



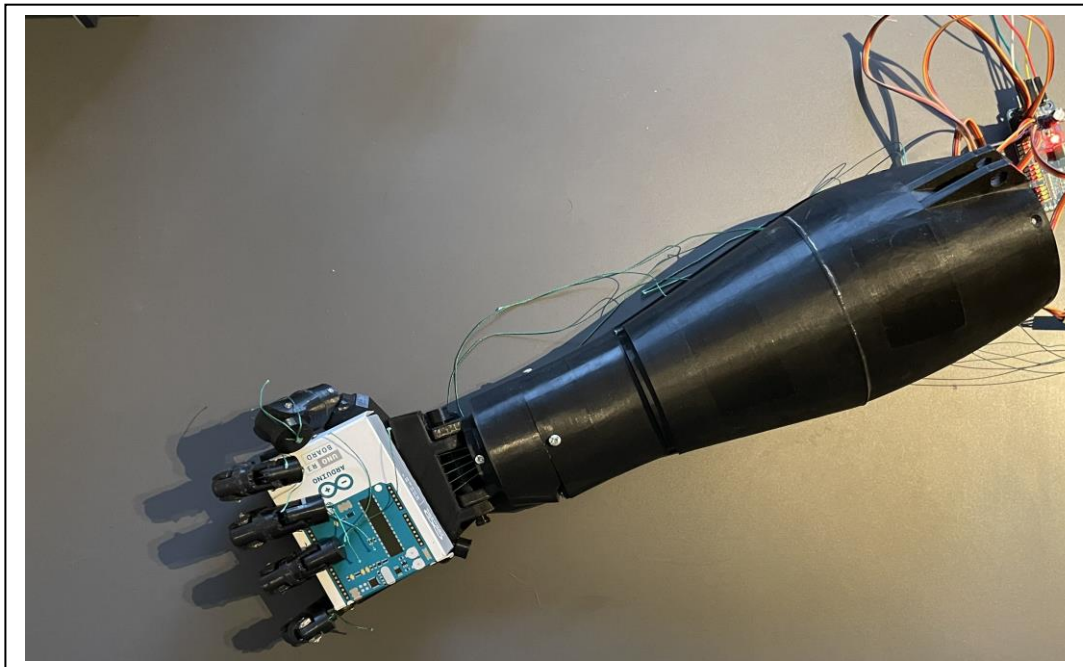
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**Σχεδίαση, ανάπτυξη και προγραμματιζόμενος έλεγχος ανθρωπόμορφου
ρομποτικού χεριού**



Φοιτητής: Παναγιώτης – Πρίamos Κούμουλος
AM: 48348112

Επιβλέπων Καθηγητής

Ξενοφών - Διονύσιος Κανδρής
Καθηγητής

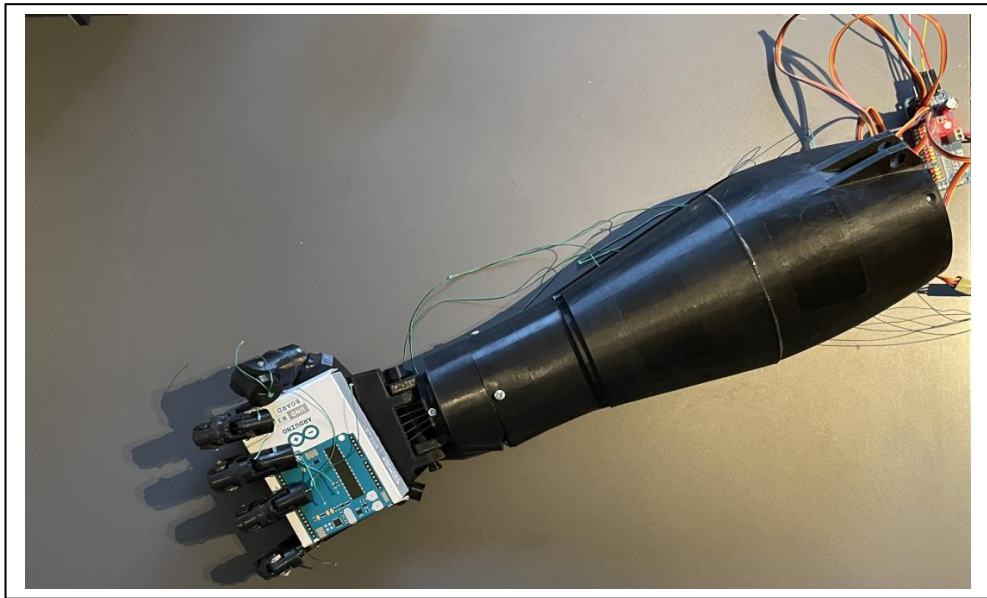
ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2023



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERING

Diploma Thesis

Design, development and programmable control of an anthropomorphic robotic arm



Student: Panagiotis – Priamos Koumoulos
Registration Number: 48348112

Supervisor

Xenofon Dionisis Kandris
Professor

ATHENS-EGALEO, OCTOBER 2023

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Ξενοφών – Διονύσιος Κανδρής, Καθηγητής	Αλέξανδρος Αλεξανδρίδης, Καθηγητής	Γιώργος Πάτσης, Καθηγητής

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ – ΠΡΙΑΜΟΣ ΚΟΥΜΟΥΛΟΣ,
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ, 2023**

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Παναγιώτης Πρίαμος Κούμουλος του Δημητρίου, με αριθμό μητρώου 48348112 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου.

Ο Δηλών
Παναγιώτης Πρίαμος Κούμουλος

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, θέλω να ευχαριστήσω από καρδιάς τους γονείς μου για την αφοσίωση και την αμέριστη υποστήριξη που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Ακόμα θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου Κύριο Διονύσιο Κανδρή. Η πολύτιμη συνεισφορά του, η εμπιστοσύνη, ο υποστηρικτικός του ρόλος και η καθοδήγηση του συνέβαλαν στην επιτυχή ολοκλήρωση της εργασίας μου επάνω σε ένα πολύ ενδιαφέρον θέμα. Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους φίλους μου για τα εποικοδομητικά σχόλια και την παρότρυνση τους να συνεχίζω να κυνηγάω του στόχους μου.

Περίληψη

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός προσθετικού μέλους δηλαδή ενός ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού με δυνατότητα ελέγχου με δύο διαφορετικούς τρόπους: με υπολογιστική όραση και με την χρήση πλακέτας ηλεκτρομυογραφήματος. Το ρομποτικό χέρι είναι εκτυπωμένο σε τρισδιάστατο εκτυπωτή και η συναρμολόγηση του επιτυγχάνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι εφικτός ο έλεγχος του. Ο σκελετός του είναι βασισμένος σε πλαστικά εκτυπωμένα κομμάτια ενώ στο εσωτερικό του διαθέτει νήμα διατεταγμένο και περασμένο από κάθε δάκτυλο που οδηγείται σε σερβοκινητήρες ώστε να είναι εφικτός ο έλεγχός του. Με την βοήθεια της ανοιχτής βιβλιοθήκης OpenCV επιτυγχάνεται η αναγνώριση του χεριού του χρήστη και καθρεφτίζονται οι κινήσεις του από την κάμερα στο ρομποτικό χέρι σε πραγματικό χρόνο. Στην συνέχεια με την κατάλληλη συνδεσμολογία και κυκλωματική διάταξη επιτυγχάνεται η καταγραφή του δυναμικού δράσης από την επιθυμητή μυϊκή μονάδα μέσω των ηλεκτροδίων και της πλακέτα του ηλεκτρομυογράφου. Με την βοήθεια αυτού του σήματος διαπιστώνεται αν η μυϊκή μονάδα έχει λάβει εντολή να κλείσει το χέρι ή βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας δίνοντας την δυνατότητα ελέγχου του σήματος μεταφέροντας την ανάλογη κίνηση στο προσθετικό μέλος. Στην συνέχεια εξάγονται συμπεράσματα για την για την απόδοση του ανεπτυγμένου συστήματος και το εύρος κινήσεων που μπορεί να επιτύχει συγκρατώντας αντικείμενα. Κλείνοντας γίνεται αναφορά σε μελλοντικές βελτιώσεις και άλλες υλοποιήσεις που έχουν επιτευχθεί.

Λέξεις – κλειδιά

Τεχνητό μέλος, Υπολογιστική Όραση, τρισδιάστατη εκτύπωση, OpenCV, Ηλεκτρομυογράφος, σερβοκινητήρες.

Abstract

The subject of this thesis is the development of a prosthetic member, specifically a prosthetic limb capable of being controlled in two different ways: through computer vision and the use of an electromyography (EMG) board. The development of efficient prosthetic members is an important field of research and development. Prosthetic members can replace a lost or injured body part, providing physical movement and sensation with the aim of improving the quality of life of people with disabilities. Additionally, remote control of a humanoid member has proven to be quite useful in scientific fields such as medicine and space exploration. The robotic hand was 3D printed and assembled in such a way that allows control of it to be possible. The skeleton is based on plastic printed parts, while inside it has a thread arranged and passed through each finger that is led to servomotors to enable control. With the help of the open-source library OpenCV, real-time recognition of the user's hand along with mirroring their movement from the camera to the robotic hand are achieved. Furthermore, with the appropriate wiring and circuit arrangement, the recording of the action potential from the desired muscle unit via the electrodes and the EMG sensor's circuit board is accomplished. With this signal the user can determine whether the muscle unit has received the command to close the hand or is in a neutral state, allowing us to control the signal and transfer the corresponding movement to the additional member. Upon completion, conclusions are drawn relatively with the functionality and range of motion the system can offer, including the ability to grasp objects. Finally, potential future improvements and alternative implementations are discussed.

Keywords

Prosthetic limb, Computer Vision, 3d Printing, OpenCV, Electromyography (EMG), Servo Motors

Περιεχόμενα

Κατάλογος Πινάκων.....	10
Κατάλογος Εικόνων	10
Αλφαβητικό Ευρετήριο.....	12
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	14
Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας.....	14
Σκοπός και στόχοι	14
Μεθοδολογία.....	15
Καινοτομία	15
Δομή 15	
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Φυσιολογία και Επιστήμη του Ανθρώπινου Σώματος.....	16
1.1 Εισαγωγή Κεφαλαίου 1	16
1.2 Δομή και Λειτουργία Σκελετικού Μυϊκού Συστήματος	16
1.3 Έλεγχος της Κίνησης – Νευρικό Σύστημα	18
1.3.1 Ηλεκτρικό Δυναμικό Των Νευρώνων	19
1.3.2 Συνάψεις.....	23
1.4 Ηλεκτρομυογράφημα	24
1.5 Ανατομία Του Χεριού	30
1.5.1 Κινησιολογία.....	31
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Ανάπτυξη Θεωρητικού Υποβάθρου.	35
2.1 Εισαγωγή Κεφαλαίου 2	35
2.2 Τεχνητά Μέλη	35
2.3 Ιστορική Αναδρομή.....	35
2.3.1 Επίπεδο Ακρωτηριασμού	37
2.3.2 Ηλεκτρικές προσθέσεις και Σύγχρονες Υλοποιήσεις.....	39
3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Υπολογιστική Όραση και OpenCV	43
3.1 Εισαγωγή Κεφαλαίου 3	43
3.2 Βαθιά Μάθηση	43
3.3 Συνελκτικά Νευρωνικά Δίκτυα	45
3.3.1 Συνελκτικά Στρώματα	45
3.3.2 Στρώματα συγκέντρωσης	48
3.3.3 Πλήρως Συνδεδεμένα Στρώματα.....	49
3.4 OpenCV	50
3.4.1 Υπολογιστική Όραση	51
3.4.2 Ανίχνευση Χειρός.....	52
4 Κεφάλαιο 4^ο: Σχεδίαση και Ανάπτυξη Ανθρωπόμορφου Ρομποτικού Χεριού.....	55
4.1 Εισαγωγή Κεφαλαίου 4	55
4.2 Εκτυπωτής και Τρισδιάστατες Εκτυπώσεις.....	55
4.3 Διαδικασία Συναρμολόγησης Εκτυπωμένων Κομματιών.....	58
4.3.1 Πλακέτα Ελέγχου και Μικροελεγκτής	62
4.3.2 Σερβοκινητήρες Και Έλεγχος	65
4.3.3 Ανάλυση Πλακέτας Ηλεκτρομυογράφου.	68
4.3.4 Φίλτρο.....	69
4.3.5 Συνδεσμολογία Πλακέτας Ηλεκτρομυογράφου.....	73
5 Κεφάλαιο 5^ο: Προγραμματιζόμενος Έλεγχος Ανθρωπόμορφου Ρομποτικού Χεριού .	75
5.1 Εισαγωγή Κεφαλαίου 5	75
5.2 Ανίχνευση Χεριού και Απομακρυσμένος Έλεγχος με Χρήση OpenCV.	75
5.3 Έλεγχος με ηλεκτρομυογράφημα	80

6	Κεφάλαιο 6^ο: Επίλογος.....	83
6.1	Εισαγωγή Κεφαλαίου 6.....	83
6.2	Σύνοψη Εργασίας.....	83
6.3	Προβλήματα και Επίλυση.....	83
6.4	Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα	84
6.5	Μελλοντικές Βελτιώσεις.....	85
	Αναφορές	87

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3.2-1 Πίνακας σύγκριση μοντέλων.	44
Πίνακας 4.1-1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Τρισδιάστατου Εκτυπωτή.....	56
Πίνακας 4.2-1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά ATmega32p.	63
Πίνακας 4.2-2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά MG996R.....	65

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.2.1 Βασική δομή μυός.....	17
Εικόνα 1.2.2 Δομή μυϊκής ίνας.....	18
Εικόνα 1.3.1 Δομή νευρώνα.....	19
Εικόνα 1.3.2 Τυπικές συγκεντρώσεις σε moles/lit των K^+ , Na^+ , Cl^- και των μεγάλων πρωτεϊνικών ιόντων (A^-) εσωτερικά και εξωτερικά του κυττάρου.....	20
Εικόνα 1.3.3 μετάδοσης νευρικού παλμού κατά μήκος του άξονα, ο παλμός κινείται κατά αυτό το δυναμικό δράσης.	21
Εικόνα 1.3.4 Σύναψη.....	24
Εικόνα 2.4.1 Ηλεκτρομυογράφημα, σήμα που καταγράφηκε από επιφανειακά ηλεκτρόδια πάνω από το πρώτο ραχιαίο ενδιάμεσο μυ του χεριού. Το πλάτος του σήματος αυξάνεται ανάλογα με την δύναμη που παράγεται στην μυϊκή ομάδα.....	25
Εικόνα 1.4.2 Ραχιαίος ενδιάμεσος μυς.....	25
Εικόνα 2.4.3 αναπαράσταση δυναμικού δράσης κινητικής μονάδας και ο μετασχηματισμός Fourier των μεσοπαλμικών διαστημάτων.....	26
Εικόνα 2.4.4 Ένα ΗΜΓ σήμα που σχηματίζεται από την υπέρθεση 25 MUAPTs.....	27
Εικόνα 1.4.5 α)Μονοπολική διάταξη β) διπολική διάταξη.....	29
Εικόνα 1.4.6 Block διάγραμμα καταγραφής και επεξεργασίας ΗΜΓ σήματος.	29
Εικόνα 1.5.1 Τα οστά του Χεριού.....	31
Εικόνα 1.5.2 Κάμψη - Έκταση - Απαγωγή – Προσαγωγή.....	32
Εικόνα 1.5.3 Κινήσεις Ελεγχόμενες Από Τον Καρπό.....	32
Εικόνα 1.5.4 Καμπτήρες Του Καρπού.....	33
Εικόνα 1.5.5 Μύες πρόσθιας επιφάνειας αντιβραχίου.....	34
Εικόνα.2.3.1 α)Τεχνητό δάκτυλο, β) Ακροβάτης στηριζόμενος από προσθετικό μέλος.....	36
Εικόνα 2.3.2 Τεχνητό Χέρι κατασκευασμένο από τον Παρέ.....	36
Εικόνα 2.3.3 Ξύλινο πόδι για ακρωτηριασμό πάνω από το γόνατο.....	37

<i>Σχεδίαση, ανάπτυξη και προγραμματιζόμενος έλεγχος ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού</i>	
Εικόνα 2.3.4 Προσθέσεις Άνω Άκρου.	38
Εικόνα 2.3.5 Ακρωτηριασμοί Κάτω Άκρων.	39
Εικόνα 2.3.6 Δομή σωματοκίνητου άκρου.	40
Εικόνα 2.3.7 Ηλεκτροκίνητες Προσθέσεις.	41
Εικόνα 2.3.8 TrueLimb.....	41
Εικόνα 3.3.1 Τρισδιάστατη αναπαράσταση εισόδου του CNN (understanding of Convolutional neural).	45
Εικόνα 3.3.2 Απεικόνιση της λειτουργίας συνέλιξης.	46
Εικόνα 3.3.3 Συνέλιξη ως εναλλακτική λύση για πλήρως συνδεδεμένο δίκτυο.	46
Εικόνα 3.3.4 Παράθυρο φίλτρου , μετακινείται μόνο μια φορά για κάθε σύνδεση.....	46
Εικόνα 3.3.5 Παράδειγμα μεθόδου Μέσης Τιμής.	49
Εικόνα 3.3.6 Παράδειγμα μεθόδου Μέγιστης Τιμής.....	49
Εικόνα 3.3.7 Πλήρως συνδεδεμένα επίπεδα.....	50
Εικόνα 3.4.1 Απεικόνιση υπολογιστικής όρασης, εικόνα που “βλέπει ο υπολογιστής”.....	51
Εικόνα 3.4.2 Σημεία ενδιαφέροντος χειρός.....	53
Εικόνα 3.4.3 Multiview Bootstrapping. (α) Ένα σύστημα πολλαπλής προβολής παρέχει όψεις του χεριού όπου η ανίχνευση σημείων κλειδιού είναι εύκολη, χρησιμοποιούνται για τον τριγωνισμό (β) της τρισδιάστατης θέσης των σημείων κλειδιών. Δύσκολες προβολές με (γ) αποτυχημένες ανιχνεύσεις μπορεί να είναι (δ)σχολιάζεται χρησιμοποιώντας τα επαναπροβαλλόμενα τρισδιάστατα σημεία-κλειδιά και χρησιμοποιείται για την επανεκπαίδευση (ε) ενός βελτιωμένου ανιχνευτή που λειτουργεί πλέον σε δύσκολες προβολές.	53
Εικόνα 4.2.1 Όλα τα 3D εκτυπωμένα κομμάτια του χεριού.	57
Εικόνα 4.3.1 Συναρμολόγηση πήχη, καρπού και τοποθέτηση σερβοκινητήρων.....	59
Εικόνα 4.3.2 Επιμέρους κομμάτια ενός δακτύλου.	59
Εικόνα 4.3.3 Παλάμη και δάκτυλα.....	60
Εικόνα 4.3.4 Πέρασμα νήματος μέσα από την παλάμη.	60
Εικόνα 4.3.5 Σύνδεση καρπού με την παλάμη.	61
Εικόνα 4.3.6 Τελικό αποτέλεσμα.	62
Εικόνα 4.3.7 Arduino Uno R3.	63
Εικόνα 4.3.8 Pin συσκευής.....	64
Εικόνα 4.3.9 Χρωματική αναγνώριση καλωδίων, συχνότητα λειτουργίας και Duty cycle.....	66
Εικόνα 4.3.10 Κλειστός Βρόχος Σερβοκινητήρα.	66

<i>Σχεδίαση, ανάπτυξη και προγραμματιζόμενος έλεγχος ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού</i>	
Εικόνα 4.3.11 Διάγραμμα Κυκλώματος.	67
Εικόνα 4.3.12 Ένας 3–op–amp ενισχυτής.	69
Εικόνα 4.3.13 Υψιπερατό φίλτρο.	70
Εικόνα 4.3.14 Διάταξη κυκλώματος υψιπερατού 1 ^{ης} τάξης.	70
Εικόνα 4.3.15 Χαμηλοπερατό φίλτρο.	71
Εικόνα 4.3.16 Διάταξη κυκλώματος χαμηλοπερατού φίλτρου 1 ^{ης} τάξης.	71
Εικόνα 4.3.17 Ζωνοπερατό φίλτρο.	72
Εικόνα 4.3.18 Κυκλωματική διάταξη ζωνοπερατού φίλτρου.	72
Εικόνα 4.3.19 Διάγραμμα Κυκλώματος συνδεσμολογίας ηλεκτρομυογράφου.	73
Εικόνα 5.1.1 Αναγνώριση Χεριού Και Εκτύπωση Λίστας [0, 0, 0, 0, 0].	79
Εικόνα 5.1.2 Αναγνώριση Χεριού Και Εκτύπωση Λίστας [0, 1, 1, 0, 0].	80
Εικόνα 5.2.1 Τοποθέτηση ηλεκτροδίων επάνω στο χέρι.	81
Εικόνα 5.2.2 Απεικόνιση σήματος στο Serial Plotter.	82
Εικόνα 5.2.3 Απεικόνιση σήματος σε κατάσταση δράσης.	82
Εικόνα 6.5.1 Myoband EMG sensor.	85
Εικόνα 6.5.2 Πλακέτα BITalino.	85
Εικόνα 6.5.3 Σημεία σύνδεσης αισθητήρων Myoware.	86

Αλφαβητικό Ευρετήριο

ABS: Acrylonitrile Butadiene Styrene
 ANN: Artificial Neural Network
 CAD: Computer Aided Design
 CMRR: Common Mode Rejection Ratio
 CNNs: Convolutional Neural Networks
 DBNs: Deep Belief Network
 EMG: Electromyography
 FDM: Fused Deposition Modeling
 IDE: Integrated Development Environment
 MUAPs: Motor Unit Action Potencial
 OTA: Over The Air
 PLA: Polylactic Acid

Σχεδίαση, ανάπτυξη και προγραμματιζόμενος έλεγχος ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού
RBM: Restricted Boltzman Machines

SCL: Serial Clock

SDA: Serial Data

SdAs: Stacked Autoencoders

SLA: Stereolithography

ΔΜΗ: Δυναμικό Μεμβράνης Ηρεμίας

ΗΕΓ: Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα

ΗΚΓ: Ηλεκτροκαρδιογράφημα

ΗΜΓ: Ηλεκτρομυογράφημα

ΚΝΣ: Κεντρικό Νευρικό Σύστημα

ΠΝΣ: Περιφερειακό Νευρικό Σύστημα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα προσθετικά μέλη μπορούν να αντικαταστήσουν ένα χαμένο ή τραυματισμένο μέλος του σώματος. Η ανάπτυξη αποτελεσματικών προσθετικών μελών αποτελεί ένα σημαντικό πεδίο έρευνας και ανάπτυξης που παρουσιάζει ραγδαία ανάπτυξη. Επίσης η συνεχή εξέλιξη της τεχνολογίας καθιστά δυνατό τον απομακρυσμένο έλεγχο συστημάτων. Στην παρούσα εργασία πραγματοποιείται η κατασκευή ενός ρομποτικού ανθρωπόμορφου χεριού που θα έχει την δυνατότητα να ελεγχθεί είτε με την βοήθεια ενός EMG (ηλεκτρομυογραφήματος) είτε απομακρυσμένα με την χρήση της βιβλιοθήκης OpenCV ώστε να επιτύχει την βελτίωση της ποιότητας ζωής ενός ανθρώπου με ακρωτηριασμένο χέρι από τον βραχίονα και κάτω χρησιμοποιώντας τις μυϊκές ομάδες που έχουν απομείνει για τον έλεγχο του. Το ρομποτικό χέρι είναι κατασκευασμένο από τρισδιάστατα εκτυπωμένα μέρη που έχουν συναρμολογηθεί με βίδες, κόλλα, νήμα, σερβοκινητήρες και καλώδια για τον πλήρη έλεγχο της παλάμης και του καρπού. Το κόστος της εργασίας είναι εξαιρετικά μικρό αν αναλογιστεί κάποιος πως τα προσθετικά μέλη ξεκινούν από μερικές χιλιάδες έως και αρκετές δεκάδες χιλιάδες ευρώ, διαπιστώνουμε πως με τεχνολογίες όπως η τρισδιάστατη εκτύπωση και η ανάπτυξη της τεχνολογίας στις μέρες μας, μας επιτρέπει να κατασκευάσουμε και να προσομοιώσουμε την λειτουργία ενός προσθετικού μέλους στο σπίτι μας. Για μελλοντικές κατασκευές αυτό είναι εξαιρετική πρόοδος καθώς μέσα από μελέτη και δοκιμές με μικρό κόστος θα μπορέσουμε να αναπτύξουμε ένα πλήρως επιθυμητό και βέλτιστο αποτέλεσμα ώστε να κατασκευαστεί στην συνέχεια με πιο ποιοτικά υλικά με πολύ μικρότερη πιθανότητα αστοχίας, μειώνοντας σημαντικά το κόστος αγοράς για ανθρώπους που το χρειάζονται. Επιπροσθέτως η χρήση του απομακρυσμένου έλεγχου για την βελτίωση της καθημερινής ζωής, αξιοποιώντας την τεχνολογία αυτή για την προστασία ανθρώπινων ζώων από το να χαθούν ή να ζήσουν το υπόλοιπο της ζωής τους επιβαρυνμένοι από ένα ατύχημα.

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Το κύριο αντικείμενο της διπλωματικής είναι η κατασκευή ενός προσθετικού μέλους, συγκεκριμένα ενός ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού όπου με την βοήθεια προγραμματισμού επιτυγχάνεται ο πλήρης έλεγχος του. Επιμέρους κομμάτια προς ανάλυση είναι η βιβλιοθήκη ανοιχτού κώδικα και η χρήση πλακέτα ηλεκτρομυογράφου. Η εμπέδωση των λειτουργιών των νευρωνικών δικτύων, και ειδικότερα των συνελκτικών δικτύων, είναι απαραίτητη για την αναγνώριση του χεριού και της κίνησης των δακτύλων. Η έρευνα στοχεύει στην αποτύπωση των δεδομένων αυτών με τέτοιο τρόπο στην έξοδο που να έχει πρακτική αξία. Η λειτουργία της πλακέτας ηλεκτρομυογράφου και η ανάλυση των κυκλωμάτων που απαρτίζουν τον αισθητήρα για την καταγραφή του σήματος (δυναμικό δράσης) που προέρχεται από τις μυϊκές ομάδες που ελέγχουν μέρος του χεριού και των δακτύλων καθώς και πως αποφεύγεται η παρεμβολή θορύβου.

Σκοπός και στόχοι

Η συγκεκριμένη διπλωματική έχει στόχο την κατασκευή ενός ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού με προγραμματιζόμενες λειτουργίες και στοχεύει στην βελτίωση της ποιότητας ζωής ενός ανθρώπου με ακρωτηριασμένο άνω άκρο από τον καρπό και κάτω. Σκοπός είναι η εξοικείωση με της διαχείριση μιας μεγάλης υλοποίησης που ξεκινάει από την κατασκευή και τελειώνει στον προγραμματισμό εμπεριέχοντας όλα τα ενδιάμεσα κομμάτια, εύρεση κατάλληλων αισθητήρων και ηλεκτρονικών που απαρτίζουν την υλοποίηση αλλά και το μηχανικό κομμάτι που βρίσκεται από «πίσω» στα σχέδια και την συναρμολόγηση. Συμπληρωματικός στόχος είναι η εξοικείωση με την υπολογιστική όραση και την μελέτη της βιβλιοθήκης ανοιχτού κώδικα OpenCV καθώς και συνελκτικά νευρωνικά μοντέλα για την αναγνώριση αντικειμένων.

Μεθοδολογία

Το έργο που επιτελέστηκε ολοκληρώθηκε σε τρία στάδια. Το πρώτο από αυτά αφορούσε την κατασκευή του ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού δηλαδή την εκτύπωση και την συναρμολόγηση του καθώς και την τροφοδοσία του με την απαραίτητη ισχύ για την βέλτιστη λειτουργία. Στο δεύτερο στάδιο έγινε μελέτη και προγραμματισμός με την βιβλιοθήκη ανοικτού κώδικα ώστε να αποκτήσει την πρώτη λειτουργία του μέσω προγραμματιζόμενου ελέγχου και την δυνατότητα να καθρεφτίζει τις κινήσεις του χρήστη στο προσθετικό μέλος. Το τελευταίο στάδιο αφορούσε την διεξαγωγή και μέτρηση του δυναμικού δράσης που αναπτύσσεται στις μυϊκές ομάδες του βραχίονα ώστε να επιτευχθεί η δεύτερη λειτουργία του, ο έλεγχος μέσω ηλεκτρομυογραφήματος.

Καινοτομία

Η καινοτομία της εργασίας έγκειται στην ολοκλήρωση υφιστάμενων τεχνολογιών όπως η υπολογιστική όραση και η ηλεκτρομυογραφία σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα.

Δομή

Η δομή της παρούσας διπλωματικής αποτελείται από έξι κύρια κεφάλαια. Ξεκινώντας από το 1^ο κεφάλαιο με την φυσιολογία του ανθρώπου και την επιστήμη που κρύβεται πίσω από αυτή, σχετίζεται με την δομή λειτουργίας των σκελετικών μυών, την ανατομία του ανθρώπινου χεριού και την κινησιολογία καταλήγοντας στο το νευρικό σύστημα και τις συνάψεις που αποφέρουν το αποτέλεσμα του δυναμικού δράσης και την ανάλυση του μέσω του ηλεκτρομυογραφήματος. Το 2^ο κεφάλαιο εστιάζει με μια ιστορική αναδρομή για τα προσθετικά μέλη, την εξέλιξή τους με την πάροδο του χρόνου. Στο 3^ο κεφάλαιο αναλύεται η βαθιά μάθηση δίνοντας βάση στα συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα. Γίνεται αναφορά στην βιβλιοθήκη ανοικτού κώδικα OpenCV σχετικά με τα μοντέλα που θα χρησιμοποιηθούν στον κώδικα για την υπολογιστική όραση και την ανίχνευση του χεριού. Το 4^ο κεφάλαιο απαρτίζεται από πληροφορίες σχετικά με τα υλικά και την κατασκευή, την πλακέτα, τον μικροελεγκτή και τον αισθητήρα που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα υλοποίηση. Το 5^ο κεφάλαιο αφορά το κομμάτι του προγραμματισμού της υλοποίηση για κάθε λειτουργία ξεχωριστά με ανάλυση του κώδικα. Το 6^ο και τελευταίο κεφάλαιο είναι εμπλουτισμένο με συμπεράσματα και προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν καθώς και μελλοντικές βελτιώσεις.

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: Φυσιολογία και Επιστήμη του Ανθρώπινου Σώματος.

1.1 Εισαγωγή Κεφαλαίου 1

Όλες οι ανθρώπινες κινήσεις από το άνοιγμα του ματιού ως το τρέξιμο ενός μαραθωνίου και την αναρρίχηση σε ένα βουνό, εξαρτώνται από την κατάλληλη λειτουργία του σκελετικού μυός. Η σωματική δραστηριότητα ολοκληρώνεται μέσω της δύναμης των μυών με αποτέλεσμα να έλκουν τα οστά στα οποία είναι συνδεδεμένοι. Η κίνηση αυτή δεν θα ήταν δυνατή δίχως το νευρικό σύστημα. Ο μόνος τρόπος για να κινηθεί ένας μυς είναι να ενεργοποιηθεί από το νευρικό σύστημα. Το νευρικό σύστημα είναι υπεύθυνο για τον συντονισμό και την σχεδίαση της ανθρώπινης κίνησης, είναι ένα πολύπλοκο σύστημα που ακόμα και σήμερα δεν έχει κατανοηθεί πλήρως από τους επιστήμονες. Στην ουσία, όλες οι λειτουργίες και δραστηριότητες του σώματος σχετίζονται κατά κάποιο τρόπο με τον ηλεκτρισμό. Η ανίχνευση ενός πολύ σύντομου ηλεκτρικού σήματος από έναν νευρώνα, το δυναμικό δράσης, το οποίο διαρκεί μερικά msec, εμφανίστηκε στην επιφάνεια μαζί με την ανακάλυψη του παλμογράφου τον 20^ο αιώνα. Τα σήματα αυτά είναι αποτέλεσμα της ηλεκτροχημικής δράσης συγκεκριμένων κυττάρων, μελετώντας επιλεκτικά και μετρώντας τα κατάλληλα σήματα συλλέγονται πολύτιμα δεδομένα που μας βοηθούν στην κατανόηση συγκεκριμένων λειτουργιών του ανθρώπινου σώματος. Οι πιο διαδεδομένοι τρόποι καταγραφής ηλεκτρικών σημάτων είναι από την καρδιά το ηλεκτροκαρδιογράφημα (ΗΚΓ), από τον εγκέφαλο το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (ΗΕΓ) και αυτό που θα μας απασχολήσει στο δικό μας κεφάλαιο είναι τα ηλεκτρικά σήματα που προέρχονται από τους μυς, το ηλεκτρομυογράφημα(ΗΜΓ).

Στο κεφάλαιο 1 εξετάζεται η δομή και λειτουργία του σκελετικού μυϊκού συστήματος και ο τρόπος που επιτυγχάνει το νευρικό σύστημα να ελέγχει την κίνηση. Επιπλέον, αναλύεται το ηλεκτρικό δυναμικό που αναπτύσσεται στις μυϊκές ομάδες και ο τρόπος καταγραφής του με ηλεκτρομυογράφημα. Στην συνέχεια εξετάζεται η ανατομία και η κινησιολογία του ανθρώπινου χεριού. Αυτή η ανάλυση αποτελεί θεμέλιο για τα επόμενα κεφάλαια της εργασίας.

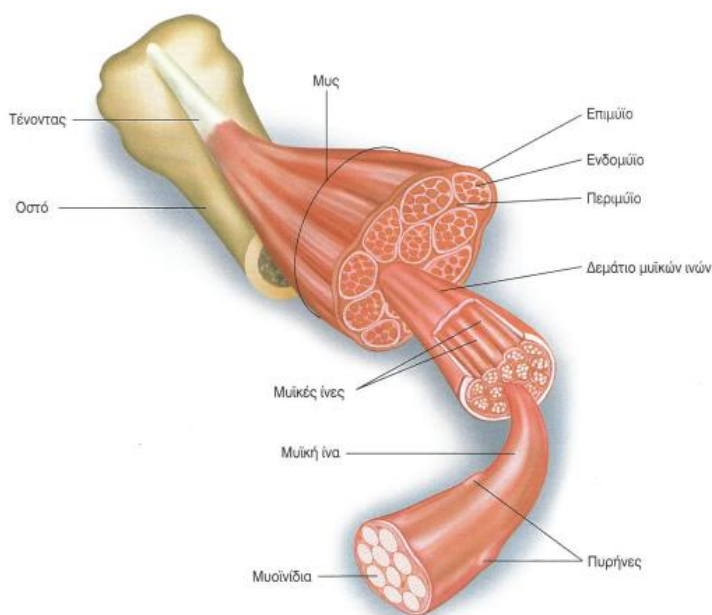
1.2 Δομή και Λειτουργία Σκελετικού Μυϊκού Συστήματος

Όταν κτυπά η καρδιά του ανθρώπου, όταν το γεύμα που καταναλώνεται κινείται κατά μήκος του εντέρου και όταν κινείται οποιοδήποτε μέρος του σώματος, πάντα έχουν ανάμειξη κάποιοι μύες. Οι μύριες λειτουργίες του μυϊκού συστήματος εκτελούνται από τρεις τύπους μυών, τους σκελετικούς, τους καρδιακούς και τους λείους.

- Ο λείος ονομάζεται και ακούσιος μυς, διότι δεν βρίσκεται σε άμεση επιρροή από το συνειδητό μας, εντοπίζεται συχνότερα σε τοιχώματα αιμοφόρων αγγείων, αναλαμβάνοντας την συστολή ή διαστολή τους για την ρύθμιση της ροής του αίματος. Βρίσκεται ακόμα στο εσωτερικό οργάνων στα τοιχώματά τους, επιτρέποντας την χαλάρωση και συστολή με σκοπό την μετακίνηση τροφής του πεπτικού σωλήνα, αποβολή ούρων ή την διεκπεραίωση ενός τοκετού.
- Ο Καρδιακός μυς βρίσκεται μόνο στην καρδιά συνθέτοντας το μεγαλύτερο μέρος της ανατομικής δομής, διαθέτει μερικά κοινά χαρακτηριστικά με τον σκελετικό μυ αλλά όπως και ο λείος, δεν βρίσκεται υπό συνειδητό έλεγχο.

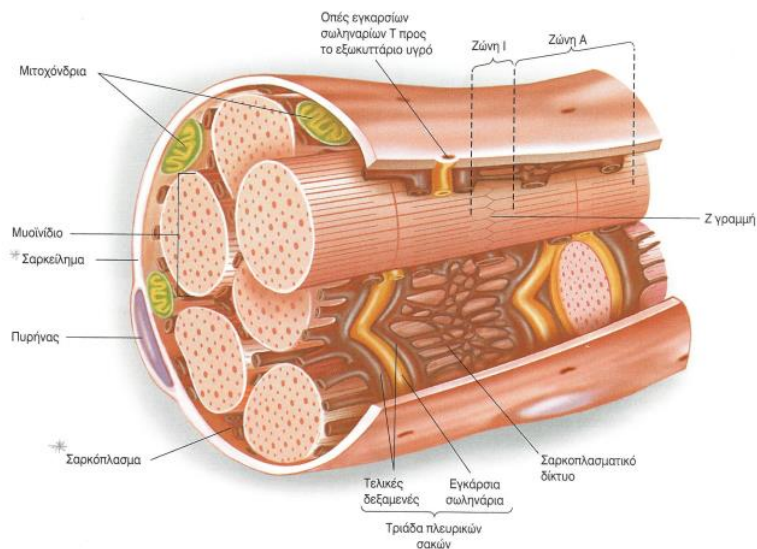
Σχεδίαση, ανάπτυξη και προγραμματιζόμενος έλεγχος ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού

Εστιάζεται η προσοχή μας σε μυς που ελέγχονται συνειδητά. Οι μυς αυτοί είναι οι σκελετικοί ή εκούσιοι μύες, ο λόγος που ονομάζονται έτσι είναι επειδή το μεγαλύτερο ποσοστό τους βρίσκεται προσκολλημένο στα οστά για να καταφέρουν να κινήσουν τον σκελετό. Οι σκελετικοί μύες δεν λειτουργούν μεμονωμένα σαν οντότητα όπως θα μπορούσε να αναλογιστεί κάποιος, αλλά είναι αρκετά πιο σύνθετοι. Ένας μυς αποτελείται από την εξωτερική κάλυψη που ονομάζεται επιμύιο όπου περιλαμβάνει και συγκρατεί ολόκληρο τον μυ, ακριβώς αμέσως μετά από το επιμύιο βρίσκονται τα μυϊκά δέματα, μικρές δέσμες μυϊκών ινών τυλιγμένες σε μια θήκη συνδετικού ιστού. Η θήκη του μυϊκού ιστού καλείται περιμύιο. Τέλος κάτω από το περιμύιο βρίσκονται οι μυϊκές ίνες, οι οποίες αντιστοιχούν στα μονωμένα μυϊκά κύτταρα. Οι μακρύτερες ανθρώπινες μυϊκές ίνες είναι περίπου 12cm.



Εικόνα 1.2.1 Βασική δομή μυός.

Οι μυϊκές ίνες κυμαίνονται σε διάμετρο 10 – 80 μm , διαπιστώνεται ότι είναι σχεδόν αόρατες στο γυμνό μάτι. Η δομή μίας μεμονωμένης ίνας αποτελείται από μια κυτταρική μεμβράνη, το σαρκείλημα. Σε κάθε μυϊκή ίνα, το σαρκείλημα συγχωνεύεται με τον τένοντα, ο οποίος εισχωρεί στο οστό. Η δημιουργία της κίνησης επιτυγχάνεται από τον διαβίβαση της δύναμης που δημιουργείται από τις μυϊκές ίνες και μεταφέρεται μέσα από τις ινώδεις χορδές συνδετικού ιστού δηλαδή του τένοντες, στα οστά. Εσωτερικά στο σαρκείλημα κάθε μυϊκή ίνα περιέχει διαδοχικά μικρότερες υποομάδες όπως είναι τα μυοϊνίδια, ραβδοειδείς δομές διατεταγμένες κατά μήκος των μυϊκών ινών. Ακόμα αποτελείται από το σαρκόπλασμα, μια ζελατινώδη ουσία που γεμίζει τα διαστήματα μεταξύ των μυοϊνιδίων. Είναι το ρευστό μέρος μια μυϊκής ίνας όπου κυρίως περιέχει διαλυμένες πρωτεΐνες, μέταλλα, γλυκογόνο, λίπη και απαραίτητα κυτταρικά οργανίδια. Επιπροσθέτως απαρτίζεται από εγκάρσια σωληνάρια και το σαρκοπλασματικό δίκτυο. Το σαρκοπλασματικό ωφελεί αποθηκεύοντας ασβέστιο Ca, το οποίο συνεισφέρει ουσιαστικά για την συστολή των μυών.



Εικόνα 1.2.2 Δομή μυϊκής ίνας.

Τα εγκάρσια σωληνάρια επιτρέπουν στις νευρικές ώσεις που καταλήγουν στο σαρκεΐλημα να διαβιβαστούν γρήγορα στα μεμονωμένα μυοϊνίδια, οι σωληνώσεις υποδεικνύουν διαβάσεις από το εξωτερικό της ίνας στο εσωτερικό με αποτέλεσμα να μπορούν να εισχωρήσουν στα κύτταρα χρήσιμες ουσίες και να αποχωρήσουν άχρηστα παράγωγα. Το σαρκομέριο είναι η βασική λειτουργική μονάδα του μυοϊνιδίου καθώς και η μικρότερη, αποτελείται από δύο τύπους ιών την μυοσίνη και την ακτίνη οι οποίες είναι ίνες πρωτεΐνης και είναι αρμόδιες για την μυϊκή δράση[1].

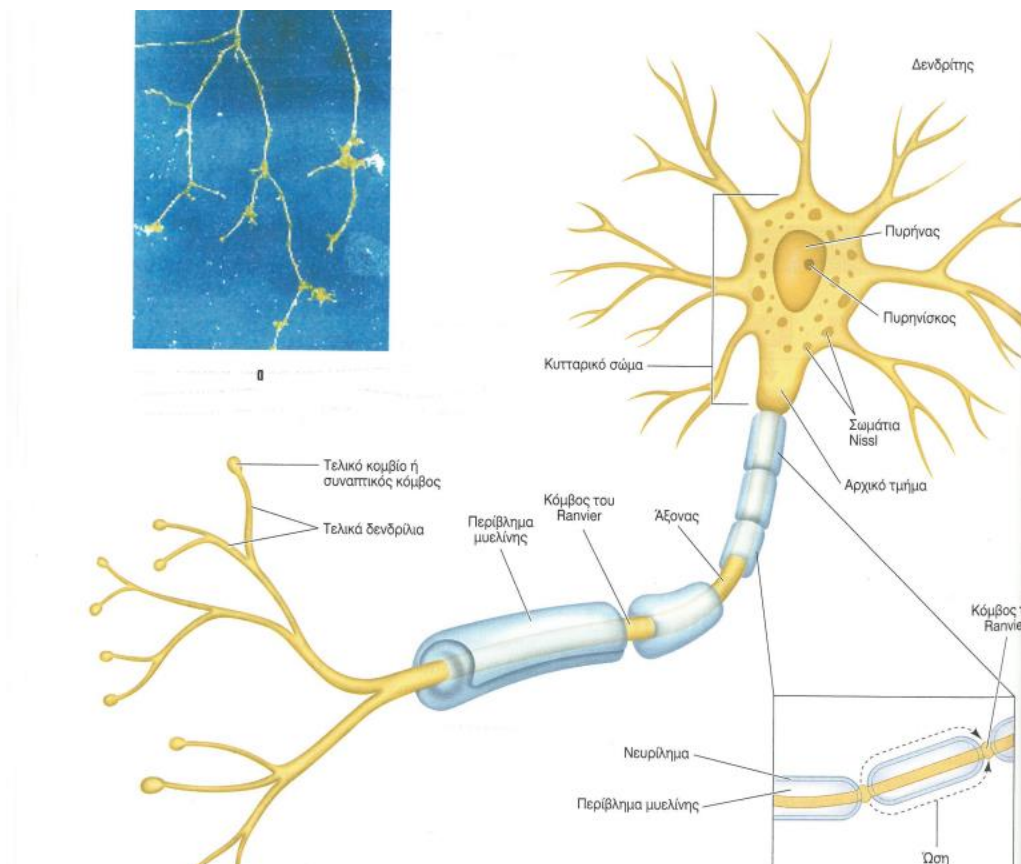
1.3 Έλεγχος της Κίνησης – Νευρικό Σύστημα

Οι μύες με την παραγωγή δύναμης επιτυγχάνουν να κινήσουν τα οστά με τα οποία είναι συνδεδεμένοι ώστε να παράξουν κίνηση. Δεν θα ήταν δυνατό να επιτευχθεί η κίνηση όμως χωρίς το νευρικό σύστημα, οι μύες δεν έχουν την δυνατότητα να κινηθούν αν δεν λάβουν σήμα ενεργοποίησης από το νευρικό σύστημα. Το νευρικό σύστημα είναι υπεύθυνο για τον σχεδιασμό και τον συντονισμό της κίνησης, αποτελείται από δύο τμήματα το κεντρικό νευρικό σύστημα (ΚΝΣ) και το περιφερειακό νευρικό σύστημα (ΠΝΣ). Το κεντρικό αποτελείται από τον εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυελό, ενώ το περιφερειακό αποτελείται από δύο κύρια σκέλη, το αισθητικό και το κινητικό. Το αισθητικό σκέλος αναλαμβάνει την ενημέρωση του κεντρικού νευρικού συστήματος, για την κατάσταση εσωτερικά και εξωτερικά του σώματος. Το κινητικό είναι αρμόδιο για την αποστολή πληροφοριών από το κεντρικό νευρικό σύστημα στα διάφορα μέρη του σώματος. Το κινητικό σκέλος αποτελείται από δυο μέρη: το αυτόνομο νευρικό σύστημα και το σωματικό νευρικό σύστημα.

Η κύρια δομική μονάδα του νευρικού συστήματος είναι ο νευρώνας, ένα νευρικό κύτταρο που ειδικεύεται στην λήψη, ερμηνεία και μεταβίβαση ηλεκτρικών μηνυμάτων. Ένας νευρώνας χαρακτηρίζεται από τις εξής περιοχές :

- I. Κυτταρικό Σώμα
- II. Δενδρίτες
- III. Νευρίτης

Το κυτταρικό σώμα περιέχει τον πυρήνα, και περικλείεται από αποφύσεις του νευρικού κυττάρου τον νευρίτη και τους δενδρίτες. Οι δενδρίτες είναι υποδοχείς του νευρώνα, οι ώσεις καταφθάνουν από αισθητικά ερεθίσματα ή παρακείμενους νευρώνες και εισέρχονται στον νευρώνα από αυτούς. Έπειτα οι διαδικασίες αυτές παράγουν τις ώσεις για να καταλήξουν στο σώμα του κυττάρου. Ο νευρίτης είναι το σύστημα αποστολής σημάτων από τον νευρώνα μεταφέροντας τις ώσεις μακριά από το σώμα του κυττάρου, κοντά στην άκρη του διακλαδώνεται σε τελικά δενδρύλλια γνωστά και ως συναπτικά εξογκώματα. Τα εξογκώματα αυτά διαθέτουν πολυάριθμες θήκες γεμάτες με χημικές ουσίες επονομαζόμενες νευροδιαβιβαστές και εφαρμόζονται για την επικοινωνία νευρώνα και κυττάρου.



Εικόνα 1.3.1 Δομή νευρώνα.

Η νευρική ώση είναι μια ηλεκτρική εκφόρτιση, το ρεύμα που διαβαίνει από τον έναν νευρώνα στον άλλο μέχρι να καταλήξει στο τελικό προορισμό που θα είναι ένα όργανο ή μια ομάδα μυϊκών ινών, ή θα επιστέψει στο κεντρικό νευρικό σύστημα. Στους εμμέλους νευρώνες η ώση μεταπηδά μεταξύ των κόμβων Ranvier (χάσματα μεταξύ των κυττάρων που διαθέτουν έλυτρο μυελίνης) επιτυγχάνοντας έως και 150 φορές γρηγορότερη μετάδοση από ό,τι στις αμύελες ίνες ίδιου μεγέθους[1] [2].

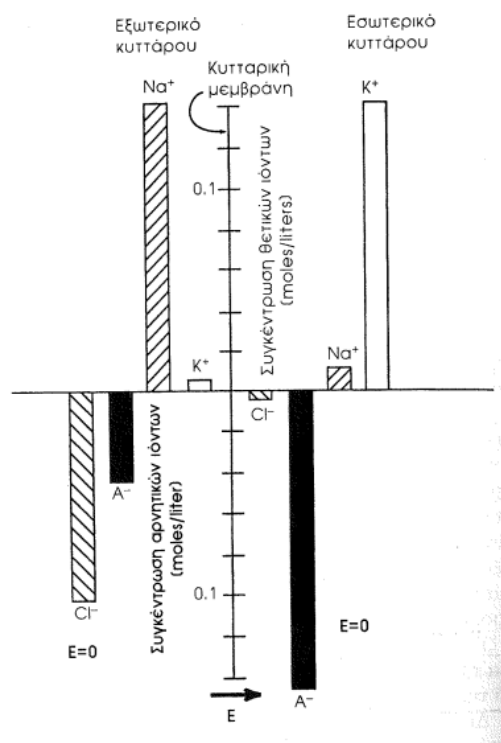
1.3.1 Ηλεκτρικό Δυναμικό Των Νευρώνων

Κατά μήκος της κυτταρικής μεμβράνης κάθε νευρώνα που βρίσκεται σε ηρεμία υφίσταται διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού 60 – 90 mV λόγω της ύπαρξης περίσσειας αρνητικών φορτίων στο ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Παναγιώτης – Πρίamos Κούμουλος

Σχεδίαση, ανάπτυξη και προγραμματιζόμενος έλεγχος ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού

εσωτερικό και την περίσσεια θετικών στο εξωτερικό της μεμβράνης και καλείται δυναμικό μεμβράνης σε ηρεμία (ΔΜΗ). Η διαφορά δυναμικού προέρχεται από την κατανομή των φορτίων της μεμβράνης εκατέρωθεν, έτσι διαπιστώνεται ότι ο νευρώνας είναι πολωμένος. Όταν ένας νευρώνας διεγείρεται παρατηρείται μεγάλη στιγμιαία αλλαγή στο δυναμικό ηρεμίας στο σημείο εκείνο, η μεταβολή δυναμικού καλείται δυναμικό δράσης. Η διάδοση ενός δυναμικού δράσης αποτελεί τον κύριο τρόπο για την μεταβίβαση των σημάτων μέσα στο σώμα.

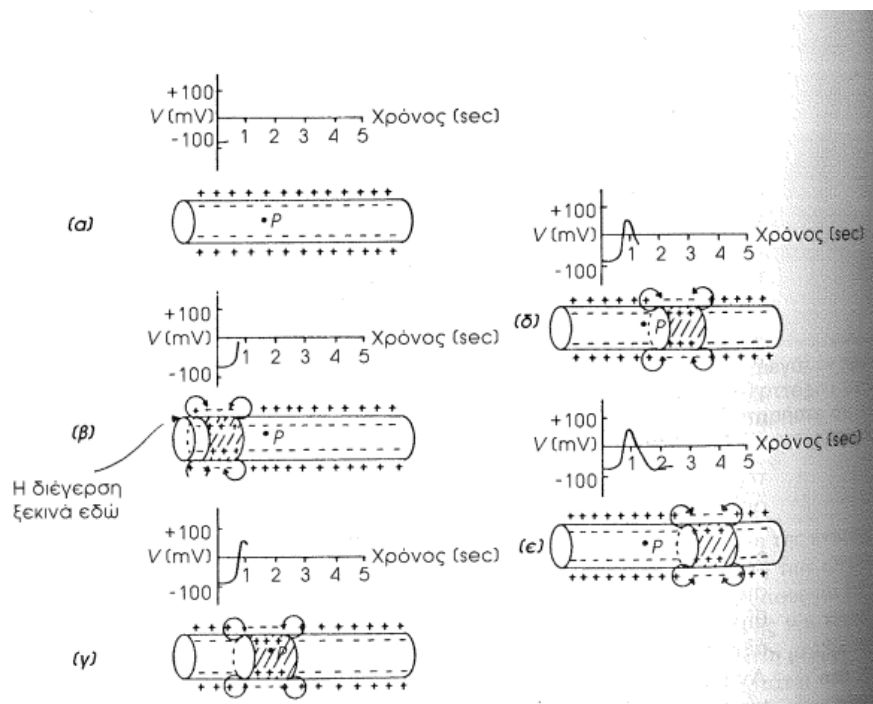
Ο νευρώνας διαθέτει υψηλή συγκέντρωση ιόντων καλίου (K^+) εσωτερικά και υψηλή συγκέντρωση ιόντων νατρίου (Na^+) εξωτερικά. Αυτή η διαφορά ιόντων εσωτερικά και εξωτερικά του κυττάρου είναι που προκαλεί το δυναμικό μεμβράνης σε ηρεμία. Ένα παράδειγμα για να εμπεδωθεί καλύτερα γίνεται χρήση ενός μοντέλου όπου διαχωρίζονται δύο περιοχές ουδέτερου διαλύματος KCl από μια πολύ λεπτή μεμβράνη, όπου η μία διαθέτει υψηλότερη συγκέντρωση ενώ η άλλη χαμηλότερη. Το διάλυμα KCl αποτελείται από ιόντα K^+ και ιόντα Cl^- τα οποία απεικονίζονται στην Εικόνα με (+) και (-) αντίστοιχα. Η υπόθεση που γίνεται είναι ότι η μεμβράνη είναι διαπερατή από ιόντα χλωρίου και μη διαπερατή από ιόντα καλίου. Τα ιόντα χλωρίου θα εξαπλωθούν μέσα από την μεμβράνη και θα προκαλέσουν την αρνητική κίνηση φορτίου από τα αριστερά προς τα δεξιά. Τα ιόντα καλίου δεν μπορούν να διαπεράσουν την μεμβράνη, άρα γρήγορα θα αναπτυχθεί ένα έλλειμα ιόντων χλωρίου στην αριστερή πλευρά, αφήνοντας θετικά φορτισμένα στην πλευρά αυτήν. Τα διαχωρισμένα ηλεκτρικά φορτία παρουσιάζουν συμπεριφορά παρόμοια με αυτήν ενός φορτισμένου πυκνωτή, δημιουργώντας ηλεκτρικό πεδίο έντασης E με φορά από τα δεξιά προς τα αριστερά. Η συνεχόμενη αύξηση της έντασης τελικά θα επιβραδύνει τη διάχυση ιόντων χλωρίου. Τα φορτία βρίσκονται αρκετά κοντά στην μεμβράνη σε απόσταση της τάξης των nm και η έκτασή τους εξαρτάται από την συγκέντρωση των ιόντων. Πέρα από τα ιόντα της μεμβράνης ο υπόλοιπος όγκος του διαλύματος είναι αγωγίμος επιτρέποντας στα ιόντα να κινούνται, έτσι διασφαλίζεται ότι η ένταση του πεδίου σε αυτές τις περιοχές θα είναι μηδενικές, δηλαδή δεν υπάρχει περίσσεια ηλεκτρικού φορτίου σε οποιαδήποτε περιοχή του όγκου του διαλύματος γιατί τα φορτία θα αλληλοεξουδετερώνονται μακριά από την μεμβράνη.



Εικόνα 1.3.2 Τυπικές συγκεντρώσεις σε moles/lit των K^+ , Na^+ , Cl^- και των μεγάλων πρωτεϊνικών ιόντων (A^-) εσωτερικά και εξωτερικά του κυττάρου.

Με το παραπάνω παράδειγμα γίνεται κατανοητή η διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται κατά μήκος της μεμβράνης, αλλά η ύπαρξη του δυναμικού ηρεμίας είναι αρκετά πιο σύνθετη. Τα A^- που παρουσιάζονται στην Εικόνα δεν μπορούν να διαπεράσουν την μεμβράνη, ενώ από μετρήσεις έχει διαπιστωθεί ότι τα ιόντα Cl^- συμπεριφέρονται με τον τρόπο που αναφέρεται στο παράδειγμα. Σχετικά με τα ιόντα καλίου (K^+) και νατρίου (Na^+), η ρύθμιση της συγκέντρωσής τους επιτυγχάνεται όχι μόνο από μηχανισμούς διάχυσης και δημιουργίας ηλεκτρικού πεδίου αλλά και από μηχανισμό που αντλεί με ενεργητική μεταφορά ιόντα καλίου (K^+) προς το εσωτερικό του κυττάρου και ιόντα νατρίου (Na^+) προς το εξωτερικό του. Επειδή τα ιόντα τείνουν να διαχυθούν με τρόπο τέτοιο ώστε η συγκέντρωσή τους να ισορροπήσει εκατέρωθεν της μεμβράνης μερικά K^+ θα κινηθούν προς την περιοχή όπου η συγκέντρωσή τους είναι μικρότερη, δηλαδή προς το εξωτερικό του κυττάρου ενώ τα ιόντα νατρίου (Na^+) δεν μπορούν να κινηθούν με αυτόν τον τρόπο. Ένα ένζυμο Na^+-K^+ αποκαλούμενο αδενोσινοτριφωσφατάση διατηρεί το δυναμικό της μεμβράνης, μέσω ενεργητικής μεταφοράς νατρίου καλίου σε επίπεδα τέτοια ώστε η διατήρηση του δυναμικού να είναι περίπου ίση με $-70mV$.

Όταν το δυναμικό στο εσωτερικό του κυττάρου γίνει θετικότερο σχετικά με το εξωτερικό, η διαφορά δυναμικού που υπάρχει εκατέρωθεν της μεμβράνης θα μειωθεί με αποτέλεσμα η μεμβράνη να είναι λιγότερο πολωμένη. Στην περίπτωση αυτή αναφέρουμε ότι υπέστη εκπόλωση, διαπιστώνεται ότι το φαινόμενο της εκπόλωσης εμφανίζεται όταν η διαφορά δυναμικού είναι μικρότερη του δυναμικού μεμβράνης σε ηρεμία ($\Delta H M$). Το αντίθετο φαινόμενο δηλαδή αν η διαφορά δυναμικού σημειώσει αύξηση και το δυναμικό είναι αρνητικότερο από το $\Delta H M$ τότε η μεμβράνη πολώνεται. Με την βοήθεια της παρακάτω Εικόνας γίνεται κατανοητή καλύτερα η μετάδοση του νευρικού παλμού κατά μήκος του άξονα.



Εικόνα 1.3.3 μετάδοσης νευρικού παλμού κατά μήκος του άξονα, ο παλμός κινείται κατά αυτό το δυναμικό δράσης.

Παρατηρείται τον τρόπο που μεταδίδεται το δυναμικό κατά μήκος του άξονα και τις γραφικές παραστάσεις της διαφοράς δυναμικού που μετρήθηκε στο σημείο P. Το δυναμικό ηρεμίας του άξονα είναι περίπου $-80mV$. Μόλις διεγερθεί η αριστερή πλευρά τα τοιχώματα της μεμβράνης γίνονται

Σχεδίαση, ανάπτυξη και προγραμματιζόμενος έλεγχος ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού

διαπερατά για τα ιόντα Na^+ , τα οποία με την σειρά του διαχέονται κατά μήκος του άξονα και προκαλούν την εκπόλωση της μεμβράνης. Στιγμιαία το εσωτερικό δυναμικό της μεμβράνης ισούται με περίπου 50mV. Αναστρέφοντας το δυναμικό στην διεγερμένη περιοχή δημιουργεί κίνηση των ιόντων στην κατεύθυνση που βρίσκονται τα βέλη στην Εικόνα 1.3.3, τα οποία με την σειρά τους εκπολώνουν την περιοχή που βρίσκεται δεξιοτέρά τους(Εικόνα 1.3.3 γ, δ και ε). Το δυναμικό στο σημείο ερεθισμού επαναπολώνεται διότι τα ιόντα καλίου (K^+) έχουν μετακινηθεί προς τα έξω και έχουν επαναφέρει το δυναμικό ηρεμίας. Το δυναμικό δράσης είναι ο παλμός της τάσης που δημιουργήθηκε, για το μεγαλύτερο μέρος των κυττάρων το δυναμικό δράσης διαρκεί μόλις μερικά msec. Σημαντικό να αναφερθεί είναι ότι το δυναμικό μπορεί να μεταδοθεί αμφίδρομα του νευρώνα. Το δυναμικό ενέργειας είναι μια γρήγορη και ουσιαστική εκπόλωση της μεμβράνης του νευρώνα, χρειάζεται όμως να παραχθεί μια τιμή ελάχιστης εκπόλωσης η οποία ονομάζεται ουδός(Κατώτατο όριο). Οποιαδήποτε εκπόλωση δημιουργηθεί η οποία είναι μικρότερη από την τιμή της ουδός (περίπου 15-20 mV) δεν θα καταφέρει να γίνει δυναμικό ενέργειας.

Ο χρόνος μετάδοσης μιας ώσης περιγράφεται μέσω του νευρίτη, εξαρτάται από την μυελίνωση και την διάμετρο του νευρώνα. Οι περισσότεροι νευρίτες των κινητικών νευρώνων καλύπτονται από ένα λιπώδες μονωτικό στρώμα που καλείται έλυτρο μυελίνης. Το έλυτρο παρουσιάζει ασυνέχεια κατά μήκος του νευρίτη (μικρά κενά) ανά μερικά mm που καλούνται περισφίξεις του Ranvier. Το δυναμικό ενέργειας φαίνεται να μεταπηδά από τον έναν κόμβο στο επόμενο καθώς διέρχεται της εμμύελης ίνας. Το φαινόμενο αυτό καλείται αλματώδης αγωγή και είναι ο πιο γρήγορος τύπος αγωγής που συναντάται στις εμμύελες ίνες. Η μυελίνωση των κινητικών νευρώνων επιτυγχάνεται σταδιακά τα πρώτα χρόνια ύπαρξης, με αυτόν τον τρόπο εξηγείται ο χρόνος που χρειάζονται τα παιδιά μέχρι να αποκτήσουν συντονισμένη κίνηση.

Η ταχύτητα διάδοσης του δυναμικού δράσης επηρεάζεται από :

- Την Ηλεκτρική αντίσταση R
- Την χωρητικότητα C

Η αντίσταση R παρουσιάζεται στο εσωτερικό του άξονα ενώ η χωρητικότητα σχετίζεται με το αποθηκευμένο φορτίο εκατέρωθεν της μεμβράνης. Ο χρόνος τ που χρειάζεται για την εκφόρτιση ενός πυκνωτή σε συνδεσμολογία σειράς με την αντίσταση είναι ίσος με :

$$\tau = R \cdot C$$

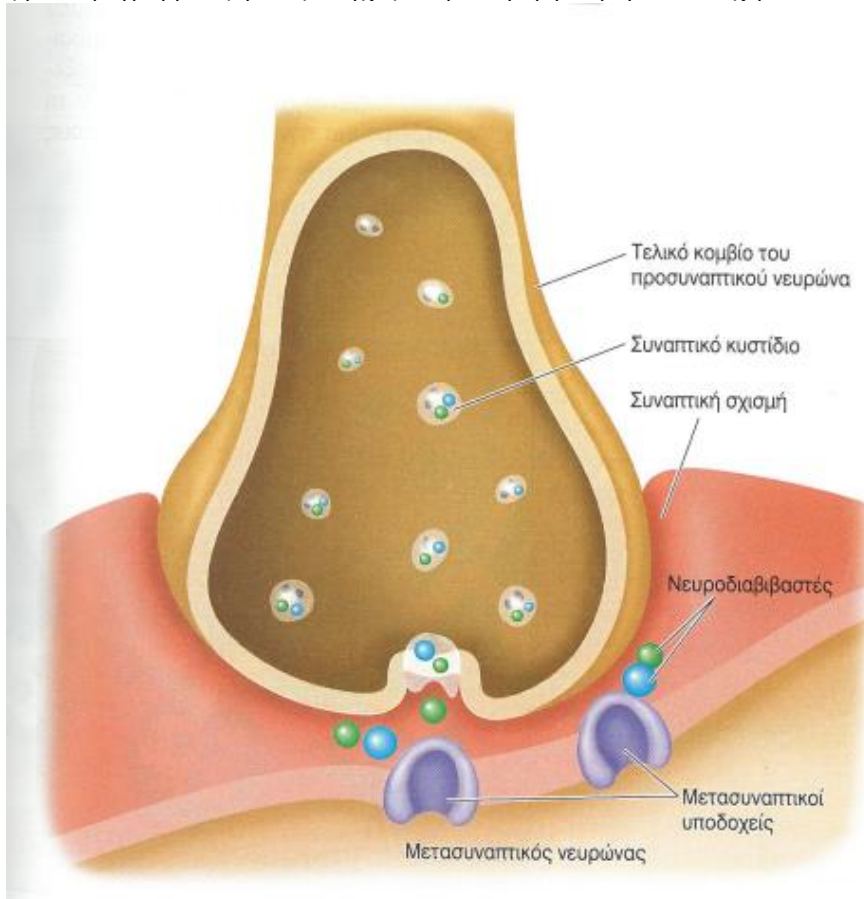
Είναι το διάστημα που χρειάζεται το φορτίο για να φτάσει στο 63,2% και η χρονική μεταβολή που παρουσιάζει το ρεύμα είναι εκθετική :

$$I(t) = \frac{\varepsilon}{R} e^{-t/RC}$$

Στην περίπτωση όπου μειωθεί είτε το R, είτε το C θα προκληθεί μείωση της σταθεράς χρόνου και ο πυκνωτής θα φορτίζει ή θα εκφορτίζει ταχύτερα. Η εσωτερική αντίσταση ενός άξονα μειώνεται όσο η διάμετρος του αυξάνεται. Όσο μεγαλύτερη είναι η χωρητικότητα (ή το αποθηκευμένο φορτίο), τόσο περισσότερος χρόνος απαιτείται για την εκπόλωση της μεμβράνης και τόσο μικρότερη θα είναι η ταχύτητα διάδοσης [3].

1.3.2 Συνάψεις

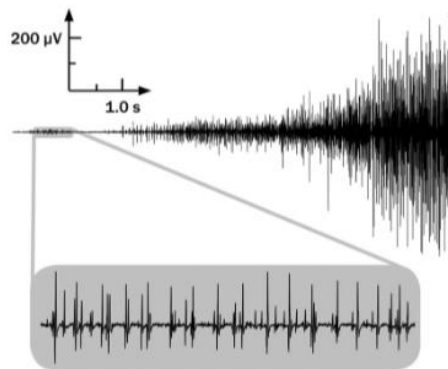
Οι συνάψεις χωρίζονται σε δύο τύπους, τις Νευρομυϊκές και τις Χημικές όπου και οι δύο θα αναλυθούν παρακάτω. Για να επιτευχθεί επικοινωνία μεταξύ των νευρώνων χρειάζεται η εμφάνιση δυναμικού ενεργείας. Μόλις ξεκινήσει το δυναμικό ενεργείας, η νευρική ώση διαδίδεται κατά μήκος του νευρίτη και εκτείνεται μέχρι τα τελικά κομβία. Τα βασικά στοιχεία που συμμετέχουν στην επίτευξη μια σύναψης μεταξύ δύο νευρώνων είναι οι τελικές απολήξεις του νευρώνα που μεταφέρει την ώση, οι υποδοχείς του δεύτερου νευρώνα και τα διαστήματα μεταξύ αυτών των δομών. Ο προσυναπτικός νευρώνας είναι αυτός που αποστέλλει την ώση στην σύναψη και με αυτό τον τρόπο τα τελικά κομβία είναι προσυναπτικές απολήξεις. Ο αποδέκτης νευρώνας ονομάζεται μετασυναπτικός και διαθέτει μετασυναπτικούς υποδοχείς. Οι μετασυναπτικοί υποδοχείς και τα τελικά κομβία χωρίζονται από ένα μικρό κενό που ονομάζεται συναπτική σχισμή. Η ώσεις μπορούν να διαβιβαστούν μόνο προς μία κατεύθυνση, μέσα από τα τελικά κομβία προς τους μετασυναπτικούς υποδοχείς που βρίσκονται συνήθως επάνω στους δενδρίτες του μετασυναπτικού νευρώνα. Οι χημικές ενώσεις που καλούνται νευροδιαβιβαστές ωθούνται από την ώση να διαχυθούν προς τα τελικά κομβία και την συναπτική σχισμή, στην συνέχεια εισέρχονται στην σχισμή και προσδένονται στους μετασυναπτικούς υποδοχείς, οι οποίοι δεσμεύουν με την σειρά τους τον νευροδιαβιβαστή. Μόλις επιτευχθεί επιτυχώς αυτή η σύνδεση η διαβίβαση της ώσης έχει περάσει πλέον στον επόμενο νευρώνα. Ένας βασικός νευροδιαβιβαστής για τους κινητικούς νευρώνες οι οποίοι νευρώνουν τους σκελετικούς μύες είναι η ακετυλοχολίνη, συγκαταλέγεται στους διεγερτικούς νευροδιαβιβαστές [1].



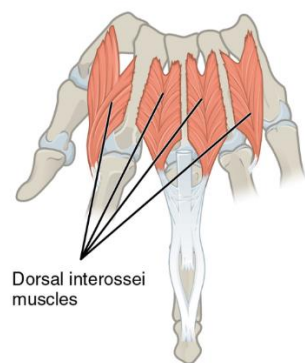
Εικόνα 1.3.4 Σύναψη.

1.4 Ηλεκτρομυογράφημα

Ηλεκτρομυογράφημα ονομάζεται η καταγραφή ηλεκτρικής εκδήλωσης (σήμα) που παράγεται από μια μυϊκή μονάδα όταν συστέλλεται. Το σήμα εκφράζει το ρεύμα που παράγεται στο μήκος της μεμβράνης των μυϊκών ινών και διαδίδεται μέσω των ενδιάμεσων ιστών ώστε να επιτευχθεί η καταγραφή με την βοήθεια ενός ηλεκτροδίου που βρίσκεται στο περιβάλλον, δηλαδή στην επιφάνεια του σώματός μας. Τα ηλεκτρομυογραφήματα συναντώνται σε κλινικό περιβάλλον για σκοπούς αξιολόγησης σε φυσιοθεραπείες και στην αθλητιατρική. Τα σήματα αυτά εκμεταλλεύονται στην μελέτη αλληλεπίδρασης δραστηριοτήτων σε μυϊκές ομάδες και σε αρκετά μεγάλες μυϊκές ομάδες όπου η ψηλάφηση δεν καθίσταται πρακτική. Μία ακόμα εφαρμογή που βρίσκουν τα ΗΜΓ σε κλινικά περιβάλλοντα είναι η ανίχνευσή τους με στόχο τον έλεγχο εξωτερικών συσκευών όπως μυοηλεκτρικά ελεγχόμενες προσθέσεις και άλλα παρόμοια βοηθήματα στοχεύοντας να βελτιώσουν την καθημερινότητα ποσοστού του πληθυσμού με σωματικές αναπηρίες.

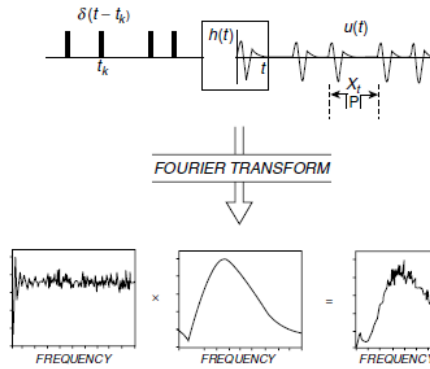


Εικόνα 1.4.1 Ηλεκτρομυογράφημα, σήμα που καταγράφηκε από επιφανειακά ηλεκτρόδια πάνω από το πρώτο ραχιαίο ενδιάμεσο μυ του χεριού. Το πλάτος του σήματος αυξάνεται ανάλογα με την δύναμη που παράγεται στην μυϊκή ομάδα.



Εικόνα 1.4.2 Ραχιαίος ενδιάμεσος μυς.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει συμβάλει αρκετά στον τρόπο ανίχνευσης, καταγραφής και αποθήκευσης των ηλεκτρομυογραφικών σημάτων, καθώς το σήμα αυτό μπορεί να επηρεαστεί από πολλούς παράγοντες όπως είναι οι φυσιολογικές ιδιότητες του μυϊκού συστήματος, τα χαρακτηριστικά των οργάνων που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση του, η σχετική γεωμετρική θέση του ηλεκτροδίου με την επιφάνεια ανίχνευσης, το μέγεθος των μυϊκών ινών κ.α. Ο βασικότερος αιτιολογικός παράγοντας του σήματος είναι οι κινητικές μονάδες του νευρικού συστήματος οι οποίες μόλις ενεργοποιηθούν προκαλούν το δυναμικό δράσης. Το κεντρικό νευρικό σύστημα επαναλαμβάνει την διαδικασία ενεργοποίησης έως ότου να παραχθεί η απαραίτητη δύναμη για την επιθυμητή κίνηση. Το ηλεκτρικό σήμα που αναπτύσσεται από την ενεργοποίηση των μυϊκών ινών μιας κινητικής μονάδας που μπορεί να ανιχνευθεί από ένα ηλεκτρόδιο, ονομάζεται δυναμικό μονάδας κινητήρα (MUAP – Motor Unit Action Potential). Η ηλεκτρική εκδήλωση έχει άμεσο αντίκτυπο στην μυϊκή ομάδα καθώς παρατηρείται σύσπαση στην περιοχή. Για την επίτευξη της σύσπασης πρέπει οι κινητικές μονάδες να ενεργοποιηθούν πολλαπλές φορές με αποτέλεσμα την παράγωγή της ακολουθίας των MUAPs, δηλαδή το άθροισμα όλων των συμπεριλαμβανομένων δυναμικών δράσης των κινητήριων μονάδων ενός μυ, τα οποία μεταδίδονται κατά μήκος των μυϊκών ινών που βρίσκονται μεταξύ των ηλεκτροδίων καταγραφής. Η ακολουθία αυτή μπορεί να προσδιοριστεί πλήρως από τα μεσοπαλμικά του διαστήματα και την κυματομορφή MUAP. Η μαθηματική έκφραση των μεσοπαλμικών διαστημάτων εκφράζονται ως ακολουθία παλμών δέλτα Dirac σε συνέλιξη με ένα φίλτρο (συνήθως Bandpass – Ζωνοπερατό) που αντιπροσωπεύει το σχήμα του MUAP όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.4.3.



Εικόνα 1.4.3 αναπαράσταση δυναμικού δράσης κινητικής μονάδας και ο μετασχηματισμός Fourier των μεσοπαλμικών διαστημάτων.

Από την ανάλυση αυτή προκύπτει το μοντέλο για το δυναμικό :

$$u_i(t) = \sum_{k=1}^n h_i(t - t_k)$$

Όπου

$$t_k = \sum_{l=1}^k x_l \text{ for } k, l = 1, 2, 3, \dots, n$$

Το t_k τις χρονικές στιγμές των MUAPs, το x_l αντιπροσωπεύει τα μεσοπαλμικά διαστήματα, το n είναι ο συνολικός αριθμός διαστημάτων παρεμβολών σε ένα MUAP και $l, k, 1$ ακέραιοι αριθμοί που σηματοδοτούν συγκεκριμένες χρονικές στιγμές και γεγονότα. Με την βοήθεια του μοντέλου αναπαράστασης μεσοπαλμικών διαστημάτων έχουν προκύψει προσεγγίσεις της δύναμης F που παράγεται σε έναν μ και ο ρυθμός πυροδότησης κινητικής μονάδας.

Mean rectified value

$$= E\{|u_i(t, F)|\} \cong \lambda_i(t, F) \int_0^{\infty} |h_i(t)| dt$$

Mean squared value

$$= MS\{|u_i(t, F)|\} \cong \lambda_i(t, F) \int_0^{\infty} h_i^2(t) dt$$

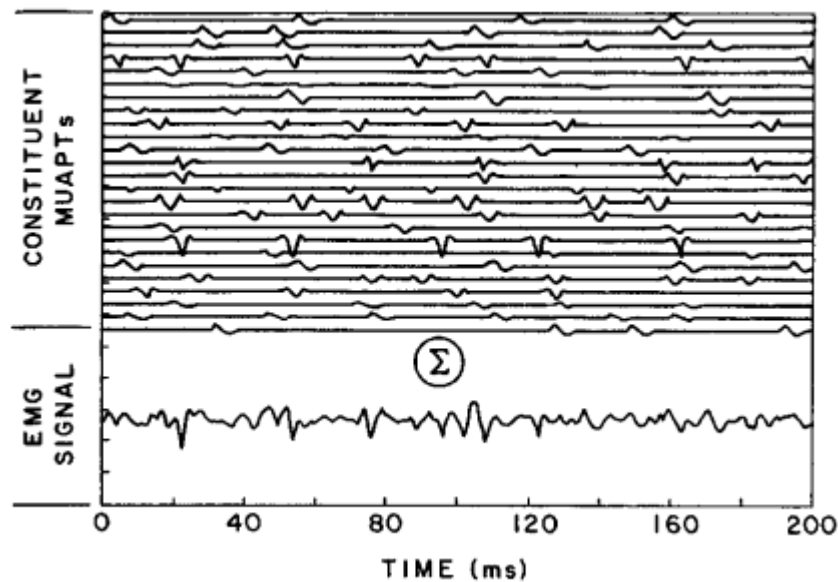
Σχεδίαση, ανάπτυξη και προγραμματιζόμενος έλεγχος ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού
 Προέκυψε το φάσμα πυκνότητας ισχύος ενός MUAPT από την παραπάνω διατύπωση των LeFever και De Luca και ανεξάρτητα από τους Lago και Jones . Μπορεί να εκφραστεί :

$$S_{u_i}(\omega, t, F) = S_{\delta_i}(\omega, t, F)|H_i(j\omega)|^2$$

$$= \frac{\lambda_i(t, F) \cdot \{1 - |M(j\omega, t, F)|^2\}}{1 - 2 \cdot \text{Real}\{M(j\omega, t, F)\} + |M(j\omega, \tau, F)|^2} \{ |H_i(j\omega)|^2 \}$$

For $\neq 0$

Όπου η συχνότητα εκφράζεται σε ακτίνια αν δευτερόλεπτο, $H_i(j\omega)$ είναι ο μετασχηματισμός Fourier του $h_i(t)$ και $M(j\omega, t, F)$ είναι ο μετασχηματισμός Fourier της συνάρτησης κατανομής πιθανότητας των μεσοπαλμικών διαστημάτων, $px(x, t, F)$.



Εικόνα 1.4.4 Ένα ΗΜΓ σήμα που σχηματίζεται από την υπέρθεση 25 MUAPTs.

Το ΗΜΓ σήμα απαρτίζεται από την γραμμική άθροιση των MUAPTs και εκφράζεται:

$$m(t, F) = \sum_{i=1}^P u_i(t, F)$$

Μέσω αυτής της έννοιας, είναι πλέον εφικτό να εξαχθούν εκφράσεις όπως rms τιμή, διακύμανση του διορθωμένου σήματος κ.α.

Σε συνέχεια της εξέλιξης του μοντέλου είναι εφικτό να εξαχθεί μια έκφραση για το φάσμα πυκνότητας ισχύος του ΗΜΓ σήματος.

$$S_m(\omega, t, F) = R(\omega, d) \left[\sum_{i=1}^{p(f)} S_{u_i}(\omega, t) + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^{q(F)} S_{u_i u_j}(\omega, t) \right]$$

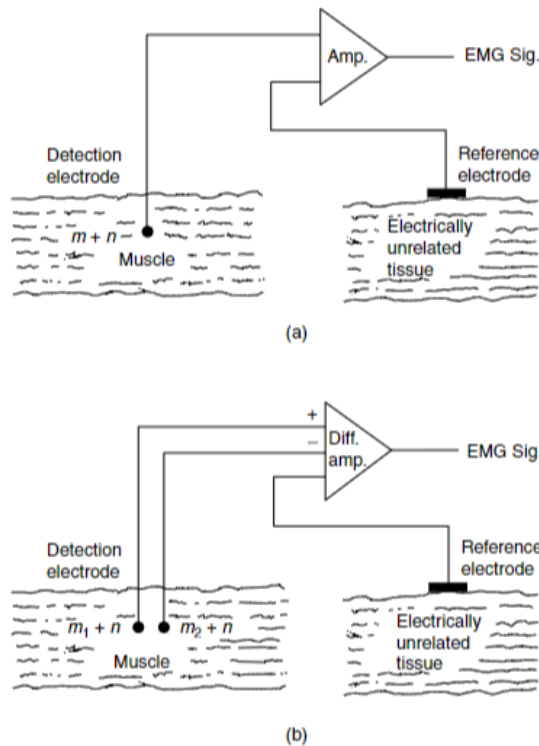
Όπου

- $R(\omega, d) = K \cdot \sin^2\left(\frac{\omega d}{2v}\right)$ είναι διπολικό φίλτρο ηλεκτροδίων λειτουργίας
- d η απόσταση μεταξύ των επιφανειών ανίχνευσης των ηλεκτροδίων
- ω η γωνιακή συχνότητα
- v η ταχύτητα αγωγής κατά μήκος των μυϊκών ινών
- $S_{u_i}(\omega)$ η πυκνότητα ισχύος του MUAPT, $u_i(t)$
- $S_{u_i u_j}(\omega)$ η πυκνότητα διασταυρούμενης ισχύος φάσματος των MUAPT u_i και u_j
- p ο συνολικός αριθμός των MUAPT
- q είναι ο αριθμός των MUAPTs με συσχετισμένες εκκενώσεις

Η καταγραφή ενός ΗΜΓ σήματος επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση ηλεκτροδίων μέσα σε έναν μυ ή στην επιφάνεια του δέρματος, για την καταγραφή τα συρμάτινα ηλεκτρόδια είναι από τους πιο δημοφιλείς τύπους ηλεκτροδίων για χρήση σε κινησιολογικές μελέτες. Η δομή τους είναι αρκετά λεπτή και η ανώδυνη εμφύτευση και απόσυρσή τους τα καθιστά πολύ πιο πρακτικά σε σχέση με τα ηλεκτρόδια βελόνας. Τα υλικά κατασκευής τους συνήθως είναι κράμα πλατίνας, αργύρου, νικελίου και χρωμίου και οι μονώσεις που χρησιμοποιούνται είναι νάιλον, πολυουρεθάνη και τεφλόν. Τα ηλεκτρόδια βελόνας, συνήθως κατασκευάζονται από ανοξείδωτο χάλυβα και εμφυτεύονται στην μυϊκή μονάδα κατά την διάρκεια της εξέτασης. Ένας τρίτος τύπος ηλεκτροδίων είναι τα επιφανειακά τα οποία εγκαθίστανται επιφανειακά του δέρματος έξω από την μυϊκή μονάδα και χρησιμοποιούνται ως ηλεκτρόδιο αναφοράς. Ο τύπος των ηλεκτροδίων καθορίζεται ανάλογα την εφαρμογή και την ευκολία χρήσης. Για τα επιφανειακά ηλεκτρόδια τα οποία χρησιμοποιούνται και στην εφαρμογή μας, προτείνεται η κατάλληλη προετοιμασία του δέρματος, δηλαδή η αφαίρεση νεκρών κυττάρων και τριχών, ο καθαρισμός του σημείου με οινόπνευμα ώστε να μειωθεί η αντίσταση του δέρματος. Η προτιμώμενη θέση είναι στη μέση της περιοχής μεταξύ του κέντρου ζώνης εννεύρωσης και του περαιτέρω τένοντα.

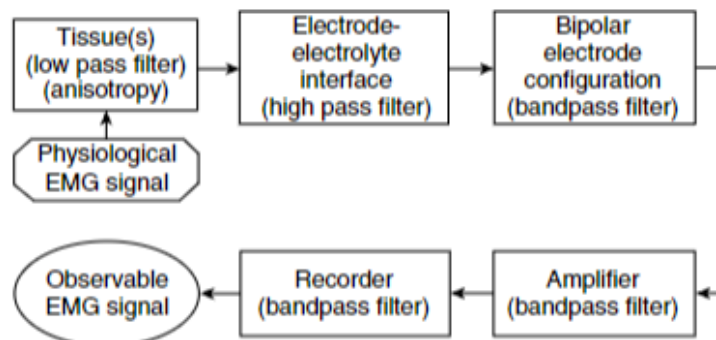
Η διαμόρφωση διπολικού ηλεκτροδίου σε ιδανικές συνθήκες συμπεριφέρεται ως φίλτρο ζώνης (bandpass filter). Η περίπτωση αυτή βέβαια μπορεί να ισχύσει μόνο όταν οι είσοδος στον ενισχυτή είναι ισορροπημένοι και οι πτυχές φιλτραρίσματος των συνδέσεων ηλεκτρολυτών ηλεκτροδίων είναι ισοδύναμες. Όσο η μεγαλύτερη είναι η απόσταση της επιφάνειας αλληλοανίχνευσης τόσο αυξάνεται η ευαισθησία του ηλεκτροδίου στην ανίχνευση μετρήσεων πλατών σημάτων ΗΜΓ από παρακείμενους μύες και το εύρος ζώνης που θα αποδοθεί θα είναι μικρότερο. Ένας άλλος τύπος διαμόρφωσης είναι αυτός του μονοπολικού ηλεκτροδίου, σε αυτήν την

Σχεδίαση, ανάπτυξη και προγραμματιζόμενος έλεγχος ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού διαμόρφωση, ένα ηλεκτρόδιο τοποθετείται στην μυϊκή ομάδα που μας ενδιαφέρει και το ηλεκτρόδιο αναφοράς τοποθετείται σε απόσταση από τον μυ.



Εικόνα 1.4.5 α) Μονοπολική διάταξη β) διπολική διάταξη.

Συνήθως σε εφαρμογές ανίχνευσης ΗΜΓ σήματος γίνεται χρήση διαφορικού ενισχυτή διότι με την χρήση του επιτυγχάνουμε να ενισχύσουμε την διαφορά των δύο σημάτων που δέχεται στην είσοδό του με αποτέλεσμα να εξαλείφεται τυχόν στοιχεία κοινής λειτουργίας δηλαδή θόρυβος. Τα σήματα που προέρχονται από τον μυϊκό ιστό κοντά στην επιφάνεια ανίχνευσης παρουσιάζουν ανομοιομορφία σε κάθε επιφάνεια λόγω τοπικών ηλεκτροχημικών γεγονότων που συμβαίνουν στις συσταλτικές μυϊκές ίνες, ενώ τυχόν σήματα που προέρχονται από μακρινές πηγές (ηλεκτρομαγνητικά, τροφοδοσία κ.α.) θα ανιχνευτούν με παρόμοιο τρόπο και στις δύο επιφάνειες και θα εξαλειφθούν παρέχοντας μας το σήμα που θέλουμε να ανιχνεύσουμε. Τα χαρακτηριστικά του ενισχυτή είναι σημαντικά για τη λήψη ΗΜΓ υψηλής ποιότητας, ο ενισχυτής θα πρέπει να διαθέτει υψηλή αντίσταση εισόδου, χαμηλό θόρυβο και υψηλό λόγο απόρριψης κοινής λειτουργίας.



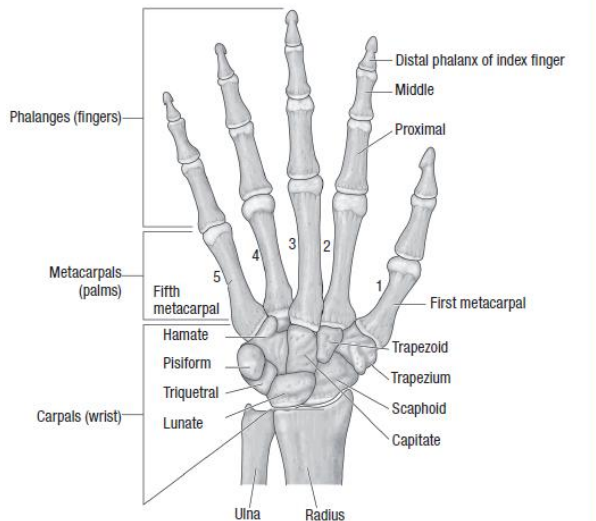
Εικόνα 1.4.6 Block διάγραμμα καταγραφής και επεξεργασίας ΗΜΓ σήματος.

Το ΗΜΓ σήμα εξαρτάται από τον χρόνο και την δύναμη που ασκείται στην μυϊκή ομάδα που μελετάται (πιθανώς και άλλες παραμέτρους) της οποίας το πλάτος διαφέρει σε τυχαία φύση πάνω και κάτω από την μηδενική τιμή, με αποτέλεσμα η απλή μέση γήρανση του σήματος δεν καταφέρνει να παρέχει χρήσιμες πληροφορίες. Για αυτό και χρησιμοποιείται η μέθοδος διόρθωσης του σήματος πριν από την εκτέλεση σχετικής ανάλυσης λειτουργίας, η διαδικασία αυτή όμως περιλαμβάνει την απόδοση μόνο θετικών εκτροπών του σήματος εξαλείφοντας τις αρνητικές του τιμές είτε αντιστρέφοντας τις, συνήθως προτιμάται η αντιστροφή διότι διατηρείται όλη η ενέργεια και πληροφορία του σήματος. Ισοδύναμη λειτουργία με την εξομάλυνση με ψηφιακή έννοια είναι ο μέσος όρος. Λαμβάνοντας τον μέσο όρο των τυχαία μεταβαλλόμενων τιμών ενός σήματος, αφαιρούνται οι μεγαλύτερες διακυμάνσεις, επιτυγχάνοντας έτσι τα ίδια αποτελέσματα με την αναλογική λειτουργία εξομάλυνσης [4].

1.5 Ανατομία Του Χεριού

Το ανθρώπινο χέρι είναι από τα πιο εξελιγμένα όργανα του σώματος, είναι υπεύθυνο για την ευρεία γκάμα εργασιών, από τις πιο απλές όπως η λαβή ενός αντικειμένου, έως τις πιο σύνθετες, όπως μια χειρουργική επέμβαση ή η δημιουργία τέχνης. Το χέρι ωφελεί όχι μόνο για την καθημερινή μας επικοινωνία, αλλά είναι και ένα μέσο έκφρασης για ανθρώπους που δεν έχουν δυνατότητα της όρασης ή της ακοής. Άνθρωποι με ειδικές ανάγκες σαν αυτές χρησιμοποιούν το άγγιγμα για να διαβάσουν ή ακόμα και να επικοινωνήσουν με την βοήθεια των χεριών μέσω της νοητικής γλώσσας. Εκτός από την φυσική λειτουργία, το χέρι έχει και μια σημαντική συμβολική σημασία. Σε πολλές κουλτούρες, το χέρι χρησιμοποιείται για να εκφράσει συναισθήματα και ιδέες, έχει γίνει σύμβολο χαιρετισμού, ικεσίας ακόμα και καταδίκης. Για παράδειγμα, το να δώσετε το χέρι σημαίνει φιλία και εμπιστοσύνη, ενώ το να δείξετε με το μεσαίο δάκτυλο σημαίνει απειλή ή προσβολή. Το χέρι είναι ένα εξαιρετικά ευέλικτο όργανο. Αυτό οφείλεται στην ιδιαίτερη κατασκευή του αντίχειρα, ο οποίος μπορεί να κινείται προς όλες τις κατευθύνσεις και να αντιτίθεται στα υπόλοιπα δάκτυλα. Η αντίθεση του αντίχειρα προσδίδει στο χέρι μια μεγάλη ποικιλία κινήσεων, όπως η λαβή, η ψηλάφηση και η γραφή. Η απελευθέρωση του χεριού αποτέλεσε ένα από τα καθοριστικά στοιχεία εξέλιξης των ανθρωποειδών, επιτρέποντας την αξιοποίηση του περιβάλλοντος και την εξέλιξη νέων δεξιοτήτων.

Το χέρι αποτελείται από 27 οστά, τα οποία χωρίζονται σε δύο τμήματα, τον καρπό και τα δάκτυλα. Ο καρπός είναι ένα σύνθετο σύστημα αρθρώσεων που συνδέει το χέρι με τον πήχη και τον αντιβραχίονα. Η εγγύς σειρά του καρπού αποτελείται από, το σκαφοειδές, το σεληνιακό, το τριδύμιο και το πισόμορφο. Ενώ η άπω σειρά αποτελείται από το τραπέζιο, το τραπεζοειδές και το κεφαλοειδές οστό. Τα οστά του καρπού είναι διατεταγμένα με τρόπο ώστε να σχηματίζεται ένας θόλος. Ενώ η προέκταση του είναι το μετακάρπιο δηλαδή την παλάμη και οι φάλαγγες. Οι φάλαγγες είναι τα είναι τα δάκτυλα του χεριού όπου κάθε δάκτυλο αποτελείται από τρεις φάλαγγες εκτός του αντίχειρα που διαθέτει μόνο δύο. Οι μετακαρπιοφαλαγγικές αρθρώσεις είναι οικοδομημένες με τρόπο που μπορεί να προσδώσει στο άκρο σταθερότητα κατά την κάμψη, δηλαδή ισχυρή λαβή και χαλάρωση κατά την έκταση.



Εικόνα 1.5.1 Τα οστά του Χεριού.

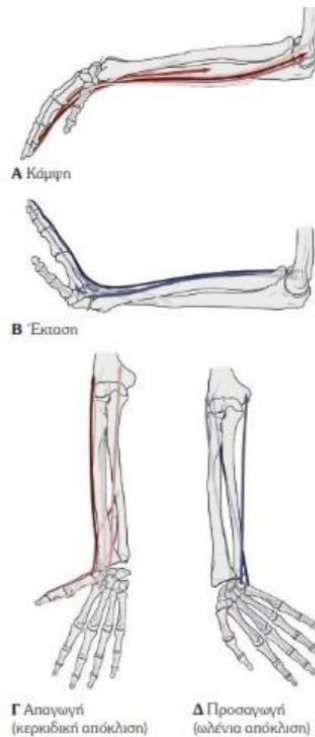
Η ανατομία του χεριού είναι εξαιρετικά πολύπλοκη και εξειδικευμένη, ώστε να προσδώσει ένα ευρύ φάσμα λεπτών και επιδέξιων κινήσεων και απτικών αισθήσεων. Αποτελείται από διαφορετικές δομές, συμπεριλαμβανομένων των οστών των, των αρθρώσεων, των μυών, των τενόντων, των συνδέσμων, των νεύρων, των αιμοφόρων αγγείων και του δέρματος. Τα οστά είναι διατεταγμένα με πολύ συγκεκριμένο τρόπο, με κάθε οστό να συμβάλλει στην συνολική λειτουργία του χεριού. Οι αρθρώσεις του χεριού συνδέουν τα οστά μεταξύ τους επιτρέποντας ένα ευρύ φάσμα κινήσεων διατηρώντας παράλληλη τη σταθερότητα και τη δύναμη. Οι μύες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τους ενδογενείς και τους εξωγενείς καθένας από τους οποίους παίζει συγκεκριμένο ρόλο στην λειτουργία του χεριού και είναι υπεύθυνοι για την κίνηση των οστών, των δακτύλων και του καρπού. Οι τένοντες και οι σύνδεσμοι είναι ισχυρές ζώνες ιστού που συνδέουν τους μυς με τα οστά, επιτρέποντας τη μετάδοση της δύναμης από τους μυς στα οστά παρέχοντας σταθερότητα και στήριξη στις αρθρώσεις. Το νευρικό σύστημα είναι υπεύθυνο για την παροχή κινητικής και αισθητικής νευρώσης στο χέρι, μεταφέροντας μηνύματα από τον εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυελό στα οστά, επιτρέπει τον ακριβή έλεγχο της κίνησης και τη λεπτή αίσθηση αφής. Το δέρμα του χεριού περιέχει πολλούς αισθητηριακούς υποδοχείς που επιτρέπουν την αντίληψη λεπτών απτικών αισθήσεων. Το δέρμα συμβάλλει ακόμα και στην προστασία υποκείμενων δομών του χεριού από τραυματισμούς [5] [6].

1.5.1 Κινησιολογία

Η κινησιολογία αναφέρεται στην μελέτη των κινήσεων του χεριού και των άνω δακτύλων, καθώς και την δομή και λειτουργία των μυϊκών ομάδων, των οστών και των αρθρώσεων που συμβάλουν στην εκάστοτε κίνηση κυρίως αναφερόμενοι στην άνω και κάτω καρπική άρθρωση, τους καμπήρες, τις δακτυλικές αρθρώσεις και τους μυς των δακτύλων αλλά και τις αρθρώσεις του αντίχειρα. Είναι σημαντική για την κατανόηση της λειτουργίας του χεριού και της χειρονομίας, καθώς και για την ανάπτυξη τεχνικών και θεραπευτικών προσεγγίσεων που σχετίζονται με το χέρι.

Η άνω καρπική άρθρωση ή πηγεοκαρπική συνδέει το χέρι με τον βραχίονα. Αποτελείται από την κερκίδα, τον τρίγωνο χόνδρο της ωλένης και τον άνω στοίχο των οστών του καρπού. Η άρθρωση αυτή επιτρέπει στο χέρι να κάμπτεται και να εκτείνεται καθώς και να απομακρύνεται από την κερκίδα και την ωλένη. Οι δυο αρθρώσεις συνεργάζονται για να επιτρέψουν στο χέρι να κινείται σε διάφορες

Σχεδίαση, ανάπτυξη και προγραμματιζόμενος έλεγχος ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού κατευθύνσεις. Η κάμψη του άκρου χεριού επιτελείται κυρίως από την άνω καρπική άρθρωση, ενώ η έκταση από την κάτω καρπική άρθρωση.



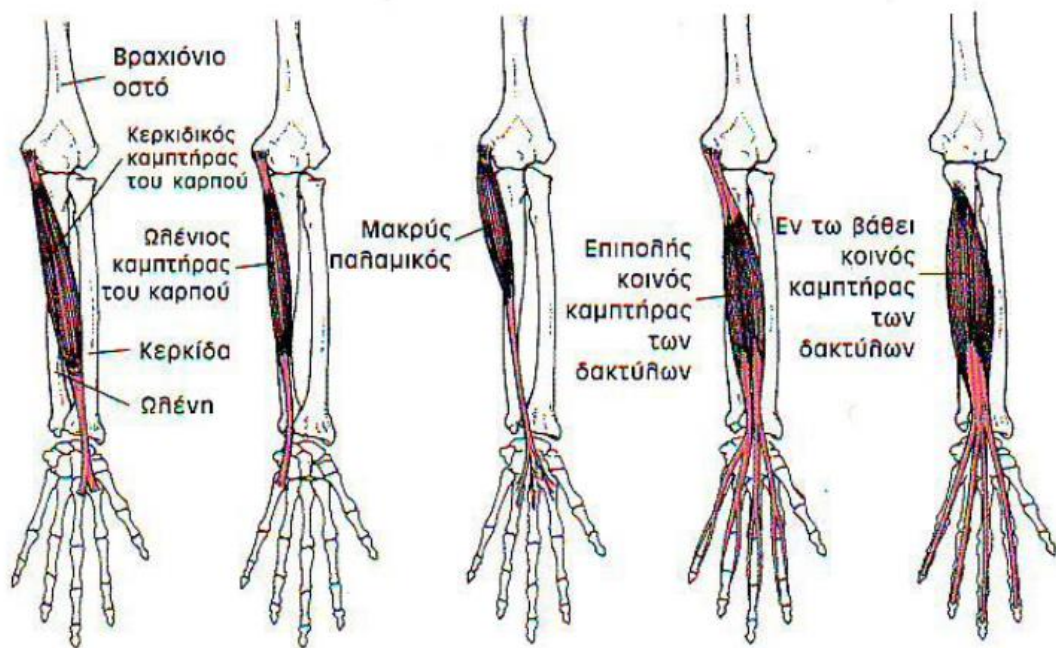
Εικόνα 1.5.2 Κάμψη - Έκταση - Απαγωγή – Προσαγωγή.

Στις κινήσεις απαγωγής, τα οστά κινούνται μεταξύ τους, επιτρέποντας ένα εύρος κίνησης έως 40° προς την ωλένια και έως 15° προς την κερκίδα.



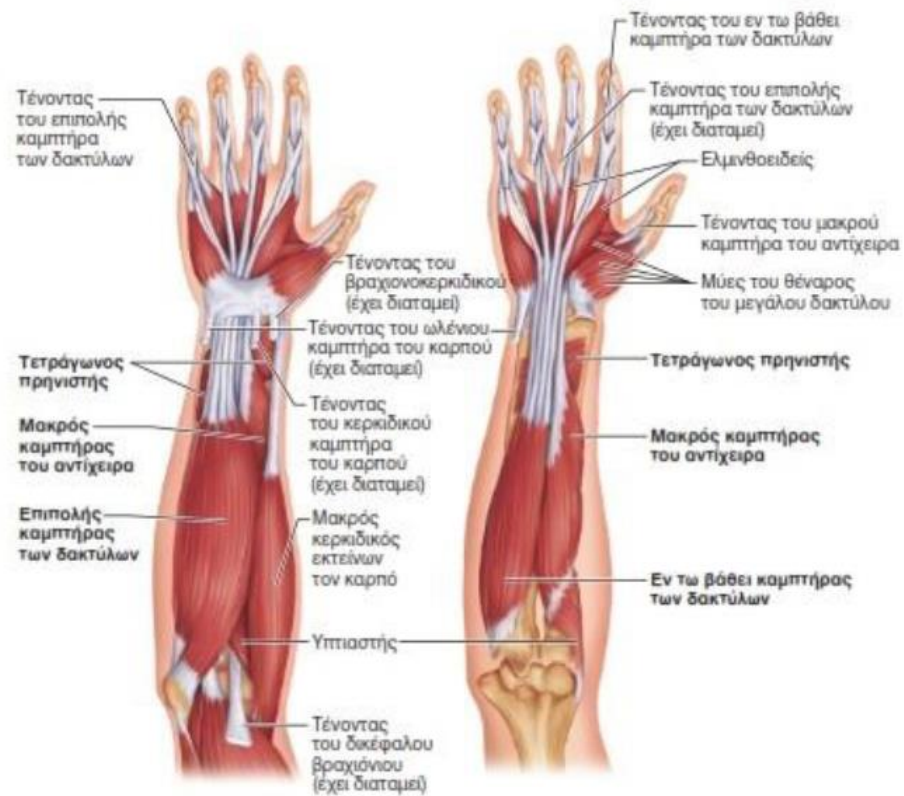
Εικόνα 1.5.3 Κινήσεις Ελεγχόμενες Από Τον Καρπό.

Ωστόσο, σημαντικό ρόλο έχουν και οι καμπτήρες μύες οι οποίοι βρίσκονται στον καρπό και εκφύονται από την απόφυση του βραχιόνιου και του ωλένιου. Ο συνδυασμός των καμπτήρων μυών με τους επιλογής και τους καμπτήρες των δακτύλων συμβάλουν σε ενέργειες που απαιτείται δυναμική ώθηση από την άρθρωση του καρπού και των δακτύλων. Ο ωλένιος καμπτήρας ο οποίος είναι ο ισχυρότερος μυς του καρπού, ευθύνεται για την κάμψη του καρπού καθώς και την κάμψη του αγκώνα. Ο κερκίδιος βρίσκεται στον καρπό και εκφύεται από την κερκίδα, συμβάλει στην κάμψη του καρπού και στην έκταση του άκρου του χεριού.



Εικόνα 1.5.4 Καμπτήρες Του Καρπού.

Ένας ακόμα παράγοντας είναι η λειτουργία την κάμψης των δακτύλων η οποία είναι παρόμοια με αυτήν του καρπού και του αγκώνα, επιτυγχάνεται μέσω καμπτήρων μυών. Η έκταση των δακτύλων επιτυγχάνεται μέσω μιας κοινής ραχιαίας απονεύρωσης που σχηματίζεται από τους εκτίνοντες μύες. Ο καμπτήρας των δακτύλων αναλαμβάνει την κάμψη των άπω μεσοφαλαγγικών αρθρώσεων, ενώ ο επιπολής καμπτήρας των δακτύλων κάμπτει τις αρθρώσεις των δακτύλων.



Εικόνα 1.5.5 Μύες πρόσθιας επιφάνειας αντιβραχίου.

Τέλος, όπως αναφέρεται και στην αρχή του κεφαλαίου το πλήθος και η ευελιξία πολλών κινήσεων οφείλεται στον αντίχειρα, ο οποίος διαθέτει την επιπλοειδή άρθρωση η οποία του προσδίδει δυο βαθμούς ελευθερία «κάμψη και έκταση», «απαγωγή και προσαγωγή». Δηλαδή ο αντίχειρας έχει την δυνατότητα να έρθει σε επαφή με όλα τα δάκτυλά του χεριού καθώς και με το τμήμα της παλάμης [7].

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Ανάπτυξη Θεωρητικού Υποβάθρου.

2.1 Εισαγωγή Κεφαλαίου 2

Η τεχνολογική πρόοδος στον τομέα των προσθετικών μελών και ηλεκτρικών προσθέσεων έχει ανοίξει νέους ορίζοντες στην Ιατρική τεχνολογία, επιτρέποντας τη δημιουργία προηγμένων υποκατάστατων σε ανθρώπους που έχουν αντιμετωπίσει ακρωτηριασμό να ανακτήσουν όχι μόνο την αποτελεσματική λειτουργικότητα, αλλά και την αυτονομία στην καθημερινή τους ζωή. Τα τεχνητά αυτά μέλη διαφοροποιούνται ανάλογα με την μέθοδο τροφοδότησης: από το σώμα, από μηχανισμό ή μέσω μυοηλεκτρικών σημάτων. Κάθε περίπτωση απαιτεί προσαρμογή και σχεδίαση από εξειδικευμένους επαγγελματίες του χώρου της υγείας, με στόχο την άνεση, την ευκολία και τη λειτουργικότητα τους για τον χρήστη. Οι τεχνολογικές αυτές εξελίξεις επιτρέπουν στους ανθρώπους να αυξήσουν την ποιότητα διαβίωσης τους, αντιμετωπίζοντας προκλήσεις που προκύπτουν λόγω απώλειας σωματικών λειτουργιών.

Στο Κεφάλαιο 2 εξετάζεται το πεδίο των τεχνητών μελών, εξερευνώντας την εξέλιξη τους μέσω μιας ιστορικής αναδρομής. Από τις πρώτες προσπάθειες αντιμετώπισης του ακρωτηριασμού μέχρι τις πρωτοποριακές ηλεκτρικές προσθέσεις και τις σύγχρονες υλοποιήσεις. Αναφέρονται τα επίπεδα του ακρωτηριασμού και πώς ο ακρωτηριασμός από εμπόδιο μετατρέπεται σε πρόκληση, ενισχύοντας την κινητικότητα, την ανεξαρτησία και την ποιότητα βίωσης για όσους το αντιμετωπίζουν.

2.2 Τεχνητά Μέλη

Ο ορισμός των τεχνητών μελών αναφέρεται ως τεχνητά υποκατάστατα ενός μέρους του ανθρώπινου σώματος που λείπει είτε λόγω τραυματισμού είτε ασθένειας είτε ακόμα και εκ γενετής ανεπάρκειας. Συνήθως αφορούν προσθέσεις που αντικαθιστούν χαμένα άκρα των επάνω ή των κάτω άκρων, οι τρόποι λειτουργίας τους επιτυγχάνεται με τρεις βασικούς τρόπους: την τροφοδότηση από το σώμα, την τροφοδότηση από μηχανισμό και την μυοηλεκτρική τροφοδότηση. Κάθε ασθενής αποτελεί ξεχωριστή περίπτωση και η επιλογή του κατάλληλου μέρους διαφέρει ανά περίπτωση. Χρειάζεται να σχεδιάζεται με τρόπο που να το καθιστά άνετο και εύκολο στην εφαρμογή καθώς ελαφρύ και ανθεκτικό ώστε να είναι ευχάριστο και εύχρηστο, ένα τεχνητό μέλος προσαρμόζεται ανάλογα με τις ανάγκες του ανθρώπου μετά από παρακολούθηση και μελέτη από εξειδικευμένο ιατρικό προσωπικό.

2.3 Ιστορική Αναδρομή

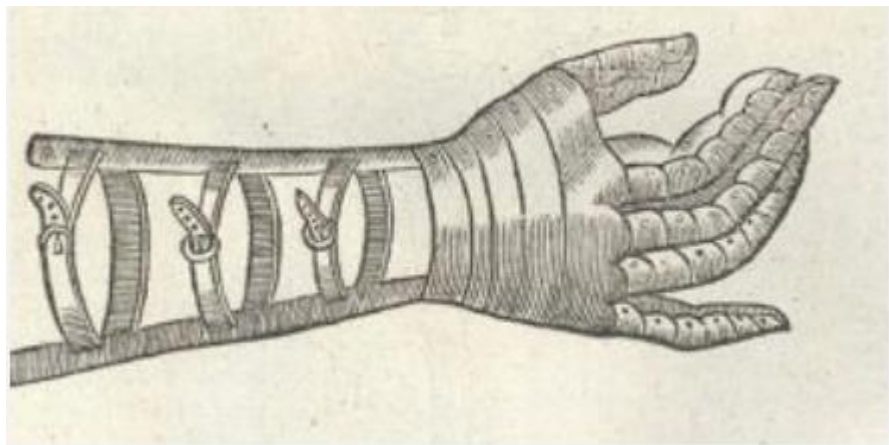
Ο άνθρωπος ανέκαθεν επιδίωκε να διορθώνει τις ατέλειες του και να αντισταθμίζει τα σημεία στα οποία υστερεί και αυτό διαπιστώνεται καθώς από η ιστορία των προσθετικών μελών έχει ξεκινήσει από την αρχαιότητα, καθώς φαίνεται πως από την εποχή εκείνη υφίστανται κατασκευασμένα είδη στήριξης όπως πατερίτσες μπαστούνια κ.α. με σκοπό να αντικαταστήσουν ένα ακρωτηριασμένο άκρο. Συγκεκριμένα υπάρχουν αναφορές για τον μυθικό ήρωα Πέλοπα ο οποίος φόρεσε έναν ώμο από ελεφαντόδοντο μετά από την διαμάχη του με τους θεούς. Η Ιατρική έχει συμβάλει σημαντικά στον τομέα της ανάπτυξης προσθετικών μελών αφού ευρήματα από την αρχαία Ελλάδα δείχνουν ότι οι ακρωτηριασμοί και άλλες χειρουργικές μέθοδοι χρησιμοποιούνταν για την αντιμετώπιση ασθενειών είτε σε περιπτώσεις πολέμων. Στην βιβλιογραφία συναντώνται κείμενα του Ηρόδοτου που αναφέρουν πολεμίστριες με ξύλινα πόδια ενώ υπάρχουν παραδείγματα από Ασία και Ρώμη. Τα πρώτα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ως προσθέσεις για την απόκρυψη της παραμόρφωσης

Σχεδίαση, ανάπτυξη και προγραμματιζόμενος έλεγχος ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού κατασκευάζοντουσαν από ξύλο, μέταλλο και δέρμα. Στην αρχαία Αίγυπτο έπειτα από ανασκαφές βρέθηκε τεχνητό δάκτυλο σε αιγυπτιακή μούμια από δέρμα και ξύλο καθώς και βιβλία που απεικονίζουν έναν ακροβάτη να στηρίζεται με τεχνητό πόδι όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.3.1 β.



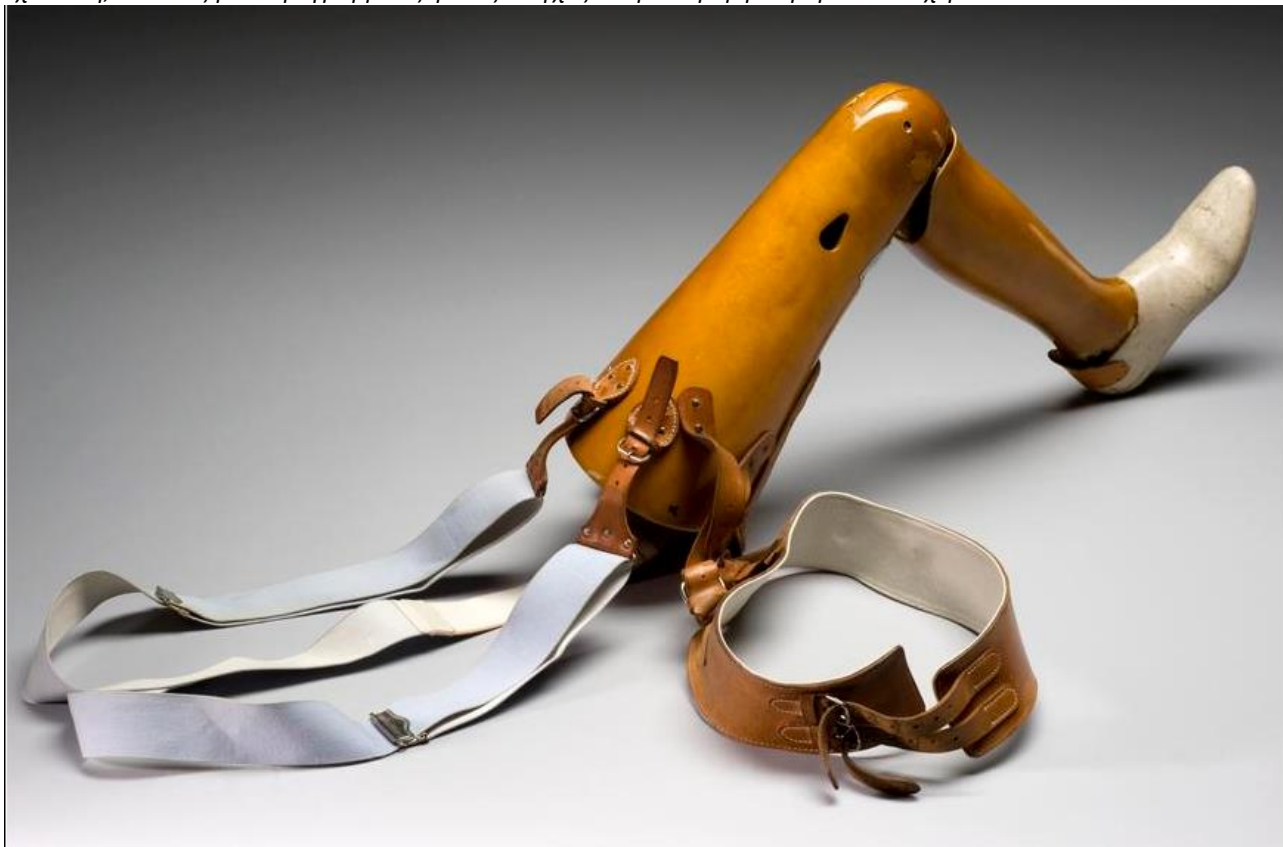
Εικόνα.2.3.1 α)Τεχνητό δάκτυλο, β) Ακροβάτης στηριζόμενος από προσθετικό μέλος.

Κατά τον 16^ο αιώνα ο Ambroise Pare ένας Γάλλος χειρουργός άφησε το στίγμα του με το παρατσούκλι «Ο πατέρας της προσθετικής», καθώς φέρνει μια ριζική αλλαγή για τα δεδομένα κατασκευάζοντας προσθετικά μέλη για τις φτωχότερες κοινωνικές τάξεις αφού μέχρι στιγμής το μεγαλύτερο ποσοστό προσθετικών μελών ανήκαν σε εύπορους στρατιωτικούς, βάση της διακόσμησης και των υλικών που απαρτιζόντουσαν. Εκείνη την εποχή τα νέα πυροβόλα είχαν καταστροφικές συνέπειες στο ανθρώπινο σώμα, η εφευρετικότητα του καθώς και οι χειρουργικές μέθοδοι ακρωτηριασμού σε συνδυασμό με την καινοτόμα τεχνική που εισήγαγε για την κατασκευή των μελών καταφέρνει να εισάγει την μηχανική στην κατασκευή τους. Κατασκευάζει τεχνητά χέρια με ανεξάρτητα , αρθρωτά δάκτυλα και ένα πόδι με σύνδεσμο γονάτου. Κατασκεύασε μηχανικό χέρι με πιάτα και ελατήρια που φορέθηκε από έναν λοχαγό του Γαλλικού στρατού.



Εικόνα 2.3.2 Τεχνητό Χέρι κατασκευασμένο από τον Παρέ.

Με την πάροδο του χρόνου καθώς και με την αύξηση των πολέμων τα προσθετικά μέλη παρουσίασαν αλματώδη ζήτηση και ανάπτυξη, ένα παράδειγμα είναι η ξύλινη πρόσθεση ακρωτηριασμένου ποδιού πάνω από το γόνατο με όνομα «Anglesey». Κατασκευάστηκε στην Αγγλία περίπου το 1920 με βάρος μόλις 3,1 kg και εφαρμοζόταν με την βοήθεια μια δερμάτινης ζώνης η οποία εφαρμοζόταν στην μέση και διέθετε άρθρωση αστραγάλου και γονάτου [8] [9].

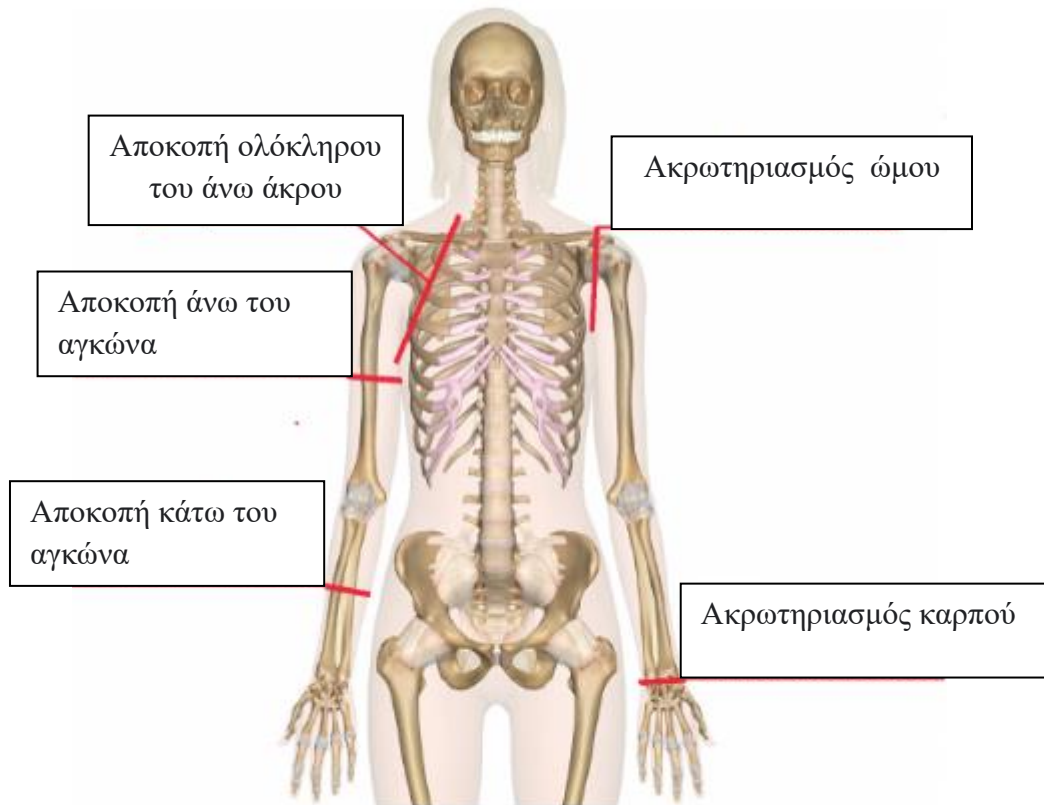


Εικόνα 2.3.3 Ξύλινο πόδι για ακρωτηριασμό πάνω από το γόνατο.

2.3.1 Επίπεδο Ακρωτηριασμού

Όπως αναφέρεται και προηγουμένως ο σχεδιασμός ενός προσθετικού μέλους διαμορφώνεται ανάλογα με το επίπεδο του ακρωτηριασμού. Οι κατηγορίες των προσθετικών μελών χωρίζονται σε προσθέσεις άνω και κάτω άκρου. Στις προσθέσεις του άνω άκρου χωρίζονται σε πέντε κύρια επίπεδα. Όπως διαπιστώνεται και από την Εικόνα 2.3.4 Οι κατηγορίες είναι οι εξής :

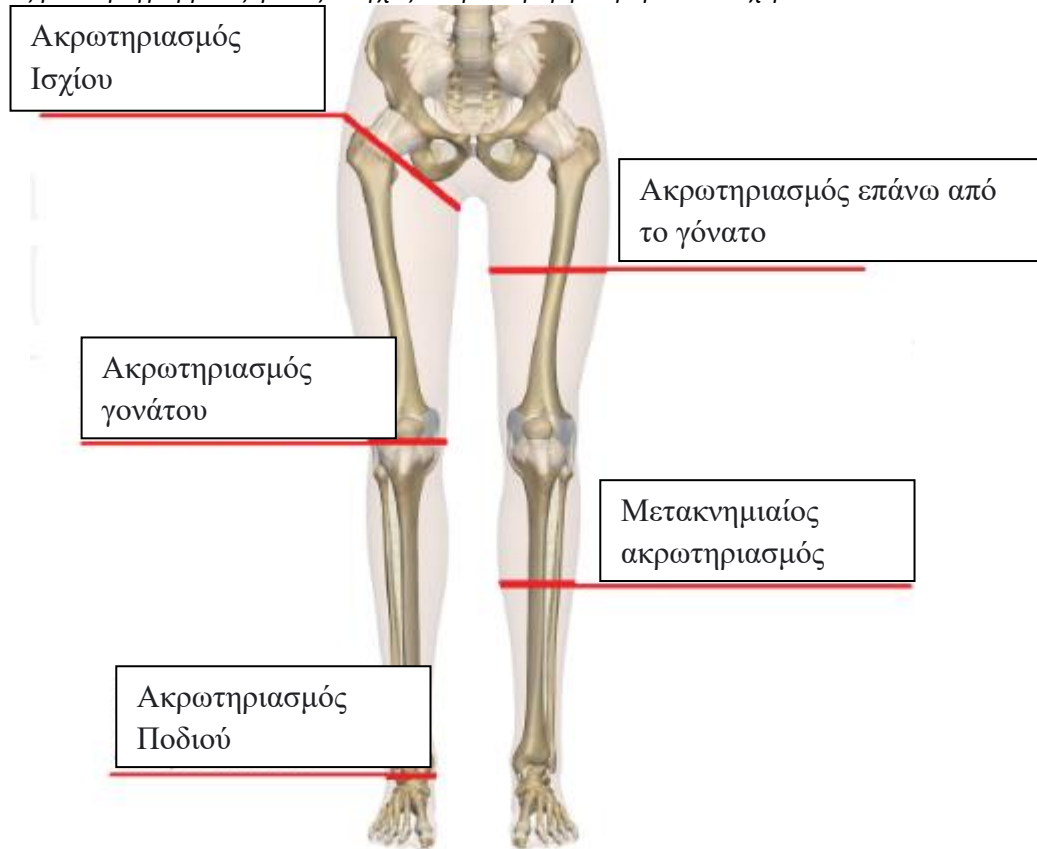
- Αρθρώσεις Καρπού: σε αυτήν την περίπτωση το άκρο ακρωτηριάζεται χωρίς να επηρεάζει τα οστά και τους μύες του αντιβραχίου. Οι κινήσεις του βραχίονα μπορούν να εκτελεστούν καθώς και οι συσπάσεις των μυών που είναι υπεύθυνες για την κίνηση του καρπού και των δακτύλων μπορούν να χρησιμοποιηθούν.
- Κάτω από τον Αγκώνα: Ο ακρωτηριασμένος χάνει το άκρο του σε οποιοδήποτε σημείο μεταξύ του αγκώνα και του καρπού, ανάλογα με το μήκος του αντιβραχίου που έχει χάσει μπορούν να εστιαστούν λειτουργίες περιστροφή ή ελέγχου του καρπού σε ένα πρόσθετο μέλος.
- Πάνω από τον αγκώνα: Ο ακρωτηριασμένος χάνει όλη την λειτουργικότητα και τους μυς του αντιβραχίου, χέρι και καρπό, η πρόσθεση σε αυτές τις περιπτώσεις στοχεύει να κάνει εφικτές λειτουργίες της καθημερινής ζωής, δίνοντας βάση στον αγκώνα.
- Άρθρωση Ωμου: σε αυτήν την περίπτωση χάνεται όλο το χέρι και τα οστά με αποτέλεσμα η απαιτούμενη πρόσθεση να έχει λειτουργικότητα πλήρους βραχίονα.
- Μπροστινό Τέταρτο: Ο ακρωτηριασμένος χάνει την ωμοπλάτη και την κλείδα, το σχέδιο του προσθετικού μέλους πρέπει να βασίζεται στον ώμο και σε βασικές λειτουργικές κινήσεις.



Εικόνα 2.3.4 Προσθέσεις Άνω Άκρου.

Σχετικά με τα προσθετικά μέλη του κάτω άκρου αναφέρεται πως υπάρχουν παρόμοιες δομές στην σχεδίαση του και πως ανάλογα με τον επίπεδο ακρωτηριασμού επηρεάζεται και η πρόσθεση του μέλους. Οι βασικές κατηγορίες και σε αυτήν την περίπτωση είναι πέντε.

- Ακρωτηριασμός ποδιού κάτω από τον αστράγαλο: Σε αυτήν την περίπτωση χρειάζεται πρόσθεση για αισθητικούς λόγους με στιβαρή δομή για να μπορεί να έχει στιβαρή αίσθηση και να βοηθήσει στην βάρδιση του ανθρώπου.
- Μετακνημιαίος ακρωτηριασμός(κάτω από το γόνατο): Ο ακρωτηριασμένος χάνει το άκρο μεταξύ γονάτου και αστραγάλου, στο μεγαλύτερο ποσοστό των περιπτώσεων οι υπολειπόμενοι μύες και οστά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την οδήγηση της πρόσθεσης για την αύξηση ποιότητας βίωσης του ακρωτηριασμένου.
- Ακρωτηριασμός γονάτου: Ο ακρωτηριασμός συμβαίνει στη άρθρωση του γονάτου, χάνονται μύες και οστά κάτω από το γόνατο, όμως οι μύες οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την κίνηση παραμένουν άθικτοι και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο του τεχνητού μέλους.
- Ακρωτηριασμός πάνω από το γόνατο: Η περίπτωση αυτή ονομάζεται δια μηριαίος ακρωτηριασμός μεταξύ γονάτου και ισχίου. Χάνεται το μεγαλύτερο μέρος της μυϊκής ομάδας και των οστών, η πρόσθεση δίνει βάση στον σύνδεσμο του γονάτου και στον αστράγαλο.
- Ακρωτηριασμός ισχίου: Ο ακρωτηριασμένος χάνει ολόκληρο το πόδι με αποτέλεσμα να χρειαστεί μια πλήρης πρόσθεση ποδιού με στόχο την λειτουργικότητα των βασικών κινήσεων του ποδιού [10].



Εικόνα 2.3.5 Ακρωτηριασμοί Κάτω Άκρων.

2.3.2 Ηλεκτρικές προσθέσεις και Σύγχρονες Υλοποιήσεις

Οι κατηγορίες ηλεκτρικών προσθέσεων είναι οι σωματοκίνητες και ηλεκτροκίνητες.

- Σωματοκίνητες ονομάζονται οι προσθέσεις που επιτρέπουν την ανάκτηση της λειτουργικότητας που χάθηκε λόγω απώλειας του άκρου. Στοιχεύουν στην βελτίωση της ποιότητας βίωσης σε καθημερινή βάση επιτρέποντας στον άνθρωπο να είναι αυτόνομος. Η δομή των προσθέσεων αυτών διαθέτει έναν τένοντα ή ένα καλώδιο που συνδέεται με το σώμα για την εκτέλεση κάποιας λειτουργίας. Η τυπική δομή προσθετικού άνω άκρου απαρτίζεται από υποδοχή για το ακρωτηριασμένο άκρο, καρπό, καλώδιο ελέγχου και μια τερματική συσκευή για τον έλεγχο του. Με την μετακίνηση του ώμου μπορεί να γίνει η ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση της συσκευής καθώς τραβιέται το καλώδιο ελέγχου. Οι τερματικές συσκευές που συναντώνται συχνότερα σε τροφοδοτούμενες προσθέσεις από το σώμα είναι γάντζοι που διαθέτουν μηχανισμούς ελατηρίων και επιτυγχάνουν υψηλή φόρτιση και εύκολο έλεγχο με ένα μόνο καλώδιο. Στην Εικόνα 2.3.5 απεικονίζεται η δομή ενός σωματοκίνητου άκρου.



Εικόνα 2.3.6 Δομή σωματοκίνητου άκρου.

- Οι ηλεκτροκίνητες προσθέσεις καταφέρνουν την ενίσχυση ή ακόμα και την μίμηση του άκρου που έχει υποστεί ακρωτηριασμό, είναι αρκετά πιο ευέλικτες αλλά αυτό τις καθιστά και πιο ευαίσθητες. Η βασική διαφορά τους από τις σωματοκίνητες είναι ότι διαθέτουν ενεργοποιητές για να ελέγχουν το άνοιγμα και το κλείσιμο της τερματικής συσκευής. Η τυπική δομή τους απαρτίζεται από ενεργοποιητές, δηλαδή κινητήρες για την οδήγηση των μηχανισμών που θα σχηματίσουν την κίνηση του συστήματος. Τα σήματα ελέγχου παρέχονται από την «καρδιά» του συστήματος, τον κεντρικό ελεγκτή ο οποίος είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο και την ανάλυση του σήματος εισόδου. Με την βοήθεια αυτού του σήματος ελέγχονται οι κινητήρες για την επίτευξη της τελικής κίνησης.

Οι ηλεκτροκίνητες προσθέσεις χωρίζονται ανάλογα με την προέλευση του σήματος ελέγχου, υπάρχουν οι προσθέσεις οι οποίες ελέγχονται από τον εγκέφαλο και οι προσθέσεις που ελέγχονται από το δυναμικό δράσης των μυϊκών ομάδων.

- Ελεγχόμενες από τον εγκέφαλο προσθέσεις αναγνωρίζουν στην είσοδό τους σήματα που προέρχονται από τον εγκέφαλο, εγκεφαλογραφήματα (EEG). Ο ελεγκτής περνάει το σήμα από κυκλώματα ενίσχυσης και φιλτραρίσματος με την κατάλληλη μορφή και στην συνέχεια τα σήματα αυτά χαρακτηρίζονται και ταξινομούνται στην επιθυμητή κίνηση από ένα προ εκπαιδευμένο μοντέλο.
- Προσθέσεις που ελέγχονται από τους μυς, μυσηλεκτρικές προσθέσεις χρησιμοποιώντας τον ίδιο μηχανισμό με αυτόν των προσθέσεων που ελέγχονται από τον εγκέφαλο μόνο που σε αυτήν την περίπτωση το σήμα εισόδου προέρχεται από μυϊκές ομάδες. Τα σήματα αυτά ονομάζονται ηλεκτρομυογραφήματα (EMG) το σήμα αυτό καθορίζεται ανάλογα με την θέση

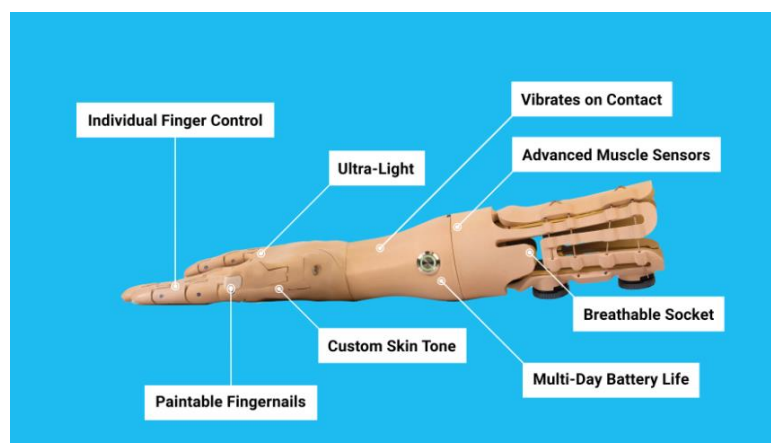
Σχεδίαση, ανάπτυξη και προγραμματιζόμενος έλεγχος ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού που έχουν τοποθετηθεί τα ηλεκτρόδια και ο αισθητήρας, έτσι είναι εύκολο να προβλεφθεί το σήμα που εισέρχεται στην είσοδο του ελεγκτή.



Εικόνα 2.3.7 Ηλεκτροκίνητες Προσθέσεις.

Οι συχνότερα χρησιμοποιούμενες προσθέσεις είναι οι μυοηλεκτρικές καθώς το σήμα που καταγράφεται είναι επιτόπιο και το σύστημα ελέγχου είναι απλούστερο στην δομή του [10].

Μια από τις σημαντικότερες και πιο ουσιαστικές υλοποιήσεις που έχει επιτευχθεί μέχρι σήμερα είναι το προσθετικό μέρος που έχει κατασκευάσει η εταιρεία Unlimited Tomorrow στοχεύοντας στην μείωση του κόστους ενός προσθετικού χεριού. Με ουσιαστική επιρροή κατασκευάζει ένα ρομποτικό άνω άκρο με τριαδιάστατα εκτυπωμένα κομμάτια, προσαρμόζει τον βασικό σκελετό υποδοχής με την βοήθεια τριασδιάστατου σκαναρίσματος ώστε να παρέχει άνεση στον χρήστη και διαθέτει περισσότερους από 30 αισθητήρες για αξιόπιστη απόδοση, έξι λαβές για συγκράτηση αντικειμένων κ.α., εξαιρετικά ελαφρύ άκρο για την βέλτιστη λειτουργία, τρισδιάστατες εκτυπώσεις από στιβαρό Nylon υλικό. Διαθέτει ανθεκτικότητα στην θερμότητα στο πιτσίλισμα από νερό, στην κρούση και στην τριβή και ανεξάρτητες αρθρώσεις δακτύλων. Αυτονομία με μπαταρία 5600 mAh και Type – C υποδοχείς φόρτισης, απαλό άγγιγμα ενώ παράλληλα καταφέρνει να σηκώνει έως και 7,5 kg. Η ενημέρωση του λογισμικού μπορεί να επιτευχθεί OTA (Over The Air) και ο πήχης διαθέτει περιστροφή 180° ενώ ο χειροκίνητος αντίχειρας μαζί με την λαστιχένια παλάμη ολοκληρώνουν το σύστημα [11].



Εικόνα 2.3.8 TrueLimb.

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Υπολογιστική Όραση και OpenCV

3.1 Εισαγωγή Κεφαλαίου 3

Η Υπολογιστική Όραση είναι ένα σαρωτικά αναπτυσσόμενο πεδίο που αφορά την ικανότητα ενός υπολογιστή να αναγνωρίζει, να αντιλαμβάνεται και να ερμηνεύει την πληροφορία Εικόνας και βίντεο. Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται μέσα στα έτη η Υπολογιστική Όραση (Computer Vision) αναπτύσσεται ραγδαία καθώς οι κάμερες γίνονται όλο και πιο ικανές αλλά και οικονομικά προσιτές για τον μέσο άνθρωπο, η ισχύς επεξεργασίας αλλά και η ωρίμανση των αλγορίθμων όρασης ολοένα και βελτιώνονται και επιτρέπουν στους υπολογιστές να αναγνωρίζουν πρότυπα, αντικείμενα, πρόσωπα, μέλη του ανθρώπινου σώματος ακόμα και συμπεριφορές προσφέροντας νέες δυνατότητες σε πεδία όπως είναι η αυτοκίνηση, η ασφάλεια, η ιατρική και πολλές άλλες εφαρμογές και επιστήμες. Το OpenCV έχει συμβάλει και αυτό με τον δικό του ρόλο στην ανάπτυξη της υπολογιστικής όρασης, εστιάζοντας στην Real-Time όραση και κάνοντας εφικτό να χρησιμοποιείται από ένα μεγάλο εύρος ανθρώπων από φοιτητές έως και επαγγελματίες παρέχοντας υποδομές και διαθεσιμότητα εκτός εργαστηρίου.

Στο κεφάλαιο 3 εξετάζεται το πεδίο της υπολογιστικής όρασης. Αναλύονται βασικές αρχές της βαθιάς μάθησης ενώ εστιάζεται η προσοχή στα συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα. Παρουσιάζεται επίσης η βιβλιοθήκη ανοικτού κώδικα υπολογιστικής όρασης OpenCV και γίνεται ανάλυση του μοντέλου που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση χειρός.

3.2 Βαθιά Μάθηση

Ο όρος βαθιά μάθηση (Deep Learning) ή βαθιά Νευρωνικά δίκτυα αναφέρεται σε Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ANN – Artificial Neural Network) με πολλά επίπεδα. Η βαθιά μάθηση επιτρέπει σε υπολογιστικά μοντέλα με πολλά επίπεδα επεξεργασίας, την εκμάθηση και αναπαράσταση δεδομένων με πολλά επίπεδα αφαίρεσης, μιμούμενα την λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου και τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβάνεται και κατανοεί πολύπλοκες πληροφορίες και δομές δεδομένων σε μεγάλη κλίμακα. Η βαθιά μάθηση είναι μια ομάδα μεθόδων, συμπεριλαμβανομένων των νευρωνικών δικτύων, ιερχικά πιθανοτικά μοντέλα και μια ποικιλία μη εποπτευόμενων και εποπτευόμενων αλγορίθμων μάθησης χαρακτηριστικών. Η βαθιά μάθηση βρίσκεται στο προσκήνιο διότι έχει αποδειχθεί ότι ξεπερνά τις προηγούμενες τακτικές σε διάφορες εργασίες και η αφθονία δεδομένων που μπορεί να δεχθεί ως εισόδους από διαφορετικές πηγές (π.χ. οπτική, ακουστική, ιατρική, κοινωνική και αισθητήρια) την καθιστά βέλτιστη για εργασίες όπως η εκμάθηση και εκπαίδευση μοντέλων όπως η υπολογιστική όραση.

Η φιλοδοξία του ανθρώπου να δημιουργήσει ένα σύστημα για να προσομοιώσει τον ανθρώπινο εγκέφαλο δημιούργησε τα νευρωνικά δίκτυα. Η μελέτη βασίστηκε στην λειτουργία του εγκεφάλου να παράγει πολύπλοκα μοτίβα χρησιμοποιώντας διασυνδεδεμένα βασικά κύτταρα, επονομαζόμενα Νευρώνες. Σημαντική ανακάλυψη στην βαθιά μηχανική μάθηση αποτέλεσε το DBNs (Deep Belief Network), ένα δίκτυο βαθιάς μάθησης με πολλαπλά επίπεδα RBMs (Restricted Boltzman Machines). Τα επίπεδα DBN εκπαιδεύονται μεμονωμένα με εποπτευόμενη μάθηση (Supervised Learning) ή και χωρίς εποπτεία (Unsupervised Learning) που εκτελείται τοπικά σε κάθε επίπεδο. Μερικοί παράγοντες που συνέβαλαν στην ανάπτυξη των νευρωνικών την τελευταία δεκαετία είναι τα μεγάλα, υψηλής ποιότητας σύνολα δεδομένων που δημοσιεύτηκαν παράλληλα με το GPU computing το οποίο επιτρέπει η εκπαίδευση του δικτύου να γίνεται βασισμένη στην GPU πλέον και όχι στην CPU επιταχύνοντας την εκπαίδευση των μοντέλων σε βάθος. Στην απλοποίηση και στην βελτίωση της λειτουργίας συνέβαλαν παράγοντες όπως η κανονικοποίηση παρτίδας και αύξηση των δεδομένων, η δημιουργία framework που παρέχουν μια διεπαφή υψηλότερου επιπέδου όπως το Tensorflow, το ΠΑΔΑ, Τμήμα Η&ΗΜ, Διπλωματική Εργασία, Παναγιώτης – Πρίαμος Κούμουλός

Theano και το MXNET με εργαλεία και βιβλιοθήκες για την εκπαίδευση, την ανάπτυξη και την δημιουργία μοντέλων μηχανικής μάθησης, ειδικότερο των νευρωνικών δικτύων. Τρεις σημαντικές ομάδες μοντέλων βαθιάς μάθησης είναι:

- Συνελικτικά Νευρωνικά Δίκτυα (CNNs - Convolutional Neural Networks)
- Δίκτυα βαθιάς πίστης και μηχανές Deep Boltzman (DBNs/DBMs - Deep Belief Networks and Deep Boltzman Machines)
- Στοιβαγμένοι αυτόματοι κωδικοποιητές (SdAs - Stacked Autoencoders)

Στον πίνακα γίνεται μία σύγκριση μεταξύ των μοντέλων για μερικές από τις δυνατότητες αλλά και τους περιορισμούς που διαθέτει κάθε μοντέλο.

Πίνακας 3.2-1 Πίνακας σύγκριση μοντέλων.

Model properties	CNNs	DBNs/DBMs	SdAs
Unsupervised learning	-	+	+
Training efficiency	-	-	+
Feature learning	+	-	-
Scale/rotation/translation invariance	+	-	-
Generalization	+	+	+

Διαπιστώνεται ότι τα **CNNs (Convolutional Neural Networks)** επιδεικνύουν εξαιρετική αποτελεσματικότητα στον τομέα της Εικόνας και της αναγνώρισης προτύπων. Αυτά τα δίκτυα μπορούν αυτόματα να εξάγουν χαρακτηριστικά, αποφεύγοντας την ανάγκη για χειροκίνητη επιλογή, ενώ παραμένουν ανθεκτικά σε μετασχηματισμούς όπως περιστροφή, μετατόπιση και κλίμακα. Από την άλλη πλευρά, τα μειονεκτήματά τους περιλαμβάνουν την ανάγκη για ετικετοποιημένα δεδομένα εκπαίδευσης, την χρονοβόρα διαδικασία εκπαίδευσης και την περιορισμένη αποτελεσματικότητα σε μη οπτικές εισόδους.

Τα **DBNs (Deep Belief Networks)** και **DBMs (Deep Boltzmann Machines)** είναι κατάλληλα για μη οπτικές εισόδους, εκπαιδεύονται χωρίς την ανάγκη ετικετοποίησης, αλλά απαιτούν αξιοσημείωτο χρόνο και υπολογιστικούς πόρους για την εκπαίδευσή τους, παρουσιάζοντας παράλληλα περιορισμένη απόδοση, ειδικά σε ορισμένες περιπτώσεις εισόδου.

Τέλος, οι **SdAs (Stacked Denoising Autoencoders)** ξεχωρίζουν στη δυνατότητα ανακάλυψης δομής σε ασαφείς εισόδους. Παρά τα πλεονεκτήματά τους, αντιμετωπίζουν προβλήματα στα πρώτα επίπεδα και απαιτούν μεγάλο χρονικό διάστημα για εκπαίδευση, ενώ είναι επιρρεπή σε μετασχηματισμούς όπως περιστροφή, μετατόπιση και κλίμακα [12].

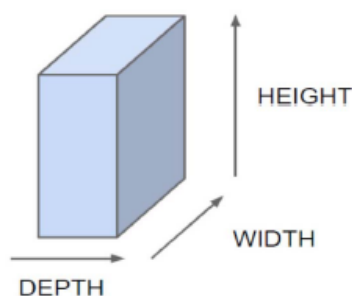
3.3 Συνελικτικά Νευρωνικά Δίκτυα

Το Συνελικτικό Νευρωνικό δίκτυο (CNN) είναι ένα είδος νευρωνικού δικτύου που ειδικεύεται στην επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων με δομική οργάνωση, όπως εικόνες και βίντεο. Ο βασικός τρόπος λειτουργίας επιτυγχάνεται μέσω της συνέλιξης όπως υπονομεύει και η ονομασία του. Με τον τρόπο αυτό αναλύει τα δεδομένα σε μικρότερα τμήματα, γνωστά ως φίλτρα ή πυρήνες και εκτελεί πράξεις συνέλιξης μεταξύ των φίλτρων και των δεδομένων εισόδου. Με τον τρόπο αυτό καταφέρνει να ανιχνεύσει τοπικά χαρακτηριστικά όπως γωνίες, ακμές αλλά ακόμα και πιο σύνθετα δεδομένα και δομές σε εικόνες.

Ένα CNN περιλαμβάνει τρεις κύριους τύπους νευρωνικών στρωμάτων

- I. Συνελικτικά Στρώματα (Convolutional Layers)
- II. Στρώματα Συγκέντρωσης (pooling Layers)
- III. Πλήρως Συνδεδεμένα Στρώματα (Fully connected Layers)

Οι νευρώνες που αποτελούν τα επίπεδα μέσα στο CNN είναι οργανωμένοι για να δεχτούν σαν είσοδο έναν τανυστή τάξης 3 όπου αντιπροσωπεύει την χωρική διάσταση της εισόδου, δηλαδή ύψος και πλάτος και το βάθος της Εικόνας όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.3.1 [13].



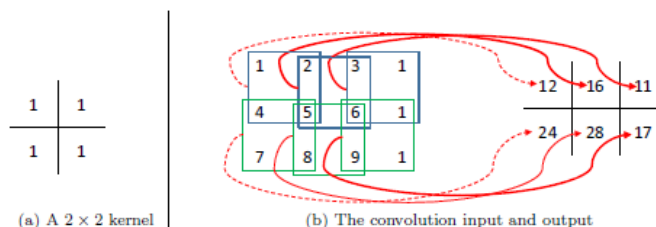
Εικόνα 3.3.1 Τρισδιάστατη αναπαράσταση εισόδου του CNN (understanding of Convolutional neural).

3.3.1 Συνελικτικά Στρώματα

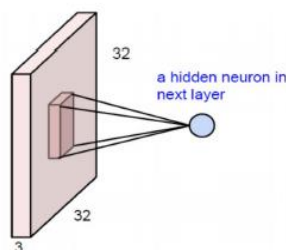
Η συνέλιξη αποτελεί μία κρίσιμη διαδικασία στα νευρωνικά δίκτυα, η οποία επιτρέπει την διεξαγωγή αποτελεσματικής επεξεργασίας και εξαγωγή χαρακτηριστικών από τις εικόνες και άλλους τύπους δεδομένων. Στόχος του στρώματος της συνέλιξης είναι να επιτύχει αποδοτική σύνδεση των εισόδων με τους νευρώνες ενός δικτύου. Η βασική ιδέα πίσω από την συνέλιξη είναι να εισαχθούν τοπικές περιοχές των εισόδων στους νευρώνες ώστε να αποφευχθεί η διασύνδεση όλων των νευρώνων με όλες τις πηγές. Τα στρώματα συνέλιξης είναι επίσης σε θέση να μειώσουν σημαντικά την πολυπλοκότητα του μοντέλου μέσω της βελτιστοποίησης της εξόδου τους. Η βελτιστοποίηση

Σχεδίαση, ανάπτυξη και προγραμματιζόμενος έλεγχος ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού επιτυγχάνεται μέσω τριών παραμέτρων: το βάθος, το βήμα και η ρύθμιση της μηδενικής προσθήκης (Zero Padding).

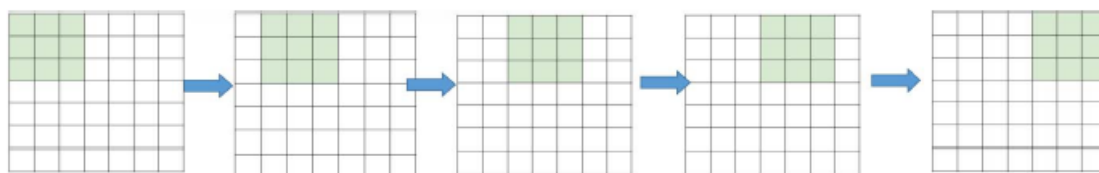
Το πρώτο βήμα σε αυτό το στάδιο είναι το φίλτρο ή αλλιώς ο συνελκτικός πυρήνας που επιλέγεται για να περιορίσει την είσοδο σε μια μικρή περιοχή του εισαγωγικού πεδίου που θα καθορίσει τον τρόπο με τον οποίο θα γίνει η συνελκτική διαδικασία στην εισαγωγική Εικόνα. Στην ουσία γίνεται μια πρώτη αναζήτηση (Σκανάρισμα) συγκεκριμένων χαρακτηριστικών στην Εικόνα. Μπορεί να γίνει παρομοίωση αυτής της λειτουργίας με την δημιουργία ενός χάρτη χαρακτηριστικών. Η διαδικασία που ακολουθεί ο πυρήνας είναι να προσεγγίσει την Εικόνα ξεκινώντας από την επάνω αριστερή γωνία και ξεκινάει να σταδιακά να μετακινείται ανάλογα με το βήμα που έχει καθοριστεί από τον χρήστη. Κατά την διάρκεια της κίνησης αυτής ο πυρήνας πολλαπλασιάζει τα pixel της Εικόνας και παράγει έναν αριθμό, αυτή η πολλαπλασιαστική λειτουργία αναπαριστά την συνελκτική λειτουργία. Στις παρακάτω εικόνες εμφανίζονται παραδείγματα αναπαραστάσεων της διαδικασίας.



Εικόνα 3.3.2 Απεικόνιση της λειτουργίας συνέλιξης.



Εικόνα 3.3.3 Συνέλιξη ως εναλλακτική λύση για πλήρως συνδεδεμένο δίκτυο.

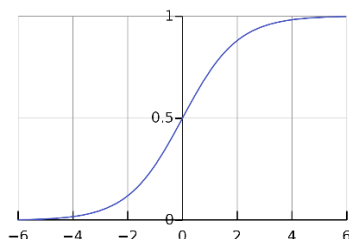


Εικόνα 3.3.4 Παράθυρο φίλτρου, μετακινείται μόνο μια φορά για κάθε σύνδεση.

Σχεδίαση, ανάπτυξη και προγραμματιζόμενος έλεγχος ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού

Έπειτα ο αριθμός που προκύπτει από την συνελκτική λειτουργία εισέρχεται μέσα σε μια συνάρτηση ενεργοποίησης, συνήθως χρησιμοποιείται η σιγμοειδής συνάρτηση ή η ReLU(Rectified Linear Unit). Η σιγμοειδής συνάρτηση έχει την μορφή:

$$f(s) = \frac{1}{1 + e^{-t}}$$

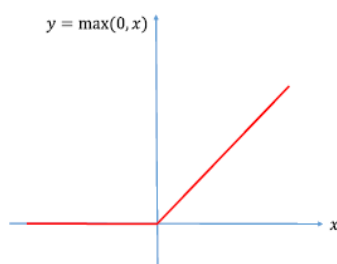


Γράφημα 3-1 σιγμοειδούς συνάρτησης.

Και περιορίζει τις τιμές εξόδου στο εύρος [0, 1].

Η ReLU, είναι η συνάρτηση της μορφής :

$$f(x) = \max(0, x)$$



Γράφημα 3-2 απεικόνιση ReLU

Και περιορίζει τις τιμές εξόδου στο εύρος [0, ∞].

Στην περίπτωση όπου η είσοδος είναι θετική η συνάρτηση επιτρέπει απευθείας την ενεργοποίηση ενώ στην περίπτωση που είναι αρνητική η είσοδος απενεργοποιεί τον νευρώνα. Η διαφοροποίηση της από την σιγμοειδή είναι ότι δεν “σκοτώνει” τον νευρώνα και επιτυγχάνει να αποφεύγει την το πρόβλημα της εξαφάνισης της κλίσης και επιτρέπει την πιο αποτελεσματική εκπαίδευση του δικτύου. Η χρήση της κατάλληλης συνάρτησης εξαρτάται από την φύση του προβλήματος και την επίδοση στην εκπαίδευση. Έτσι προκαλείται η μη γραμμική αντίδραση του νευρώνα στον εισερχόμενο αριθμό και ενισχύει την αναγνώριση πιο πολύπλοκων χαρακτηριστικών. Η διαδικασία κατασκευής ενός

Σχεδίαση, ανάπτυξη και προγραμματιζόμενος έλεγχος ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού

χάρτη χαρακτηριστικών είναι ισοδύναμη με το άθροισμα της λειτουργίας της συνέλιξης ακολουθούμενη από ένα πρόσθετο όρο πόλωσης (bias) όπου μετατοπίζει την συνάρτηση ενεργοποίησης και καθορίζει σε ποια S (Περίπτωση σιγμοειδούς) ή X (περίπτωση ReLU) θα αντιστοιχίσει το ανηφορικό τμήμα της.

$$y = \Sigma(x_{ij} + b) \quad (1)$$

Όπου

$$x_{ij} = \sum_{a=0}^{m-1} \sum_{b=0}^{m-1} w_{ab} \mathcal{Y}_{(i+a)(j+b)} \quad (2)$$

Συναντάται ο ίδιος μετασχηματισμός με πίνακες όπου :

$$y = \Sigma(Wy + b) \quad (3)$$

- b : ο όρος πόλωσης

- W είναι ο πίνακας βαρών όπου συνήθως έχει την μορφή : $\begin{bmatrix} w & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & w \end{bmatrix}$, αυτή αραιή διάταξη συμβαίνει στα συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα, στην περίπτωση πλήρως συνδεδεμένων νευρωνικών δικτύων ο πίνακας βαρών είναι πλήρης [13] [14] [15].

3.3.2 Στρώματα συγκέντρωσης

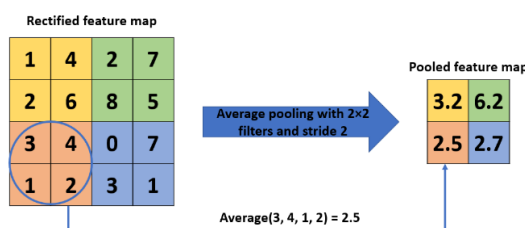
1. Μείωση του των παραμέτρων ή βαρών, βοηθώντας στην μείωση του υπολογιστικού κόστους.
2. Έλεγχος της υπερεκπαίδευσης (Overfitting) του δικτύου, δηλαδή κατά πόσο ανταποκρίνεται σωστά και στα νέα δεδομένα που του παρέχονται και όχι μόνο σε αυτά που έχει εκπαιδευτεί, δηλαδή παρατηρείται δυσκολία στην γενίκευση του μοντέλου σε νέα δεδομένα.

Η μείωση των παραμέτρων επιτυγχάνεται με συμπίεσης των χαρακτηριστικών συνδυάζοντας ένα σύνολο τιμών σε έναν μικρότερο αριθμό τιμών. Μετασχηματίζει την κοινή αναπαράσταση χαρακτηριστικών σε πολύτιμες πληροφορίες διατηρώντας τις χρήσιμες και εξαλείφοντας τις ασήμαντες για το δίκτυο μας. Σε μια ιδανική μέθοδο pooling αναμένεται η εξαγωγή μονάχα χρήσιμων πληροφοριών στο δίκτυο και η απόρριψη όλων των περιττών λεπτομερειών. Δύο από τις πιο δημοφιλείς μεθόδους pooling είναι :

- a. Η μέθοδος Μέσης Τιμής
- b. Η μέθοδος Μέγιστης Τιμής

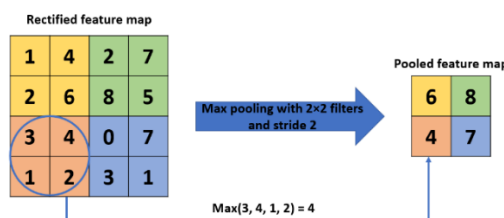
Οι οποίες αναλύονται παρακάτω, σημαντική είναι η πληροφορία πως υπάρχουν αρκετές μέθοδοι pooling και ότι αναπτύσσονται συνεχώς νέοι οι οποίοι χρησιμοποιούνται ανάλογα με την φύση του προβλήματος που αντιμετωπίζεται.

Στην περίπτωση της μεθόδου μέσης τιμής ένα στρώμα υποδειγματοληψίας διαιρεί την είσοδο σε ορθογώνιες περιοχές pooling και υπολογίζει τις μέσες τιμές κάθε περιοχής όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.3.5.



Εικόνα 3.3.5 Παράδειγμα μεθόδου Μέσης Τιμής.

Ενώ στην περίπτωση Μέγιστης τιμής το στρώμα υποδειγματοληψίας διαιρεί την είσοδο σε ορθογώνιες περιοχές και υπολογίζει την μέγιστη τιμή κάθε περιοχή όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.3.6 [16].

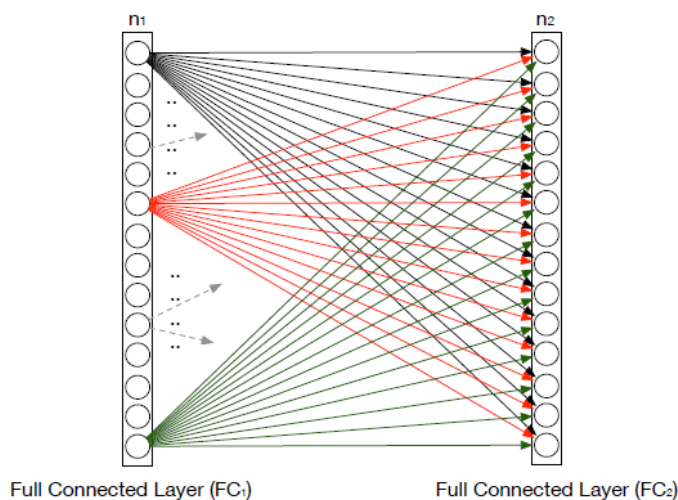


Εικόνα 3.3.6 Παράδειγμα μεθόδου Μέγιστης Τιμής.

3.3.3 Πλήρως Συνδεδεμένα Στρώματα

Έπειτα από αρκετά στρώματα συνέλιξης και pooling, η υψηλού επιπέδου λογική του νευρωνικού δικτύου επιτυγχάνεται μέσω των επιπέδων πλήρους σύνδεσης. Στο επίπεδο πλήρως

συνδεδεμένων στρώματων οι νευρώνες πλέον διαθέτουν πλήρεις συνδέσεις με όλες τις ενεργοποιήσεις του προηγούμενου επιπέδου. Τα επίπεδα πλήρους σύνδεσης μετατρέπουν τους δισδιάστατους χάρτες χαρακτηριστικών σε ένα μονοδιάστατο διάνυσμα. Το διάνυσμα που παράγεται μπορεί είτε να προωθηθεί προς έναν συγκεκριμένο αριθμό κατηγοριών για ταξινόμηση είτε να χρησιμοποιηθεί για περαιτέρω επεξεργασία. Οι νευρώνες ενός πλήρως συνδεδεμένου στρώματος επεξεργάζονται τα προηγούμενα στρώματα με βάση τα βάρη των συνδέσεων και τις συναρτήσεις ενεργοποίησης, χρησιμοποιούν τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων αυτών για εισόδους σε διάφορες κλάσεις. Στην Εικόνα 3.3.7 διακρίνουμε ένα παράδειγμα πλήρως συνδεδεμένου στρώματος [17].



Εικόνα 3.3.7 Πλήρως συνδεδεμένα επίπεδα.

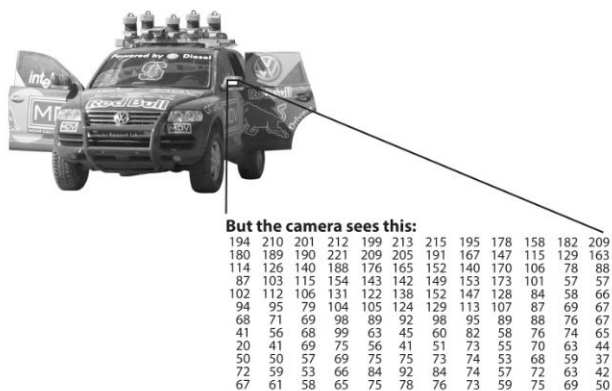
3.4 OpenCV

Το OpenCV ξεκίνησε από τον Gary Bradski το 1999, είναι μια βιβλιοθήκη υπολογιστικής όρασης ανοικτού κώδικα η οποία δημιουργήθηκε με στόχο την επιτάχυνση της εξέλιξης της τεχνητής νοημοσύνης και της υπολογιστικής όρασης παρέχοντας μια υποδομή σε ένα πολύ μεγάλο εύρος ανθρώπων που θέλουν να ασχοληθούν με αυτό. Η γλώσσα προγραμματισμού που γράφτηκε είναι η C και C++ και υποστηρίζεται από τα λειτουργικά συστήματα Linux, Windows και Mac OS X. Σταδιακά αναπτύχθηκαν και διεπαφές σε Python, Java, Matlab και άλλες γλώσσες προγραμματισμού. Κατάφερε να ενσωματωθεί μέχρι και σε λογισμικό Android και Ios για πιθανές κινητές εφαρμογές. Χρειάζεται να αναφερθεί ότι έχει στηριχθεί από εταιρείες κολοσσούς όπως η Intel και η Google κάτι που συνέβαλε πάρα πολύ στην ανάπτυξή της και την διατήρησή της σε ανοιχτό κώδικα και δωρεάν χρήση. Είναι σχεδιασμένο με έντονη έμφαση σε πραγματικού χρόνου (Real Time) εφαρμογές, και αποσκοπεί στην παροχή μιας απλής υποδομής υπολογιστικής όρασης για την δημιουργία σύνθετων εφαρμογών όρασης σε μικρό χρονικό διάστημα. Η βιβλιοθήκη παρέχει περισσότερες από 500 συναρτήσεις ώστε να μπορεί να καταλαμβάνει πολλούς τομείς της υπολογιστικής όρασης.

3.4.1 Υπολογιστική Όραση

Η υπολογιστική όραση (Computer Vision) είναι ένας τομέας της τεχνητής νοημοσύνης που απασχολείται με την ανάπτυξη υπολογιστικών τεχνικών και αλγορίθμων που επιτρέπουν σε συσκευές όπως ο υπολογιστής να ερμηνεύουν, να κατανοούν και να επεξεργάζονται δεδομένα εικόνας και βίντεο, προσεγγίζοντας τον τρόπο λειτουργίας της ανθρώπινης όρασης.

Πόσο εύκολο είναι όμως η αντιγραφή αυτής της διαδικασίας ; Αν θεωρηθεί πόσο απλό είναι για τον άνθρωπο να ξεχωρίσει ένα σκύλο σε μια εικόνα οι εντυπώσεις μας θα είναι αρκετά παραπλανητικές. Ο ανθρώπινος εγκέφαλος διαιρεί το σήμα εισόδου (όραση) σε πολλούς δίαυλους που διακρίνουν διαφορετικά είδη πληροφοριών, διαθέτοντας ένα σύστημα προσοχής που μπορεί να αναγνωρίσει ανάλογα την εργασία, σημαντικά μέρη μιας εικόνας που εξετάζει, ενώ περιορίζει την εξέταση άλλων περιοχών που δεν θεωρούνται τόσο σημαντικά. Υφίσταται ευρέως διασυνδεδεμένες εισοδοί από αισθητήρες ελέγχου μυών και αισθήσεις που επιτρέπουν στον εγκέφαλο να βασίζεται σε διασυνδέσεις από χρόνια διαβίωσης στον κόσμο και ένα σύστημα ανατροφοδότησης για όλα τα στάδια επεξεργασίας όπως και αισθητήρες υλικού, δηλαδή τα μάτια που ρυθμίζουν και ελέγχουν μηχανικά τον φωτισμό και την εστίαση μέσω της ίριδας και με την βοήθεια του αμφιβληστροειδή το σήμα μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα που αποστέλλεται στον εγκέφαλο μέσω του οπτικού νεύρου και εκεί γίνεται αντιληπτή η εικόνα που βλέπετε.



Εικόνα 3.4.1 Απεικόνιση υπολογιστικής όρασης, εικόνα που “βλέπει ο υπολογιστής”.

Σε ένα σύστημα μηχανικής όρασης τα πράγματα λειτουργούν διαφορετικά, ο υπολογιστής δέχεται ένα πλέγμα αριθμών από την κάμερα είτε τον δίσκο χωρίς να διαθέτει ενσωματωμένη αναγνώριση προτύπων ούτε διαθέτει αυτόματο έλεγχο εστίασης και δεν έχει διασυνδέσεις με χρόνια εμπειρίας. Μέσα σε αυτό το πλέγμα που δέχεται στην είσοδό του έχει έναν αρκετά μεγάλο παράγοντα θορύβου και ο στόχος μας είναι να επιτευχθεί η μετατροπή αυτού του θορυβώδες πλέγματος αριθμών στην αντίληψη και αναγνώριση πληροφορίας ίδιας με αυτής που λαμβάνεται όταν κοιτάζεται οι ίδιοι την εικόνα. Τα δεδομένα εισόδου μπορεί να έχουν υποστεί καταστροφή ή κάποια παραμόρφωση που θα μπορούσε να έχει προκληθεί από ποικίλες διακυμάνσεις στον κόσμο, όπως ο καιρός, ο φωτισμός,

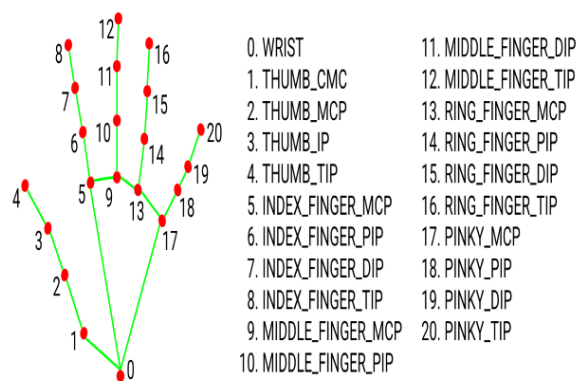
ανακλάσεις, κινήσεις ακόμα και ατέλειες στον μηχανισμό καταγραφής των δεδομένων. Το πρόβλημα μέχρι στιγμής θα μπορούσε να φανεί ακόμα και άλλοτο διότι διατίθεται σαν δεδομένο μια δισδιάστατη προβολή ενός τρισδιάστατου κόσμου, χωρίς να υπάρχει μοναδικός τρόπος να ανακατασκευάσουμε το τρισδιάστατο σήμα. Η ίδια δισδιάστατη εικόνα μπορεί να αναπαραστεί με άπειρους συνδυασμούς σκηνών ακόμη και αν τα δεδομένα ήταν τέλεια. Προβλήματα όπως αυτά που αναφέρθηκαν μπορούν να επιλυθούν με τεχνικές μηχανικής μάθησης για εντοπισμό μεταβλητών όπως το μέγεθος, η προσανατολισμός στην βαρύτητα και άλλα και άλλα παρόμοια μπορούν να αντιμετωπιστούν με τις τιμές τους σε ένα ετικετοποιημένο σύνολο εκπαίδευσης, ενώ προβλήματα θορύβου μέσω στατιστικών μεθόδων. Δηλαδή μπορεί να είναι ανέφικτο να ανιχνεύσουμε μια άκρη σε μια εικόνα με σύγκριση ενός σημείου με τα γειτονικά του, εάν προστεθεί η στατιστική οπτική στον αλγόριθμο υπολογισμού σε ένα τοπικό περιβάλλον η ανίχνευση επιτυγχάνεται αρκετά πιο εύκολα. Μια άκρη στην πραγματικότητα θα πρέπει να παρουσιάζεται σαν μια σειρά από τέτοιες άμεσες αντιδράσεις γειτονικών σημείων σε ένα περιβάλλον, η κατεύθυνση κάθε μίας θα πρέπει να παρουσιάζει μια συνέπεια με τις γειτονικές της.

Αποφάσεις και ενέργειες που λαμβάνει η υπολογιστική όραση σχετίζονται πάντοτε με ένα συγκεκριμένο πλαίσιο που έχει οριστεί για την εκτέλεση εργασίας. Για παράδειγμα η καταμέτρηση ατόμων σε ένα σύστημα ασφαλείας, η αναγνώριση ενός προσώπου σε ένα αεροδρόμιο, η αναγνώριση ενός άκρου ή ενός ζώου κ.α. Ένας γενικός κανόνας για την υπολογιστική όραση είναι πως όσο μικρότερο εύρος έχει το πλαίσιο, τόσο πιο απλοποιημένο είναι το πρόβλημα, με αποτέλεσμα ένα πιο αξιόπιστο μοντέλο και η λύση που θα μας αποδώσει [18].

3.4.2 Ανίχνευση Χειρός

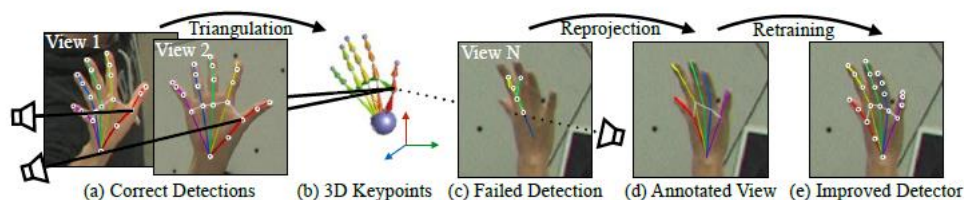
Η βιβλιοθήκη OpenCV έχει αναπτύξει μια προσέγγιση που χρησιμοποιεί ένα σύστημα πολυκάμερο για την εκπαίδευση υψηλής λεπτομέρειας για σημεία που είναι ευπαθή στον αποκλεισμό όπως είναι οι αρθρώσεις του χεριού. Το σύστημα αυτό ονομάζεται MediaPipe Hands και χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση χεριών σε πραγματικό χρόνο και αποτελείται από δύο μοντέλα όπου μέσω της ολοκλήρωσης προσφέρουν ακριβή εκτίμηση για τις θέσεις των χεριών. Η υλοποίηση αυτή χρησιμοποιεί τη δυναμική συγχρονισμένων μονάδων δόμησης του με MediaPipe, επιτυγχάνοντας υψηλή απόδοση και βέλτιστη ροή του περιβάλλοντος εκπαίδευσης. Η λύση αυτή αποδίδει απέναντι σε προκλήσεις ανίχνευσης σε πραγματικό χρόνο για εφαρμογές (AR/VR) προσφέροντας εξαιρετική απόδοση χωρίς να απαιτείται εξειδικευμένο υλικό.

Η κύρια δομή της αρχιτεκτονικής του μοντέλου περιλαμβάνει δυο διασυνδεδεμένα μοντέλα, τον ανιχνευτή παλάμης και το μοντέλο αναγνώρισης της θέσης των χεριών. Η πρώτη συνιστώσα, ο ανιχνευτής παλάμης, λειτουργεί δεχόμενο στην είσοδο του ολόκληρη την εισερχόμενη Εικόνα και κατορθώνει να εντοπίσει τις θέσεις των παλαμών μέσω ενός προσανατολισμένου πλαισίου περιοχής. Έπειτα το περιορισμένο πλαίσιο χεριού που ανιχνεύει την παλάμη λειτουργεί ως είσοδος για τον μοντέλο αναγνώρισης της θέσης των χεριών. Το μοντέλο αναγνώρισης μας παρέχει με λεπτομέρειες 2,5D σημείων ενδιαφέροντος, αυξάνοντας σημαντικά την ακρίβεια εντοπισμού σημείων. Τα 2,5D σημεία ενδιαφέροντος είναι σημεία που μας παρέχουν πληροφορίες για τον τρισδιάστατο χώρο παρά την χρήση των 2 διαστάσεων της εικόνας. Η δομή αυτή περιορίζει ουσιαστικά την ανάγκη για επεξεργασία δεδομένων, επιτρέποντας στην ικανότητα του δικτύου να αφιερώνει το υπολογιστικό βάρος κυρίως στην βελτίωση της ακρίβειας τοποθέτησης των σημείων. Τα μοντέλο στοχεύει στην εύρεση 20 σημείων ενδιαφέροντος όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.4.2 [19].



Εικόνα 3.4.2 Σημεία ενδιαφέροντος χεριός.

Για την βελτίωση της απόδοσης του συστήματος ανίχνευσης χεριών συμβάλει και η μέθοδος bootstrapping. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την εκπαίδευση του συστήματος επαναληπτικά σε μια συνδυασμένη συλλογή συνθετικών και πραγματικών δεδομένων, με σκοπό την βελτίωση της ακρίβειας του συστήματος στα πραγματικά δεδομένα. Η διαδικασία ξεκινά με ένα μικρό σύνολο χειροκίνητα ετικετοποιημένων πραγματικών δεδομένων και ένα μεγάλο σύνολο συνθετικών δεδομένων. Το σύστημα εκπαιδεύεται αρχικά στα χειροκίνητα ετικετοποιημένα δεδομένα και στην συνέχεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή επιπλέον ετικετών για τα συνθετικά δεδομένα. Το τελικό σύνολο ετικετοποιημένων δεδομένων χρησιμοποιείται στην συνέχεια για την εκ νέου εκπαίδευση του συστήματος, και η διαδικασία επαναλαμβάνεται για αρκετές επαναλήψεις αυξάνοντας σημαντικά την απόδοση του μοντέλου. Στην Εικόνα 3.4.3 εμφανίζεται ένα μικρό απόσπασμα της εκπαίδευσης.



Εικόνα 3.4.3 Multiview Bootstrapping. (α) Ένα σύστημα πολλαπλής προβολής παρέχει όψεις του χεριού όπου η ανίχνευση σημείων κλειδιού είναι εύκολη, χρησιμοποιούνται για τον τριγωνισμό (β) της τρισδιάστατης θέσης των σημείων κλειδιών. Δύσκολες προβολές με (γ) αποτυχημένες ανιχνεύσεις μπορεί να είναι (δ)σχολιάζεται χρησιμοποιώντας τα επαναπροβαλλόμενα τρισδιάστατα σημεία-κλειδιά και χρησιμοποιείται για την επανεκπαίδευση (ε) ενός βελτιωμένου ανιχνευτή που λειτουργεί πλέον σε δύσκολες προβολές.

Η διαφορά του MediaPipe Hands από προηγούμενες υλοποιήσεις εκτίμησης της θέσης των χεριών βρίσκεται στον κεντρικό ρόλο να προωθεί την απόδοση πραγματικού χρόνου σε κινητές συσκευές. Σε αντίθεση με τους προκατόχους λειτουργώντας αρμονικά αυτά τα δύο μοντέλα προβλέπουν σημεία ενδιαφέροντος δίχως να χρειάζεται εξειδικευμένο υλικό. Η υλοποίηση μέσω του πλαισίου MediPipe αξιοποιεί τη δυναμική συγχρονισμένων μονάδων δόμησης του MediaPipe, καταφέροντας να επιτύχει υψηλή απόδοση και βέλτιστη ροή του περιβάλλοντος εκπαίδευσης μηχανικής μάθησης. Συνολικά αναδεικνύεται ως μια ισχυρή και προσβάσιμη λύση για φυσική αλληλεπίδραση και επικοινωνία στον τομέα AR/VR, κάνοντας ένα σημαντικό άλμα στην εκτίμηση της θέσης των χεριών [20] [21].

4 Κεφάλαιο 4^ο: Σχεδίαση και Ανάπτυξη Ανθρωπόμορφου Ρομποτικού Χεριού

4.1 Εισαγωγή Κεφαλαίου 4

Σε αυτό το κεφάλαιο αναπτύσσονται τα βήματα κατασκευής και συναρμολόγησης του ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού καθώς και τα επιμέρους στοιχεία και υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την λειτουργία του. Τα σχέδια που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή προέρχονται από το InMoov, το πρώτο ρομπότ σε φυσικό μέγεθος ανοιχτού κώδικα υλοποιημένο σε 3D εκτυπωτή. Τα σχέδια έχουν δημιουργηθεί από την Γάλλο γλύπτη και σχεδιαστή Gael Langevin, διατίθενται δωρεάν στο site του και μπορούν να υλοποιηθούν σε οποιονδήποτε 3D εκτυπωτή που διαθέτει επιφάνεια $12 \times 12 \times 12$ cm. Στόχος του InMoov Project είναι η διάδοση και η χρήση από κοινότητα με ενδιαφέρον και περιέργεια ανάπτυξης παρόμοιων μοντέλων από μεγάλα εργαστήρια έως χομπίστες [22].

4.2 Εκτυπωτής και Τρισδιάστατες Εκτυπώσεις

Η τρισδιάστατη εκτύπωση (3D printing) είναι μια μέθοδος που εφευρέθηκε το 1982 από τον Chuck Hull, η ιδέα στηρίχθηκε στην κατασκευή πολλών στρωμάτων διάφορων υλικών αλλά κυρίως πλαστικού διαδοχικά το ένα επάνω στο άλλο για τον σχηματισμό ενός τρισδιάστατου αντικειμένου, η μέθοδος αυτή ονομάστηκε «προσθετική κατασκευή» (FDM-Fused Deposition Modeling) και αποτελεί την πιο συνήθη κατηγορία εκτυπωτών. Ακόμα ένας κύριος τύπος είναι η στερεολιθογραφία (SLA – stereolithography) η οποία διαμορφώνει τα αντικείμενα με την μέθοδο της σκλήρυνσης υγρής ρητίνης με υπεριώδη ακτινοβολία. Στην δική μας περίπτωση χρησιμοποιείται εκτυπωτής FDM. Η διαδικασία εκτύπωσης αναφέρεται πως είναι παρόμοια με τους εκτυπωτές που γνωρίζετε ήδη. Αρχικά χρειάζεται η δημιουργία ενός 3D σχεδίου, το οποίο μπορεί να σχεδιαστεί επάνω σε λογισμικό (CAD -Computer Aided Design), είτε με χρήση 3D σαρωτή είτε απλώς κάνοντας λήψη ένα αρχείο (STL). Στην συνέχεια θα χρειαστεί μια μικρή διαδικασία ρουτίνας με πολύ μικρές αλλαγές επάνω σε πιθανά σενάρια εκτυπώσεων που αποτελούνται από τα παρακάτω βήματα.

Βήμα 1^ο : Επιλογή κατάλληλου υλικού που επιθυμείτε για την κατασκευή του αντικειμένου

- PLA (Polylactic Acid) είναι βιοδιασπώμενο θερμοπλαστικό το οποίο προέρχεται κυρίως από φυτικές ανανεώσιμες πηγές και είναι φιλικό προς το περιβάλλον. Είναι σκληρό και ανθεκτικό υλικό, παρουσιάζει ακαμψία και μπορεί να επεξεργαστεί και μετά την εκτύπωση. Η θερμοκρασία τήξης του είναι 65°C .
- ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) θερμοπλαστικό το οποίο έχει πετρελαϊκή προέλευση και είναι από τα πιο κοινά είδη πλαστικών στην βιομηχανία κατασκευής προϊόντων. Είναι αρκετά ανθεκτικό, σκληρό και διαθέτει ευκαμψία ώστε σε περίπτωση μικρής πίεσης να λυγίσει χωρίς να σπάσει. Η θερμοκρασία τήξης του είναι 105°C .

Αξίζει να σημειωθεί ότι αναφέρονται οι κυριότεροι τύποι υλικών η ποικιλία υλικών πλέον είναι αρκετά μεγάλη και απαρτίζεται από κεραμικά, ρητίνη, μέταλλα, άμμο, υφάσματα κ.α.

Σχεδίαση, ανάπτυξη και προγραμματιζόμενος έλεγχος ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού

Βήμα 2^ο: Προετοιμασία σχεδίου. Έλεγχος σχεδίου, διαστάσεων, τρόπος εκτύπωσης, πάχος, πρόσθετη στήριξη και ακρίβεια εκτύπωσης. Όλες οι παραπάνω ρυθμίσεις επιτυγχάνονται στο λογισμικό τεμαχισμού όπου μπορούμε να ελέγξουμε το προσχέδιο και την διαδικασία που θα ακολουθήσει η εκτύπωση. Φόρτωση του αρχείου Stl σε SD card και τοποθέτηση της στο 3D printer.

Βήμα 3^ο: Προετοιμασία πλατφόρμας κατασκευή (3D εκτυπωτή). Ρύθμιση αξόνων, κατάλληλο ύψος βάσης εκτύπωσης, προθέρμανση βάσης και υλικού πριν ξεκινήσει η εκτύπωση.

Βήμα 4^ο: Επιλογή του σχεδίου από το interface του εκτυπωτή και έναρξη εκτύπωσης.

Σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες και εξοπλισμούς, οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές είναι συχνά ταχύτεροι, πιο οικονομικοί και πιο απλοί στην χρήση τους κάτι που τους καθιστά αναπόσπαστο κομμάτι του μέλλοντος για σχεδιασμό πρωτοτύπων για δοκιμές πριν την τελική υλοποίηση ή ακόμα και κατασκευή τελικών προϊόντων.

Για την εκτύπωση χρησιμοποιήθηκε ο τρισδιάστατος εκτυπωτής Ender – 3 V2 με τα εξής χαρακτηριστικά:

Πίνακας 4.2-1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Τρισδιάστατου Εκτυπωτή.

Μέγεθος Εκτύπωσης	220 × 220 × 250 mm (Μέγεθος πλάκας κατασκευή 235 × 235mm)
Μέθοδος Εκτύπωσης	FDM (Fused Deposition Modeling)
Αριθμός Ακροφυσίων	1
Προτεινόμενο Πάχος Στρώματος	0.1mm – 0.4mm
Διάμετρος Ακροφυσίου Αποθέματος	0.4mm
Ακρίβεια άξονα ΧΥ	±0.2mm
Διάμετρος Νήματος	Φ1.75mm
Μορφή Αρχείου	.gcode
Συνδεσιμότητα	Micro SD Card/ USB
Συμβατοί Κόφτες	Cura, 3D Creator Slicer, Repetier-Host, Simplify3D and More
Προδιαγραφή Ισχύος	Input: AC 115/230V 50/60HZ Output: 24V DC
Συνολική Ισχύς	350W
Θερμοκρασία Βάσης Εκτύπωσης	≤ 100°C
Θερμοκρασία Ακροφύσιου	≤ 250°C
Συνέχιση Εκτύπωσης	Ναι μετά από παύση ή διακοπή ρεύματος
Αισθητήρας Νήματος	Όχι
Βίδες Διπλού Άξονα	Όχι

Σχεδίαση, ανάπτυξη και προγραμματιζόμενος έλεγχος ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού

Γλώσσα	English/Chinese
Λειτουργικό Σύστημα	Marlin. Slicers are available for Windows XP/Vista/7/10/ Mac OS/Linux
Ταχύτητα Εκτύπωσης	≤180mm/s, Φυσιολογική λειτουργία περίπου 30-60mm/s

Τα αρχεία επεξεργάστηκαν και τεμαχίστηκαν σε εφαρμογή ανοιχτού κώδικα για τρισδιάστατους εκτυπωτές το Cura. Συνολικά για την κατασκευή του χεριού χρειάστηκαν 23 εκτυπώσεις και περίπου 80 ώρες συνεχόμενης εκτύπωσης.



Εικόνα 4.2.1 Όλα τα 3D εκτυπωμένα κομμάτια του χεριού.

Τα επιμέρους κομμάτια που εκτυπώθηκαν απεικονίζονται στην Εικόνα 4.2.1 είναι:

- Μεγάλο Δάκτυλο
- Δείκτης
- Μεσαίο Δάκτυλο
- Παράμεσος
- Μικρό Δάκτυλο
- Άνω επιφάνεια (2 κομμάτια)
- Μικρός καρπός
- Βίδες
- 3 μέρη για τον καρπό (Rotawrist 1,2,3)
- Βάση Σερβοκινητήρων

Σχεδίαση, ανάπτυξη και προγραμματιζόμενος έλεγχος ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού

- Γρανάζι περιστροφής καρπού
- Παλάμη (2 κομμάτια)
- 5 Servo pulleys

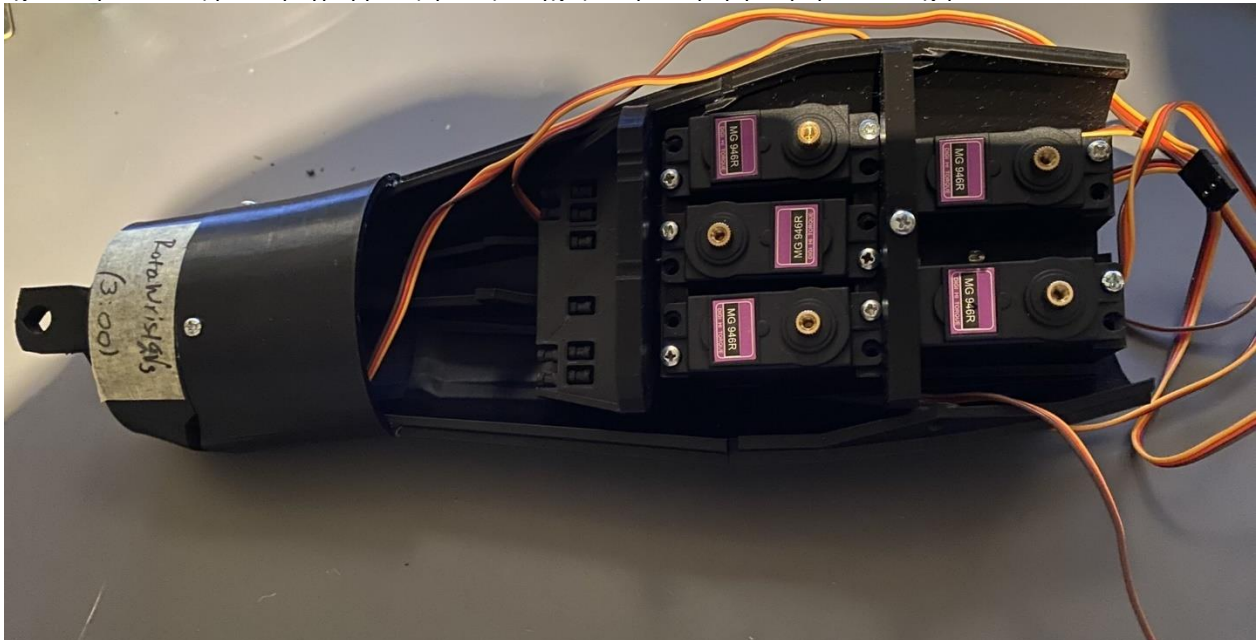
Πρόσθετα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι βίδες για την συγκρότηση των σερβοκινητήρων στο εσωτερικό της κατασκευής και για σύνδεση κομματιών. Επιπλέον έγινε χρήση κόλλας 2 στοιχείων για την συγκρότηση του σκελετού στα σημεία που απαιτούνταν η χρήση της.

4.3 Διαδικασία Συναρμολόγησης Εκτυπωμένων Κομματιών

Για την συναρμολόγηση του προσθετικού χεριού χρησιμοποιήθηκαν τα εξής υλικά:

- 23 εκτυπωμένα κομμάτια
- Νήμα ψαρέματος μη ελαστικό με διάμετρο 0.5mm και ανοχή 50 κιλών
- 6 Σερβοκινητήρες MG996R_TOWER pro
- Βίδες 3,5 πόντων
- Ντίζα διαμέτρου 1.5mm

Μετά την διάθεση όλων των εκτυπωμένων μερών του χεριού, ακολουθείται η διαδικασία τριμαρίσματος και λείανσης όλων των επιφανειών και εσοχών. Αυτό είναι απαραίτητο εξαιτίας των ατελειών που προκύπτουν μετά την εκτύπωση. Έπειτα ακολουθείται η διαδικασία της κόλλησης του κάτω μέρους δηλαδή του πήχη του χεριού όπου αφού κολληθούν τα 2 εκτυπωμένα κομμάτια που απαρτίζουν τον πήχη, τοποθετείται η βάση των σερβοκινητήρων και προθέτονται βίδες στην επιφάνεια για πρόσθετη στήριξη. Στην συνέχεια τοποθετείται το κομμάτι του καρπού και με την στήριξη από βίδες και κόλλα προσαρμόζεται στο άκρο του πήχη. Ενδιάμεσα από το τμήμα του καρπού και της βάσης υπάρχουν 2 κομμάτια που χρησιμεύουν ως οδηγοί για τα νήματα που θα τοποθετηθούν αργότερα. Προσαρμόζονται κατάλληλα επάνω στην βάση τους και συγκρατούνται από βίδες 6 σερβοκινητήρες, κάθε σερβοκινητήρας είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο ενός δακτύλου, ενώ στο εσωτερικό του καρπού εφαρμόζεται ο τελευταίος ο οποίος είναι υπεύθυνος για την περιστροφή του καρπού. Το οπτικό αποτέλεσμα στην εμφανίζεται Εικόνα 4.3.2.



Εικόνα 4.3.1 Συναρμολόγηση πήχη, καρπού και τοποθέτηση σερβοκινητήρων.

Ύστερα ακολουθεί η συναρμολόγηση του χεριού, δηλαδή της παλάμης και των δακτύλων. Η δομή που έχει κατασκευαστεί το ρομποτικό χέρι είναι πολύ παρόμοια με αυτή του ανθρώπινου. Κάθε δάκτυλο απαρτίζεται από τα δικά του επιμέρους κομμάτια και στα σημεία όπου υπάρχουν σύνδεσμοι τα δύο κομμάτια συνδέονται με ντίζα επιτρέποντας τους την κίνηση προς την μπροστά κατεύθυνση. Παρομοιάζεται η κίνηση με λύγισμα του δακτύλου. Τα υπόλοιπα μέρη συνδέονται με κόλλα δύο υλικών.



Εικόνα 4.3.2 Επιμέρους κομμάτια ενός δακτύλου.

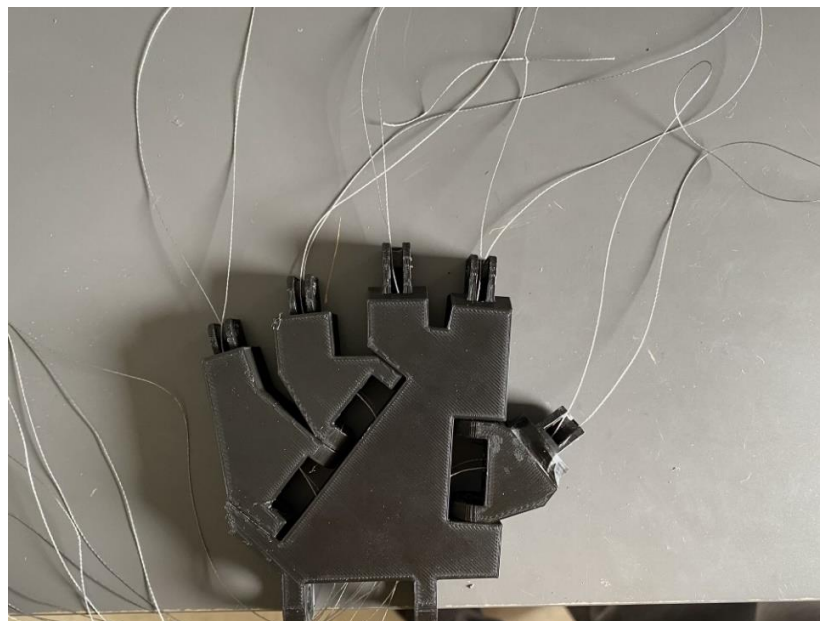
Μία διαφορετική δομή που δίνει στην κατασκευή την δυνατότητα της λαβής κάποιου αντικειμένου, βρίσκεται στα κομμάτια της παλάμης που χρησιμοποιούνται για την σύνδεση του αντίχειρα του

Σχεδίαση, ανάπτυξη και προγραμματιζόμενος έλεγχος ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού παράμεσου και του μικρού δακτύλου, τα οποία συνδέονται και στηρίζονται στον σκελετό της παλάμης με βίδες για στήριξη.



Εικόνα 4.3.3 Παλάμη και δάκτυλα.

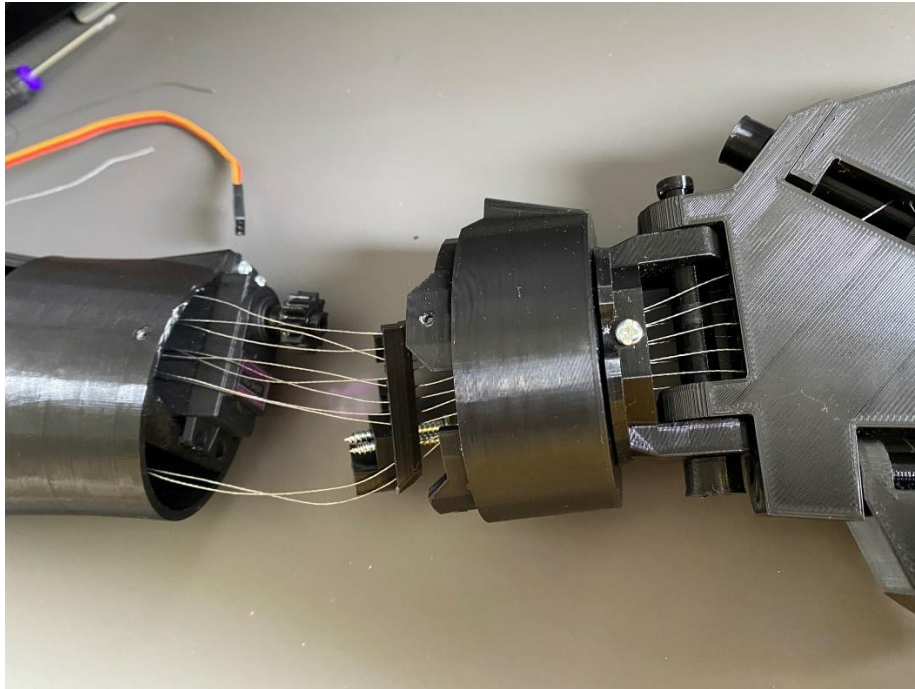
Σειρά έχει η τοποθέτηση του νήματος μέσα μέσα από τον σκελετό της παλάμης όπως μπορεί να γίνει αντιληπτό από την Εικόνα 4.3.4. Αντιστοιχούν δυο κομμάτια νήματος σε κάθε δάκτυλο για την λειτουργία τους όπου θα αναλυθεί παρακάτω. Σημαντικό χαρακτηριστικό του νήματος που χρησιμοποιείται είναι η αντοχή του σε 50 κιλά βάρους και η ανελαστικότητα του.



Εικόνα 4.3.4 Πέρασμα νήματος μέσα από την παλάμη.

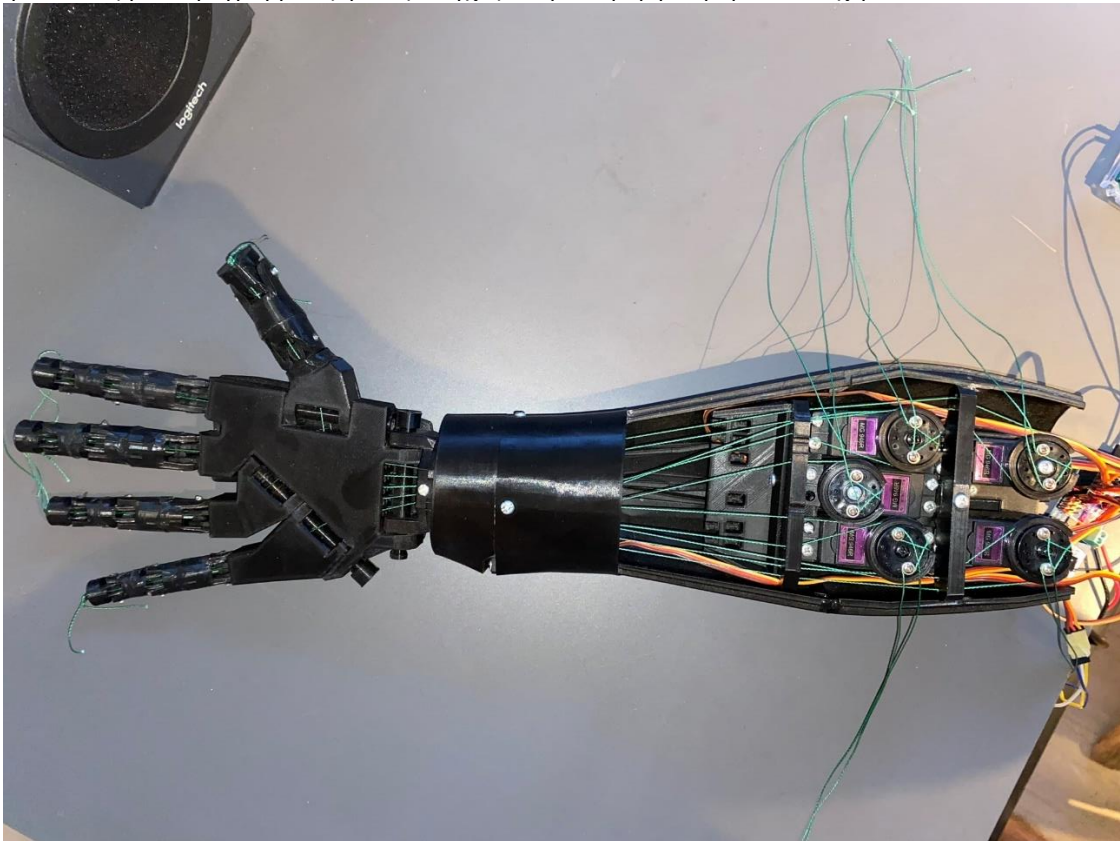
Σχεδίαση, ανάπτυξη και προγραμματιζόμενος έλεγχος ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού

Έπειτα επιτυγχάνεται η σύνδεση στον σκελετό της παλάμης με τον καρπό και τον πήχη για τον σχηματισμό του χεριού. Απαιτεί αρκετή ακρίβεια και υπολογισμός για την τοποθέτηση του γραναζιού με το κομμάτι του σερβοκινητήρα ώστε να μπορεί να περιστρέφεται το άκρο. Παλάμη και καρπός ενισχύονται με την σύνδεση 3D εκτυπωμένης βίδας.



Εικόνα 4.3.5 Σύνδεση καρπού με την παλάμη.

Τοποθετούνται τα δάκτυλα στο σκελετό της παλάμης και αντιστοιχίζονται δύο κομμάτια σε κάθε δάκτυλο ώστε να μπορούν να σηκώνονται και να κατεβαίνουν ανάλογα με το ποιο κομμάτι νήματος θα τραβηχθεί. Τα δύο κομμάτια προσδέονται στο άκρο κάθε δακτύλου μεταξύ τους. Τέλος επάνω στα γρανάζια των σερβοκινητήρων εκτυπώνονται και τοποθετούνται νέα κομμάτια που επιτρέπουν στις άκρες των νημάτων να προσδεθούν επάνω και να ασφαλιστούν με βίδες.



Εικόνα 4.3.6 Τελικό αποτέλεσμα.

Το μόνο που μένει πλέον είναι η σύνδεση κάθε κομματιού νήματος σε κάθε σερβοκινητήρα που είναι υπεύθυνος για ένα δάκτυλο.

4.3.1 Πλακέτα Ελέγχου και Μικροελεγκτής

Η πλακέτα που είναι υπεύθυνη για την λειτουργία, τον έλεγχο και τον προγραμματισμό των λειτουργιών του χεριού είναι ένα Arduino Uno R3. Μια αρκετά δημοφιλής πλακέτα και πλατφόρμα υλικού ανοιχτού κώδικα. Διαθέτει λογισμικό IDE (Integrated Development Environment) είτε σαν εφαρμογή για λειτουργικά συστήματα Windows/MacOS είτε στο Cloud. Μια αρκετά προσιτή επιλογή για εύκολο προγραμματισμό και μεγάλη κοινότητα υποστήριξης που την καθιστά φιλική ακόμα και για αρχάριους.



Εικόνα 4.3.7 Arduino Uno R3.

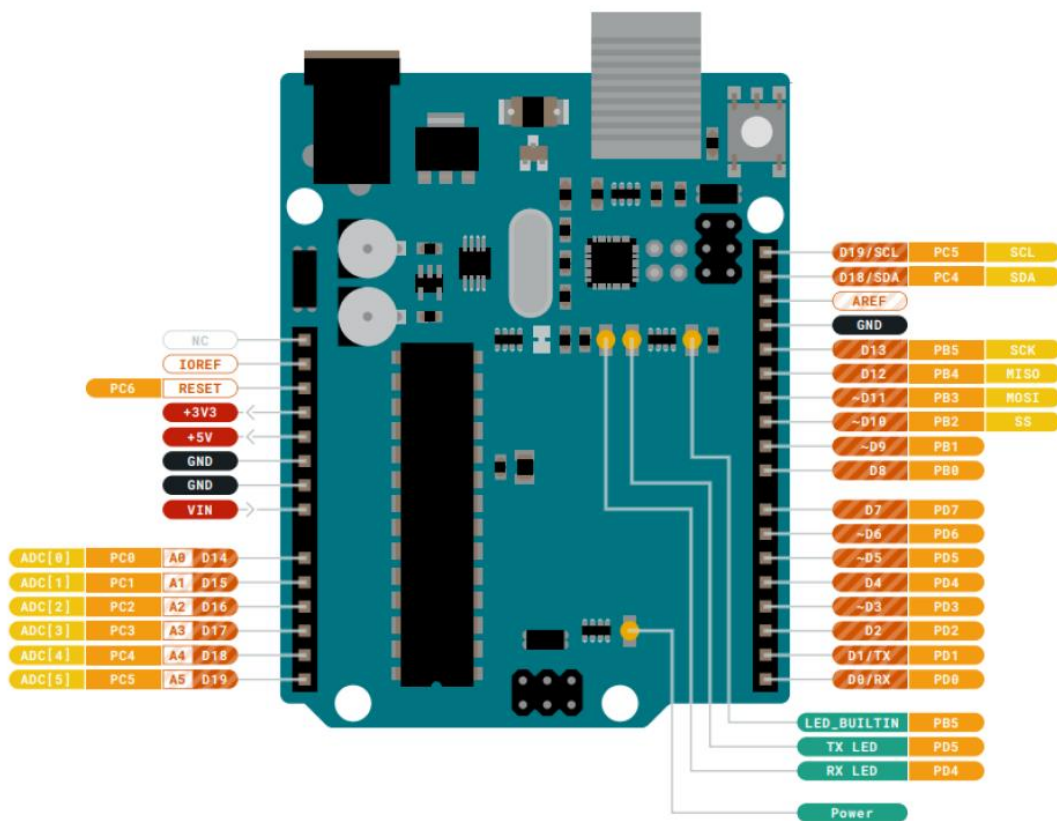
Το βασικότερο στοιχείο της πλακέτας είναι ο μικροελεγκτής που διαθέτει το Arduino, ο ATmega328p με χαρακτηριστικά:

Πίνακας 4.3-1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά ATmega328p.

Επεξεργαστής	AVR 15MHz
Flash memory	32KB
SRAM	2KB
EEPROM	1KB

Το Arduino Uno διαθέτει Pinouts σύνδεσης του πλακιδίου για αναλογικές αλλά και ψηφιακές εισόδους. Στο αριστερό μέρος του πλακιδίου, υπάρχουν έξι αναλογικά pins εισόδου/εξόδου, σημειωμένα από A0 έως A5. Αυτά τα pins επιτρέπουν τη μέτρηση αναλογικών σημάτων και την αποστολή αναλογικών εξόδων, καθώς και την παροχή τάσης τροφοδοσίας στα 3.3V, 5V, καθώς και γείωση (GND), IOREF, RESET, και VIN. Επιπλέον, το Arduino Uno διαθέτει 14 ψηφιακά pins εισόδου/εξόδου, σημειωμένα από D0 έως D13, καθώς και τα pins AREF (Analog Reference), GND (Ground), SDA (I2C data line), και SCL (I2C clock line). Αυτές οι συνδέσεις επιτρέπουν τη μεταφορά ψηφιακών σημάτων 0 ή 1. Αυτές οι συνδέσεις χρησιμοποιούνται για την αποστολή ή λήψη ψηφιακών

Σχεδίαση, ανάπτυξη και προγραμματιζόμενος έλεγχος ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού εντολών προς και από άλλες συσκευές, καθιστώντας το Arduino Uno εξαιρετικά ευέλικτο για ποικίλες εφαρμογές.



Εικόνα 4.3.8 Pin συσκευής.

Τα αναλογικά Pins βρίσκονται στο αριστερό μέρος και αναλύονται με την σειρά που φαίνεται στην Εικόνα 4.3.8.

Αναλογικά Pins :

1. NC , Not Connected
2. IOREF, αναφορά για ψηφιακή λογική V- συνδεδεμένη σε 5V
3. Reset, Reset
4. +3V3 , +3v power rail
5. +5V, +5V power rail
6. GND, Ground
7. GND, Ground
8. Vin, Voltage input
9. A0, Analog Input 0/GPIO (General purpose Input/Output)
10. A1, Analog Input 1/GPIO
11. A2, Analog Input 2/GPIO
12. A3, Analog Input 3/GPIO
13. A4/SDA, Analog Input 4/I2C Data Line
14. A5/SCL, Analog input 5/I2C Clock Line

Σχεδίαση, ανάπτυξη και προγραμματιζόμενος έλεγχος ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού
Ψηφιακά Pins :

1. D0, Digital pin 0/GPIO
2. D1, Digital pin 1/GPIO
3. D2, Digital pin 2/GPIO
4. D3, Digital pin 3/GPIO
5. D4, Digital pin 4/GPIO
6. D5, Digital pin 5/GPIO
7. D6, Digital pin 6/GPIO
8. D7, Digital pin 7/GPIO
9. D8, Digital pin 8/GPIO
10. D9, Digital pin 9/GPIO
11. SS, SPI(Serial Peripheral Interface) Chip select
12. MOSI, SPI Main Out Secondary In
13. MISO, SPI Main In Secondary Out
14. SCK, SPI Serial clock output
15. GND, Ground
16. AREF, Analog Reference Voltage
17. A4/SD4, Analog Input 4/I2C DATA line
18. A5/SD5, Analog input 5/I2C Clock Line

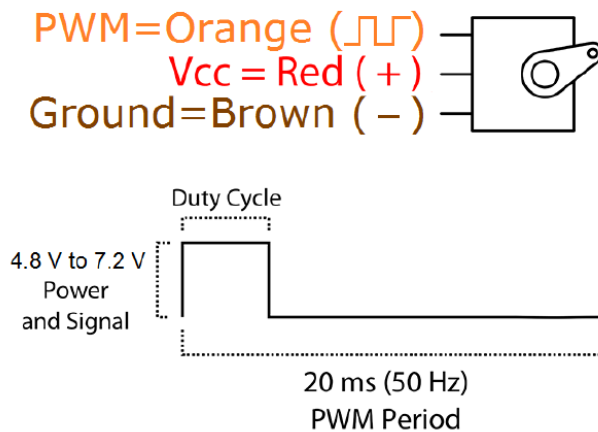
4.3.2 Σερβοκινητήρες Και Έλεγχος

Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκαν σερβοκινητήρες MG996R υψηλής ροπής με μεταλλικό γρανάζι στο εσωτερικό τους. Έχουν την δυνατότητα να περιστραφούν περίπου 180° (90° σε κάθε κατεύθυνση). Μπορούν να χρησιμοποιηθούν με οποιοδήποτε κώδικα σερβομηχανισμού, υλικό ή βιβλιοθήκη χωρίς να χρειάζεται κάποιος προγραμματισμός του ελεγκτή του κινητήρα.

Χαρακτηριστικά :

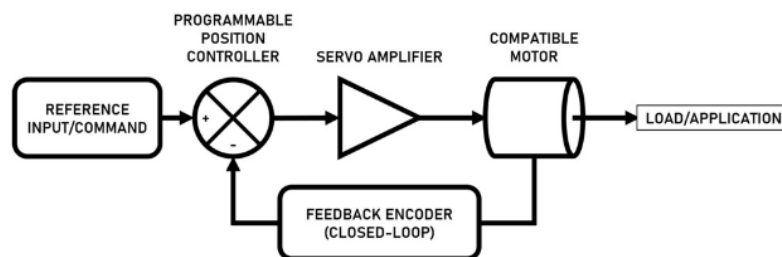
Πίνακας 4.3-2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά MG996R.

Βάρος	55g
Διαστάσεις	40.7 × 19.7 × 42.9 mm
Ροπή στασίματος	9.4 kgf · cm (4.8V), 11Kgf · cm (6V)
Ταχύτητα Λειτουργίας	0.17s / 90° (4.8V), 0.14s/90° (6v)
Τάση Λειτουργίας	4.8V to 7.2V
Ρεύμα Λειτουργίας	500 mA – 900 mA (6V)
Ρεύμα εκκίνησης	2.5A (6V)
Πλάτος νεκρής ζώνης	5 μS
Θερμοκρασιακό εύρος	0°C - 55°C



Εικόνα 4.3.9 Χρωματική αναγνώριση καλωδίων, συχνότητα λειτουργίας και Duty cycle.

Ένας σερβοκινητήρας είναι ένα σύστημα κλειστού βρόχου και χρησιμοποιεί ανάδραση θέσης για να ελέγξει την κίνηση και την τελική του θέση. Οι βιομηχανικοί σερβοκινητήρες διαθέτουν έναν κωδικοποιητή υψηλής ακρίβειας για να λαμβάνουν την πληροφορία της θέσης για να την ανατροφοδοτήσουν στον κόμβο σφαλμάτων όπου συγκρίνεται η θέση του στόχου με την θέση που βρίσκεται εκείνη την στιγμή ο άξονας. Με αποτέλεσμα ανάλογα με το σφάλμα που προκύπτει στον κόμβο, ο ελεγκτής διορθώνει την πραγματική θέση του κινητήρα ώστε να είναι αυτή του στόχου.



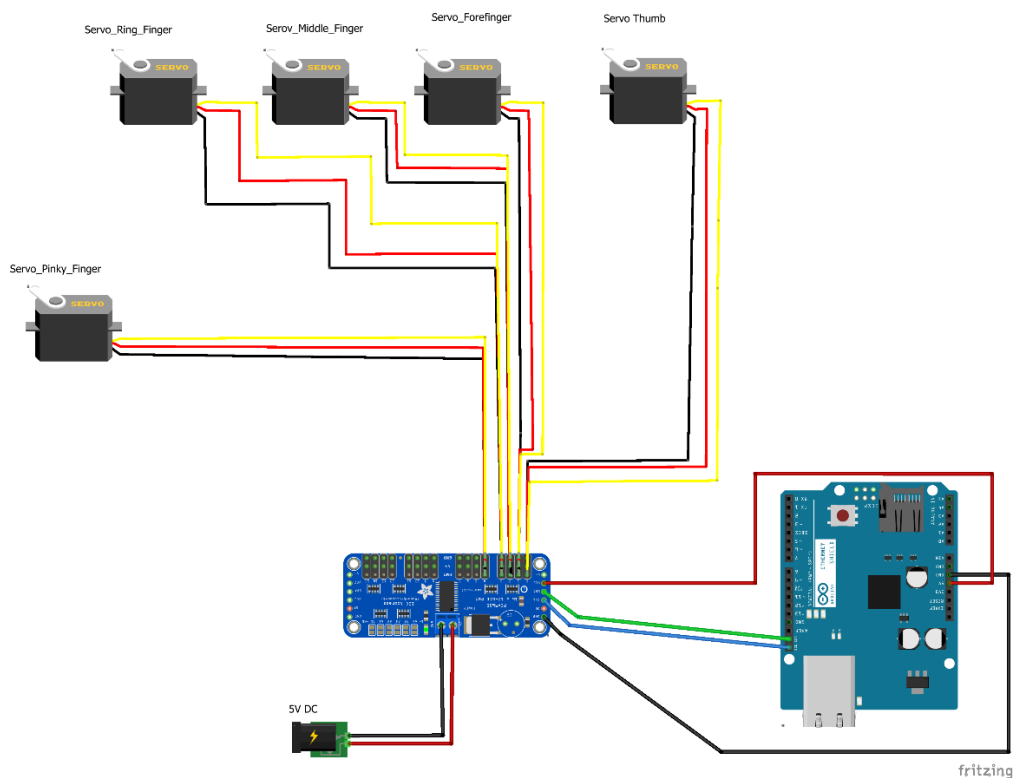
Εικόνα 4.3.10 Κλειστός Βρόχος Σερβοκινητήρα.

Απαρτίζεται από τέσσερα βασικά μέρη στο εσωτερικό του, ένας DC κινητήρας (κινητήρας συνεχούς ρεύματος), ένα κιβώτιο ταχυτήτων, ένα ποτενσιόμετρο και το κύκλωμα ελέγχου. Το σύστημα ελέγχου του σερβοκινητήρα είναι ένα H – Bridge δηλαδή ένα κύκλωμα γέφυρας που μας επιτρέπει την αλλαγή της κατεύθυνσης του μαγνήτη που βρίσκεται στο εσωτερικό του κινητήρα και τον καθορισμό της δεξιόστροφης ή αριστερόστροφης περιστροφής του καθώς και την ταχύτητα του ανάλογα με την συχνότητα. Το ποτενσιόμετρο στηρίζεται στον άξονα εξόδου ή στο τελικό γρανάζι, με αποτέλεσμα καθώς περιστρέφεται ο κινητήρας να περιστρέφεται μαζί του και το ποτενσιόμετρο, παράγοντας μια τάση που πληροφορεί το σύστημα για την απόλυτη γωνία του άξονα εξόδου. Ο έλεγχος ενός σερβοκινητήρα επιτυγχάνεται με μια σειρά παλμών, η συχνότητα του σήματος ελέγχου συνήθως είναι στα 50Hz ή ένας παλμός πρέπει να εμφανίζεται κάθε 20ms. Ανάλογα με το πλάτος

Σχεδίαση, ανάπτυξη και προγραμματιζόμενος έλεγχος ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού του παλμού καθορίζεται και η γωνιακή θέση του σερβομηχανισμού (μέχρι τις 180° στην περίπτωση σερβοκινητήρα που χρησιμοποιείται) [23].

Για τον βέλτιστο έλεγχο των σερβοκινητήρων χρησιμοποιήθηκε ο PCA9685 16- channel servo driver. Η οδήγηση και η σύνδεση των σερβοκινητήρων με το Arduino είναι αρκετά απλή, όμως στην περίπτωση που υπάρχουν περισσότερα από 2 servo έκτος από την κατανάλωση των pin που διαθέτει η πλακέτα δυσκολεύεται αρκετά να παράξει την απαιτούμενη ισχύ για την λειτουργία πολλαπλών κινητήρων ταυτόχρονα, ακόμα μπορεί να διαπιστωθεί και ένα μπέρδεμα στα σήματα με αποτέλεσμα να μην μπορούν να συντονιστούν οι κινήσεις των σερβοκινητήρων. Την λύση στο πρόβλημα μας δίνει ο servo driver όπου μπορεί να οδηγήσει ακόμα και 16 σερβομηχανισμούς ταυτόχρονα σε συνεργασία με το Arduino μέσω του διαύλου I2C. Η επικοινωνία I2C είναι πολύ δημοφιλής και χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλές ηλεκτρονικές συσκευές, κύριο χαρακτηριστικό είναι ότι μπορεί να επιτύχει επικοινωνία μεταξύ μίας κύριας (master) και πολλών εξαρτημένων (slaves) συσκευών ή πολλών κύριων (Master) μαζί. Επιτυγχάνεται με την βοήθεια δύο γραμμών σήματος, σειριακά δεδομένα (SDA - Serial Data) και σειριακό ρολόι (SCL – Serial Clock) για την μεταφορά δεδομένων μεταξύ συσκευών. Το πρωτόκολλο επιτρέπει τη σύνδεση πολλών συσκευών στις ίδιες δύο γραμμές σήματος, με κάθε συσκευή να διαθέτει μια μοναδική διεύθυνση 12-bit. Η κύρια συσκευή (Master) ξεκινά την επικοινωνία στέλνοντας ένα σήμα έναρξης, ακολουθούμενο από την διεύθυνση της εξαρτημένης συσκευής με την οποία θέλει να επικοινωνήσει. Η εξαρτημένη συσκευή αποκρίνεται με ένα σήμα και ξεκινάει η μεταφορά των δεδομένων. Η κύρια συσκευή μπορεί να διακόψει την επικοινωνία στέλνοντας ένα σήμα διακοπής.

Η συνδεσμολογία των σερβοκινητήρων με την πλακέτα servo driver και το Arduino απεικονίζεται στην Εικόνα 4.3.11.



Εικόνα 4.3.11 Διάγραμμα Κυκλώματος.

Όπως διαπιστώνεται και από το διάγραμμα του κυκλώματος χρησιμοποιήθηκε μια εξωτερική DC πηγή 5V πιο συγκεκριμένα ένας μετασχηματιστής υπολογιστή όπου βραχυκυκλώνοντας τα καλώδια σήματος που ενεργοποιούν την τροφοδοσία και τον ανεμιστήρα τροφοδοτείται η πλακέτα.

4.3.3 Ανάλυση Πλακέτας Ηλεκτρομυογράφου.

Ο πρωταγωνιστής στην ανίχνευση και καταγραφή του ηλεκτρομυογραφήματος είναι ο Muscle Sensor V3 όπου χρησιμοποιεί τρεις επιφάνειες ανίχνευσης για την απόκτηση του EMG με την βοήθεια ενός ηλεκτροδίου αναφοράς, το οποίο χρησιμοποιείται ως γείωση. Αυτή η διαρρύθμιση μειώνει ανησυχίες σχετικά με τον θόρυβο. Η καρδιά της πλακέτας είναι ο ενισχυτής AD8226. Ο ενισχυτής πραγματοποιεί διαφορική ενίσχυση αφαιρώντας τις τάσεις V1 και V2 στην είσοδο του επιτυγχάνοντας το κοινό σήμα θορύβου να εξαλείφεται. Ο λόγος απόρριψης κοινού τρόπου λειτουργίας (CMRR – Common Mode Rejection Ratio) καθορίζει την ικανότητα της συσκευής να απορρίπτει σήματα κοινής λειτουργίας στις εισόδους της. Στην είσοδο του ενισχυτή οδηγείται DC τάση +9V και -9V όπου σύμφωνα με το datasheet του ενισχυτή επιτυγχάνεται CMRR έως και 120 db σε συχνότητες των 60 Hz, η οποία είναι μια αρκετά υψηλή απόδοση εφόσον ένα CMRR 90 dB είναι αρκετό για την εξάλειψη των κοινών σημάτων σε ενισχυτές οργάνων. Ο AD8226 έχει βασιστεί σε τοπολογία 3 – op – amp. Όπως διαπιστώνεται και από την Εικόνα 4.3.12, χρησιμοποιεί μια αρχιτεκτονική δυο σταδίων έναν προ-ενισχυτή και τον ενισχυτή διαφοράς που μας παρέχει την έξοδο μας με το σήμα λειτουργίας έχοντας αφαιρέσει το κοινό σήμα κοινής λειτουργίας από το ενισχυμένο διαφορικό σήμα, με αποτέλεσμα στην έξοδο να λαμβάνεται:

Οι εξισώσεις 1,2 και 3 έχουν ληφθεί από το Datasheet

$$V_{out} = G(V_{IN+} - V_{IN-}) + V_{REF} \quad (1)$$

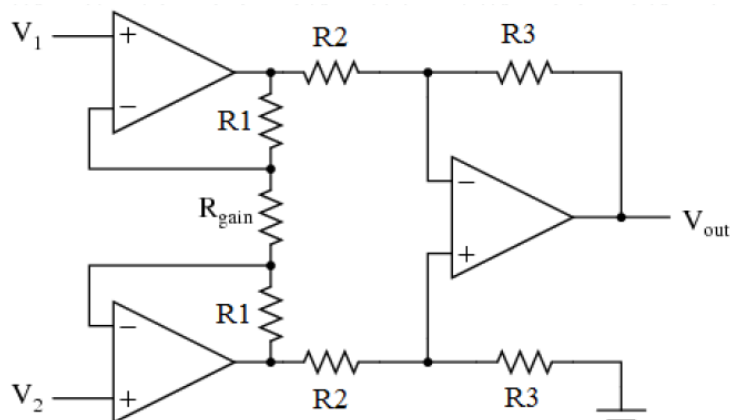
όπου

$$G = 1 + \frac{49.4K\Omega}{R_G} \quad (2)$$

Εάν τοποθετηθεί μια αντίσταση στους ακροδέκτες R_G επιτυγχάνεται η ρύθμιση του κέρδους χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$R_G = \frac{49.4 K\Omega}{G - 1} \quad (3)$$

Ο AD8226 έχει προεπιλεγμένη ενίσχυση $G=1$ όταν δεν χρησιμοποιείται αντίσταση κέρδους. Ακόμα διαθέτει προεπιλεγμένο κέρδος 5 που ρυθμίζεται με εσωτερικές αντιστάσεις.



Εικόνα 4.3.12 Ένας 3-op-amp ενισχυτής.

Οι γενικές εξισώσεις που περιγράφουν την διάταξη είναι:

$$V_{out} = (V_2 - V_1) \times Gain \quad (4)$$

Όπου :

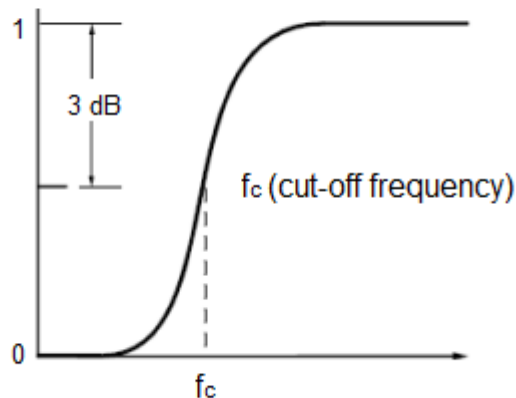
$$Gain = \left(1 + \frac{2R_1}{R_{Gain}}\right) \frac{R_3}{R_2} \quad (5)$$

4.3.4 Φίλτρο

Στην Ενότητα 2.4 (ηλεκτρομυογράφημα) έχει αναφερθεί η χρήση ενός ζωνοπερατού φίλτρου(Bandpass filter). Σε αυτήν την ενότητα αναλύονται εκτενέστερα τα φίλτρα και τον λόγο που χρησιμοποιούνται στο κύκλωμα μας.

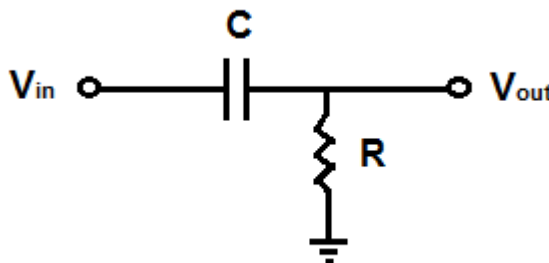
Ξεκινώντας από το φίλτρο υψηλής διέλευσης το οποίο συνήθως χρησιμοποιείται στην αφαίρεση χαμηλών συχνοτήτων από ένα ηλεκτρικό σήμα. Ο όρος συχνότητα αποκοπής υποδηλώνει την συχνότητα από την οποία όλα τα σήματα κάτω από αυτήν αποκόπτονται, ενώ όλες οι συχνότητες που είναι μεγαλύτερες από αυτήν μεταφέρονται προς τα εμπρός. Η διάταξη αποτελείται από δύο ζώνες την ζώνη διέλευσης και την ζώνη διακοπής όπου η απόκριση του φίλτρου παίρνει τιμές 1 και 0 αντίστοιχα. Στην Εικόνα 4.3.13 απεικονίζεται ένα υψιπερατό φίλτρο (High Pass Filter).

High Pass Filter



Εικόνα 4.3.13 Υψιπερατό φίλτρο.

Για τον σχηματισμό ενός υψιπερατού φίλτρου χρειαζόμαστε μια αντίσταση και έναν πυκνωτή ακριβώς όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.3.14, και σχηματίζεται ένα υψιπερατό φίλτρο 1^{ης} τάξης.

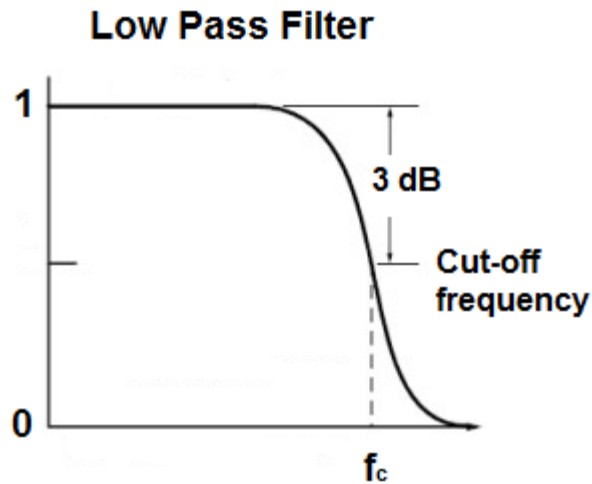


Εικόνα 4.3.14 Διάταξη κυκλώματος υψιπερατού 1^{ης} τάξης.

Η συχνότητα αποκοπής δίνεται από την εξίσωση (6).

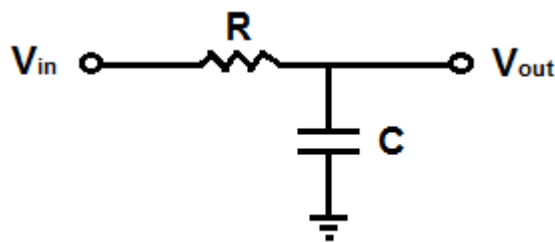
$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (6)$$

Συνέχεια έχει το χαμηλοπερατό φίλτρο (Low Pass Filter) το οποίο επιτρέπει την διέλευση χαμηλών συχνοτήτων ενός σήματος δηλαδή ακριβώς αντίθετα από το υψιπερατό φίλτρο διαθέτοντας επίσης δύο ζώνες, την ζώνη διέλευσης και την ζώνη αποκοπής. Οι συχνότητες που είναι μικρότερες από την μεταδίδονται ενώ οι υψηλότερες αποκόπτονται από το σύστημα.



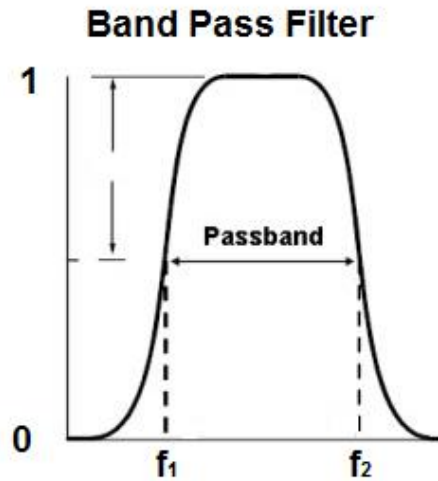
Εικόνα 4.3.15 Χαμηλοπερατό φίλτρο.

Η κυκλωματική του διάταξη μπορεί να επιτευχθεί με μια αντίσταση και έναν πυκνωτή συνδεδεμένα αντίστροφα από το υψηλερατό φίλτρο. Η συχνότητα αποκοπής περιγράφεται με την ίδια εξίσωση (6) μόνο που στην περίπτωση το σήμα μας για να μην αποκοπεί θα πρέπει να είναι μικρότερο από την συχνότητα αυτήν.



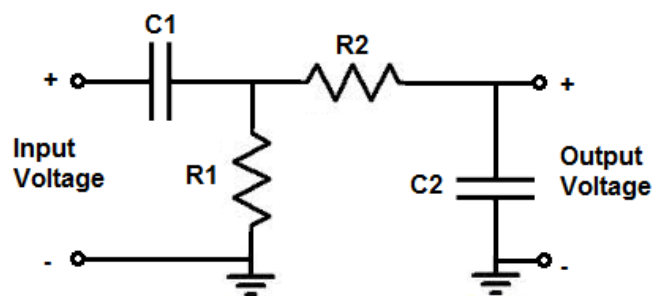
Εικόνα 4.3.16 Διάταξη κυκλώματος χαμηλοπερατού φίλτρου 1^{ης} τάξης.

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, στην μετάδοση ενός EMG σήματος ο θόρυβος βρίσκεται και σε χαμηλές αλλά και σε υψηλές συχνότητες, η μοναδική λύση που μας μένει είναι να περιορίσουμε το εύρος συχνοτήτων σύμφωνα με τα επιθυμητά δεδομένα. Για την επίτευξη του στόχου αυτού θα χρησιμοποιείται το ζωνοπερατό (Bandpass filter) όπου πλέον η ζώνη διέλευσης περιορίζεται ανάμεσα στις συχνότητες f_1 και f_2 . Η διάταξη αυτή μπορεί να επιτευχθεί με τον συνδυασμό των δύο προαναφερθέντων φίλτρων, το υψηλερατό και το χαμηλοπερατό φίλτρο.



Εικόνα 4.3.17 Ζωνοπερατό φίλτρο.

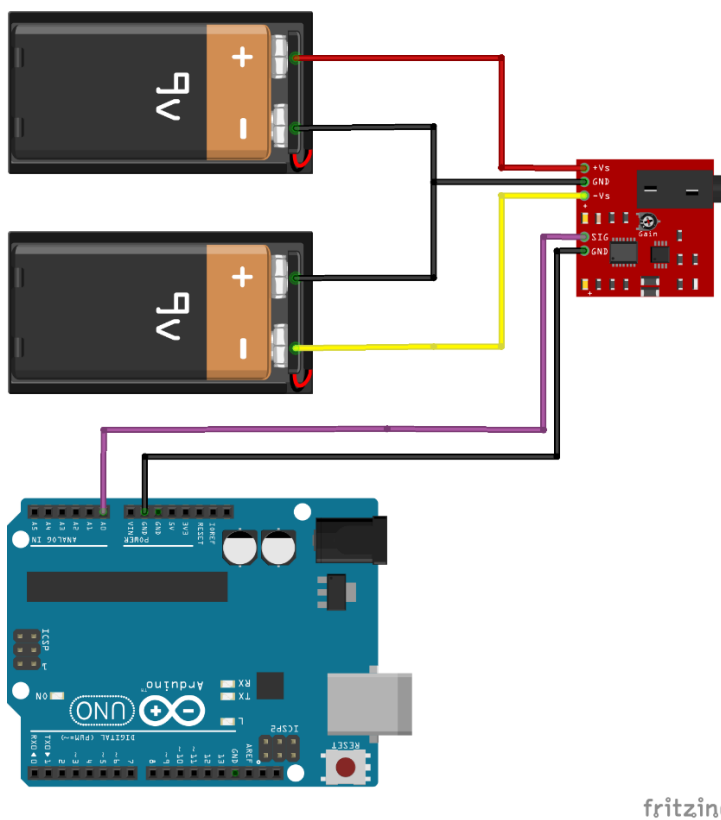
Χρησιμοποιώντας αυτά τα δύο κυκλώματα έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Με την αλλαγή των τιμών για R και C επιτυγχάνονται διαφορετικές συχνότητες για κάθε περίπτωση [24].



Εικόνα 4.3.18 Κυκλωματική διάταξη ζωνοπερατού φίλτρου.

4.3.5 Συνδεσμολογία Πλακέτας Ηλεκτρομυογράφου

Το Διάγραμμα του κυκλώματος που υλοποιήθηκε είναι απεικονίζεται παρακάτω



Εικόνα 4.3.19 Διάγραμμα Κυκλώματος συνδεσμολογίας ηλεκτρομυογράφου.

Όπως διαπιστώνεται η πλακέτα τροφοδοτείται από δύο μπαταρίες των 9V όπου χρησιμοποιείται ο θετικός και ο αρνητικός πόλο για την τροφοδοσία των pin Vs^+ και Vs^- με +9V και -9V αντίστοιχα ώστε να οδηγηθούν για την λειτουργία του διαφορικού ενισχυτή όπως αναλύεται προηγουμένως, ενώ το κοινό καλώδια διασύνδεσής τους χρησιμοποιείται ως γείωση και συνδέεται στο pin Ground. Η σύνδεση της πλακέτας με το Arduino επιτυγχάνεται μέσω του Pin A0 (Analog 0) και γείωσης (GND) αντίστοιχα.

5 Κεφάλαιο 5^ο: Προγραμματιζόμενος Έλεγχος Ανθρωπόμορφου Ρομποτικού Χεριού

5.1 Εισαγωγή Κεφαλαίου 5

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύονται οι δύο προγραμματιζόμενες λειτουργίες του ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού και ο κώδικας για τον έλεγχο του. Ξεκινώντας με την χρήση της βιβλιοθήκης OpenCV και την ανίχνευση του χεριού στην κάμερα του υπολογιστή καθρεφτίζοντας τις κινήσεις ενός χεριού από την κάμερα στο ρομποτικό χέρι. Στην συνέχεια επιτυγχάνεται ο έλεγχος μέσω ανίχνευσης του δυναμικού δράσης και την αναπαράσταση του σε γράφημα. Με την χρήση ενός Theshold που θέτει ο χρήστης θα γίνεται εφικτός ο έλεγχος ανοίγματος και κλεισίματος του ρομποτικού χεριού.

5.2 Ανίχνευση Χεριού και Απομακρυσμένος Έλεγχος με Χρήση OpenCV.

Η πρώτη λειτουργία του συστήματος επιτυγχάνει τον απομακρυσμένο έλεγχο του χεριού μέσω υπολογιστικής όρασης (Computer Vision). Με την βοήθεια μιας κάμερας στον υπολογιστή ή στο laptop και με την χρήση της βιβλιοθήκης OpenCV σε συνδυασμό με την πλακέτα του Arduino ελέγχονται όλοι οι σερβοκινητήρες είτε μεμονωμένα είτε μαζικά με πολύ γρήγορη απόκριση. Η συλλογιστική ιδέα βασίζεται στην ανάπτυξη ενός πίνακα ο οποίος θα μπορεί να αποθηκεύει τις τιμές για κάθε δάκτυλο, το εύρος αυτών των τιμών είναι 0 και 1. Στην περίπτωση που το δάκτυλο έχει την τιμή 0 θα είναι κλειστό ενώ στην περίπτωση όπου το δάκτυλο λαμβάνει τιμή 1 πρέπει να βρίσκεται σηκωμένο.

Ο κώδικας που φορτώθηκε στον μικροελεγκτή του Arduino είναι :

```
1 #include <Wire.h> // for I2C communication
2 #include <Adafruit_PWMServoDriver.h> // fro the driver board
3
4
5 #define numOfvaluesRec 5
6 #define digitsPerValueRec 1
7
8 // called this way, it uses the default address 0x40
9 Adafruit_PWMServoDriver pwm = Adafruit_PWMServoDriver();
10
11 #define SERVOMIN 110
12 #define SERVOMAX 520
13
14
15 int valuesRec[numOfvaluesRec];
16 int stringLength = (numOfvaluesRec * digitsPerValueRec) +1; //$00000
17 int counter = 0;
18 bool counterStart = false; // When we receive "$" (flag)
19 String receivedString;
20
21 void setup() {
22   Serial.begin(9600); //baud rates for serial
```

```
23
24   pwm.begin();
25
26   pwm.setPWMFreq(50); // Analog servos running hertz
27 }
28
29 void receiveData() {
30   while(Serial.available())
31   {
32     char c = Serial.read();//Read the upcoming character from python script
33
34     if (c=='$'){
35       counterStart = true;
36     }
37     if (counterStart){//checking if counter starts
38       if(counter < stringLength){//checking if we reached our string lenght
39         receivedString = String (receivedString+c);
40 message(c)
41         counter++;
42       }
43       if (counter>=stringLength){//$00000 split one by one the data
44         for(int i = 0; i<numOfvaluesRec; i++)
45         {
46           int num = (i*digitsPerValueRec)+1;
47           valuesRec[i] = receivedString.substring(num,num +
48 digitsPerValueRec).toInt();
49         }
50         receivedString = "";//Reset
51         counter = 0;
52         counterStart = false;
53       }
54     }
55   }
56 }
57
58 void loop() {
59   receiveData();
60   if (valuesRec[0]==1){pwm.setPWM(0, 0, angleToPulse(20) );}else
61   {pwm.setPWM(0, 0, angleToPulse(130) );} //Thumb
62   if (valuesRec[1]==1){pwm.setPWM(1, 0, angleToPulse(10) );}else
63   {pwm.setPWM(1, 0, angleToPulse(150) );} //Index
64   if (valuesRec[2]==1){pwm.setPWM(2, 0, angleToPulse(10) );}else
65   {pwm.setPWM(2, 0, angleToPulse(160) );} //Middle
66   if (valuesRec[3]==1){pwm.setPWM(3, 0, angleToPulse(10) );}else
67   {pwm.setPWM(3, 0, angleToPulse(150) );} //Ring
68   if (valuesRec[4]==1){pwm.setPWM(4, 0, angleToPulse(0) );}else
69   {pwm.setPWM(4, 0, angleToPulse(170) );} //Pinky
70 }
71
72 int angleToPulse(int ang) {
73   int pulse = map(ang, 0, 180, SERVOMIN, SERVOMAX); // map angle of 0 to 180
74   Serial.print("Angle: "); Serial.print(ang);
75   Serial.print(" pulse: "); Serial.println(pulse);
76   return pulse;
77 }
```

Ανάλυση Κώδικα: Οι πρώτες γραμμές στον κώδικα αφορούν τις βιβλιοθήκες που χρειάζεται να προστεθεί για την I2C επικοινωνία και τον έλεγχο τον Servo με το PWM SERVO DRIVER. Στην συνέχεια καθορίζεται η τιμή της μεταβλητής που μας δίνει το μέγεθος του πίνακα που θα χρησιμοποιήται παρακάτω και την μεταβλητή που μας δείχνει σε πόσα ψηφία κρύβεται η πληροφορία. Οι επόμενες γραμμές αφορούν τον Servo driver και την διευθυνσιοδότηση του ενώ καθορίζονται οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές που δίνονται στους σερβοκινητήρες, οι οποίες έχουν υπολογιστεί μετά από δοκιμές. Στην γραμμή 19 δημιουργείται ένας πίνακα και τοποθετείται η μεταβλητή με το μήκος του, φυσικά θα μπορούσαμε να δηλώσουμε απευθείας τον αριθμό μέσα στον πίνακα αλλά ο κώδικας είναι χτισμένος ώστε να μπορεί να τροποποιηθεί και για άλλα project με διαφορετικά δεδομένα εισόδου. Στην συνέχεια καθορίζεται το μήκος του String που είναι 5 τα ψηφία, ένα για κάθε δάκτυλο συν 1 για το σύμβολο του δολαρίου «\$» το οποίο όταν δεχόμαστε ως δεδομένο στην σειριακή από το Script της Python που αναλύεται παρακάτω. Έπειτα δημιουργείται ένας counter και αρχικοποιείται στην τιμή 0 και ένα flag για να γνωρίζουμε όταν λαμβάνουμε στην είσοδο μας το σύμβολο «\$» να ξεκινάμε την διεργασία για την ανάλυση της πληροφορίας που δεχόμαστε και δημιουργείται ένα String που τοποθετείται μέσα και έπειτα θα σπάει σε κομμάτια για να χρησιμοποιηθούν μεμονωμένα. Το μήκος της πληροφορίας που αναμένεται είναι \$00000 στην περίπτωση που όλα τα δάκτυλα είναι κλειστά και 1 για κάθε δάκτυλο που χρειάζεται να είναι σηκωμένο. Στο εσωτερικό της Setup Function δίνεται η πληροφορία για baud rate του Serial, η συχνότητα των PWM και ένα σήμα για την προετοιμασία της επικοινωνίας του Board. Η Function η οποία είναι υπεύθυνη για την αποκωδικοποίηση της πληροφορίας που λαμβάνεται στο τερματικό είναι η receiveData. Χρησιμοποιεί έναν βρόχο While με την συνθήκη ότι η Serial πόρτα είναι διαθέσιμη. Διαβάζεται και αντιστοιχίζεται η τιμή αυτή στον χαρακτήρα c και ελέγχεται αν η τιμή του είναι ίση με το σύμβολο του «\$» ώστε να ενεργοποιηθεί το flag. Ελέγχεται εάν ο counter == True και συλλέγουμε την πληροφορία που δεχόμαστε αυξάνοντας τον counter μέχρι η τιμή του να είναι ίδια με το μέγεθος της πληροφορίας, στην συνέχεια χωρίζονται τα δεδομένα με την μέθοδο .substring και μετατρέπονται σε ακέραιους αριθμούς για να χρησιμοποιηθούν έπειτα σαν πληροφορία εισόδου για τα servo. Μόλις εντοπισθεί κενό στα εισερχόμενα δεδομένα μηδενίζεται ο counter και αλλάζει την τιμή του flag.

Στο δεύτερο κομμάτι του κώδικα ελέγχονται τα δεδομένα που έχουν αποθηκευτεί μέσα στον πίνακα και ανάλογα με την τιμή τους, δηλαδή 0 ή 1 παρέχεται η εντολή στους σερβοκινητήρες να κινηθούν. Διαπιστώνεται πως υπάρχει ακόμα μια Function με την ονομασία angleToPulse η οποία χρησιμοποιείται για τον καθορισμό και υπολογισμό του παλμού που χρειάζεται να παραχθεί ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή γωνία. Με την μέθοδο map μετασχηματίζεται ο παλμός ανάλογα με το servomin και servomax στο επιθυμητό 0-180°.

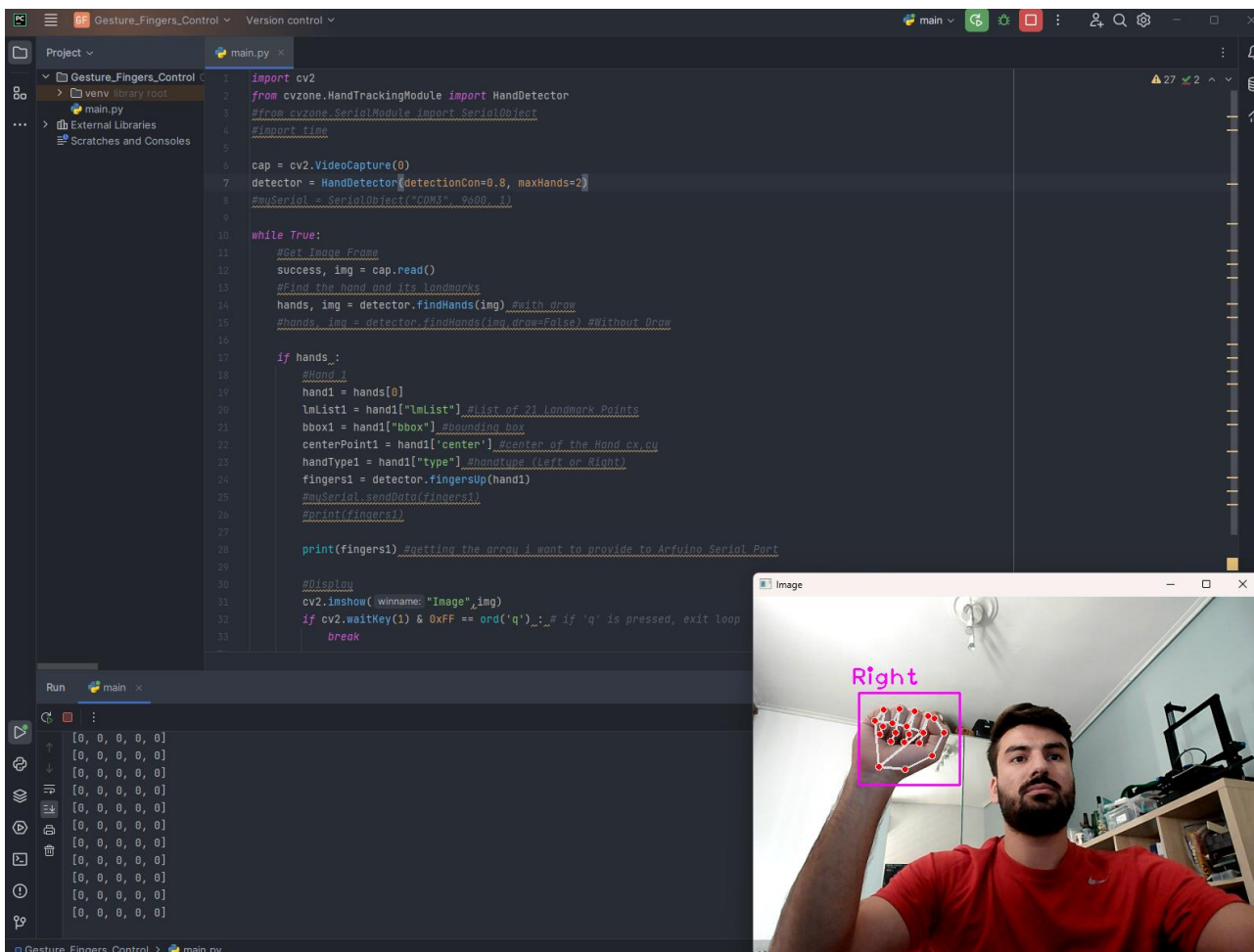
Το python Script έχει αναπτυχθεί επάνω στο IDE PyCharm και ο κώδικας είναι:

```
1 import cv2
2 from cvzone.HandTrackingModule import HandDetector
3 from cvzone.SerialModule import SerialObject
4
5 cap = cv2.VideoCapture(0)
6 detector = HandDetector(detectionCon=0.8, maxHands=2)
7 mySerial = SerialObject("COM3", 9600, 1)
8
9 while True:
10     #Get Image Frame
11     success, img = cap.read()
12     #Find the hand and its landmarks
13     hands, img = detector.findHands(img) #with draw
14     #hands, img = detector.findHands(img, draw=False) #Without
15 Draw
16
17     if hands :
18         #Hand 1
19         hand1 = hands[0]
20         lmList1 = hand1["lmList"] #List of 21 Landmark Points
21         bbox1 = hand1["bbox"] #bounding box
22         centerPoint1 = hand1['center'] #center of the Hand cx,cy
23         handType1 = hand1["type"] #handtype (Left or Right)
24         fingers1 = detector.fingersUp(hand1)
25         mySerial.sendData(fingers1)
26         print(fingers1)
27
28         print(fingers1) #getting the array i want to provide to
29 Arduino Serial Port#Display
30 cv2.imshow("Image",img)
31 if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q') : # if 'q' is
32 pressed, exit loop
33         break
```

Ανάλυση κώδικα: Τα βήματα που θα ακολουθούνται για τον προγραμματισμό έχουν στόχο ανίχνευση του χεριού στην Εικόνα που καταγράφει η κάμερα του υπολογιστή και η εξαγωγή λίστας 5 στοιχείων με τιμές 0 και 1 ώστε να τροφοδοτηθούν αυτά τα δεδομένα στην είσοδο της σειριακής του Arduino και από εκεί να λαμβάνεται η πληροφορία για τις τιμές που θα λάβει κάθε δάκτυλο. Ο κώδικας ξεκινάει με την εισαγωγή των απαραίτητων βιβλιοθηκών για την αναγνώριση του χεριού και των δακτύλων όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο ανιχνεύει την παλάμη και συνολικά 21 σημεία του χεριού. Δημιουργείται ένα αντικείμενο για να αποκτήσει πρόσβαση στην κάμερα του υπολογιστή και παράλληλα δημιουργείται ένα αντικείμενο HandDetector για να εντοπίσει και να παρακολουθήσει τα χέρια. Στην συνέχεια δημιουργείται ένας βρόχος και γίνεται εισαγωγή της μέθοδου HandDetector.findHands() για να εντοπιστούν τα χέρια του χρήστη στο

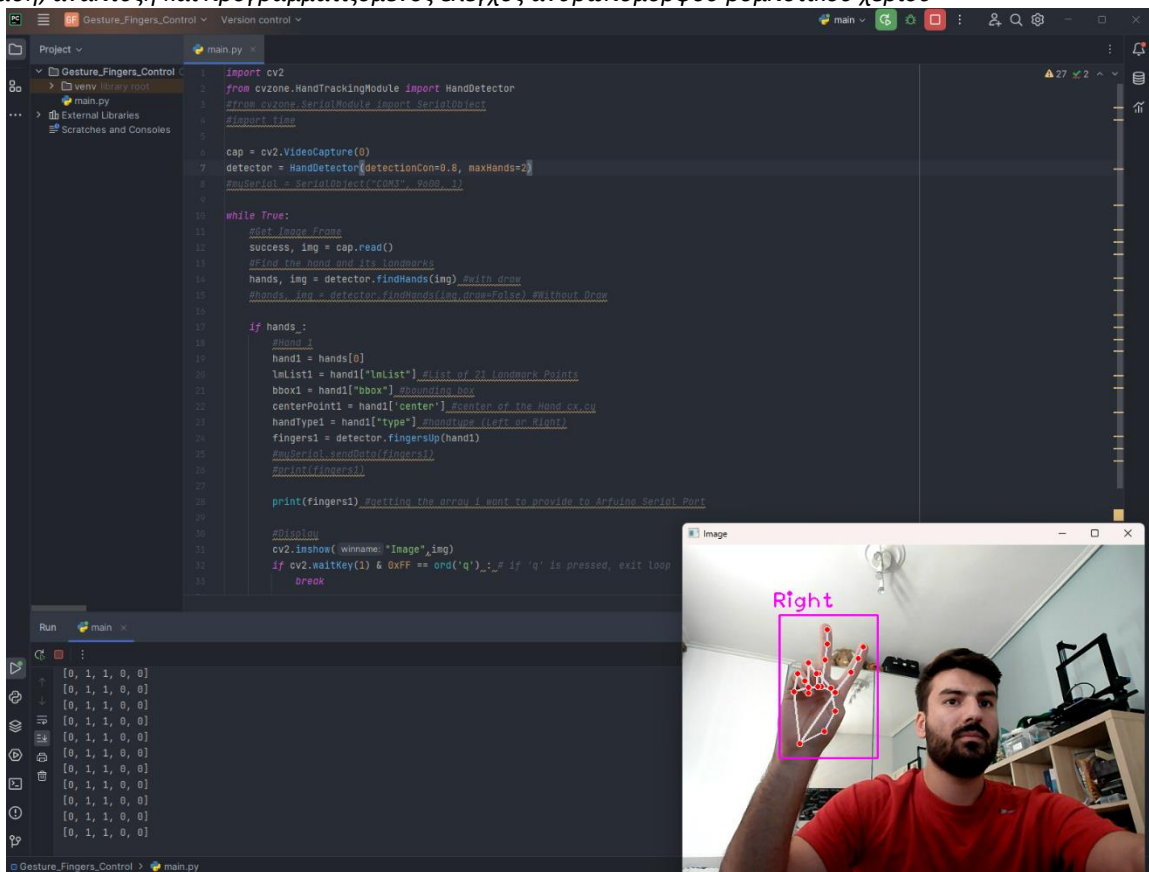
Σχεδίαση, ανάπτυξη και προγραμματιζόμενος έλεγχος ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού
πλαίσιο της Εικόνας, η μέθοδος επιστρέφει μια λίστα με αντικείμενα Hand, τα οποία παρέχουν την
πληροφορία για την θέση που βρίσκονται τα δάκτυλα του χεριού και εμφανίζεται στην Εικόνα ένα
πλαίσιο που αναγράφει ποιο χέρι εμφανίζεται στην Εικόνα (δεξί ή αριστερό). Εάν υπάρχουν χέρια
στην Εικόνα θα μας εκτυπώσει τον αριθμό των δακτύλων που είναι σηκωμένα. Τέλος παρέχεται η
πληροφορία της λίστας στην σειριακή του Arduino.

Μερικές εικόνες για να κατανοήσουμε καλύτερα την λειτουργία του προγράμματος.



Εικόνα 5.2.1 Αναγνώριση Χεριού Και Εκτύπωση Λίστας [0, 0, 0, 0, 0].

Στην επόμενη Εικόνα διαπιστώνεται ότι ο δείκτης και το μεσαίο δάκτυλο είναι σηκωμένα και στην
λίστα που εκτυπώνεται εμφανίζονται με «1» η 2^η και η 3^η θέση (Εικόνα 5.1.2).

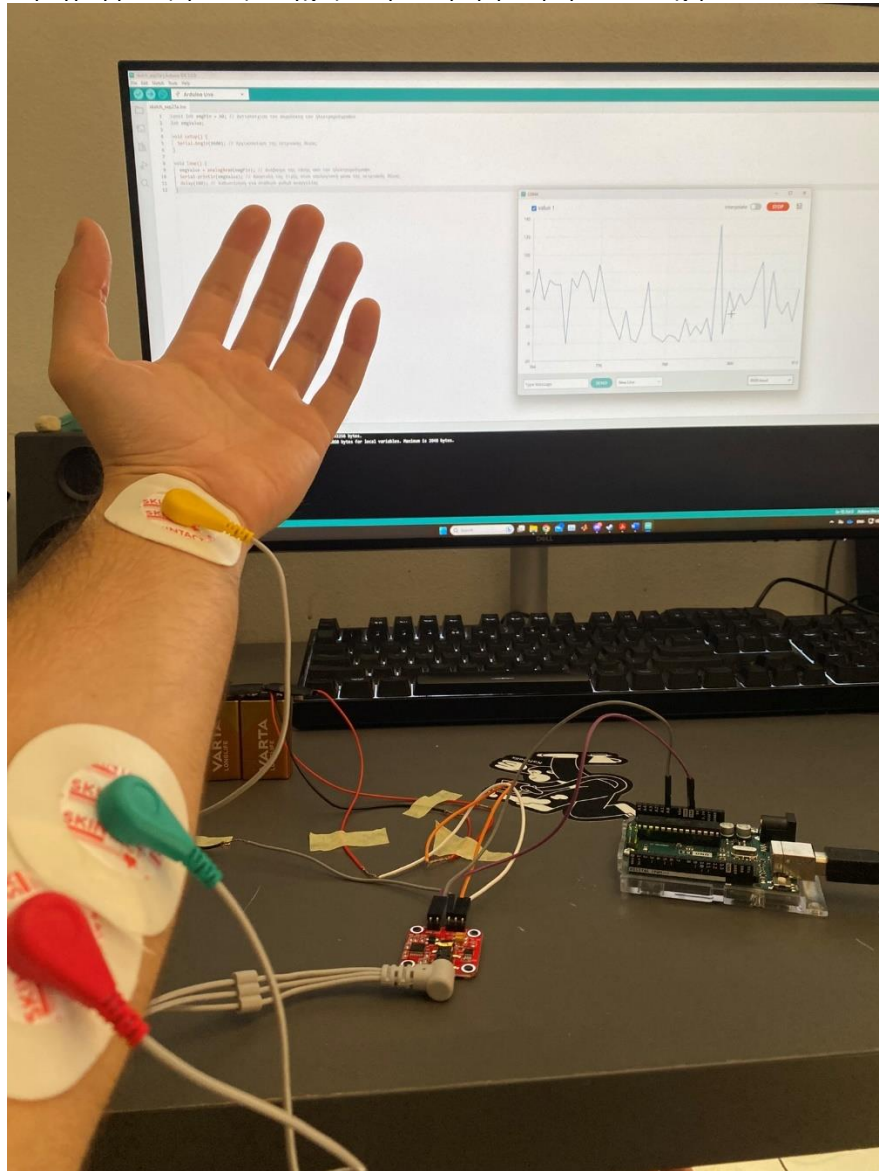


Εικόνα 5.2.2 Αναγνώριση Χεριού Και Εκτύπωση Λίστας [0, 1, 1, 0, 0].

Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η κίνηση των σερβοκινητήρων καθρεφτίζοντας τις κινήσεις του χεριού από την κάμερα στο ρομποτικό χέρι [25] [26].

5.3 Έλεγχος με ηλεκτρομυογράφημα

Για να επιτευχθεί ο έλεγχος του ρομποτικού χεριού με ηλεκτρομυογράφημα θα πρέπει να εκτελεστούν μερικά βήματα ώστε να υπάρξουν τα βέλτιστα αποτελέσματα στην καταγραφή του σήματος. Ξεκινώντας από την επιλογή του κατάλληλου σκελετικού μυ που καταγράφεται το σήμα αφού έχει μελετηθεί λεπτομερώς την ανατομία του χεριού. Θα χρειαστεί καθαρισμός της περιοχής που έχει επιλεγεί και τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια, ιδανικά όχι σε τριχωτές περιοχές. Η επιφάνεια που θα τοποθετηθούν όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενα κεφάλαια είναι μεταξύ της κινητικής μονάδας και του τένοντα δηλαδή στην κοιλία της μυϊκής ομάδας. Τα ηλεκτρόδια να βρίσκονται σε απόσταση 1-2cm μεταξύ τους και ώστε να βρίσκονται παράλληλα με την μυϊκή ίνα ακριβώς όπως εμφανίζεται στην Εικόνα 5.2.1.



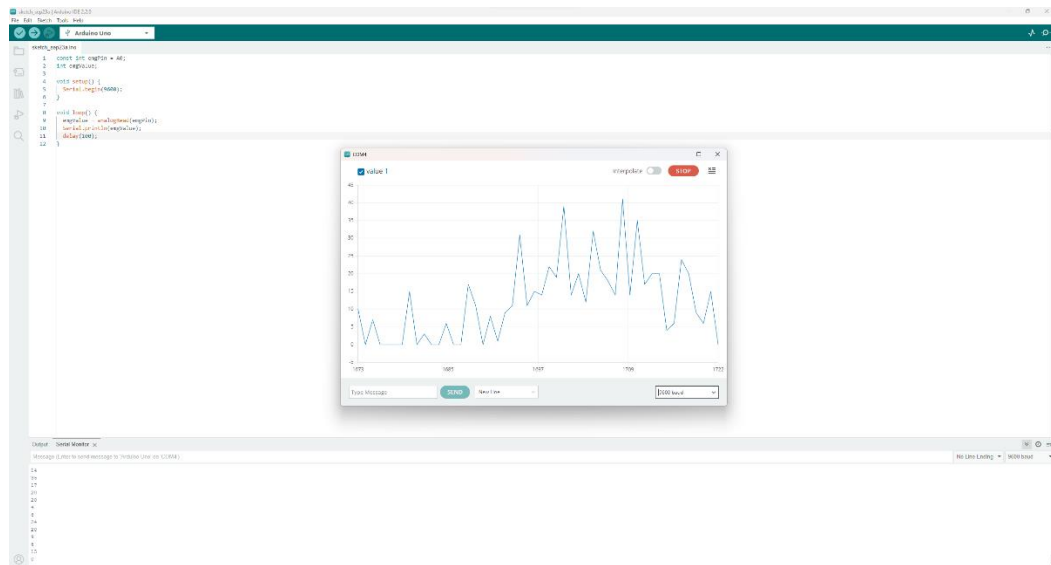
Εικόνα 5.3.1 Τοποθέτηση ηλεκτροδίων επάνω στο χέρι.

Ο κώδικας που φορτώνεται στο μικροελεγκτή του Arduino είναι :

```
1 const int emgPin = A0;  
2 int emgValue;  
3  
4 void setup() {  
5   Serial.begin(9600);  
6 }  
7  
8 void loop() {  
9   emgValue = analogRead(emgPin);  
10  Serial.println(emgValue);  
11  delay(100);  
12 }
```

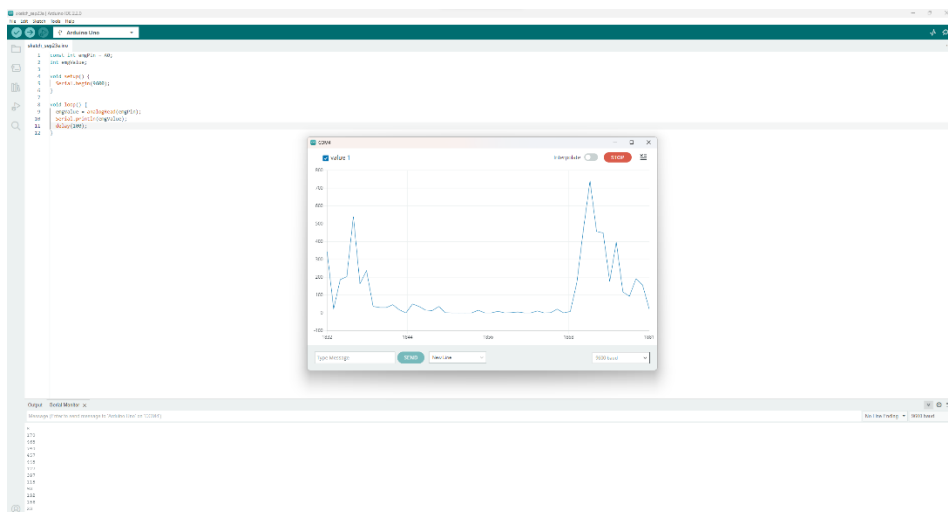
Σχεδίαση, ανάπτυξη και προγραμματιζόμενος έλεγχος ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού

Ωστε να εμφανίζονται στην σειριακή οι τιμές από το αναλογικό pin που έχει συνδεθεί στο Arduino. Με την βοήθεια του Arduino IDE (της εφαρμογής όχι στο Cloud) μας δίνετε η επιλογή του Serial Plotter ώστε να είναι εφικτή η απεικόνιση και η βέλτιστη κατανόηση και αντίληψη του σήματος.



Εικόνα 5.3.2 Απεικόνιση σήματος στο Serial Plotter.

Διαπιστώνεται ότι είναι εφικτό να διαθέτουμε τις τιμές της εξόδου ενώ παράλληλα απεικονίζεται και το γράφημα. Η Εικόνα 5.2.2. έχει καταγραφεί όταν το χέρι βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας και η μέγιστη τιμή που λαμβάνουμε είναι 35. Ενώ στην επόμενη Εικόνα μας δίνεται το γράφημα και οι τιμές όταν το χέρι βρίσκεται σε δράση.



Εικόνα 5.3.3 Απεικόνιση σήματος σε κατάσταση δράσης.

Η μέγιστη τιμή που λαμβάνεται από τον αισθητήρα ισούται με 720. Με την χρήση ενός threshold μεταξύ αυτών των τιμών ορίζεται πότε το χέρι θα κλείνει και πότε θα πρέπει να παραμείνει ανοικτό. Η μέγιστη τιμή του αισθητήρα είναι 1023 αφού ο ADC (Analog to Digital Converter) είναι 2^{10} τιμές δηλαδή από 0-1023 (συνολικά 1024 τιμές), μας πληροφορεί ότι η ανάλυση είναι 10-bit.

6 Κεφάλαιο 6^ο: Επίλογος

6.1 Εισαγωγή Κεφαλαίου 6

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η σύνοψη του έργου που επιτελέστηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία, καταγράφονται τα προβλήματα που δυσχέραιναν το έργο αυτό και επεξηγούνται οι ενέργειες που έγιναν για την επίλυσή τους. Επίσης καταγράφονται παρατηρήσεις και συμπεράσματα που προέκυψαν μετά την ανάπτυξη και την λειτουργία του προσθετικού μέλους, και τέλος παρατίθενται προτάσεις μελλοντικής εξέλιξης της παρούσας εργασίας.

6.2 Σύνοψη Εργασίας

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στην κατασκευή ενός ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού. Το ρομποτικό χέρι αποτελείται από εκτυπωμένα επιμέρους κομμάτια και υλικά όπως βίδες, κόλλα δύο υλικών και νήμα τα οποία χρησιμοποιούνται για την συγκρότηση και την στιβαρότητα του τελικού αποτελέσματος. Το βασικό σύστημα που χρησιμοποιείται για την κίνηση του είναι έξι σερβοκινητήρες, έναν για κάθε δάκτυλο και έναν προσαρτημένο στον καρπό υπεύθυνο για την περιστροφή του. Η καρδιά του χεριού που παρέχει επικοινωνία στον χρήστη και πρόσβαση στον έλεγχο των σερβοκινητήρων, είναι ένα Arduino Uno που συνδέεται με ένα PWM Driver. Όλοι οι σερβοκινητήρες συνδέονται στο PWM Driver, επιτρέποντας τον ομαλό και συγχρονισμένο έλεγχο του χεριού. Το ρομποτικό χέρι μπορεί να ελεγχθεί με δύο διαφορετικές μεθόδους:

1. Μέσω υπολογιστικής Όρασης

Με τη χρήση υπολογιστικής όρασης, ένα σύστημα κάμερας, το Arduino Uno και την βιβλιοθήκη ανοικτού κώδικα OpenCV, το ρομποτικό χέρι επιτυγχάνει να ελεγχθεί απομακρυσμένα. Αυτή η υλοποίηση επιτρέπει υψηλή ακρίβεια και απόδοση σε πραγματικό χρόνο(Real-Time). Με αυτόν τον τρόπο, είναι δυνατή η ανεξάρτητη κίνηση κάθε δακτύλου, αντανακλώντας τις κινήσεις του χρήστη στο ρομποτικό χέρι.

2. Μέσω Ηλεκτρομυογραφήματος

Με την χρήση ενός EMG αισθητήρα, δύο μπαταρίες και το Arduino Uno το ρομποτικό χέρι ελέγχεται μέσω ηλεκτρομυογραφήματος. Η ανίχνευση των σημάτων (δυναμικό δράσης) που παράγεται στις μυϊκές ομάδες που επιλέγουμε να συνδέσουμε επάνω τα ηλεκτρόδια επιτρέπει στον χρήστη να ελέγχει το ρομποτικό χέρι μέσω των φυσικό κινήσεων των δικών του δακτύλων με μοναδικό περιορισμό την ανεξάρτητη κίνηση τους.

Αυτές οι δύο υλοποιήσεις επιτρέπουν τον απομακρυσμένο και ακριβή έλεγχο του ρομποτικού χεριού, προσφέροντας ένα προηγμένο σύστημα που μπορεί με μικρές μελλοντικές βελτιώσεις να χρησιμοποιηθεί σε ποικίλες εφαρμογές, όπως η χειρουργική ρομποτική, η αποκατάσταση μελών ατόμων με αναπηρίες αλλά και πολλές διάφορες εφαρμογές που απαιτούν απομακρυσμένο έλεγχο.

6.3 Προβλήματα και Επίλυση

Στην πορεία της ανάπτυξης της διπλωματικής εργασίας εμφανίστηκαν διάφορα προβλήματα στην κατασκευή αλλά και στο προγραμματιστικό κομμάτι του ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού. Κατά την συναρμολόγηση διαπιστώθηκαν προβλήματα εκτύπωσης καθώς η εκτύπωση αν και αρκετά λεπτομερής δεν αποδίδει ακριβώς το σχέδιο που παρέχουμε αλλά υπάρχουν μικρές αποκλίσεις. Σε

αυτήν την περίπτωση υπήρξαν κομμάτια που επανεκτυπώθηκαν και άλλα που δέχτηκαν μικρές τροποποιήσεις μετά την εκτύπωσή τους. Στην συνέχεια μεγάλη βάση δόθηκε στο νήμα που χρησιμοποιήθηκε, διότι εκτός από αντοχή όπου είναι ο πρώτος παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη η διατομή του νήματος, παίζει εξίσου καθοριστικό ρόλο. Στην περίπτωση μας χρησιμοποιήθηκε νήμα 0.3mm με αντοχή 20 κιλών αλλά διαπιστώθηκε μετά την κατασκευή πως δυσκόλευε αρκετά κομμάτια με την σύνδεση των σερβοκινητήρων, για τον λόγο αυτό αποσυναρμολογήθηκε ολόκληρο το χέρι και χρησιμοποιήθηκε νέο νήμα 0.5mm και ανοχής 50 κιλών. Η τροφοδοσία του συστήματος αποτέλεσε πρόκληση καθώς έπρεπε να αποδοθεί στο σύστημα η κατάλληλη ισχύ ώστε να μπορέσουν να λειτουργήσουν όλοι οι σερβοκινητήρες μαζί και με βέλτιστο τρόπο. Η λύση που δόθηκε σε αυτό το κομμάτι ήταν ο υπολογισμός της μέγιστης ισχύος που θα χρησιμοποιούσε ένας σερβοκινητήρας και καθώς διαθέτουμε συμμετρικά φορτία πολλαπλασιάζουμε την ισχύ επί τον αριθμό των servo και διαπιστώνουμε την απαραίτητη ισχύ, σε αυτό το πλαίσιο χρησιμοποιήθηκε μια παλιά τροφοδοσία υπολογιστή όπου παρέχει αρκετές εξόδους με διαφορετικές τάσεις και ρεύμα σε κάθε έξοδο. Στο κομμάτι του προγραμματισμού το μοντέλο αναγνώρισης και η σύνδεση του Arduino ήταν πρόκληση καθώς έπρεπε να γίνει χρήση της εξόδου από το ένα κομμάτι στο άλλο χωρίς ο κώδικας να παρέχεται στην ίδια γλώσσα ούτε στο ίδιο IDE. Τέλος μερικές φορές το IDE που βρίσκεται το Python script αντιμετωπίζει καθυστερήσεις όπου για αρχή του δόθηκε περισσότερη RAM να δουλέψει με ενθαρρυντικά αποτελέσματα στην απόδοση, κατόπιν διαπιστώνεται πως το σύστημα «τρέχει» βέλτιστα σε CMD (Command Window) με την εγκατάσταση κατάλληλων βιβλιοθηκών και μερικών ενεργειών που χρειάζονται κατά την διάρκεια εγκατάστασης της python.

6.4 Παρατηρήσεις - Συμπεράσματα

Μετά την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας τα συμπεράσματα που αποφανθήκαμε είναι πως οι λειτουργίες του ρομποτικού χεριού έχουν αρκετά καλή απόκριση, με σημαντικότερο αποτέλεσμα το ρομποτικό χέρι να διαθέτει την ικανότητα να συγκρατήσει ένα αντικείμενο. Κατά την διάρκεια της υλοποίησης διαπιστώθηκε πως η συναρμολόγηση είναι ένα αρκετά απαιτητικό κομμάτι καθώς πρέπει όλα τα κομμάτια να αποδώσουν σε ένα στιβαρό αποτέλεσμα και να μπορέσουν να λειτουργήσουν με βάση των προγραμματιζόμενων λειτουργιών. Το υλικό κατασκευής, πλαστικό (PLA) ενώ διαθέτει στιβαρότητα και ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα, όμως αποτελεί μειονέκτημα για την κατασκευή καθώς δεν θα μπορούσε να προσαρμοστεί με ευκολία σε ένα ακρωτηριασμένο άκρο και σε περιπτώσεις όπου θα χρειαστεί να ασκηθεί υψηλή πίεση ή να ανυψωθεί ένα βαρύ αντικείμενο οι σερβοκινητήρες πολύ πιθανό να αποτύχουν. Χρειάζεται όμως να τονίσουμε σε αυτό το σημείο ότι με την προσαρμογή ενός διαφορετικού σχεδίου και διαφορετικού υλικού η τρισδιάστατη εκτύπωση να ήταν η βέλτιστη επιλογή μας. Η πρώτη λειτουργία που προσδίδει στο χέρι τον απομακρυσμένο έλεγχο με την δυνατότητα να καθρεπτίζονται οι κινήσεις του χρήστη από την κάμερα στο ρομποτικό χέρι είχε αρκετές απαιτήσεις σε ότι αφορά τον προγραμματισμό τόσο στο script που χρησιμοποιείται σε python για την real-time αναγνώριση και στην επικοινωνία μεταξύ των σειριακών ώστε να καταφέρουμε να αποτυπώσουμε την πληροφορία στο σύστημα με βέλτιστο και αποτελεσματικό τρόπο. Διαπιστώνεται ότι είναι το πιο δυνατό σημείο της υλοποίησης καθώς τα αποτελέσματα που εμφανίστηκαν είναι αρκετά ικανοποιητικά και θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν άμεσα σε εφαρμογή με μερικές τροποποιήσεις στο IDE ώστε να υπάρχει βέλτιστη απόδοση χωρίς μικρές διακοπές. Η δεύτερη λειτουργία που απαρτίζεται από τον αισθητήρα για την καταγραφή του ηλεκτρομυογραφήματος και τον έλεγχο του χεριού διαπιστώνουμε ότι ενώ το αποτέλεσμα είναι

Σχεδίαση, ανάπτυξη και προγραμματιζόμενος έλεγχος ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού ικανοποιητικό όπου παρά την δυσκολία της καταγραφής του σήματος η ανίχνευση επιτεύχθηκε με επιτυχία και αποτυπώθηκε στο άκρο, δεν είναι εφικτός ο διαχωρισμός του σήματος ώστε να διατεθεί μεμονωμένος έλεγχος για κάθε δάκτυλο αλλά μόνο ο μαζικός έλεγχος όλων των δακτύλων. Σαφώς αυτός είναι ένας μεγάλος περιορισμός για πρόσθετο μέλος σε πιθανή εφαρμογή, ο αισθητήρας θα χρειαστεί αναβάθμιση. Συνολικά οι λειτουργίες έχουν ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα με τα υπέρ και τα κατά τους όπου αρκετά πιθανά με μελλοντικές βελτιώσεις να αποδοθεί καλύτερο αποτέλεσμα.

6.5 Μελλοντικές Βελτιώσεις

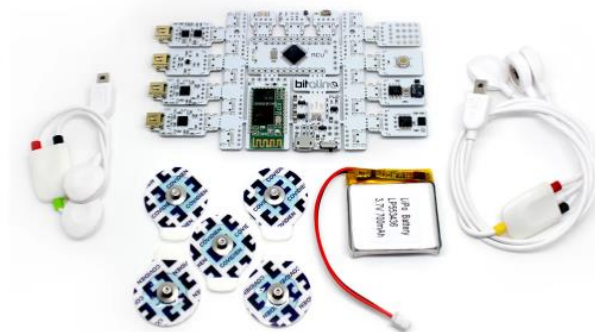
Μετά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας διαπιστώθηκε ότι ο αισθητήρας EMG περιορίζει αρκετά τις λειτουργίες του χεριού, αφού δεν ήταν εφικτός ο διαχωρισμός του σήματος για μεμονωμένο έλεγχο των δακτύλων. Για αυτό μερικές προτάσεις μελλοντικής εξέλιξης εμφανίζονται παρακάτω.

- Ο αισθητήρας Myoband EMG συγκαταλέγεται μέσα στις βέλτιστες επιλογές για αναγνώριση και διαχωρισμό σημάτων ηλεκτρομυογραφήματος, διαθέτοντας ασύρματη λειτουργία με τον μικροελεγκτή καθιστώντας την εφαρμογή του αρκετά πιο ευέλικτη και αποδοτική.



Εικόνα 6.5.1 Myoband EMG sensor.

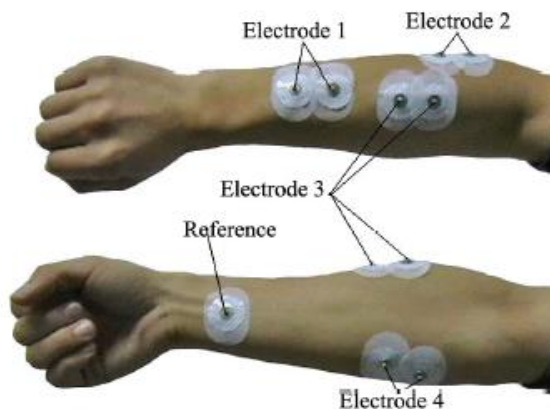
- Η πλακέτα BITalino σχεδιασμένη για την λήψη βιοϊατρικών σημάτων με σχετικά χαμηλό κόστος διαθέτοντας αισθητήρα μυογραφήματος διαθέτοντας μονάδα Bluetooth για ασύρματη σύνδεση.



Εικόνα 6.5.2 Πλακέτα BITalino.

Σχεδίαση, ανάπτυξη και προγραμματιζόμενος έλεγχος ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού

- Ακόμα μια εναλλακτική μπορεί να είναι η χρήση 4^{ων} Myoware αισθητήρων τοποθετημένοι σε τέσσερα διαφορετικά σημεία για την καταγραφή σήματος για το κάθε χέρι ξεχωριστά. Τα σημεία παρουσιάζονται στην Εικόνα 0.3.



Εικόνα 6.5.3 Σημεία σύνδεσης αισθητήρων Myoware.

Επιπροσθέτως μια επιλογή που αξίζει να αναφερθεί η οποία θα μπορούσε να αποτελέσει μεγάλη αλλαγή σε ολόκληρη την υλοποίηση θα ήταν η αλλαγή της πλακέτας του Arduino Uno με μια πλακέτα Raspberry Pi. Η πλακέτα του Arduino είναι μια αρκετά καλή επιλογή με βάση την τιμή αλλά καθίσταται αρκετά περιοριστική επιλογή στην επεξεργασία και την απόδοση καθώς και την συνδεσιμότητα. Για παράδειγμα ο αισθητήρας Myoware θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μόνο με Raspberry Pi πλακέτα. Επιπλέον σε περίπτωση όπου θα χρειαστεί να εισάγουμε πολύπλοκα μοντέλα νευρωνικών η επιλογή του Raspberry αποτελεί μονόδρομο στις επιλογές μας με βάση την τεράστια διαφορά στην υπολογιστική ισχύ μεταξύ των δύο πλακετών.

Σχετικά με το σχέδιο του ρομποτικού χεριού θα μπορούσε να φανεί εξαιρετικά χρήσιμος ο σχεδιασμός σημείου υποδοχής του ακρωτηριασμένου άκρου καθώς και μια βέλτιστη χωροθέτηση για την τοποθέτηση των servo ώστε η κατασκευή να μειώσει σημαντικά το βάρος της και να αποκτήσει ευελιξία. Τέλος στο Site του InMoov διατίθενται ανανεωμένα σχέδια για κατασκευή του ρομποτικού άκρου όπου θα διαθέτει στα άκρα των δακτύλων αισθητήρες αφής για την ρύθμιση πίεσης ανάλογα με την περίσταση, το πιάσιμο ενός αυγού, μια χειραψία κ.α. Διατίθενται δύο χαμηλού κόστους επιλογές μία εκ των οποίων είναι η χρήση ενός αισθητήρα Hall όπου αναφέρεται ότι διαθέτει μεγάλη ακρίβεια από την πρότερη έκδοση με αφρώδες υλικό.

[22] [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://inmoov.fr/>.

[23] [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.globalspec.com/reference/10801/179909/chapter-3-ac-and-dc-motors-ser>
28 9 2023].

[24] M. Zahak, «Signal Acquisition Using Surface EMG and Circuit Design Considerations for Robotic Prosthesis,» 2012.

[25] [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://github.com/opencv/opencv>. [Πρόσβαση 23 9 2023].

[26] [Ηλεκτρονικό]. Available: https://github.com/vish2001/Hand_Tracking_Projects. [Πρόσβαση 23 9 2023].