητήρα Η/Μ ο επενεργητής σταματά να κινείται, ενώ ταυτόχρονα, μέσω των τρανζίστορ διακόπτεται και η τροφοδοσία των κινητήρων όπως στους προηγούμενους τρόπους ελέγχου (Εικ.5.5.).



Εικόνα 5.5.: Αρχιτεκτονική Ελέγχου μέσω Αισθητήρων Ηλεκτρομυογραφίας

5.3. Διαδικασία ελέγχου μέσω Αισθητήρων Ηλεκτρομυογραφίας (Η/Μ - EMG)

Στη υποενότητα αυτή αναλύεται η διαδικασία αναγνώρισης των μυών και καταγραφής σημάτων από τον πήχη. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται σε υγιές άτομο και σε άτομο με ακρωτηριασμό άνω άκρου. Σκοπός είναι η δημιουργία αλγορίθμων για τον έλεγχο της Ρομποτικής Πρόθεσης.

5.3.1. Κινήσεις - Θέσεις Μυών

Κάθε μυς του πήχη επιδρά σε διαφορετική κίνηση του καρπού και των δακτύλων. Κατά τη διεξαγωγή πειραμάτων λήψεων σημάτων από τους μύες αναγνωρίστηκαν και καταγράφηκαν οι τέσσερις βασικές κινήσεις του καρπού, η κάμψη, η έκταση, η κερκιδική και η ωλένια. Σκοπός ήταν η αντιστοίχιση των κινήσεων αυτών με κινήσεις ή λαβές του προσθετικού μέλους. Οι μύες οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν κατά τις πειραματικές διαδικασίες αναφέρονται και απεικονίζονται παρακάτω (Εικ.5.6.-Εικ.5.10.), [33].

Οι θέσεις των μυών σε κάθε άτομο αναγνωρίζονται πειραματικά. Στο πειραματικό στάδιο αντιστοιχίσθηκαν διάφορες θέσεις στον πήχη με τις αριθμητικές ωρολογιακές θέσεις (1-12). Έτσι, τοποθετώντας τους αισθητήρες στις 12 διαφορετικές θέσεις αναγνωρίζονται οι μύες και η επίδραση του καθενός στις τέσσερις βασικές κινήσεις του καρπού.

Οι κινήσεις του καρπού όπου μελετήθηκαν στα πειράματα είναι οι εξής:

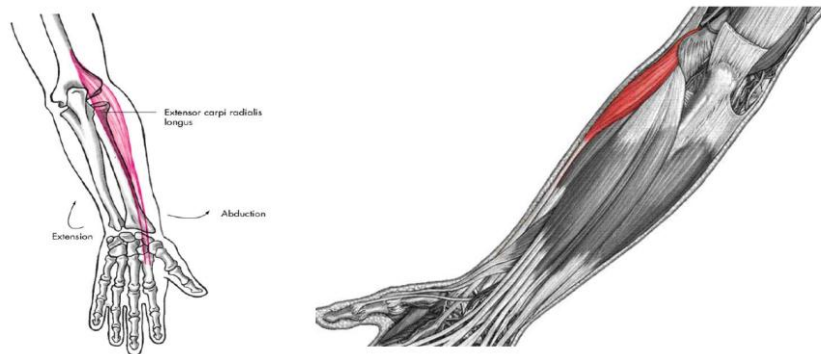
- i. Κάμψη (Flexion): Η παλάμη κλίνει προς τον βραχίονα
- ii. Έκταση (Extension): Η παλάμη απομακρύνεται από το βραχίονα
- iii. Κερκιδική ή Απαγωγή (Abduction): Πλευρική κίνηση με τον αντίχειρα να κινείται προς τον πήχη

- iv. Ωλένια ή Προσαγωγή (Adduction): Πλευρική κίνηση με τον αντίχειρα να απομακρύνεται από τον πήχη

Οι Μύες οι οποίοι επιδρούν στις κινήσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι οι εξής:

- i. Λατινική Ονομασία: Extensor Carpi Radialis Longus

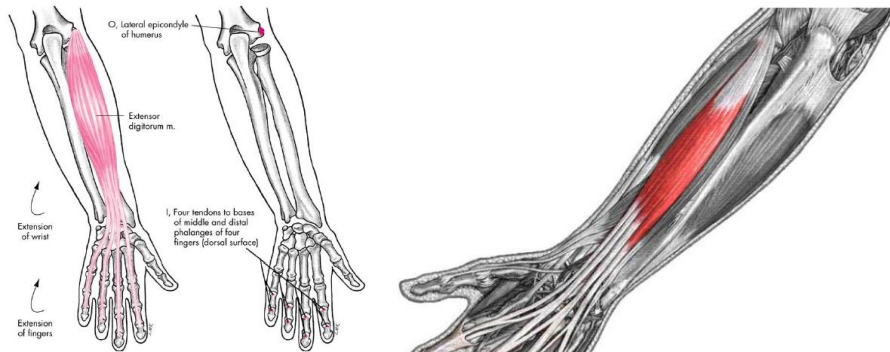
Ενέργειες: Έκταση του καρπού, Κερκιδική - Απαγωγή του καρπού



Εικόνα 5.6.: Extensor Carpi Radialis Longus

- ii. Λατινική Ονομασία: Extensor Digitorum

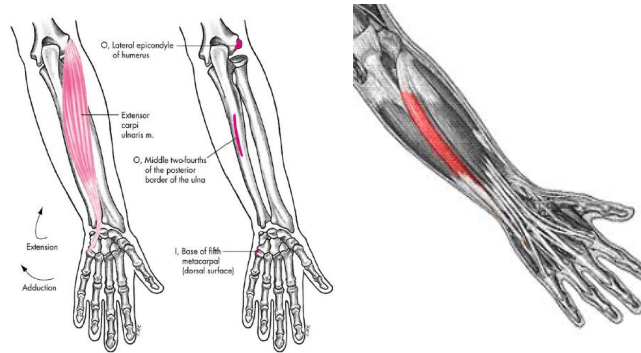
Ενέργειες: Έκταση του καρπού, Εκτάσεις των δακτύλων



Εικόνα 5.7.: Extensor Digitorum

- iii. Λατινική Ονομασία: Extensor Carpi Ulnaris

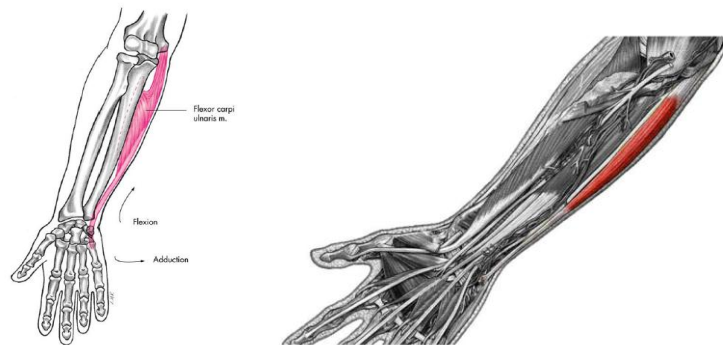
Ενέργειες: Έκταση του καρπού, Ωλένια - Προσαγωγή του καρπού



Εικόνα 5.8.: *Extensor Carpi Ulnaris*

iv. Λατινική Ονομασία: *Flexor Carpi Ulnaris*

Ενέργειες: Έκταση του καρπού, Ωλένια - Προσαγωγή του καρπού



Εικόνα 5.9.: *Flexor Carpi Ulnaris*

v. Λατινική Ονομασία: *Palmaris Longus*

Ενέργειες: Κάμψη του καρπού



Εικόνα 1.10.: *Palmaris Longus*

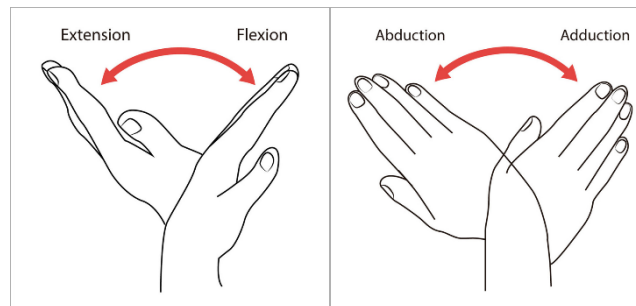
Από τις θέσεις των μυών στον πήχη διαφαίνεται πως μπορεί να προβλεφθεί, σε ένα βαθμό, η θέση όπου τοποθετείται ο εκάστοτε αισθητήρας ηλεκτρομυογραφήματος για την αναγνώριση του σήματος του εκάστοτε μυ.

5.3.2. Διαδικασία τοποθέτησης Αισθητήρων Η/Μ

Η τοποθέτηση των Αισθητήρων Ηλεκτρομυογραφίας είναι μία πειραματική διαδικασία που απαραίτητο είναι να πραγματοποιείται σε κάθε άτομο ξεχωριστά. Σκοπός της διαδικασίας αυτής είναι η εύρεση των σωστών θέσεων των αισθητήρων για τη λήψη, όσο γίνεται, πιο καθαρών σημάτων από τους μύες.

Με τη βοήθεια της ζώνης-επιδέσμου (band) που περιεγράφηκε στο Κεφ.3.6., τοποθετήθηκαν αισθητήρες Η/Μ περιμετρικά στον πήχη μετά τον αγκώνα σε όλες τις θέσεις και κατονομάστηκαν σύμφωνα με τους ωρολογιακούς αριθμούς. Έτσι, τοποθετήθηκαν στις θέσεις 1-12 και λήφθηκαν δεδομένα για τα σήματα των μυών και την εύρεση της θέσης τους.

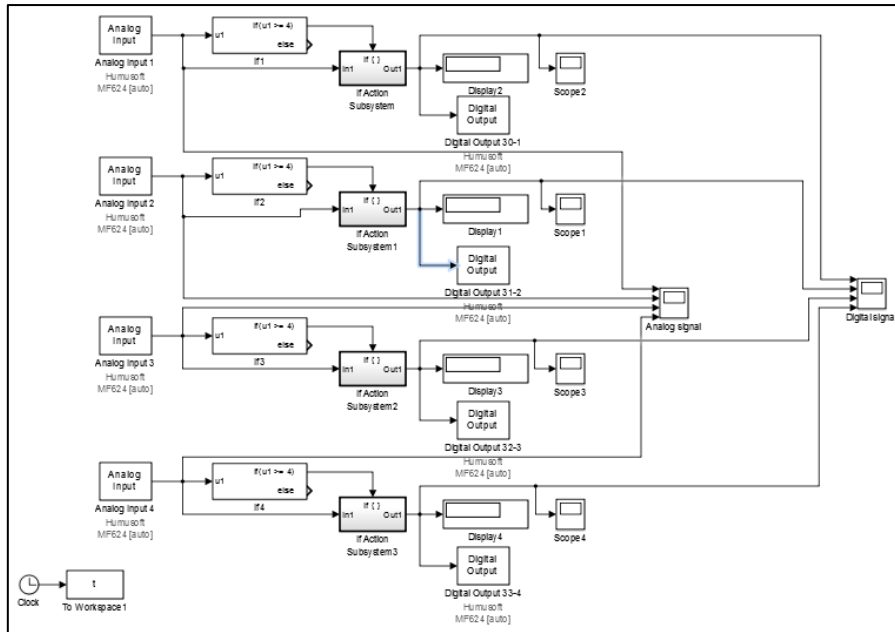
Τα πειράματα εύρεσης θέσεων των μυών πραγματοποιούνται για την καταγραφή δεδομένων αφορούν τις βασικές κινήσεις του καρπού, Κάμψη (Flexion), Έκταση (Extension), Κερκιδική ή Απαγωγή (Abduction) και Ωλένια ή Προσαγωγή (Adduction), όπως προαναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο.



Εικόνα 5.11.: Βασικές κινήσεις καρπού

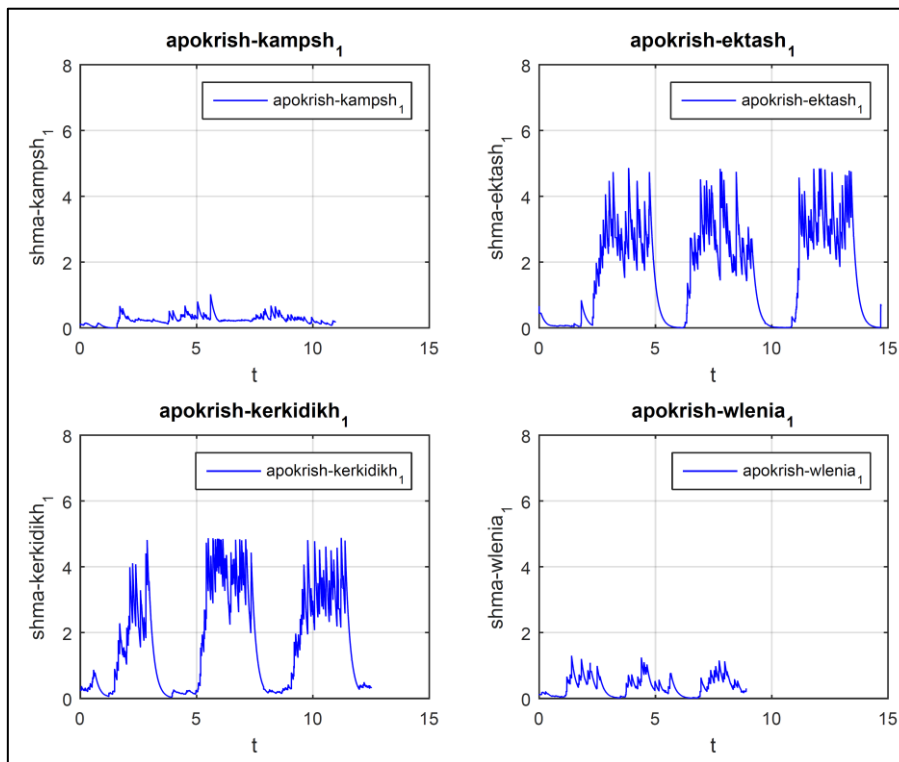
5.3.3. Λήψη πραγματικών δεδομένων

Με τη βοήθεια του γραφικού περιβάλλοντος Simulink του MatLab και της κάρτας συλλογής δεδομένων MF-624 PCI της Humusoft λήφθηκαν πειραματικά δεδομένα των σημάτων των μυών. Αυτό πραγματοποιήθηκε διότι σε κάθε άτομο τα σήματα μεταβάλλονται στο εύρος και τη θέση λήψης από τον πήχη. Αρχικά, δημιουργήθηκε ένα μπλοκ διάγραμμα το οποίο περιλαμβάνει αναλογικές εισόδους ανάγνωσης σημάτων από τέσσερις (4) ταυτόχρονα αισθητήρες Η/Μ, ψηφιακές εξόδους για την εξαγωγή των επιθυμητών εντολών λειτουργίας και μπλοκ ελέγχου ενδιάμεσων καταστάσεων. Επίσης, περιλαμβάνει κάποια μπλοκ απεικόνισης καταστάσεων για τη διεπαφή με τον χρήστη (Εικ.5.12.).

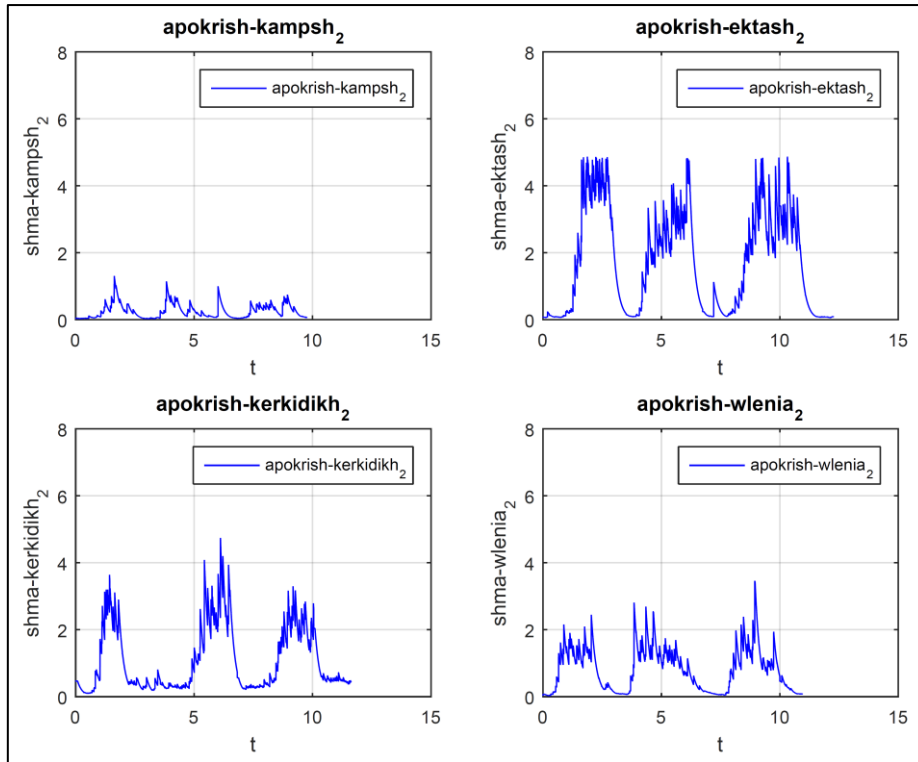


Εικόνα 5.12.: Μπλοκ Διάγραμμα Simulink MatLab

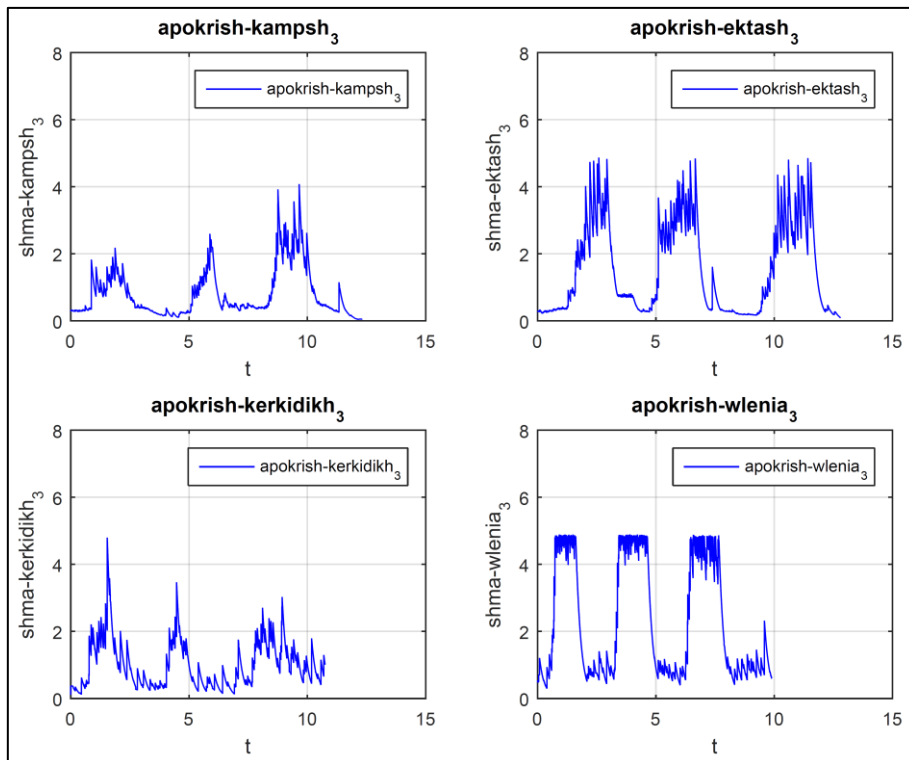
Με βάση την παραπάνω διαδικασία λήφθηκαν πακέτα δεδομένων **από υγιές άτομο**. Στο άτομο τοποθετήθηκαν αισθητήρες σε όλες τις θέσεις (ωρολογιακοί αριθμοί 1-12) και πραγματοποιήσε τις βασικές κινήσεις με τον πήχη για κάθε θέση. Έτσι, αναγνωρίστηκαν οι θέσεις των πέντε (5) μύων που αναφέρονται στην Παράγρ.5.3.1.. Οι αντίστοιχες θέσεις είναι στους ωρολογιακούς αριθμούς 12, 2, 4, 6 και 8. Οι βασικές κινήσεις του καρπού, για κάθε αναγνωρισμένο μυ, πραγματοποιήθηκαν τρεις (3) φορές σε διάστημα 10 [sec]. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται και περιγράφονται στα παρακάτω γραφήματα (Γραφ.5.1.-Γραφ.5.5.).



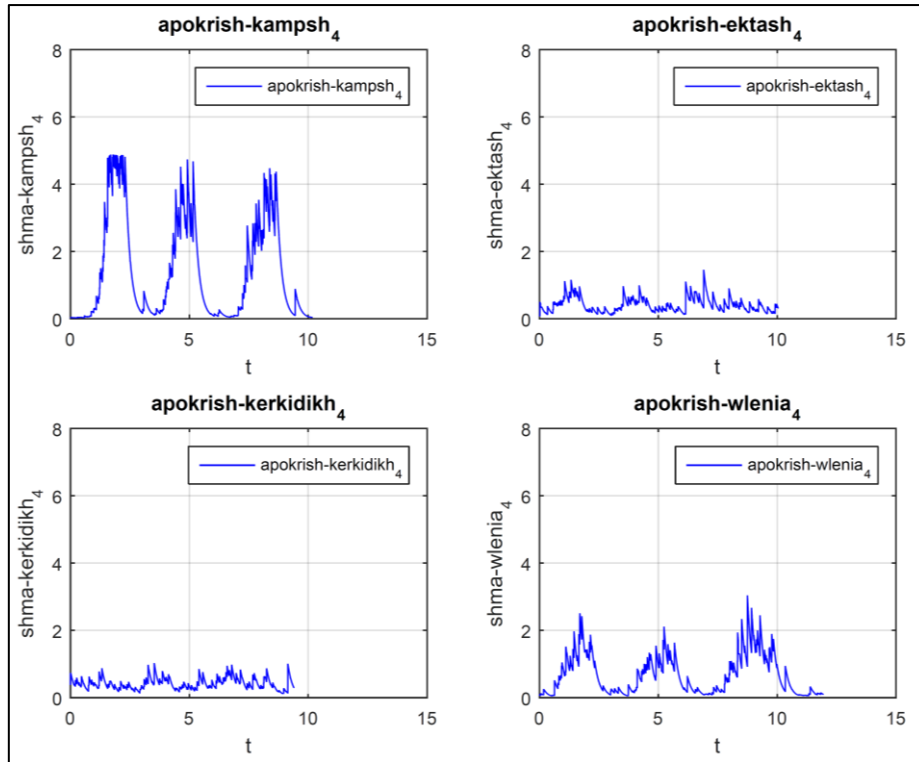
Γραφήματα 5.1.: Αποκρίσεις μυ ωρολογιακής θέσης "12"



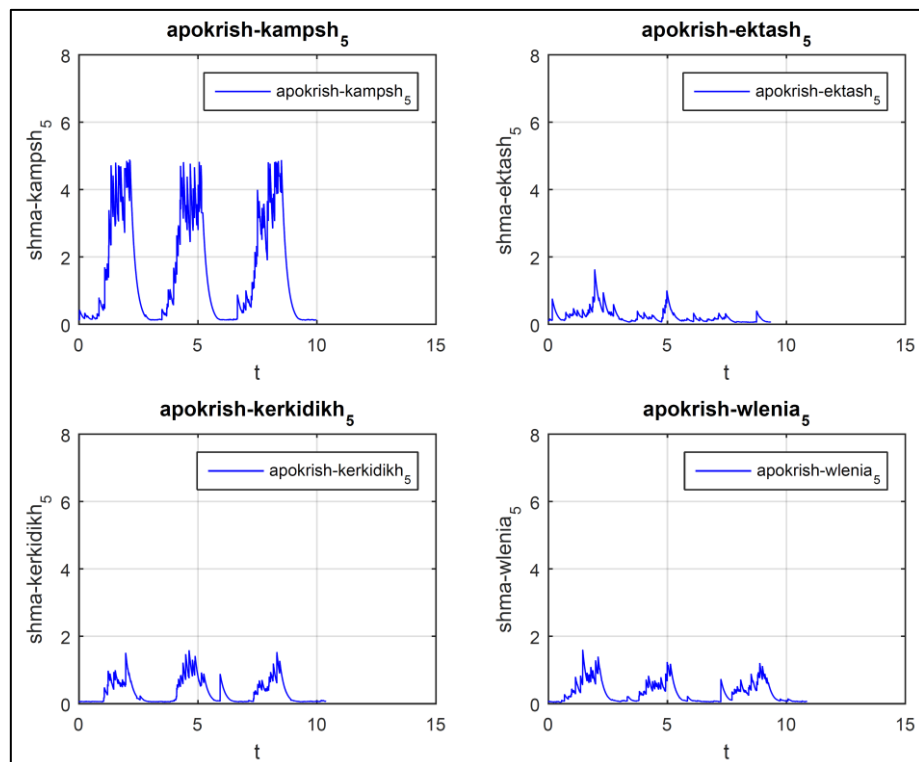
Γραφήματα 5.2.: Αποκρίσεις με ωρολογιακής θέσης "2"



Γραφήματα 5.3.: Αποκρίσεις με ωρολογιακής θέσης "4"



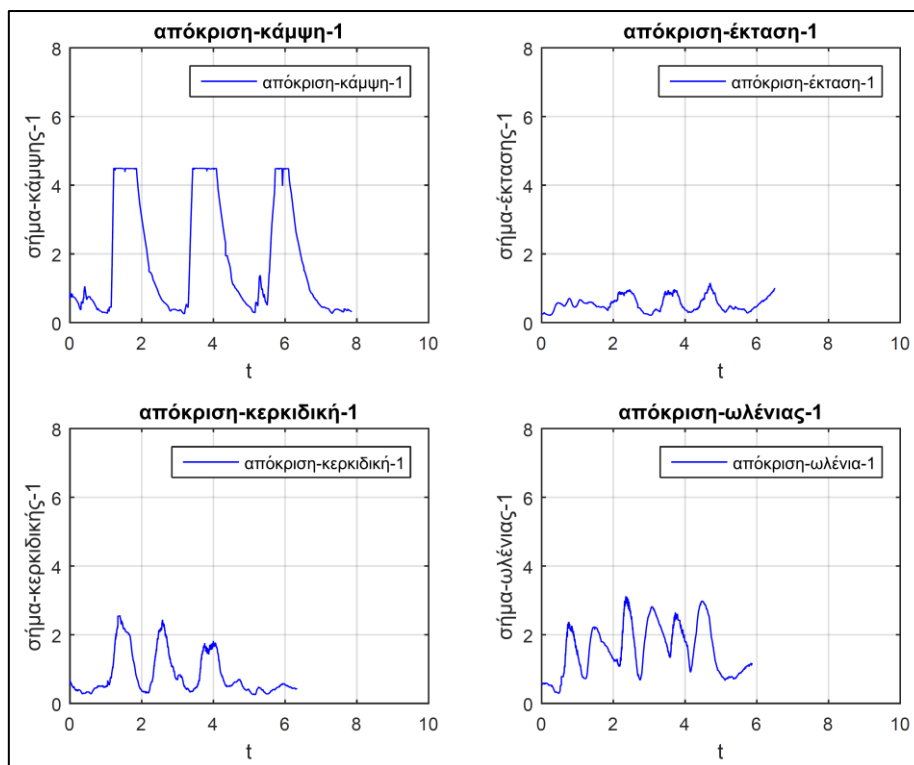
Γραφήματα 5.4.: Αποκρίσεις με ωρολογιακής θέσης "6"



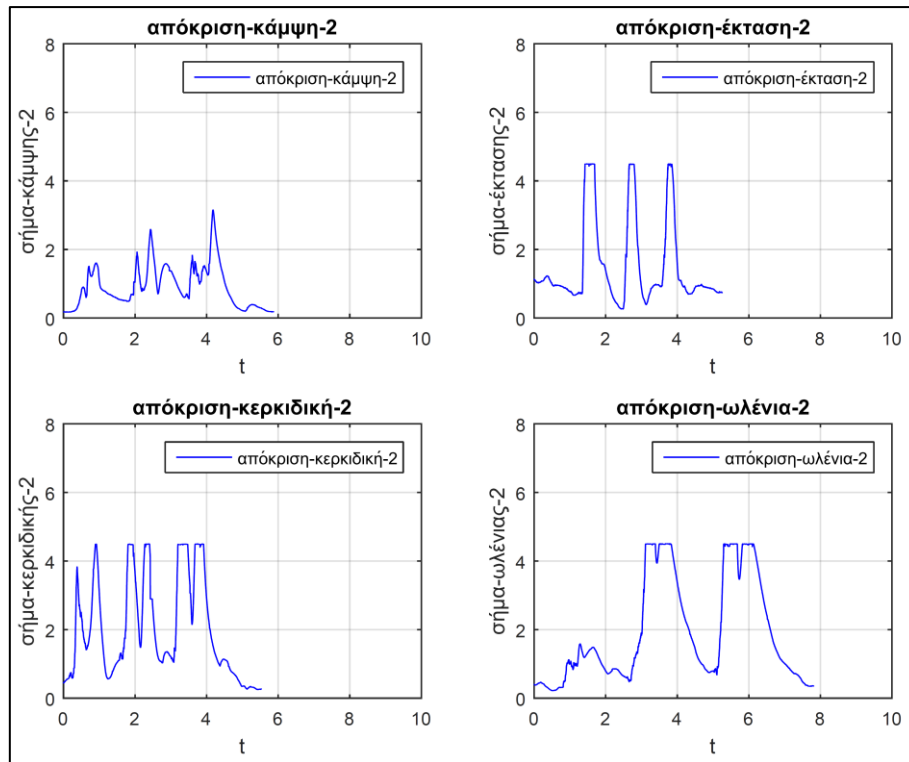
Γραφήματα 5.5.: Αποκρίσεις με ωρολογιακής θέσης "8"

Από τα παραπάνω γραφήματα συμπεραίνεται πως κάθε μυς επιδρά σε διαφορετική από τις βασικές κινήσεις του καρπού. Αυτό επιβεβαιώνεται και από την Παραγρ.5.3.1. όπου αναφέρονται οι μύες του πήχη και οι κινήσεις όπου ενεργούν.

Στη συνέχεια, με την αντίστοιχη διαδικασία λήφθηκε ένα πακέτο δεδομένων από άτομο με ακρωτηριασμό. Το άτομο αυτό παρά τον ακρωτηριασμό έχει την αίσθηση όλων των κινήσεων του καρπού. Σε αντίθετη περίπτωση δε θα υπήρχε δυνατότητα ανίχνευσης σημάτων των μυών. Έτσι, τοποθετήθηκαν οι αισθητήρες σε όλες τις θέσεις (ωρολογιακοί αριθμοί 1-12) ενώ αναγνωρίστηκαν μόνο δύο (2) μύες στις θέσεις 2 και 12. Στις θέσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν οι βασικές κινήσεις και αποθηκεύτηκαν τα δεδομένα. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται και περιγράφονται στα παρακάτω γραφήματα (Γραφ.5.6.-Γραφ.5.7.).



Γραφήματα 5.6.: Αποκρίσεις μυ ωρολογιακής θέσης “2”

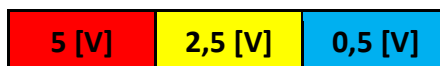


Γραφήματα 5.7.: Αποκρίσεις με ωρολογιακής θέσης “12”

Από τα παραπάνω γραφήματα συμπεραίνεται πως οι δύο (2) αναγνωρισμένοι μύες μπορούν να αντιστοιχισθούν σε δύο διαφορετικές κινήσεις, ο πρώτος στην κάμψη και ο δεύτερος στην ωλένια αίσθηση της κίνησης του καρπού.

5.3.4. Αντιστοίχιση Μετρήσεων

Ο αισθητήρας H/M εξάγει τάση 5 [V]. Ύστερα από τη λήψη δεδομένων (Παράγρ.5.3.3.), δημιουργείται ένας πίνακας με τη βοήθεια χρωματικού κώδικα όπου καταγράφονται τα αποτελέσματα. Ο χρωματικός κώδικας αποτελείται από τρία (3) χρώματα (κόκκινο-κίτρινο-μπλε) και αφορά το εύρος τιμών της τάσης που εξάγει ο αισθητήρας. Το κόκκινο χρώμα αφορά το εύρος τιμών που πλησιάζει τα 5 [V], το κίτρινο αφορά το εύρος τιμών κοντά στα 2,5 [V] και το μπλε αφορά το εύρος τιμών κοντά στο 0,5 [V] (Εικ.5.13.).



Εικόνα 5.13.: Χρωματικός Κώδικας Μετρήσεων Αισθητήρων H/M

Ο χρωματικός κώδικας, που προαναφέρθηκε, βοηθά στη λήψη γενικευμένων συμπερασμάτων για την τοποθέτηση των αισθητήρων Ρομποτική Πρόθεση και τη δημιουργία αλγορίθμων ελέγχου.

Κατόπιν μίας σειράς πειραμάτων δημιουργήθηκε ο παρακάτω πίνακας δεδομένων (Πιν.5.1.). Οι θέσεις των αισθητήρων στις οποίες δεν παράγεται κάποια τάση από τους μύες, απορρίπτονται και διαγράφονται από τον πίνακα δεδομένων.

Πίνακας 5.1.: Πειραματικά δεδομένα τοποθέτησης αισθητήρων Η/Μ

A/A	Θέση (ώρα)	κίνηση καρπού				δάκτυλα		Απόληξη μυ (δάκτυλο)
		Έκταση	Κάμψη	Κερκιδική	Ωλένια	Open	Close	
1	12							1ο
2	2							1ο-4ο
3	4							4ο
4	6							4ο
5	8							1ο-4ο

Στον παραπάνω πίνακα (Πιν.5.1.) αναφέρονται πέντε (5) θέσεις τοποθέτησης αισθητήρων Η/Μ στις οποίες παράγουν κάποια τάση οι μύες. Οι θέσεις αυτές, αντίστοιχα με τους ωρολογιακούς αριθμούς, είναι οι 12, 2, 4, 6 και 8. Αντίστοιχα με αυτές καταγράφονται, βάσει του χρωματικού κώδικα, οι τάσεις που παράγουν οι μύες σύμφωνα με τις βασικές κινήσεις του καρπού. Επίσης, καταγράφεται το δυναμικό που παράγεται κατά τις κινήσεις του ανοίγματος και κλεισίματος των δακτύλων. Στο τέλος του πίνακα αναγράφονται και οι απολήξεις στα δάκτυλα των μυών που αναγνωρίστηκαν. Οι απολήξεις μπορούν να επιβεβαιώσουν τις κινήσεις που αντιστοιχίστηκαν.

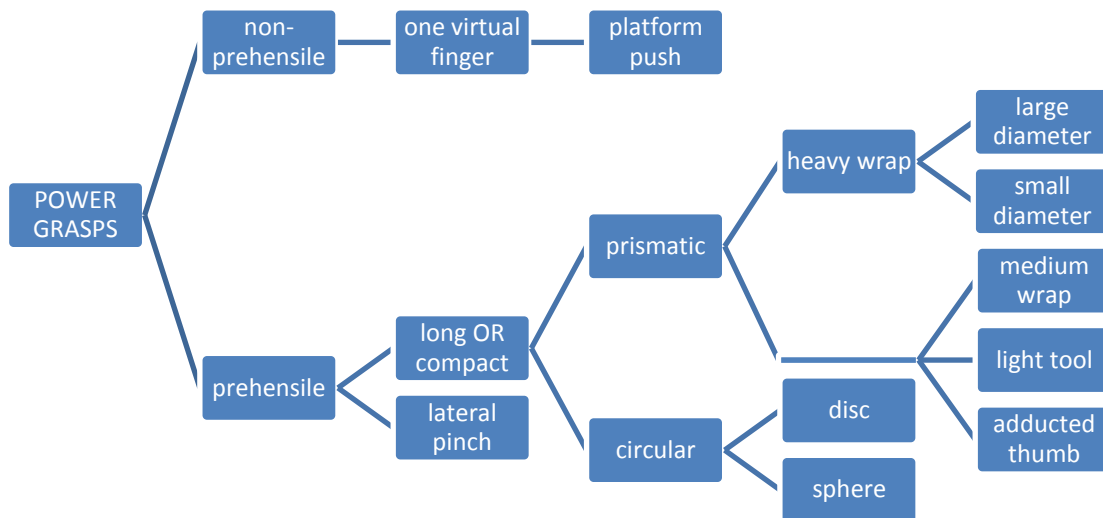
5.3.5. Αλγόριθμοι Ελέγχου

Το τελικό στάδιο, της διαδικασίας αναγνώρισης των μυών και καταγραφής σημάτων από τον πήχη, είναι η δημιουργία αλγορίθμων με σκοπό τον έλεγχο της Ρομποτικής Πρόθεσης. Αυτό μπορεί πλέον να γίνει απλούστερα μέσω του πίνακα που δημιουργήθηκε με τα πειραματικά δεδομένα (Πιν.5.1.). Σύμφωνα με τον πίνακα φαίνεται πως:

- Στη θέση 12 του αισθητήρα παράγεται μέγιστο δυναμικό κατά την έκταση και την κερκιδική κίνηση του καρπού,
- στη θέση 2 παράγεται μέγιστο δυναμικό κατά την έκταση και το άνοιγμα των δακτύλων, ενώ μετριασμένο δυναμικό κατά την κερκιδική, την ωλένια καθώς και το κλείσιμο των δακτύλων,
- στη θέση 4 παράγεται μέγιστο δυναμικό κατά την έκταση και ωλένια κίνηση του καρπού, ενώ μετριασμένο δυναμικό κατά την κάμψη, την κερκιδική, το άνοιγμα καθώς και κλείσιμο των δακτύλων,
- στη θέση 6 παράγεται μέγιστο δυναμικό κατά την έκταση και το κλείσιμο των δακτύλων, ενώ μετριασμένο δυναμικό κατά την ωλένια, και τέλος
- στη θέση 8 παράγεται μέγιστο δυναμικό μόνο κατά την κάμψη του καρπού.

Σε υπόλοιπες αντιστοιχίες θέσης και κίνησης του καρπού εμφανίζεται μηδαμινό δυναμικό.

Οι δύο βασικές κατηγορίες συγκράτησης είναι η λαβής ισχύος και ακριβείας [20]. Οι υποκατηγορίες αυτών είναι η λαβή σύλληψης, πρισματική, σφαιρική και περιτύλιξης (Εικ.5.14.). Έτσι, οι λαβές αυτές μπορούν να αντιστοιχισθούν με κάποιες από τις βασικές κινήσεις του καρπού (έκταση-κάμψη-κερκιδική-ωλένια) (Παράγρ.5.3.2.). Οπότε ο χρήστης, πραγματοποιώντας καθεμία από τις τέσσερις (4) βασικές κινήσεις του καρπού και το άνοιγμα ή κλείσιμο των δακτύλων, μπορεί να υλοποιεί μία από τις επιθυμητές καταγεγραμμένες λαβές.



Εικόνα 5.14.: κατηγορίες Λαβών

Σύμφωνα με τον Πιν.5.1. δημιουργούνται κάποιοι αλγόριθμοι πραγματοποίησης λαβών ως εξής:

- μέσω του μυ στη θέση “12” δρώντας ο καρπός σε κερκιδική κίνηση μπορεί να αντιστοιχισθεί η λαβή σύλληψης,
- μέσω του μυ στη θέση “2” δρώντας ο καρπός σε άνοιγμα των δακτύλων μπορεί να αντιστοιχισθεί η πρισματική λαβή,
- μέσω του μυ στη θέση “6” δρώντας σε κλείσιμο των δακτύλων μπορεί να αντιστοιχισθεί η σφαιρική λαβή,
- μέσω του μυ στη θέση “8” δρώντας σε κάμψη μπορεί να αντιστοιχισθεί η λαβή περιτύλιξης, όπως αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα (Πιν.5.2.).

Πίνακας 5.2.: Αντιστοιχία Αλγορίθμων Ελέγχου

θέση μμ (ώρα)	λαβή
12	σύλληψης
2	πρισματική
6	σφαιρική
8	περιτύλιξης

Όπως δημιουργήθηκε ο παραπάνω πίνακας (Πιν.5.2.) αντιστοιχίας λαβών, με τον ίδιο τρόπο μπορούν να καταγραφούν διάφοροι αλγόριθμοι ελέγχου.

Κεφάλαιο 6

Πειράματα Προσθετικού Μέλους

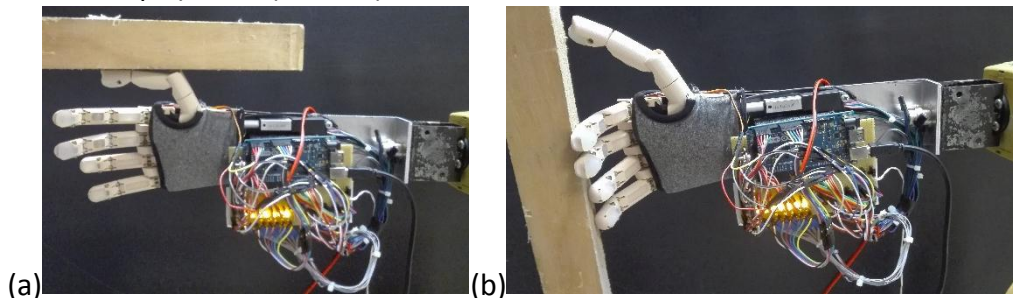
Εισαγωγή

Για την αξιολόγηση του προσθετικού μέλους όπου κατασκευάστηκε, απαραίτητη ήταν η διαδικασία διεκπεραίωσης πειραμάτων λαβών και χειρονομιών. Κατά τη διαδικασία αυτή επιδεικνύονται οι δυνατότητές του και οι ιδιαιτερότητες που παρέχει η συγκεκριμένη κατασκευή, ώστε να μπορεί να αξιολογηθεί εν συγκρίσει με άλλες αντίστοιχες κατασκευές.

6.1. Δυνατότητες Μηχανολογικής Σχεδίασης

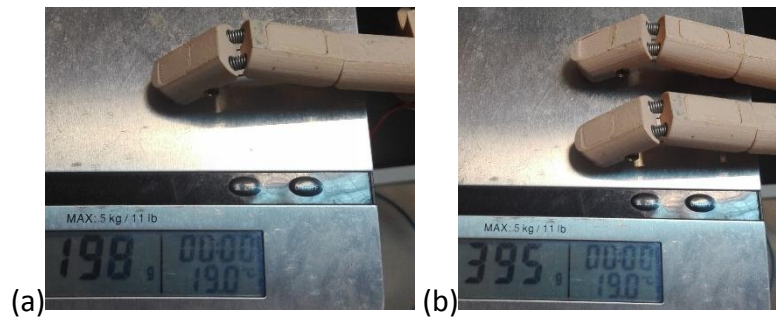
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται πειραματικά αποτελέσματα από πειράματα που διεξάγονται σε μη προβλεπόμενες προσκρούσεις, σε πειράματα μέτρησης δύναμης των δακτύλων και πειράματα μέτρησης ταχύτητας κάμψης των δακτύλων. Όλα τα παραπάνω απεικονίζονται στη συνέχεια (Εικ.6.1.,6.2.,6.3.).

- Πειράματα σε Μη Προβλεπόμενες Προσκρούσεις.
Στα πειράματα για την πρόσκρουση των δακτύλων σε αντικείμενα, όπως φαίνεται παρακάτω, τα δάκτυλα αντιδρούν ομαλά κατά την κάμψη τους χωρίς να καταστρέφονται (Εικ.6.1.).



Εικόνα 6.1.: (a) πρόσκρουση αντίχειρα σε εμπόδιο,
(b) πρόσκρουση τεσσάρων δακτύλων (I-M-R-L) σε εμπόδιο.

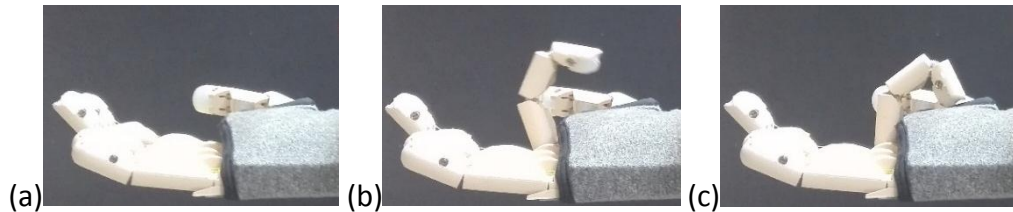
- Πειράματα για τη Μέτρηση Δύναμης.
Στα πειράματα που διεξήχθησαν για τη μέτρηση της δύναμης που μπορούν να ασκήσουν τα δάκτυλα, ασκείται πίεση στην επιφάνεια μιας ηλεκτρονικής ζυγαριάς ακριβείας. Όπως φαίνεται παρακάτω, κατά την άσκηση δύναμης με τον Δείκτη μόνο ασκείται δύναμη 198 [gr] (Εικ.6.2.(a)), ενώ με τον Δείκτη και τον Μέσο ταυτόχρονα ασκείται δύναμη 395 [gr] (Εικ.6.2.(b)).



Εικόνα 6.2.: (a) άσκηση δύναμης με τον Δείκτη, (b) άσκηση δύναμης με τον Δείκτη και τον Μέσο.

- Πειράματα για τη Μέτρηση Ταχύτητας.

Στα πειράματα που διεξήχθησαν για τη μέτρηση της ταχύτητας ολοκληρωμένης κάμψης του εκάστοτε δακτύλου, μετρήθηκε ο χρόνος των 2.5 [sec] περίπου από τη θέση (Εικ.6.3.(a)) έως τη θέση (Εικ.6.3.(c)).



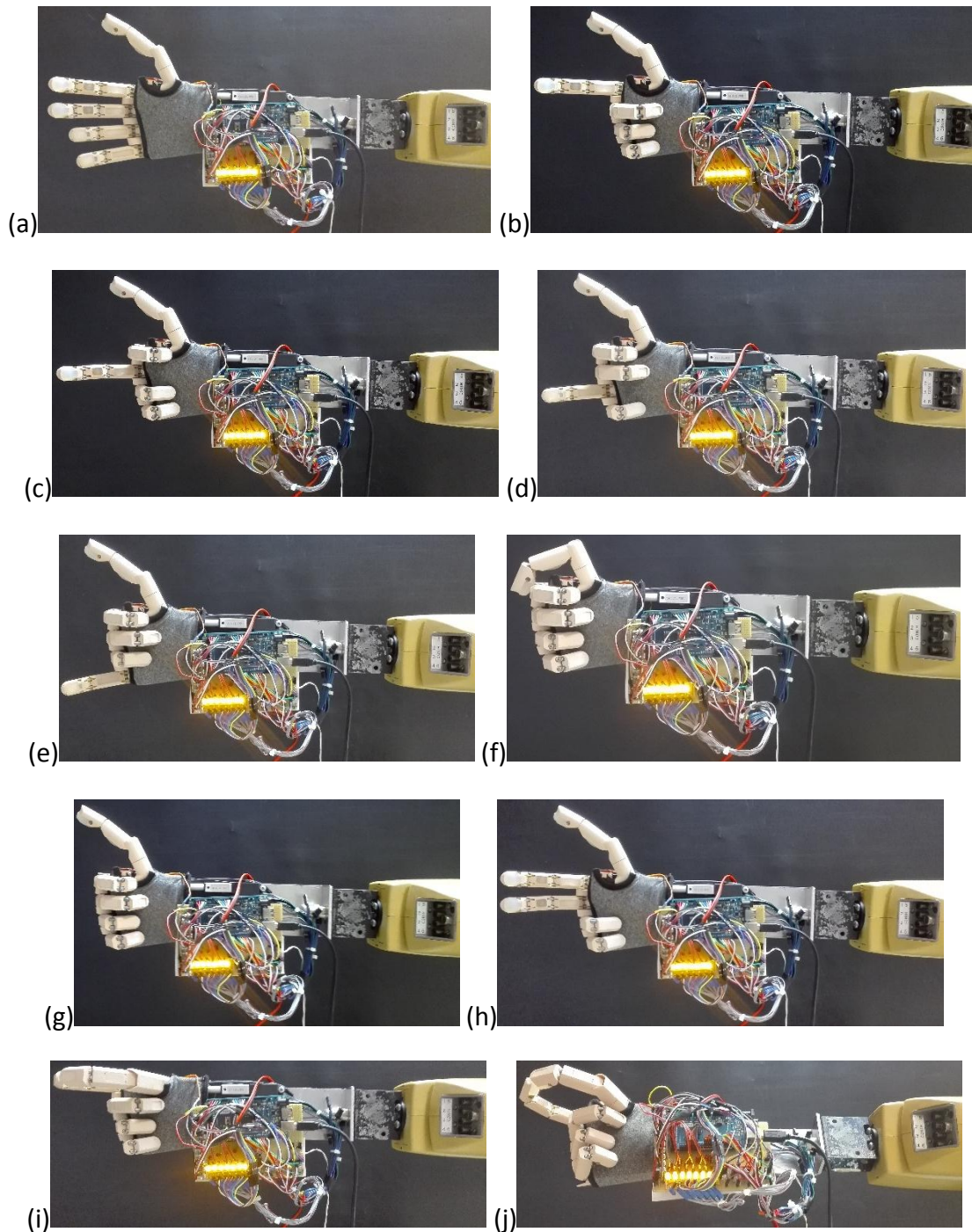
Εικόνα 6.3.: Μέτρηση ταχύτητας κάμψης του δακτύλου.

6.2. Πειράματα Χειρονομιών και Λαβών

Στην ενότητα αυτή πραγματοποιούνται πειράματα διαφόρων χειρονομιών, που επιτεύχθηκαν με το προσθετικό μέλος που κατασκευάστηκε, με σκοπό την επίδειξη των δυνατοτήτων του. Οι χειρονομίες αυτές αφορούν οπτικές χειρονομίες σημάτων, χειρονομίες αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον ή με αντικείμενα καθώς και κάποιες προ-λαβές, όπως η πληκτρολόγηση ή το mouse click.

6.2.1. Διεξαχθείσες Χειρονομίες Προσθετικού Μέλους

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται οι χειρονομίες σημάτων οι οποίες αφορούν χειρονομίες χωρίς τη λαβή κάποιου αντικειμένου. Οι χειρονομίες είναι οι εξής: ανοικτή Παλάμη (a), έκταση Δείκτη (b), έκταση Μέσου (c), έκταση Παράμεσου (d), έκταση Μικρού (e), γροθιά (f), OK (g), τρία δάκτυλα (h), επαφή Αντίχειρα - Δείκτη (i), (j) (Εικ.6.4.(a)-(j)).



Εικόνα 6.4.: Χειρονομίες Σημάνσεων

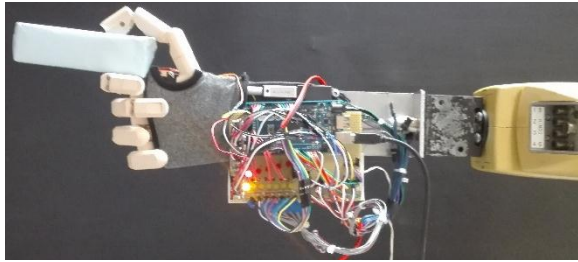
Όπως φαίνεται στις παραπάνω απεικονίσεις, το προσθετικό μέλος που κατασκευάστηκε μπορεί να επιτύχει οποιαδήποτε χειρονομία, αντίστοιχες με αυτές του ανθρώπου.

6.2.2. Χειρονομίες αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον - αντικείμενα

Παρακάτω απεικονίζονται κάποιες χειρονομίες αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον. Αυτές αφορούν λαβές συγκράτησης αντικειμένων. Στις λαβές αυτές

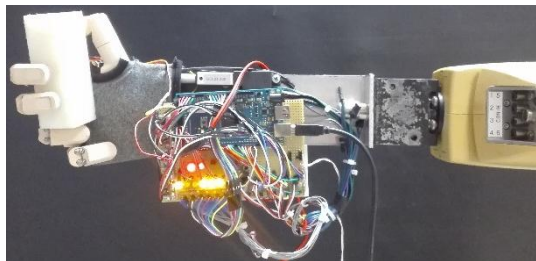
επίσης, απεικονίζονται και τα led ενδείξεων που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο που αφορούσε το Υποσύστημα Ελέγχου (Εικ.6.5.-Εικ.6.22.).

- Λαβή παραλληλεπίπεδου χάρτινου κουτιού με τον αντίχειρα.
Στο πείραμα αυτό παρατηρείται αντίσταση στον κινητήρα του Αντίχειρα, όπως επιβεβαιώνεται και με την ένδειξη της κόκκινης φωτοδιόδου του κινητήρα (Εικ.6.5.).



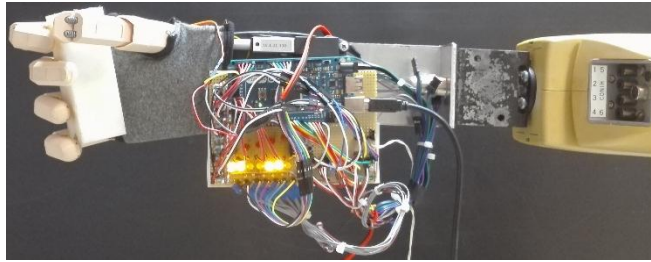
Εικόνα 6.5.: Λαβή παραλληλεπίπεδου χάρτινου κουτιού

- Λαβή παραλληλεπίπεδου συμπαγούς πλαστικού βάρους 150 [gr] με τον Δείκτη και τον Μέσο.
Στο πείραμα αυτό παρατηρείται αντίσταση στον κινητήρα του Δείκτη και του Μέσου, όπως επιβεβαιώνεται και με την ένδειξη των κόκκινων φωτοδιόδων των κινητήρων. Ενδείξεις led FSR: Index-Distal, Index-Intermediate, Middle-Distal, Middle-Intermediate, Palm (Εικ.6.6.).



Εικόνα 6.6.: Λαβή παραλληλεπίπεδου συμπαγούς πλαστικού βάρους 150 [gr] (δύο δάκτυλα)

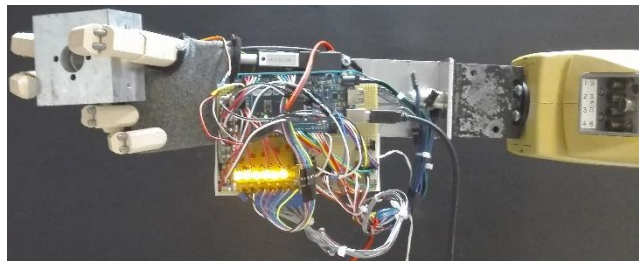
- Λαβή παραλληλεπίπεδου συμπαγούς πλαστικού βάρους 150 [gr] με τα πέντε δάκτυλα.
Ενδείξεις led FSR: Index-Intermediate, Middle-Distal, Middle-Intermediate, Thumb-Distal, Palm (Εικ.6.7.).



Εικόνα 6.7.: Λαβή παραλληλεπίπεδου συμπαγούς πλαστικού βάρους 150 [gr] (πέντε δάκτυλα)

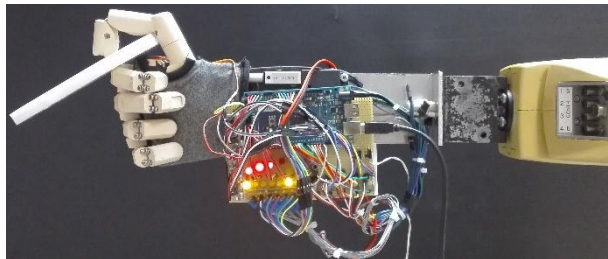
- Λαβή κύβου αλουμινίου βάρους 200 [gr] με τον Αντίχειρα, τον Δείκτη και τον Μέσο.

Ενδείξεις led FSR: Index-Intermediate, Middle-Distal, Middle-Intermediate, Thumb-Distal, Thumb-Intermediate, Palm (Εικ.6.8.).



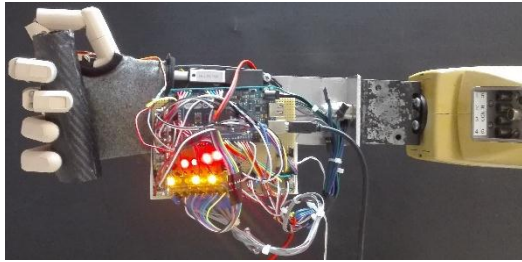
Εικόνα 4 Λαβή κύβου αλουμινίου βάρους 200 [gr] (τρία δάκτυλα)

- Λαβή επίπεδης συμπαγούς πλάκας βάρους 150 [gr] με τον Αντίχειρα.
Στο πείραμα αυτό παρατηρείται αντίσταση στον κινητήρα του Αντίχειρα του Δείκτη και του Μέσου, όπως επιβεβαιώνεται και με την ένδειξη των κόκκινων φωτοδιόδων των κινητήρων. Ενδείξεις led FSR: Distal-Thumb, Palm (Εικ.6.9.).



Εικόνα 6.9.: Λαβή επίπεδης συμπαγούς πλάκας βάρους 150 [gr]

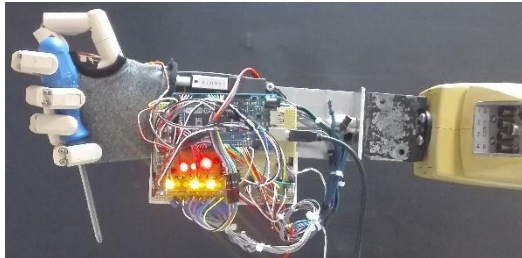
- Λαβή κυλίνδρου με τα τέσσερα δάκτυλα.
Στο πείραμα αυτό παρατηρείται αντίσταση των κινητήρων του Δείκτη, του Μέσου, του Παράμεσου και του Μικρού, όπως επιβεβαιώνεται και με την ένδειξη των κόκκινων φωτοδιόδων των κινητήρων. Ενδείξεις led FSR: Distal - Index, Distal-Middle, Palm (Εικ.6.10.).



Εικόνα 6.5.: Λαβή μικρού κυλίνδρου

- Λαβή κατσαβιδιού με τα τέσσερα δάκτυλα.

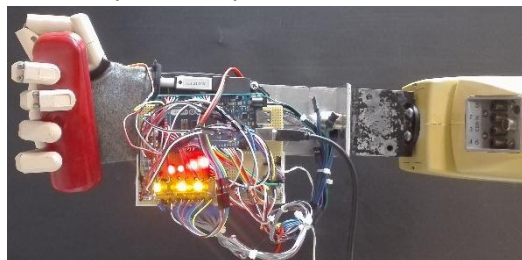
Στο πείραμα αυτό παρατηρείται αντίσταση των κινητήρων του Δείκτη, του Μέσου και του Παράμεσου, όπως επιβεβαιώνεται και με την ένδειξη των κόκκινων φωτοδιόδων των κινητήρων. Ενδείξεις led FSR: Distal-Index, Distal-Middle, Palm (Εικ.6.11.).



Εικόνα 6.11.: Λαβή κατσαβιδιού

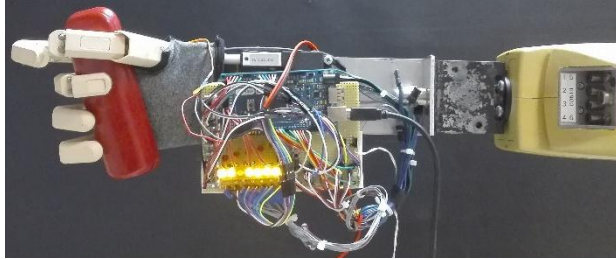
- Λαβή συσκευής τηλεφώνου με τον Δείκτη, τον Μέσο, τον Παράμεσο και τον Μικρό.

Στο πείραμα αυτό παρατηρείται αντίσταση των κινητήρων του Δείκτη, του Μέσου, του Παράμεσου και του Μικρού, όπως επιβεβαιώνεται και με την ένδειξη των κόκκινων φωτοδιόδων των κινητήρων. Ενδείξεις led FSR: Distal-Index, Distal-Middle, Palm (Εικ.6.12.).



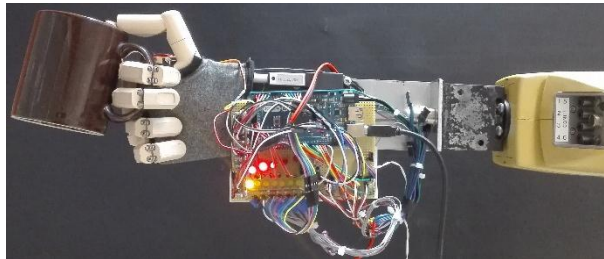
Εικόνα 6.12.: Λαβή συσκευής τηλεφώνου (τέσσερα δάκτυλα)

- Λαβή συσκευής τηλεφώνου με τα πέντε δάκτυλα.
Ενδείξεις led FSR: Index-Distal, Index-Intermediate, Middle-Distal, Middle-Intermediate, Thumb-Distal, Palm (Εικ.6.13.).



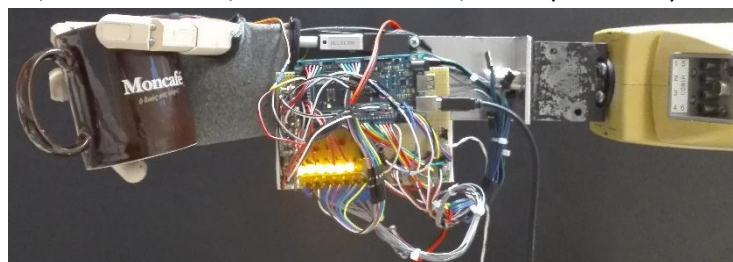
Εικόνα 6.13.: Λαβή συσκευής τηλεφώνου (πέντε δάκτυλα)

- Λαβή κούπας με τον Αντίχειρα, τον Δείκτη και τον Μέσο.
Στο πείραμα αυτό παρατηρείται αντίσταση των κινητήρων του Αντίχειρα του Δείκτη και του Μέσου, όπως επιβεβαιώνεται και με την ένδειξη των κόκκινων φωτοδιόδων των κινητήρων. Ενδείξεις led FSR: Palm (Εικ.6.14.).



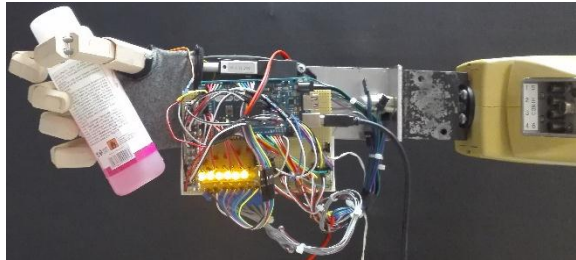
Εικόνα 6.14.: Λαβή κούπας (τρία δάκτυλα)

- Λαβή κούπας με τα πέντε δάκτυλα.
Ενδείξεις led FSR: Index-Distal, Index-Intermediate, Middle-Distal, Middle-Intermediate, Thumb-Distal, Thumb-Proximal, Palm (Εικ.6.15.).



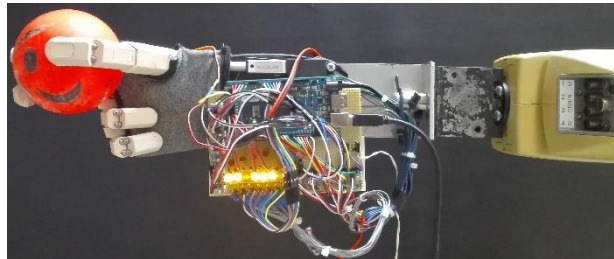
Εικόνα 6.15.: Λαβή κούπας (πέντε δάκτυλα)

- Λαβή κυλινδρικού μπουκαλιού με τα πέντε δάκτυλα.
Ενδείξεις led FSR: Index-Intermediate, Middle-Distal, Middle-Intermediate, Thumb-Distal, Thumb-Proximal, Palm (Εικ.6.16.).



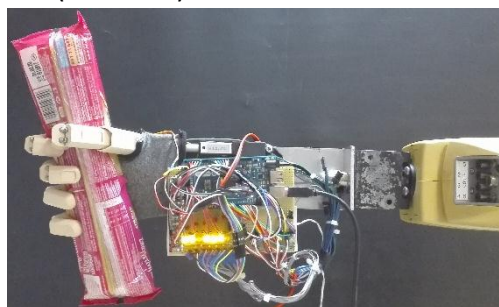
Εικόνα 6.6.: Λαβή κυλινδρικού μπουκαλιού

- Λαβή σφαίρας με τον Αντίχειρα, τον Δείκτη και τον Μέσο.
Ενδείξεις led FSR: Index-Distal, Middle-Distal, Middle-Intermediate, Thumb-Distal, Thumb-Proximal (Εικ.6.17.).



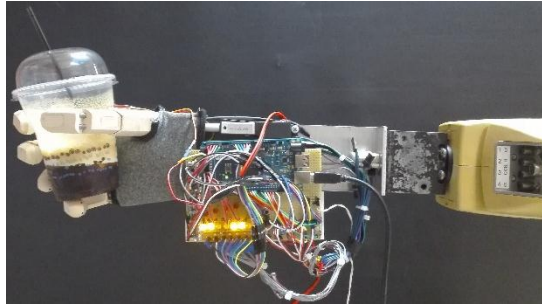
Εικόνα 6.7.: Λαβή σφαίρας

- Λαβή πακέτου μακαρόνια βάρους 500 [gr] με τα πέντε δάκτυλα.
Ενδείξεις led FSR: Index-Intermediate, Middle-Distal, Middle-Intermediate, Thumb-Proximal, Palm (Εικ.6.18.).



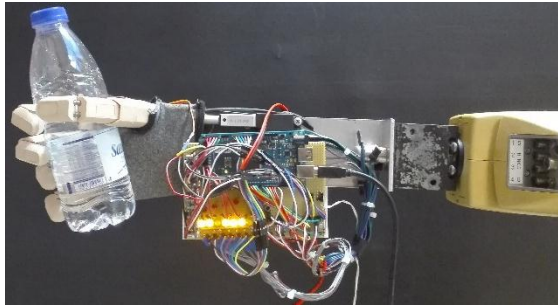
Εικόνα 6.8.: Λαβή πακέτου μακαρόνια βάρους 500 [gr]

- Λαβή ποτηριού με υγρό με τα πέντε δάκτυλα. Ενδείξεις led FSR: Index-Intermediate, Middle-Distal, Thumb-Distal, Thumb-Proximal (Εικ.6.19.).



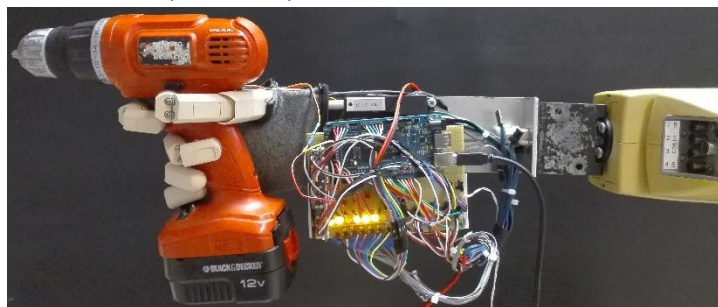
Εικόνα 6.19.: Λαβή ποτηριού με υγρό

- Λαβή μπουκαλιού νερού ½ [lt] με υγρό με τα πέντε δάκτυλα. Ενδείξεις led FSR: Index-Intermediate, Middle-Distal, Middle-Intermediate, Thumb-Proximal, Palm (Εικ.6.20.).



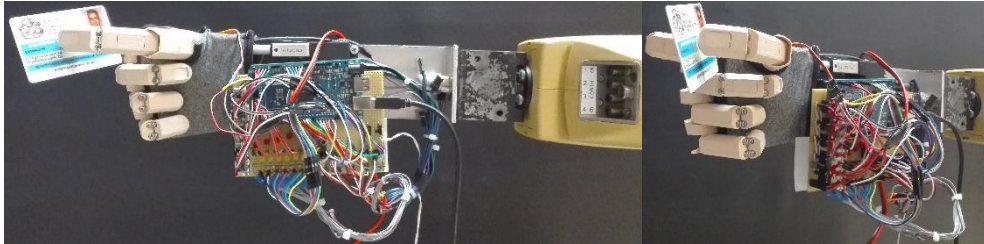
Εικόνα 6.20.: Λαβή μπουκαλιού νερού ½ [lt] με υγρό

- Λαβή ηλεκτρικού εργαλείου βάρους 1.2[kg] με τα πέντε δάκτυλα. Ενδείξεις led FSR: Index-Intermediate, Middle-Distal, Middle-Intermediate, Thumb-Proximal, Palm (Εικ.6.21.).



Εικόνα 6.21.: Λαβή ηλεκτρικού εργαλείου βάρους 1.2[kg]

- Λαβή κάρτας με τον Δείκτη και τον Μέσο.
Ενδείξεις led FSR: Χωρίς ενδείξεις (Εικ.6.22.).



Εικόνα 6.22.: Λαβή κάρτας με τον Δείκτη και τον Μέσο

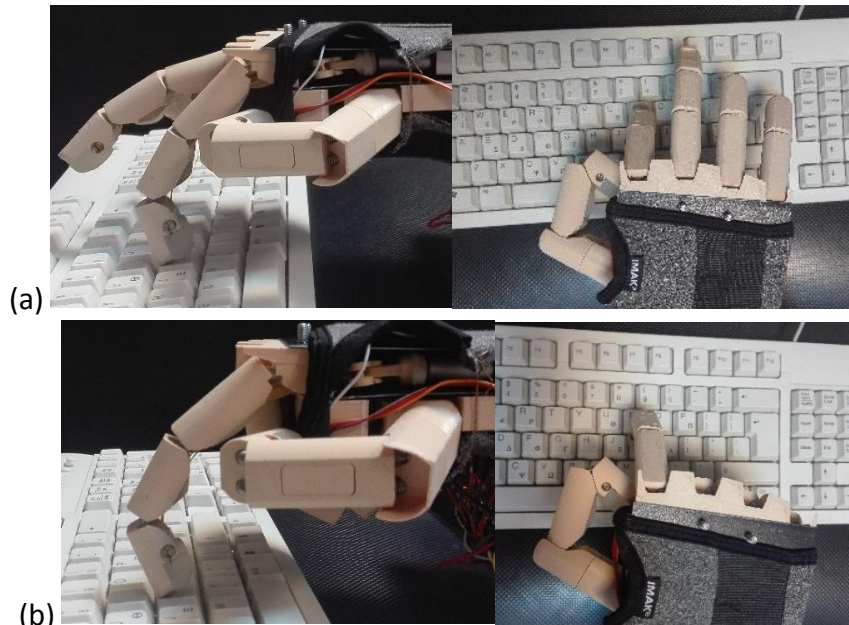
Από τα παραπάνω πειράματα λαβών αντικειμένων φαίνεται πως έχει αρκετά καλή συμπεριφορά η Ρομποτική Πρόθεση, εν συγκρίσει με αντίστοιχες λαβές που έχουν πραγματοποιηθεί με άλλες αντίστοιχες κατασκευές της βιβλιογραφίας.

6.2.3. Προ-λαβές

Παρακάτω απεικονίζονται κάποιες προ-λαβές. Ως προ-λαβές ορίζονται κάποιες “προετοιμασίες” χειρονομιών-λαβών οι οποίες χρησιμεύουν στην χρήση Η/Υ με σκοπό την πληκτρολόγηση ή το mouse click (Εικ.6.23.,Εικ.6.24.).

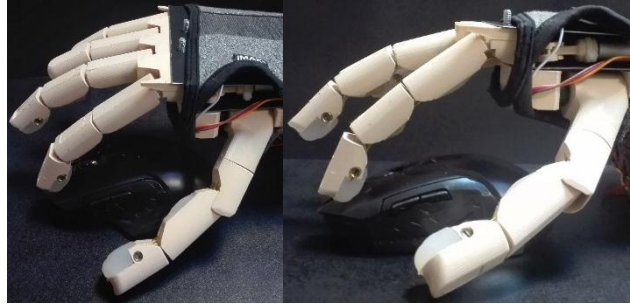
- Προ-λαβή πληκτρολόγησης.

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται η Ρομποτική Πρόθεση σε δύο διαφορετικές προ-λαβές πληκτρολόγησης, πληκτρολόγηση με το δείκτη ενώ είναι ανοικτά τα υπόλοιπα δάκτυλα (Εικ.6.23.(a)) και σε πληκτρολόγηση με το δείκτη ενώ είναι κλειστά τα υπόλοιπα δάκτυλα (Εικ.6.23.(b)).



Εικόνα 6.23.: (a) πληκτρολόγηση με το δείκτη και ανοικτά τα υπόλοιπα δάκτυλα, (b) πληκτρολόγηση με το δείκτη και κλειστά τα υπόλοιπα δάκτυλα

- Προ-λαβή mouse click.
Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται η Ρομποτική Πρόθεση σε θέσεις προ-λαβής mouse click (Εικ.6.24.).



Εικόνα 6.24.: Mouse click

Κεφάλαιο 7

Συμπεράσματα και Μελλοντική Εξέλιξη

Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν από την έρευνα που πραγματοποιήθηκε. Αναφέρονται επίσης, κάποιιοι τομείς μελλοντικής εξέλιξης όπου θα μπορούσε να βελτιωθεί η κατασκευή που υλοποιήθηκε.

5.1. Συμπεράσματα αποτελέσματος

Ύστερα από εκτενέστερη μελέτη επάνω στο θέμα του παρόντος εγγράφου συμπεραίνεται πως κάθε ερευνητής κατευθύνεται προς ένα συγκεκριμένο μέρος ενός ρομποτικού χεριού. Αυτό συμβαίνει διότι ένα ρομποτικό χέρι έχει πολλές κατευθύνσεις έρευνας, όπου κάποιος επιβάλλεται να τις ακολουθήσει όλες ταυτόχρονα με σκοπό να υπάρξει ένα ολοκληρωμένο αποτέλεσμα το οποίο πλησιάζει όσο γίνεται περισσότερο το ανθρώπινο χέρι.

Η παρούσα έρευνα, αφού ο σκοπός της Ρομποτικής Πρόθεσης ήταν η χρήση ως προσθετικό μέλος, τα πεδία που εμβαθύνει είναι οι αρθρώσεις των δακτύλων, οι αισθητήρες αλληλεπίδρασης χρήστη-περιβάλλοντος και οι επιτεύξιμες λαβές. Όσων αφορά τις αρθρώσεις των φαλαγγών των δακτύλων, ύστερα από πειραματικές μελέτες, η έρευνα κατέληξε πως το κομμάτι αυτό είναι αρκετά μεγάλο έτσι ώστε να κατασκευαστεί ένα προσθετικό μέλος το οποίο να ανταποκρίνεται πλήρως στις ανάγκες του χρήστη. Στο σύστημα αίσθησης, χρησιμοποιήθηκαν δύο τύπων αισθητήρια, ρεύματος και πίεσης. Σε ένα ανθρώπινο χέρι μπορούν να αντιστοιχισθούν πολλές μορφές αίσθησης, όπως αφής, δύναμης, θερμότητας ή υγρασίας. Οπότε, αυτό είναι άλλο ένα θέμα εκτενέστερης μελέτης αφού όσα περισσότερα αισθητήρια εφαρμοστούν τόσο πληρέστερη μπορεί να γίνει η πληροφορία. Τέλος, στο θέμα των λαβών εμπλέκονται όλα τα παραπάνω, οπότε η έρευνα κατέληξε στο ότι με το συγκεκριμένο αποτέλεσμα που υλοποιήθηκε οι επιτεύξιμες λαβές μπορούν να εκταθούν έως ένα συγκεκριμένο σημείο.

5.2. Μελλοντική εξέλιξη

Η Ρομποτική Πρόθεση που κατασκευάστηκε πέτυχε το μεγαλύτερο βαθμό από τους αρχικούς στόχους που είχαν δοθεί. Όπως προαναφέρθηκε όμως, η έρευνα σε αυτό το κομμάτι εκτείνεται πολύ, οπότε κάθε αντίστοιχη κατασκευή θα μπορούσε να εξελιχθεί περισσότερο.

Ένα από τα σημεία εξέλιξης της έρευνας αυτής, αφορά τους επενεργητές. Αν και χρησιμοποιήθηκαν αρκετά ποιοτικοί γραμμικοί κινητήρες, σε μελλοντική εξέλιξη της κατασκευής θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ακόμη καλύτεροι, με σκοπό την καλύτερη απόκρισή τους στην ταχύτητα. Επίσης, ένα ακόμη κομμάτι το οποίο επιδέχεται μεγάλη εξέλιξη είναι τα αισθητήρια. Έκτος από το ενδεχόμενο να εμπλουτιστεί με περισσότερους αισθητήρες, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν καλύτερης ακρίβειας αισθητήρες ρεύματος και πίεσης. Τέλος, το σύνολο των ηλεκτρονικών ελέγχου, επιδέχεται εξέλιξη από την πλευρά του μεγέθους. Σε επόμενο στάδιο η κατασκευή μπορεί να χρησιμοποιεί μικρότερου μεγέθους μικροελεγκτή, καθώς και αισθητήρια, και όλα αυτά συμπυκνμένα σε μια πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος (printed circuit board - P.C.B.) μικρού μεγέθους με ηλεκτρονικά τεχνολογίας επιφανειακής στήριξης (surface mount technology - S.M.T.) κατασκευασμένη σε συσκευή επιφανειακής στήριξης (surface mount device - S.M.D.).

Βιβλιογραφικές Αναφορές

- [1] https://el.wikipedia.org/wiki/Ανθρώπινος_σκελετός
- [2] <https://el.wikipedia.org/wiki/Μυς>
- [3] Touch Bionics, Inc. i-Limb prosthetic hand, <http://www.touchbionics.com>
- [4] Ottobock, Inc. Ottobock Michelangelo prosthetic hand, <http://www.living-with-michelangelo.com>
- [5] RSL Steeper, Inc. Bebionic prosthetic hand, <http://www.bebionic.com>
- [6] Shadow Robot Company, United States Patent. Patent No US8,483,880 B2, Date of Patent Jul.9, 2013
- [7] M. Grebenstein, et al., "The hand of the DLR Hand Arm System: Designed for interaction," The International Journal of Robotics Research, vol. 31, pp. 1531-1555, 2012.
- [8] L. B. Bridgwater, et al., "The Robonaut 2 hand - designed to do work with tools," in 2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) Saint Paul, Minnesota, USA, 2012, pp. 3425 - 3430
- [9] Control Architecture for the Belgrade/USC Hand George A. Bekey¹ Rajko Tomovic² Ilija Zeljkovic¹
- [10] Kinematic and Dynamic Analyses of the Stanford/ JPL Robot Hand Victor J. Johnson, Gregory P. Starr
- [11] K.S. Salisbury, B. Roth: Kinematics and force analysis of articulated mechanical hands, J. Mechan. Trans. Actuat. Des. 105, 35–41 (1983)
- [12] J. Butterfass, G. Hirzinger, S. Knoch, H. Liu: DLR's multisensory articulated hand. Part I: Hard- and software architecture, Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom. ICRA99 (1999)
- [13] C. Melchiorri, G. Vassura: Mechanical and control features of the university of Bologna hand version 2, Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Int. Robot. Syst. IROS'92 (Raleigh 1992) pp. 187–193
- [14] W.T. Townsend: MCB – industrial robot feature article- Barrett hand grasper, Ind. Robot. 27(3), 181–188 (2000)
- [15] H. Kawasaki, T. Komatsu, K. Uchiyama: Dexterous anthropomorphic robot hand with distributed tactile sensor: Gifu hand II, IEEE/ASME Trans. Mechatron. 7(3), 296–303 (2002)
- [16] T.J. Doll, H.J. Schneebeli: The Karlsruhe hand, Preprint IFAC Symp. Robot Contr. SYROCO (1988) pp. 1–6
- [17] Highly flexible micro-joint with large rotational movement based on elastic design concept, Cheol Woo Ha, Yong Son, Sungseek Ham, Dong-Yol Yang*, Department of Mechanical Engineering, KAIST, Daejeon, Republic of KOREA, *dyyang@kaist.ac.kr
- [18] Design and evaluation of a shape memory alloy-based tendon-driven actuation system for biomimetic artificial fingers, Dr. Edward Park, Department of Mechanical Engineering, University of Victoria; School of Engineering Science, Simon Fraser University, Supervisor, Dr. Martin Jun, Department of Mechanical Engineering, University of Victoria, Departmental

- Member, Dr. Nikolai Dechev, Department of Mechanical Engineering, University of Victoria, Departmental Member
- [19] The Development of a Novel Prosthetic Hand - Ongoing Research and Preliminary Results, M. C. Carrozza, Member, IEEE, B. Massa, S. Micera, Member, IEEE, R. Lazzarini, M. Zecca, Student Member, IEEE, and P. Dario, Senior Member, IEEE
- [20] A Robust Compliant Grasper via Shape Deposition Manufacturing, Aaron M. Dollar, Student Member, IEEE, and Robert D. Howe, Member, IEEE
- [21] Modelling and Control for Soft Finger Manipulation and Human-Robot Interaction
- [22] Scuola Superiore Sant'Anna, di Studi di Universitari e Perfezionamento, ON THE DEVELOPMENT OF A CYBERNETIC PROSTHETIC HAND, Massimiliano Zecca
- [23] National Technical University of Athens School of Mechanical Engineering Mechanical Design & Automatic Control, Design and Development of an Underactuated, Anthropomorphic Robot Hand, Diploma Thesis of George P. Kontoudis
- [24] ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙΝΟΤΟΜΟΥ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟΥ ΧΕΡΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΜΙΜΗΤΙΚΩΝ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΩΝ, Κωνσταντίνος Ανδριανέσης και Αντώνιος Τζές, Πανεπιστήμιο Πατρών
- [25] A highly-underactuated robotic hand with force and joint angle sensors, Long Wang*, Joseph DelPreto**, Sam Bhattacharyya*, Jonathan Weisz***, Peter K. Allen***, *Mechanical Engineering, **Electrical Engineering, and ***Computer Science, Columbia University
- [26] Development of UB Hand 3: Early Results F. Lotti, P. Tiezzi and G. Vassura, DIEM, Dep. of Mechanical Engineering, University of Bologna Via Risorgimento 2, 40136 Bologna, Italy, {fabrizio.lotti, paolo.tiezzi, gabriele.vassura}@mail.ing.unibo.it, L. Biagiotti, G. Palli and C. Melchiorri, DEIS, Dep. of Electronics, Computer Science and Systems, University of Bologna, Via Risorgimento 2, 40136 Bologna, Italy, {lbiagiotti, gpalli, cmelchiorri}@deis.unibo.it
- [27] [https://en.wikipedia.org/wiki/Whippletree_\(mechanism\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Whippletree_(mechanism))
- [28] MyoWare™ Muscle Sensor (AT-04-001) DATASHEET
- [29] Firgelli Miniature Linear Motion Series · L12, DataSheet
- [30] Arduino MEGA ADK, DataSheet
- [31] ACS712, Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor, DataSheet
- [32] FSR® 400 Series DataSheet
- [33] Muscles of the Wrist and Fingers, https://en.wikipedia.org/wiki/Muscles_of_the_hand

Παράρτημα

Α. Πίνακες Κατάταξης Ρομποτικών Χεριών

The best five anthropomorphic robotic hands/arms					A/A
5	4	3	2	1	Όνομασία
DLR Light Weight Robot(LWR)	Elu-2 Hand	Actuated Sheffield Hand	EH1 Milano Hand	Smart Motor Hand (C6M)	Ιδρύμα / Εταιρεία
The Institute of Robotics and Mechatronics	Elumotion Ltd.	Elumotion Ltd.	Prensilia Srl	Shadow Robot Company Ltd.	Τίτλος
7	9	12	16	24	D.o.F.
14			0,25 - 0,75	4	Βάρος [kg]
	3d Printed	AlP	AlP		Υλικό
DLR-Robodrives	Servo	telescopic rods	Servo	20 x Shadow's electric "Smart	Επιπενεργητές
		tendons	Steel Tendons	tendons	Ενεργοποίηση
14kg	0,2 - 1,66 Nm		10kg		Δύναμη
	11		6		Κινήσεις
936	human-scale		93x33x200	144x648,442	Μέγεθος [mm]
can be connected to any gripper or tool		εργασίες - σε εξέλιξη	research		Χρήση
					Κόστος
				αισθητήρες δύναμης τένοντα	Επιπλέον
48V DC	0,5 - 1 A		15V 2,5A		Τάση [V,A]
	5	5	5		Fingers
	humanlike speeds				Speed
					Year

Advanced Hands/Arms									
∞	7	6	5	4	3	2	1	A/A	
Delft Arm	Delft Hand	Yokoi Hand	Lara Hand	Touch EMAS Arm	Dexhand	Robonaut Hand	Robonaut Arm	Όνομασία	
TU Delft University of	TU Delft University of	Artificial Intelligence Laboratory University of	Technical University	Edinburgh Modular Arm	SURABAYA UNIVERSITY, Electrical Engineering	NASA	NASA	Ίδρυμα / Έρευνα	
								Τίτλος	
4	3 x 2	13	17 joints	2	2 per finger	14	14	D.o.F.	
10kg	0.6							Βάρος [kg]	
AI?	AI?			hand all bones				Υλικό	synthetic fabric layers
4 low-power motors	1 low-power motor		7 SMA		2 RC Servos	14 motors - lead screw assemblies		Επιπεργητές	
		EMG signals			2 steel wire			Ενεργοποίηση	
2kg	8kg				servo: 3.7 KgCm (51 Ozin)			Δύναμη	
				2				Κινήσεις	
				human	human	D=4in - L=8in	human scale	Μέγεθος [mm]	
		prosthetic	research	Human Arm				Χρήση	
								Κόστος	
4 rotary encoders	1 force sensor	sensors (flex/bend, angle, and measure)	linear				16 sensors in each joint - environment of space operation in	Επιπλέον	
low-power	low-power				6V			Τάση [V,A]	
Arm	3	5	5				5	Fingers	
								Speed	
								Year	

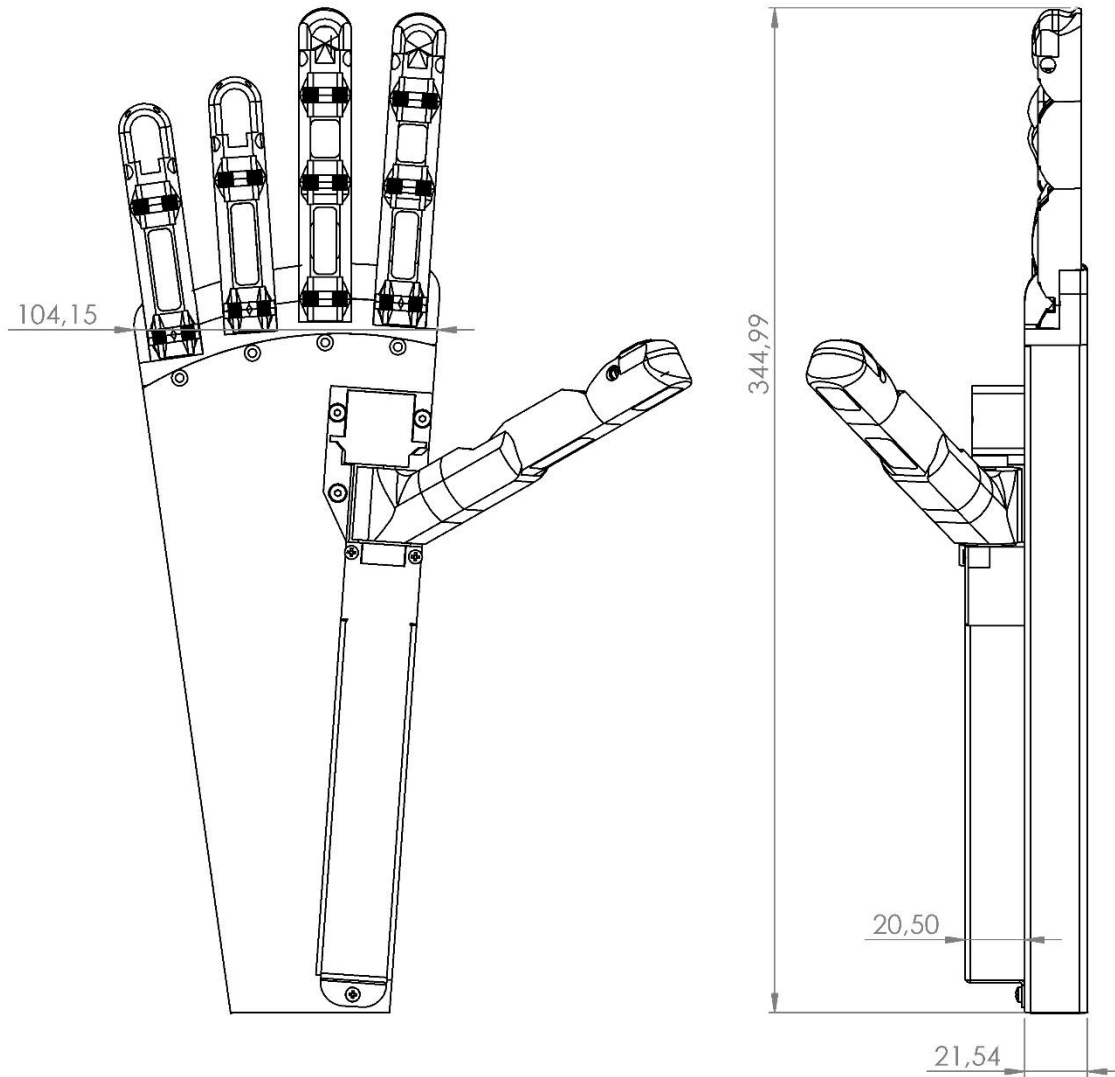
25	Modular robotic-arm Robotnik, Valencia	24	Elu-2 Arm Elumotion Ltd.	23	Hand-Arm System Institute of Robotics and Mechatronics	22	IH1 Azzurra Hand Prenslia Srl	21	SKKU Hand III Intelligent Robotics & Mechanic System Lab	20	Gifu Hand III Dainichi Company, Ltd. Kan	19	Sheffield Hand Sheffield Hallam	18	OpenArm v.2.0 Stanford University	17	BIONIC HAND Hosoda Laboratory
6		7		27				13		16				7		16	
19			13,5			0,58		0,84		1,4				4- total with arm 11,4			
AI		AI	AI	AI	AI	AI	AI, plastic	AI, plastic	AI	AI	AI, plastic	AI, plastic	AI, plastic	lasercut plywood		3d Printed	
servo		servo		50	Brushless DC			tendons						4 steppers+3 dynamixel servo		22 pneumatic actuators	
Gerabox			tendons [wires made of Duraframe (super-strong	tendons	tendons	tendons	tendons	tendons						timing belt and cable circuit			
9					10kg				1,8-3,7N					2kg			
human		human	human	human	4	human	human	human	human	human	human	human	human				
400-1300		human	human	human	100x43x212	human	human	human	251,3x95x41					human 1m to wrist			
βραχίονας		πειράματα διερεύνησης συνεισφοράς ανθρώπου			έρευνα	προκατακτικά πειράματα											
€ 60.000									\$50000 - 100000					\$5000			
24V DC 1-20A			108 position sensors		15V 2A									elastic via rubber tubes			
3		5	-48	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	arm		5	
Base:57°/sec Wrist:300°/sec		150-185_deg_per_sec			1,5 sec									1m/sec			

33	Handroid Hand ITK Co.ltd.	Miyazaki Lab Hand Miyazaki Laboratory	OCU-Hand Osaka City University	Sandia Hand Sandia National Laboratories	DIST-Hand Genoa Robotics And Automation Laboratory	K-1207i Robotics Research	ADAPTIVE GRIPPER Robotics, Canada	Kinova Jaco Arm Kinova
16		15	15*3	13	16	7	9	6
					1	155lbs	2,2	
AI, plastic	plastic	plastic	plastic	skin covers a gel-like layer	AI			full Carbon
myoelectric	pneumatic actuator	servo	servo		5 dc motors	servo		
					6 tendon per finger			
					2kg per cm	35lb	10kg	
	human	human			human	50in	124x130x200	
υπό ανάπτυξη ως προσθετικό χέρι				πρόσθετο		έρευνα	απράγνη	
τηλεχειριζόμενο				\$10000			\$25000	\$47000
								απεριόριστη περιορισμένα σε υδρα
5	5	5	5	4	4	-	3	3
							1s full travel	

19	ISELLA Hand Fraunhofer Institute for Manufacturing Engineering and Automation, IPA in	Pneumatic Hand Curtin University of Technology, Dept of Mechanical Engineering	Southampton Biosci Hand University of Southampton in	SENSOPAC Hand SENSOPAC project	NAIST-Hand I NAIST Robotics Laboratory	Edinburgh Electric Hand Touch EMAS Ltd	Elu-1 Hand Elumotion Ltd.	SKKU Hand II Intelligent Robotics & Mechanic System Lab	12
		10 ξεχωριστά ελεγχόμενοι			12		9		10
	Wood	AI	0,4	plastic	AI	AI, printed plastic	AI, plastic	βόσση φθοριούχο πολυβινυλίδιο	0,84
		20 McKibben-style air muscles	lightweight materials uses 6 sets of motors and gears	8 motors	servo - with A novel three-axis tendon driving mechanism		servo		
		pneumatic pressure-balancing valve		38 tendons	without tendons		έμμεση		
		human							
		full							
							human-scale		
	να λειτουργούν σε ακραία περιβάλλοντα		research	research	διερευνήσει επιδέξιες έρευνα χειραγώγισης		The Elu-1 Hand was developed for DTI	προκαταρκτικά πειράματα	
	ιατρική αποκατάσταση - Θεραπεία προσπασματικών								
	λεπτές επεμβάσεις								
								Motor: 24V DC, 5V DC	
	5	5	5	5	4	5	5	4	
	2007				2005				2006

25	Bebionic Hand RSI Steeper, UK 2010	24	23	22	21	20
	Bebionic Hand RSI Steeper, UK 2010	Bionic Arm Rehabilitation Institute of	Vanderbilt Arm Vanderbilt University	DLR-HIT Hand II The Institute of Robotics and Mechatronic	DLR-HIT Hand I The Institute of Robotics and Mechatronic	CyberHand Cyberhand System
11?			human hand	15	13?	16
0,495- 0,530m Titanium, thermoelastic				plastic	2,2	0,45
5	6	powered by a miniaturized rocket engine	15 brushless DC	brushless DC motors with analog Hall sensors	6 DC	AI
myoelectric		18h χρήση		motors in palm	tendons	
push 6-90kg, 15- 75N		20-25kg		7N	Grasp:40N, tip-to-tip:15N	
		ανεξάρτητα κάθε άρθρωση				
90x220-250			150		finger: D=16mm	
prosthetic		πρόθεση			αξιολόγηση των νευρωνικών διασυνδέσεων	
					50 000 Euros	
		The advantage is stronger action of the artificial muscles, faster movement, and no need for batteries.			65 analog sensors	position sensors: 21, force sensors: 8, touch sensors: 15, Grasping control type: position, velocity and force control
2 batteries 2011					24V,0,75-2,7A	
5	5	5	5	4	5	
0,8-1,9				180deg/sec	3sec	
2010		2007	2008	2007		

Β. Κατασκευαστικό Σχέδιο



Κ. Συνδεσμολογία ακίδων Μικροελεγκτή

