



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ Π.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω
εύκαμπτων αισθητήρων**

Παναγιώτα Κ. Καγιούλη

Εισηγητής Πτυχιακής: Χρήστος Καμπούρης

**ΑΘΗΝΑ
ΙΟΥΝΙΟΣ 2019**

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων
αισθητήρων**

Παναγιώτα Κ. Καγιούλη

A.M. 43838

Εισηγητής Πτυχιακής : Χρήστος Καμπούρης

Εξεταστική Επιτροπή :

Χρήστος Καμπούρης

Παναγιώτης Δροσινόπουλος

Ιωάννης Βογιατζής

Ημερομηνία εξέτασης : 25/6/2019

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Καγιούλη Παναγιώτα, του Κωνσταντίνου, με αριθμό μητρώου 43838 φοιτήτρια του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Υπολογιστών Π.Ε. του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε.) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε., ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονείμει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφαση της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση της Π.Ε. με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε. πρέπει να ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού 6μήνου από την ημερομηνία ανάθεσης της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18, παρ. 5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού.»

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου που ήταν πάντα δίπλα μου, πρόθυμος να με βοηθήσει και να μου λύσει κάθε απορία. Το επόμενο “ευχαριστώ” ανήκει στους συμφοιτητές μου που ήταν μαζί μου κατά τη διάρκεια των εκτυπώσεων. Δεν ήταν ποτέ βαρετά...

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και ιδιαίτερα τον αδερφό μου που παρά τις δυσκολίες ήταν αρκετά υπομονετικοί από την αρχή μέχρι το τέλος της εργασίας αλλά και που με στήριξαν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια της φοίτησης στο τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να βοηθήσει όλους/ες εκείνους/ες που αγαπούν την ρομποτική να την αγαπήσουν ακόμα περισσότερο αλλά και εκείνους/ες που τώρα ξεκινούν τα πρώτα τους βήματα ελπίζοντας να ανακαλύψουν την μαγεία που βρίσκεται πίσω απ' την τεχνολογία.

Στο 1^ο κεφάλαιο επεξηγείται τι είναι το Arduino, ο σκοπός του και οι εκδόσεις του. Στο 2^ο κεφάλαιο αναφέρονται διάφορες εφαρμογές ρομποτικής που υπάρχουν είτε στις βιομηχανίες είτε εφαρμογές που μπορούμε να δημιουργήσουμε εμείς οι ίδιοι. Το 3^ο κεφάλαιο είναι αποκλειστικά αφιερωμένο στις εκδόσεις του Arduino όπου αναλύονται τα χαρακτηριστικά τους. Στο 4^ο κεφάλαιο γίνεται επεξήγηση των 3D εκτυπωτών, οι τεχνικές 3D εκτύπωσης όπως και τα υλικά εκτύπωσης.

Απ' το 5^ο κεφάλαιο και ύστερα μπαίνουμε στο πρακτικό μέρος εξηγώντας τα κύρια υλικά της πτυχιακής εργασίας. Στο 6^ο κεφάλαιο μιλάμε για τα μέρη του βραχίονα, το λογισμικό και τον εκτυπωτή που χρησιμοποιήθηκε για την εκτύπωση των κομματιών καθώς και την όλη προετοιμασία της εκτύπωσης. Στο 7^ο κεφάλαιο γίνονται μετρήσεις, συγκολλήσεις, συνδέσεις και δοκιμές πάνω σε breadboard, διάτρητη πλακέτα κ.ά. Στο τελευταίο κεφάλαιο δείχνουμε βήμα βήμα τα στάδια συναρμολόγησης, ξεκινώντας από το λιμάρισμα και τη διαδικασία λείανσης των κομματιών μέχρι και την συναρμολόγηση του ρομποτικού βραχίονα.

ABSTRACT

The present dissertation was elaborated during the attendance at the Department of Computer Science and Computer Engineering at the University of Western Attica. The purpose of this dissertation is to help all those who love robotics to love it even more, but also those who are now starting their first steps hoping to discover the magic behind technology.

The first chapter explains what Arduino is, its purpose and its versions. In the second chapter various robotics' applications are mentioned that exist either in industries or applications that we can create for ourselves. The third chapter is dedicated exclusively to the Arduino versions where their characteristics are analyzed. The fourth chapter explains 3D printers, 3D printing techniques as well as printing materials.

From the fifth chapter and on, we enter in the practical part explaining the main materials of the dissertation. In sixth chapter we analyze the parts of the arm, the software and the printer that was used to print the pieces as well as the whole preparation of the print. In the seventh chapter measurements, welds, connections and tests on breadboard, perforated board etc. are presented. In the last chapter we guide the reader throughout the whole procedure, step by step starting from the filing and polishing process of the pieces to the full assembly of the robotic arm.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Arduino, flex, Cura, σέρβο, I3 Prusa Pro

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	8
Abstract	9
1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	19
1.1 Τι είναι το Arduino και ο σκοπός αυτού	19
1.2 Οι υπολογιστές είναι παντού!	19
1.3 Οι μικροελεγκτές.....	19
1.4 Εφαρμογές	20
1.5 Το Arduino.....	21
1.6 Εκδόσεις Arduino.....	23
1.7 Περισσότερα για το Arduino UNO.....	30
2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	32
2.1 Εφαρμογές Ρομποτικής και όχι μόνο	32
2.1.1 Το έργο FarmBot.....	32
2.2 Nirygo, ένας ρομποτικός βραχίονας 6 αξόνων	35
2.2.1 Το Nirygo ρομπότ ως παράδειγμα τροφοδότησης από το Arduino.....	35
2.2.2 Arduino Mega + RAMPS 1.4, ένας υπέροχος συνδυασμός	36
2.2.3 ROS – Robot Operating System	37
2.3 Δείκτης σεισμού με χρήση Arduino	37
2.4 Arduino 3D Printer	39
2.4.1 EWaste 3DPrinter	40
3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	41
3.1 Εκδόσεις Arduino με έμφαση στο Arduino Uno	41
3.1.1 Arduino Uno.....	41
3.1.1.1 Προγραμματισμός	42
3.1.1.2 Διαφορές με άλλες πλακέτες	42
3.1.1.3 Είσοδος και Έξοδος	43
3.2 Arduino Duemilanove	44
3.2.1 Τροφοδοσία	45

3.3	Arduino Diecimila.....	45
3.4	Arduino Bluetooth	46
3.5	Arduino Serial	47
3.6	Severino (S3V3)	47
3.7	Arduino Mini.....	48
3.8	Mini Usb Adapter	49
4.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	50
4.1	Τεχνολογία 3D εκτυπώσεων	50
4.1.1	Ιστορική Αναδρομή	50
4.2	Εισαγωγή στους υπολογιστές στους 3D εκτυπωτές.....	50
4.3	Διαδικασία κατασκευής ενός 3D αντικειμένου	51
4.3.1	Οι πιο δημοφιλής τεχνικές εκτύπωσης 3D βασιζόμενες σε λέιζερ	51
4.3.1.1	FDM	51
4.3.1.2	SLA	53
4.3.1.3	SLS	55
4.4	Υλικά 3D Εκτύπωσης.....	57
4.4.1	PLA (PolyLactic Acid)	57
4.4.2	ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)	57
4.5	Τεχνικές υφής επιφάνειας με βάση το λέιζερ.....	57
4.6	Καινοτομίες και πλεονεκτήματα της τρισδιάστατης εκτύπωσης.....	59
5.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	61
5.1	Εισαγωγή	61
5.2	Εισαγωγή στους αισθητήρες	62
5.2.1	Αισθητήρας Flex	62
5.3	MG995 σερβοκινητήρας	64
5.4	Αντίσταση	66
5.5	Πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος – Printed Circuit Board (PCB)	67
5.6	Arduino Uno πλακέτα.....	68
5.7	Breadboard.....	69

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Πλακέτα Arduino UNO	22
Εικόνα 1.2: Πλακέτα Arduino UNO	24
Εικόνα 1.3: Arduino Mega 2650.....	26
Εικόνα 1.4: Lilypad.....	27
Εικόνα 1.5: Arduino nano.....	28
Εικόνα 1.6: ArduinoRobot	28
Εικόνα 1.7: ArduinoEsplora.....	29
Εικόνα 1.8: Intel Galileo	29
Εικόνα 1.9: Ο «χάρτης» του Arduino UNO.....	30
Εικόνα 2.1: Συγκέντρωση και χρησιμοποίηση δεδομένων καιρού σε πραγματικό χρόνο για τη σωστή εκμετάλλευση του FarmBot.....	33
Εικόνα 2.2: Το FarmBot με μικρές ηλιακές εγκαταστάσεις και συστήματα συλλογής βροχής.....	34
Εικόνα 2.3: Το FarmBot με χρήση φώτων για τη συγκομιδή.....	34
Εικόνα 2.4: Niryo, ένα μικρό συνεργάσιμο ρομπότ, ικανό να πραγματοποιήσει ένα άπειρο αριθμό σύνθετων εργασιών	35
Εικόνα 2.5: Arduino Mega με RAMPS 1.4 και 2 ανεμιστήρες για να δροσίξει τους οδηγούς του κινητήρα	36
Εικόνα 2.6: Η πλακέτα Raspberry (στα αριστερά) ελέγχοντας την πλακέτα Arduino.....	37
Εικόνα 2.7: Επιταχυνσιόμετρο ADXL335.....	38
Εικόνα 2.8: Λειτουργία αρχικοποίησης.....	39
Εικόνα 2.9: EWaste 3DPrinter	40
Εικόνα 3.1: Arduino Uno REV3.....	42
Εικόνα 3.2: Arduino Duemilanove.....	44
Εικόνα 3.3: Arduino Diecimila	46
Εικόνα 3.4: Πλακέτα Arduino Bluetooth	46
Εικόνα 3.5: Arduino Serial.....	47
Εικόνα 3.6: Arduino Single-Sided Serial Board (version 3).....	48
Εικόνα 3.7: Arduino Mini 03.....	48
Εικόνα 3.8: Mini Usb Adapter 03.....	49

Εικόνα 4.1: Η προσέγγιση της FDM εφαρμόστηκε στην πρόσοψη της εκκλησίας του S. Giorgio στη Βενετία.....	52
Εικόνα 4.2: Τεχνική εκτύπωσης SLA στην αναπαραγωγή της προτομής του Francesco II Gonzaga.....	53
Εικόνα 4.3: Σχέδιο SLA. Συσκευή του Hull C.W για παραγωγή Τρισδιάστατων Αντικειμένων από Στερεολιθογραφία, 1986	54
Εικόνα 4.4: Η διαδικασία SLS	56
Εικόνα 5.1: Τα αγώγιμα σωματίδια χωρίζονται περαιτέρω – 70kΩ.....	63
Εικόνα 5.2: Τα αγώγιμα σωματίδια κοντά – 30kΩ.....	63
Εικόνα 5.3: Flex sensor bend direction	64
Εικόνα 5.4: Διαστάσεις TowerPro MG995.....	65
Εικόνα 5.5: Servo Motor MG995 Datasheet.....	66
Εικόνα 5.6: Χαρακτηριστικά TowerPro MG995 Servo.....	66
Εικόνα 5.7: Απεικόνιση αντιστάτη	67
Εικόνα 5.8: Πλακέτα Διάτρητη.....	68
Εικόνα 5.9: Πλακέτα Arduino Uno.....	69
Εικόνα 5.9.1: Breadboard	70
Εικόνα 6.1: Βιβλιοθήκη εξαρτημάτων σώματος InMoov: Δεξί χέρι	72
Εικόνα 6.2: Το περιβάλλον Cura.....	74
Εικόνα 6.3: Η λειτουργία Layer view	76
Εικόνα 6.4: Φόρτωση και αποθήκευση αρχείων	77
Εικόνα 6.5: Μενού του πίνακα ελέγχου LCD.....	78
Εικόνα 6.5.1: Κατεύθυνση του κινητήρα μέσω του Πίνακα Ελέγχου LCD.....	79
Εικόνα 6.5.2: Κατεύθυνση κινητήρα	79
Εικόνα 6.5.3: Μετακίνηση αξόνων X, Y & Z	80
Εικόνα 6.5.4: Αρχική θέση κινητήρα.....	80
Εικόνα 6.5.5: Ξεκλείδωμα κινητήρα	81
Εικόνα 6.5.6: Βήματα ρύθμισης θερμοκρασίας	81
Εικόνα 6.5.7: Επιλογή θερμοκρασίας.....	82
Εικόνα 6.5.8: Έλεγχος θερμοκρασίας ακροφυσίου, κρεβατιού & ταχύτητας ακροφυσίου	82
Εικόνα 6.5.9: Προθέρμανση υλικού PLA ή ABS.....	83
Εικόνα 6.6: Ρύθμιση απόστασης ακροφυσίου με την επιφάνεια εστίας	84

Εικόνα 6.7: Μηχανισμός.....	85
Εικόνα 6.8: Χειροκίνητη τροφοδοσία.....	86
Εικόνα 6.9: Εκτύπωση από SD CARD	87
Εικόνα 6.9.1: Επιλογή gcode αρχείου.....	87
Εικόνα 6.9.2: Θέρμανση κεφαλής εξώθησης και εστίας	88
Εικόνα 6.9.3: Ολοκλήρωση θέρμανσης	88
Εικόνα 6.9.4: Ο εκτυπωτής που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια εκτύπωσης	89
Εικόνα 6.9.5: Κατά τη διάρκεια εκτύπωσης του αρχείου RobCableBackV3.stl στο 4%	90
Εικόνα 6.9.6: Κατά τη διάρκεια εκτύπωσης του αρχείου RobCableBackV3.stl στο 96%	90
Εικόνα 6.9.7: Χρήση του προγράμματος Cura. Φόρτωση του αρχείου coverfinger1.stl.....	91
Εικόνα 6.9.8: Εκτύπωση του αρχείου coverfinger1.stl	91
Εικόνα 7.1: Μέτρηση αντίστασης flex sensor 2.2" με πολύμετρο σε επίπεδη αντίσταση.....	92
Εικόνα 7.2: Μέτρηση αντίστασης flex sensor 2.2" με πολύμετρο σε θέση κάμψης	93
Εικόνα 7.3: Συνδεσμολογία flex sensor.....	95
Εικόνα 7.4: Το περιβάλλον του προγράμματος Arduino(IDE).....	96
Εικόνα 7.5: Επεξήγηση των εικονιδίων του Arduino (IDE).....	97
Εικόνα 7.6: Κώδικας για τις αναλογικές τιμές ενός Flex	98
Εικόνα 7.6.1: Αναλογικές τιμές του flex σε ευθεία κλίση.....	99
Εικόνα 7.6.2: Αναλογικές τιμές του flex σε κάμψη.....	99
Εικόνα 7.7: Κώδικας για την μετατροπή αναλογικών σε ψηφιακών τιμών	100
Εικόνα 7.8: Συνδεσμολογία σέρβο κινητήρα	101
Εικόνα 7.8.1: Ο κώδικας για την κίνηση ενός σερβοκινητήρα	101
Εικόνα 7.9: Συγκόλληση Flex αισθητήρα	102
Εικόνα 7.9.1: Τελικό αποτέλεσμα μετά την συγκόλληση των αισθητήρων και την τοποθέτηση των θερμοσυστελλόμενων	103
Εικόνα 7.9.2: Η κάτω πλευρά συγκόλλησης της διάτρητης πλακέτας	105
Εικόνα 7.9.3: Η πάνω πλευρά συγκόλλησης της διάτρητης πλακέτας.....	106
Εικόνα 8.1: Γυαλόχαρτα έντονης λείανσης.....	107

Εικόνα 8.1.1: Εργαλείο περιστροφής υψηλής ταχύτητας	108
Εικόνα 8.1.2: Λιμάρισμα άρθρωσης δακτύλου με ηλεκτρικό τρυπάνι.....	109
Εικόνα 8.2: Ασετόν, γάντια και μάσκα	110
Εικόνα 8.2.1: Χρήση ασετόν για λείανση ABS υλικού	111
Εικόνα 8.3: Συναρμολόγηση χεριού	112
Εικόνα 8.3.1: Ολοκλήρωση συναρμολόγησης παλάμης	113
Εικόνα 8.4: Ελαστικό κορδόνι	114
Εικόνα 8.4.1: Πετονιά.....	114
Εικόνα 8.4.2: Κόμπος Clinch.....	115
Εικόνα 8.4.3: Τοποθέτηση πετονιάς και κορδονιού στο μεσαίο δάκτυλο	116
Εικόνα 8.4.4: Τοποθέτηση πετονιάς και κορδονιού σε όλα τα δάκτυλα	116
Εικόνα 8.5: Κόλληση δείκτη	118
Εικόνα 8.6: Τοποθέτηση σέρβο πάνω στον σέρβο υποδοχέα	119
Εικόνα 8.6.1: Τρίψιμο κυλίνδρων	120
Εικόνα 8.6.2: Σταθεροποίηση σέρβο	121
Εικόνα 8.6.3: Τοποθέτηση RobCableFrontV3 και RobCableBackV3.....	122
Εικόνα 8.6.4: Κάτοψη σέρβο υποδοχέα.....	123
Εικόνα 8.7: Συνδεσμολογία servo	124
Εικόνα 8.7.1: Καλώδια βραχυκύκλωσης	125
Εικόνα 8.8: Θέσεις 0°, 90° & 180° μετά την προσαρμογή.....	126
Εικόνα 8.8.1: Κώδικας για τη ρύθμιση των πέντε σέρβο.....	127
Εικόνα 8.8.2: Ολοκληρωμένη συνδεσμολογία γαντιού.....	128
Εικόνα 8.8.3: Ολοκληρωμένη συνδεσμολογία Flex και Servo.....	129
Εικόνα 8.8.4: Κώδικας ρομποτικού βραχίονα	130
Εικόνα 8.9: Πάνω και κάτω μέρος του ρομποτικού βραχίονα	132
Εικόνα 8.9.1: Ολοκληρωμένος Ρομποτικός βραχίονας.....	133

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1: Βασικά χαρακτηριστικά Arduino UNO	24
Πίνακας 1.2: Βασικά χαρακτηριστικά Arduino mega 2560	26
Πίνακας 1.3: Βασικά χαρακτηριστικά Arduino lilypad	27
Πίνακας 1.4: Βασικά χαρακτηριστικά του board	31

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

CNC Computerized Numerical Control

ROS Robot Operating System

ADC Analog to Digital Converter

PLC Programmable Logic Controller

ICSP In Circuit Serial Programming

ISP In-System-Programmer

PCB Printed Circuit Board

CAD Computer Aided Design

FFF Fused Filament Fabrication

FDM Fused Deposition Modeling

SLA Stereolithography

SLS Selective Laser Sintering

PLA Poly Lactic Acid

ABS Acrylonitrile Butadiene Styrene

LST Laser Surface Texturing

IT Information Technology

IC Integrated Circuit

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Τι είναι το Arduino και ο σκοπός αυτού

Σε αυτό το κεφάλαιο θα πάρουμε μια βασική ιδέα για τη μορφή και τις πιο γνωστές παραλλαγές του Arduino καθώς και για τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά τους. Στο ίδιο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά και στη βασική ιδέα που οδήγησε αργότερα στην εμφάνιση του Arduino. Τέλος, παρουσιάζεται ο «χάρτης» του board που μας βοηθά να γνωρίσουμε καλύτερα τις δυνατότητες αλληλεπίδρασης με εξωτερικά κυκλώματα.

1.2 Οι υπολογιστές είναι παντού!

Οι περισσότεροι από εμάς έχουμε χρησιμοποιήσει ψηφιακό ξυπνητήρι και αρκετοί όταν ήμασταν παιδιά είχαμε παίξει με τηλεκατευθυνόμενα αυτοκίνητα. Πιθανόν ένας συναγερμός στο σπίτι ή στο αυτοκίνητό μας να βρίσκεται ήδη εγκατεστημένος. Πώς θα σας φαινόταν αν μπορούσαμε να προγραμματίσουμε το χρόνο ψησίματος του φούρνου μας. Ή αν είχαμε ένα πλυντήριο που να υπολογίζει μόνο του το βάρος των ρούχων και να παραμετροποιεί την πλύση αυτόματα;

Όλα τα παραπάνω, και πολλά άλλα, αποτελούν παραδείγματα της διείσδυσης των υπολογιστών στην καθημερινότητά μας. Ένας υπολογιστής όπως γνωρίζουμε είναι μία συσκευή η οποία μπορεί να λαμβάνει δεδομένα (είσοδος), να κάνει υπολογισμούς (επεξεργασία) και να βγάζει τα αποτελέσματα στον πραγματικό κόσμο (έξοδος). Όλες λοιπόν οι συσκευές που αναφέρονται παραπάνω βασίζονται στη χρήση μικρών, ενσωματωμένων «υπολογιστών». Αυτοί οι μικροί υπολογιστές βασίζονται σε μικροελεγκτές που μοιάζουν κατά μία έννοια με τους γνωστούς μικροεπεξεργαστές (εκτελούν εντολές) που συναντάμε στους συνηθισμένους υπολογιστές (π.χ. σπίτι, γραφείο).

1.3 Οι μικροελεγκτές

Η καρδιά ενός κλασικού υπολογιστή είναι ο μικροεπεξεργαστής που η βασική του λειτουργία είναι η εκτέλεση εντολών. Οι μικροεπεξεργαστές δεν λειτουργούν αυτόνομα και απαιτούν συνήθως μεγάλο αριθμό υποσυστημάτων και περιφερειακών (μητρική πλακέτα, πληκτρολόγιο, οθόνη, σκληρό δίσκο, κλπ) για να είναι αξιοποιήσιμοι από το χρήστη. Αντίθετα, ένας μικροελεγκτής αποτελεί ένα

«ολοκληρωμένο» μικρό υπολογιστή αφού εκτός από τη δυνατότητα εκτέλεσης εντολών διαθέτει εσωτερική μνήμη για τα προγράμματα, εισόδους/εξόδους για ανταλλαγή σημάτων κλπ.

Ένα βασικό χαρακτηριστικό των μικροελεγκτών είναι η δυνατότητά τους να αλληλεπιδρούν με το φυσικό κόσμο με τρόπους που ένας τυπικός προσωπικός υπολογιστής δεν μπορεί. Οι μικροελεγκτές παίρνουν πληροφορίες από το φυσικό περιβάλλον μέσα από αισθητήρες και διακόπτες, και μπορούν να ελέγχουν φυσικά αντικείμενα όπως led, μοτέρ κλπ. Ας σκεφτούμε για παράδειγμα ένα κλιματιστικό το οποίο μέσω του τηλεχειριστηρίου ενεργοποιείται και καθορίζεται η επιθυμητή θερμοκρασία από το χρήστη. Στη συνέχεια, μέσω ενός αισθητήρα ελέγχεται διαρκώς η τρέχουσα θερμοκρασία του χώρου και με βάση την τιμή της ο μικροελεγκτής του κλιματιστικού ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί το συμπιεστή και τον ανεμιστήρα ώστε η θερμοκρασία να παραμένει κοντά στην επιθυμητή.

Αυτός ο τύπος υπολογισμού στον οποίο υπάρχει αυξημένη αλληλεπίδραση με το φυσικό κόσμο ονομάζεται Φυσικός Υπολογισμός.

1.4 Εφαρμογές

Υπάρχει μεγάλος αριθμός εφαρμογών που βασίζονται σε προσαρμοσμένα κυκλώματα που χρησιμοποιούν κυρίως μικροελεγκτές. Μερικές μόνο από τις εφαρμογές είναι:

- ❖ Βιομηχανικός έλεγχος
- ❖ Προστασία και παρακολούθηση περιβάλλοντος με δίκτυα αισθητήρων
- ❖ Κιόσκια πληροφόρησης
- ❖ Συστήματα αυτόματων συναλλαγών (ATM τραπεζών, έκδοση εισιτηρίων κλπ.)
- ❖ Συστήματα μετρήσεων (πολύμετρα, ανιχνευτές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας κλπ.)
- ❖ Μουσικά εφέ και επεξεργασία ήχου
- ❖ Απομακρυσμένος έλεγχος και παρακολούθηση χώρου
- ❖ Έξυπνο (αυτοματοποιημένο) σπίτι
- ❖ Παιχνιδομηχανές

Κάποιος αρχάριος μπορεί να ξεκινήσει από μια έτοιμη πλατφόρμα που ενσωματώνει το μικροελεγκτή και τα συμπληρωματικά κυκλώματα επικοινωνίας

κλπ. Σε μια τέτοια περίπτωση αρκεί ο προγραμματισμός σε γλώσσα C ή Assembly για την ανάπτυξη της αντίστοιχης εφαρμογής.

Οι πιο προχωρημένοι μπορούν να αγοράσουν μόνο τον μικροελεγκτή και να τον προγραμματίσουν κατάλληλα ώστε να μπορεί να δεχτεί αργότερα τον κώδικα των εφαρμογών.

Την πρώτη φορά που διαβάζουμε για αναπτυξιακές πλατφόρμες και κατασκευή προσαρμοσμένων κυκλωμάτων με μικροελεγκτές αισθανόμαστε λίγο χαμένοι στο μεγάλο όγκο των αντίστοιχων πληροφοριών που βρίσκονται κυρίως στο internet. Το πρόβλημα αυτό το λύνει το Arduino.

Η αναπτυξιακή πλατφόρμα Arduino αποτελεί την ιδανική λύση για κάποιον που ξεκινά ενώ ο προγραμματισμός της σε γλώσσα τύπου C δίνει τη δυνατότητα για γρήγορη ανάπτυξη εφαρμογών που μπορούν να καλύψουν ένα μεγάλο φάσμα απαιτήσεων που εκτείνονται από τη διαχείριση ενός LED μέχρι την επεξεργασία μετρήσεων, τα ρομποτικά συστήματα, την επεξεργασία εικόνας σε πραγματικό χρόνο, τα συστήματα αισθητήρων και τηλεμετρίας, τα συστήματα αυτοματισμού κλπ. Η συγκεκριμένη πλατφόρμα είναι ανοιχτής αρχιτεκτονικής που σημαίνει ότι είναι ελεύθερα διαθέσιμα όλα τα σχέδια κατασκευής και λειτουργίας της με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η αναπαραγωγή και αξιοποίηση της από κάθε ενδιαφερόμενο.

1.5 Το Arduino

Στην πόλη Ιβρέα της Ιταλίας, το 2003 (η Ιβρέα βρίσκεται έξω από το Τορίνο) ένας φοιτητής πάνω στα πλαίσια μιας εργασίας ανέπτυξε το Wiring project. Το έργο αυτό ήταν η ανάπτυξη ενός απλού συστήματος βασισμένου σε μικροελεγκτή που να προσφέρεται για εύκολη και γρήγορη ανάπτυξη εφαρμογών.

Το Arduino ήταν μια «επέκταση» του Wiring project με σκοπό να χρησιμοποιηθεί από ανθρώπους μη γνώστες με την τεχνολογία. Έτσι, το Arduino αποτέλεσε ταυτόχρονα το καλύτερο ξεκίνημα για φοιτητές και μηχανικούς. Το Arduino πήρε το όνομά του χάρη του Arduin που ήταν στρατιωτικός διοικητής της Ιβρέα και ύστερα βασιλιάς της Ιταλίας.

Το Arduino είναι μία πλατφόρμα ανάπτυξης λογισμικού ανοιχτού κώδικα. Η πλατφόρμα αυτή περιέχει μία απλή πλακέτα μικροελεγκτή (τα αντίστοιχα σχέδια είναι δωρεάν) όπως και ένα περιβάλλον κατάλληλο για ανάπτυξη προγραμμάτων (επίσης δωρεάν) για τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή.

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων

Το Arduino χρησιμοποιεί μικροελεγκτές Atmel AVR¹ ενώ υπάρχουν παραλλαγές με διαφορετική έκδοση του μικροελεγκτή που διαθέτουν περισσότερες ή λιγότερες δυνατότητες.

Στην Εικόνα 1.1 μπορούμε να δούμε την έκδοση UNO.



[Εικόνα 1.1: Πλακέτα Arduino UNO / Πηγή: <https://roquerobotics.com/products/arduino-uno-rev3>]

Η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιούμε για τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή είναι η Wiring C, η οποία αποτελεί παραλλαγή της γλώσσας C++ ενώ μέσα από την προσθήκη βιβλιοθηκών υποστηρίζονται περισσότερες λειτουργίες και δυνατότητες.

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα του Arduino είναι:

- ❖ **Χαμηλό κόστος.** Μπορούμε να αγοράσουμε το Arduino Uno R3 με κόστος μικρότερο από 12€ (στο ebay) και δωρεάν μεταφορικά. Επίσης, υπάρχουν starter kit που περιλαμβάνουν εκτός από την πλακέτα και μία πλειάδα από αισθητήρες, καλώδια, led, διακόπτες, οθόνες Icd, κλπ. που κοστίζουν λιγότερο από 40€. Όσο για το περιβάλλον ανάπτυξης, αυτό είναι ανοιχτού κώδικα και μπορούμε να το κατεβάσουμε δωρεάν από το επίσημο site του Arduino (<http://arduino.cc/en/Main/Software>).

¹ AVR = Η AVR είναι μια οικογένεια μικροελεγκτών που αναπτύχθηκε από την Atmel που ξεκίνησε το 1996

- ❖ **Συμβατότητα.** Το λογισμικό του Arduino εκτελείται στα περιβάλλοντα Windows, Macintosh και Linux.
- ❖ **Απλότητα.** Το περιβάλλον ανάπτυξης είναι αρκετά απλό ώστε να χρησιμοποιείται ακόμα και από αρχάριους χρήστες.
- ❖ **Επεκτάσιμο λογισμικό ανοιχτού κώδικα.** Τα προγράμματα του Arduino είναι ανοιχτού κώδικα που σημαίνει ότι ο καθένας μας μπορεί να βρει τμήματα πηγαίου κώδικα, να τα μελετήσει και να τα τροποποιήσει σύμφωνα με τις ανάγκες του. Επίσης, μέσα από την ενσωμάτωση βιβλιοθηκών C++ μπορούν να προστεθούν δυνατότητες στο περιβάλλον ανάπτυξης. Κάποιος χρήστης που είναι πεπειραμένος έχει τη δυνατότητα να γράφει δικό του κώδικα χαμηλού επιπέδου και να τον καταστήσει διαθέσιμο μέσω βιβλιοθηκών, σε αντίθεση με τους αρχάριους χρήστες που μπορούν να προσθέσουν υποστήριξη για νέες διατάξεις (όπως αισθητήρες) χωρίς να χρειάζεται να γνωρίζουν τις χαμηλού επιπέδου λεπτομέρειες του προγραμματισμού των διατάξεων αυτών.

1.6 Εκδόσεις Arduino

Υπάρχουν πολλές εκδόσεις και παραλλαγές του Arduino. Κάθε board υποστηρίζει συγκεκριμένο τύπο μικροελεγκτή και διαθέτει ένα σύνολο ακροδεκτών για είσοδο και έξοδο. Οι ακροδέκτες μπορούν να χωριστούν σε ακροδέκτες εισόδου/εξόδου (ανταλλαγή σημάτων με εξωτερικά συστήματα, συσκευές και κυκλώματα) και ακροδέκτες που σχετίζονται με την τροφοδοσία. Το Arduino μπορεί να διαβάσει αναλογικά σήματα (όλες τις στάθμες από 0 έως 5V) καθώς και ψηφιακά σήματα (0 ή 5V). Για παράδειγμα, κάποιος αισθητήρας (π.χ. θερμοκρασίας, επιτάχυνσης) μπορεί να δίνει αναλογική ή ψηφιακή έξοδο η οποία θα πρέπει στη συνέχεια να συνδεθεί στο Arduino για να είναι δυνατή η αξιοποίηση των σημάτων.

Οι έξοδοι υποστηρίζουν μόνο ψηφιακά σήματα.

Επιπλέον, το Arduino μπορεί να προσφέρει τροφοδοσία σε εξωτερικές συσκευές (π.χ. αισθητήρας) στα 3.3 ή τα 5V ενώ δεν μπορεί να δώσει στις εξόδους μεγαλύτερο ρεύμα από 30-40mA. Αυτός είναι ένας ειδικός περιορισμός όταν θέλουμε να ελέγξουμε μια εξωτερική συσκευή όπως ένα μοτέρ που συνήθως απαιτεί περισσότερο ρεύμα.

Τέλος, η σύνδεση USB επιτρέπει την επικοινωνία του Arduino με τον υπολογιστή (π.χ. upload κώδικα του χρήστη, εμφάνιση βοηθητικών μηνυμάτων από το

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων

Arduino στον υπολογιστή) ενώ παρέχει ταυτόχρονα και τροφοδοσία 5V για τη λειτουργία του. Μετά τον προγραμματισμό του, το Arduino μπορεί να λειτουργήσει αυτόνομα χωρίς υπολογιστή αρκεί να τροφοδοτείται από την ειδική είσοδο για να μπορεί να λειτουργεί (συνήθως με μπαταρία).

Στη συνέχεια βλέπουμε τα γενικά χαρακτηριστικά από τις πιο διαδεδομένες εκδόσεις Arduino που χρησιμοποιούνται σήμερα.



[Εικόνα 1.2: Πλακέτα Arduino UNO / Πηγή: <https://roguerobotics.com/products/arduino-uno-rev3>]

Στην Εικόνα 1.2 βλέπουμε ξανά την έκδοση UNO ενώ στον πίνακα 1.1 τα βασικά χαρακτηριστικά του.

Πίνακας 1.1: Βασικά χαρακτηριστικά Arduino UNO

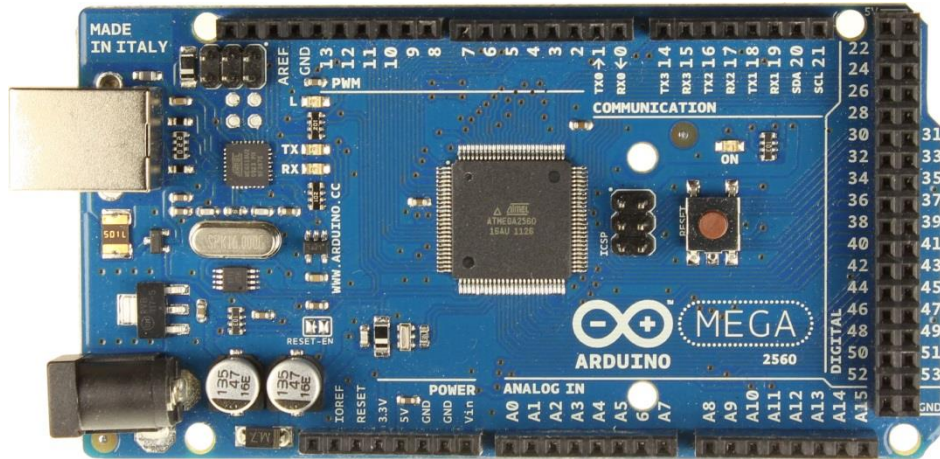
Μικροελεγκτής	ATmega328
Τάση λειτουργίας	5V
Τάση εξωτερικής τροφοδοσίας	7-12V
Όρια τάσης εξωτερικής τροφοδοσίας	6-20V
Ψηφιακές εισοδοι και έξοδοι (μέσω ακροδεκτών)	14 (εκ των οποίων οι 6 υποστηρίζουν PWM)
Αναλογικές εισοδοι (μέσω ακροδεκτών)	6
Μέγιστο συνεχές ρεύμα ανά ακροδέκτη	40 mA

εισόδου/εξόδου	
Μέγιστο ρεύμα για τον ακροδέκτη 3.3V	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) εκ των οποίων τα 0.5 KB χρησιμοποιούνται από τον bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Ταχύτητα ρολογιού	16 MHz

Η Flash memory φιλοξενεί τα προγράμματα του χρήστη. Όπως ίσως να γνωρίζουμε από τον προγραμματισμό, ο πηγαίος κώδικας (π.χ. σε γλώσσα C) δεν μπορεί να εκτελεστεί διότι δεν είναι κατανοητός από τον υπολογιστή. Αυτό που τρέχει τελικά είναι ο εκτελέσιμος κώδικας που έχει παραχθεί από τη μεταγλώττιση του πηγαίου κώδικα. Θα πρέπει σε αυτό το σημείο να αναφερθεί ότι ο εκτελέσιμος κώδικας καταλαμβάνει περισσότερο χώρο (byte) από τον πηγαίο. Έτσι, και στην περίπτωση του Arduino, ο κώδικας που τελικά παράγεται από το περιβάλλον ανάπτυξης είναι αυτός που μεταφορτώνεται από τον υπολογιστή στον μικροελεγκτή.

Στην Εικόνα 1.3 φαίνεται η έκδοση mega 2560 (υπάρχει και η έκδοση mega 1280) στην οποία χρησιμοποιείται διαφορετικός τύπος και φυσική μορφή μικροελεγκτή που διαθέτει μεγαλύτερο πλήθος ακροδεκτών σε σχέση με την έκδοση UNO. Από τις 14 ψηφιακές εισόδους/εξόδους του UNO πάμε στις 54 και από τις 6 αναλογικές στις 16. Το πλεονέκτημα των πολλών ακροδεκτών προσφέρει τη δυνατότητα απευθείας σύνδεσης με πολλές εξωτερικές συσκευές, διατάξεις κλπ. Το περιορισμένο πλήθος ακροδεκτών θα μας ανάγκαζε να χρησιμοποιήσουμε και ενδιάμεσα κυκλώματα (π.χ. αποκωδικοποιητές) προκειμένου να ελέγχουμε μεγαλύτερο πλήθος εξωτερικών κυκλωμάτων. Φυσικά, η επιλογή είναι δική μας και σίγουρα εξαρτάται από το είδος της εφαρμογής που θέλουμε να αναπτύξουμε. Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό του mega 2560 είναι η αυξημένη χωρητικότητα της flash memory (256KB).

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων



[Εικόνα 1.3: Arduino Mega 2560 / Πηγή: <https://www.indiamart.com/proddetail/arduino-mega-2560-with-usb-cable-14768163197.html>]

Ο πίνακας 1.2 περιλαμβάνει τα βασικά χαρακτηριστικά του mega 2560.

Πίνακας 1.2: Βασικά χαρακτηριστικά Arduino mega 2560

Μικροελεγκτής	ATmega2560
Τάση λειτουργίας	5V
Τάση εξωτερικής τροφοδοσίας	7-12V
Όρια τάσης εξωτερικής τροφοδοσίας	6-20V
Ψηφιακές εισοδοι και έξοδοι (μέσω ακροδεκτών)	54 (εκ των οποίων οι 15 υποστηρίζουν PWM)
Αναλογικές εισοδοι (μέσω ακροδεκτών)	16
Μέγιστο συνεχές ρεύμα ανά ακροδέκτη εισόδου/εξόδου	40mA
Μέγιστο ρεύμα για τον ακροδέκτη 3.3V	50mA
Flash Memory	256KB εκ των οποίων τα 8KB χρησιμοποιούνται από τον bootloader
SRAM	8KB
EEPROM	4KB
Ταχύτητα ρολογιού	16MHz

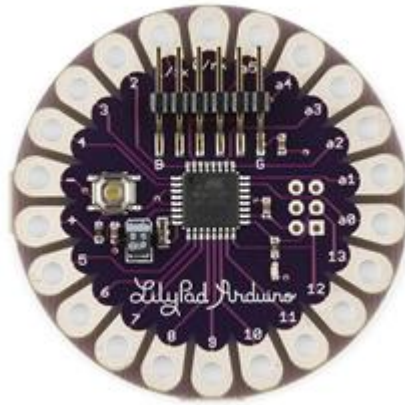
Όπως έχει ήδη αναφερθεί, υπάρχουν αμέτρητες εφαρμογές που μπορούμε να αναπτύξουμε. Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει κάθε φορά να επιλέγουμε τους κατάλληλους αισθητήρες, τα κατάλληλα κυκλώματα κλπ. Η ποικιλία των εκδόσεων

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων

του Arduino δίνουν ακόμα μια δυνατότητα στο σχεδιαστή αφού μπορεί να επιλέξει και το board που ταιριάζει περισσότερο στην εφαρμογή του.

Μερικά από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του Arduino είναι η αυτόνομη λειτουργία του (χωρίς την ανάγκη ύπαρξης υπολογιστή), το μικρό του μέγεθος που εξασφαλίζει φορητότητα και δυνατότητα ενσωμάτωσης σε ένα μεγαλύτερο σύστημα καθώς και το χαμηλό του κόστος.

Σε ορισμένες ειδικές εφαρμογές (όπως για παράδειγμα στην υγεία) υπάρχει η ανάγκη ενσωμάτωσης αυτοματοποιημένων συστημάτων στα ρούχα των ασθενών. Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να αναπτυχθεί με τη χρήση του Lilypad που αποτελεί μια ειδική έκδοση του Arduino (Εικόνα 1.4).



[Εικόνα 1.4: Lilypad / Πηγή: <https://store.arduino.cc/lilypad-arduino-main-board>]

Όπως φαίνεται και στον πίνακα 1.3 το lilypad τροφοδοτείται με μικρότερη τάση ώστε να έχει μεγαλύτερη αυτονομία στη λειτουργία του.

Πίνακας 1.3: Βασικά χαρακτηριστικά Arduino lilypad

Μικροελεγκτής	ATmega32u4
Τάση λειτουργίας	3.3V
Τάση εξωτερικής τροφοδοσίας	3.8V – 5V
Ψηφιακές εισοδοι και έξοδοι (μέσω ακροδεκτών)	9
Αναλογικές εισοδοι (μέσω ακροδεκτών)	4
PWM κανάλια	4
Μέγιστο συνεχές ρεύμα ανά ακροδέκτη εισόδου/εξόδου	40mA

Flash Memory	32KB(ATmega32u4) εκ των οποίων 4KB χρησιμοποιούνται από τον bootloader
SRAM	2.5KB (ATmega32u4)
EEPROM	1KB (ATmega32u4)
Ταχύτητα ρολογιού	8MHz

Η ανάπτυξη ενσωματωμένων και φορητών συστημάτων επιβάλλει τη χρήση διατάξεων περιορισμένου μεγέθους. Το Arduino nano (Εικόνα 1.5) έχει σχεδιαστεί ακριβώς για αυτές τις περιπτώσεις. Διαθέτει θύρα mini USB ενώ στην έκδοση 3.0 βασίζεται στον μικροελεγκτή ATmega328.



[Εικόνα 1.5: Arduino nano / Πηγή: <https://store.arduino.cc/arduino-nano>]

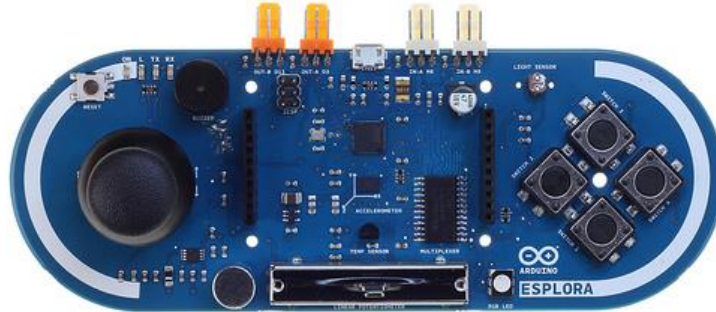
Η ποικιλία των Arduino board όμως δεν σταματά εδώ. Υπάρχουν ειδικές εκδόσεις εστιασμένες σε συγκεκριμένες κατηγορίες εφαρμογών. Ως πρώτο παράδειγμα θα αναφέρουμε το Arduino Robot (Εικόνα 1.6) το οποίο μπορεί να αποτελέσει απευθείας τη βάση για την κατασκευή ενός ολοκληρωμένου ρομπότ. Η έκδοση αυτή παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον αν αναλογιστούμε ότι το σύστημα διαθέτει τροχούς, δύο μικροελεγκτές σε διαφορετικά board για την κίνηση και το διάβασμα των αισθητήρων, LCD οθόνη, μεγάφωνο, πλήκτρα, κλπ.



[Εικόνα 1.6: ArduinoRobot / Πηγή: <https://store.arduino.cc/arduino-robot>]

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων

Μία άλλη επίσης ενδιαφέρουσα έκδοση αποτελεί το Arduino Esplora (Εικόνα 1.7). Πρόκειται για ένα ολοκληρωμένο σύστημα (μοιάζει με το χειριστήριο των σημερινών παιχνιδομηχανών) που διαθέτει joystick, αισθητήρα θερμοκρασίας, επιταχυνσιόμετρο, σειριακό ποτενσιόμετρο, μικρόφωνο, πλήκτρα κλπ.



[Εικόνα 1.7: Arduino Esplora / Πηγή: <https://store.arduino.cc/arduino-esplora>]

Στο διαδίκτυο μπορούμε να βρούμε και άλλες παραλλαγές που δίνουν τη δυνατότητα ανάπτυξης εφαρμογών που καλύπτουν κάθε απαίτηση.

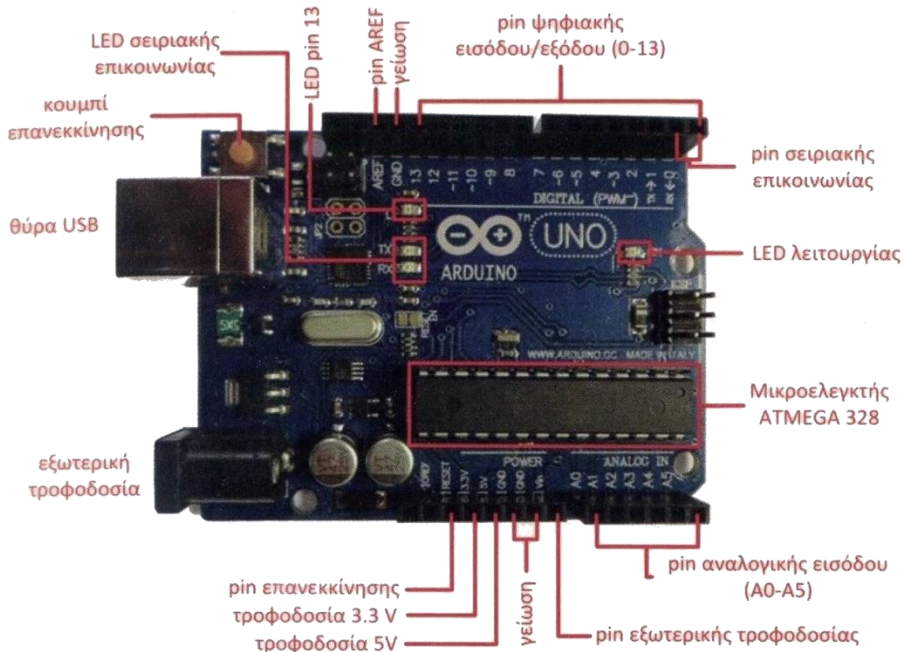
Κλείνοντας αυτή τη σύντομη παρουσίαση των Arduino board, αξίζει να αναφέρουμε και μια νέα αναπτυξιακή πλατφόρμα τελευταίας γενιάς που παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον. Πρόκειται για το Intel Galileo (Εικόνα 1.8) το οποίο βασίζεται σε επεξεργαστή 32bit της INTEL χρονισμένο στα 400MHz. Διαθέτει αναλογικές εισόδους αλλά και άλλες δυνατότητες που υποστηρίζει ένα κλασικό Arduino, ενσωματώνοντας ταυτόχρονα θύρα δικτύου, υποδοχή PCI express, θύρες USB, υποδοχή κάρτας SD, θύρα RS232 κλπ.



[Εικόνα 1.8: Intel Galileo / Πηγή: <https://www.arduino.cc/en/ArduinoCertified/IntelGalileo>]

1.7 Περισσότερα για το Arduino UNO

Στην Εικόνα 1.9 φαίνεται ο «χάρτης» του Arduino UNO.



[Εικόνα 1.9: Ο «χάρτης» του Arduino UNO]

Πολλά από τα χαρακτηριστικά που φαίνονται στην Εικόνα 1.9 έχουν ήδη αναφερθεί στην προηγούμενη ενότητα. Παρόλα αυτά όμως, στην ίδια εικόνα βλέπουμε και επιπλέον χαρακτηριστικά όπως ο ακροδέκτης AREF.

Όταν γίνεται ανάγνωση ενός αναλογικού σήματος, ο μικροελεγκτής το συγκρίνει με μια τάση αναφοράς (AREF). Το μέγεθος της τάσης αναφοράς σε σχέση με το μέγεθος της αναλογικής τάσης που διαβάζουμε θα καθορίσει και την ακρίβεια της μέτρησης (resolution). Έτσι, ο σχεδιαστής πρέπει να γνωρίζει πως θα καθορίσει την AREF προκειμένου να έχει η εφαρμογή του τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Κατά τα άλλα, το board διαθέτει ειδικό κύκλωμα ελέγχου για την υποστήριξη της σύνδεσης USB, σταθεροποιητή τάσης για την εξωτερική τροφοδοσία (οι προχωρημένοι μπορούν να «πειράξουν» το σταθεροποιητή για να προσαρμόσουν καλύτερα την εξωτερική τροφοδοσία ειδικά όταν αυτή προέρχεται από μπαταρία), ειδικά LED που δείχνουν την ενεργή επικοινωνία με τον υπολογιστή, κουμπί reset που επαναφέρει τον μικροελεγκτή προκαλώντας την επανεκκίνηση του προγράμματος του χρήστη κλπ.

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων

Ο πίνακας 1.4 συνοψίζει τα χαρακτηριστικά που φαίνονται στην Εικόνα 1.9.

Πίνακας 1.4: Βασικά χαρακτηριστικά του board

Χαρακτηριστικό	Περιγραφή
Κουμπί επανεκκίνησης	Το γνωστό κουμπί reset που αρχικοποιεί ξανά τη λειτουργία του board
LED σειριακής επικοινωνίας	Φωτοβολεί όταν γίνεται ανταλλαγή δεδομένων με τον υπολογιστή
LED pin 13	Ενσωματωμένο LED για δυνατότητα άμεσης δοκιμής
Pin AREF	Προσδιορισμός τάσης αναφοράς για ανάγνωση αναλογικών σημάτων
Γείωση	Ακροδέκτες GND
Pin ψηφιακής εισόδου/εξόδου (0-13)	Βασικοί ακροδέκτες ψηφιακής επικοινωνίας με εξωτερικές συσκευές και κυκλώματα
Pin σειριακής επικοινωνίας	Πρόσβαση στα σήματα εκπομπής και λήψης σειριακής επικοινωνίας με τον υπολογιστή
LED λειτουργίας	Ένδειξη λειτουργίας του board
Μικροελεγκτής	Η καρδιά του συστήματος (εκτέλεση εντολών, ανάγνωση σημάτων κλπ.)
Pin αναλογικής εισόδου	Διάβασμα αναλογικών σημάτων
Pin εξωτερικής τροφοδοσίας	Πρόσθετες δυνατότητες τροφοδοσίας
Τροφοδοσία 5V	Τροφοδοσία εξωτερικών κυκλωμάτων (π.χ. αισθητήρων με τάση 5V)
Τροφοδοσία 3.3V	Τροφοδοσία εξωτερικών κυκλωμάτων (π.χ. αισθητήρων με τάση 3.3V)
Pin επανεκκίνησης	Προγραμματιζόμενο reset
Εξωτερική τροφοδοσία	Τροφοδοσία από μπαταρία
Θύρα USB	Επικοινωνία με τον υπολογιστή και παροχή τροφοδοσίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Εφαρμογές Ρομποτικής και όχι μόνο

2.1.1 Το έργο FarmBot

Το FarmBot είναι μια αυτοματοποιημένη μηχανή αγροτικής ακριβείας ανοικτού-κώδικα. Τα FarmBots μοιάζουν σαν τεράστιοι 3D εκτυπωτές, αλλά αντί για εξώθηση πλαστικού, τα εργαλεία τους είναι εγχυτήρες σπόρων, ακροφύσια ποτίσματος, αισθητήρες και πολλά άλλα. Η τεχνολογία FarmBot παρουσιάζει τα ακόλουθα βασικά χαρακτηριστικά:

- ❖ **Λειτουργία CNC², XYZ κίνηση:** Χρησιμοποιώντας το Arduino και το Raspberry Pi³, η κεφαλή του εργαλείου FarmBot μπορεί να τοποθετηθεί με ακρίβεια προσφέροντας τις εξής λειτουργίες: προετοιμασία του εδάφους, σπορά, πότισμα, λίπανση, έλεγχος των ζιζανίων και απόκτηση δεδομένων.
- ❖ **Πλήρης έλεγχος:** Οι διατάξεις των αγροκτημάτων ή των κήπων σχεδιάζονται με ένα web-based interface που επιτρέπει την πλήρη προσαρμογή από οποιαδήποτε συσκευή. Οι λειτουργίες προγραμματίζονται αυτόματα, διασφαλίζοντας ότι τα φυτά δεν θα χάσουν ποτέ μια ημέρα ποτίσματος.
- ❖ **Πλήρως Βελτιστοποιημένο:** Ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων προσαρμόζει αυτόματα το νερό, το λίπασμα, τα φυτοφάρμακα, την απόσταση μεταξύ των σπόρων, τη χρονική στιγμή και περισσότερο τη βάση του εδάφους και των καιρικών συνθηκών, τα δεδομένα του αισθητήρα, τη θέση και την ώρα του έτους.

²Computerized Numerical Control(CNC) - Ηλεκτρονικός Αριθμητικός Έλεγχος = Η λειτουργία μιας μηχανής μέσω ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή

³Raspberry Pi = Το Raspberry Pi είναι μια σειρά από μικρών υπολογιστών μονής πλακέτας που αναπτύχθηκαν στο Ηνωμένο Βασίλειο από το Raspberry Pi Foundation για να προωθήσουν τη διδασκαλία της βασικής πληροφορικής στα σχολεία και στις αναπτυσσόμενες χώρες

- ❖ **Δεκάδες εφαρμογές:** Από τα μικρά ανυψωμένα κρεβάτια έως τα μεταγενέστερα διαμορφωμένα θερμοκήπια, τις αστικές στέγες, τις εμπορικές και βιομηχανικές εφαρμογές, το FarmBot είναι κλιμακωτό και αρθρωτό για να εργάζεται σε κάθε περίπτωση και το καλύτερο από όλα, είναι ελεύθερο και ανοιχτού-κώδικα.

Οι παρακάτω εικόνες παρουσιάζουν την τροποποίηση και την επέκταση του FarmBot για το μοναδικό ρυθμό ανάπτυξης και τις ανάγκες του καλλιεργητή.

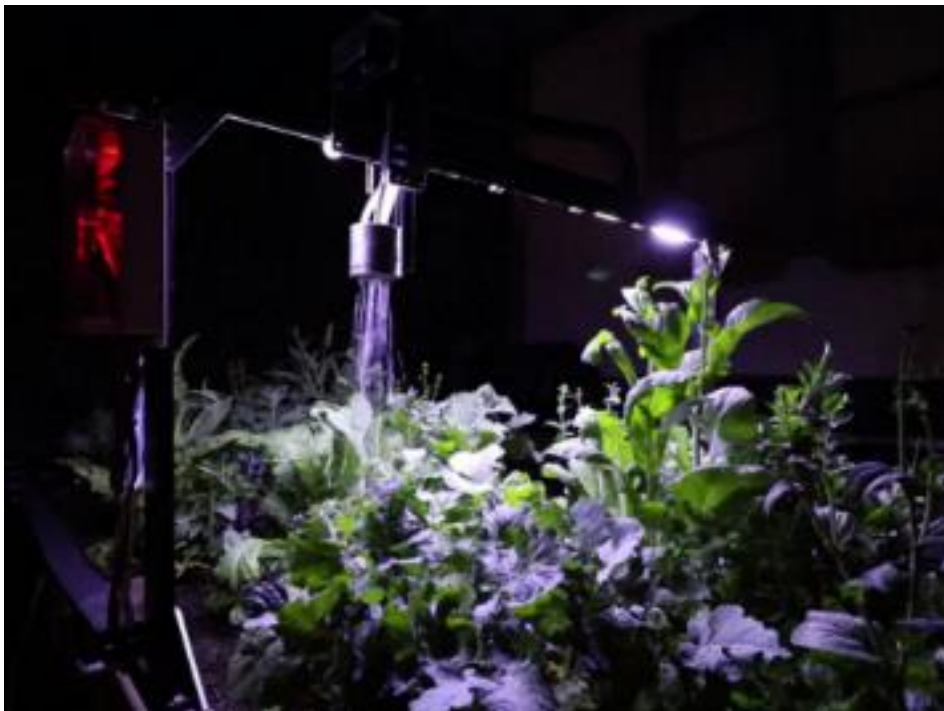


[**Εικόνα 2.1:** Συγκέντρωση και χρησιμοποίηση δεδομένων καιρού σε πραγματικό χρόνο για τη σωστή εκμετάλλευση του FarmBot / Πηγή: <https://farmbot.io/>]

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων



[Εικόνα 2.2: Το FarmBot με μικρές ηλιακές εγκαταστάσεις και συστήματα συλλογής βροχής / Πηγή: <https://farmbot.io/>]



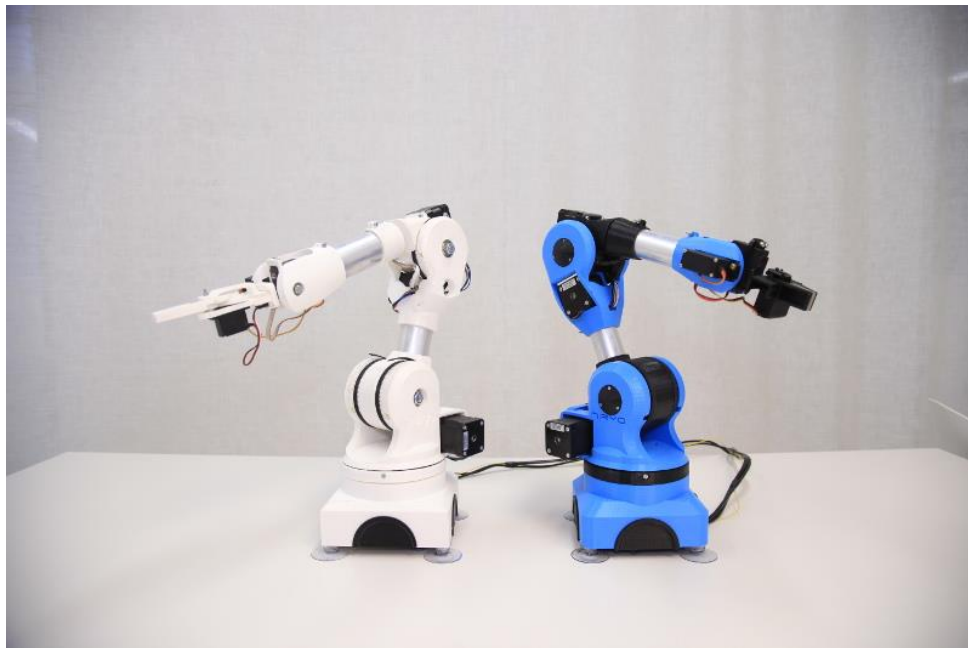
[Εικόνα 2.3: Το FarmBot με χρήση φώτων για τη συγκομιδή / Πηγή: <https://farmbot.io/>]

2.2 Niryo, ένας ρομποτικός βραχίονας 6 αξόνων

2.2.1 Το Niryo ρομπότ ως παράδειγμα τροφοδότησης από το Arduino

Το Niryo είναι ένα προσβάσιμο ρομπότ για όλους και παντού. Στόχος είναι το χαμηλό του κόστος, η χρησιμότητα, η αξιοπιστία και η δυνατότητα ανοικτού κώδικα.

Η δομή του Niryo One είναι κατασκευασμένη από PLA, ένα βιοαποικοδομήσιμο πλαστικό υλικό. Η 3D εκτύπωση μάς επιτρέπει να δημιουργούμε περισσότερα πρωτότυπα σε λιγότερο χρόνο. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούμε πάντα να βελτιώνουμε τα μηχανικά μέρη και να βρίσκουμε νέους τρόπους για να δημιουργήσουμε ένα ωραίο και προσιτό ρομπότ. Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές είναι πλέον προσβάσιμοι σε όλους. Αυτό είναι υπέροχο για να βλέπουμε τις βιομηχανικές τεχνολογίες να έρχονται στο σπίτι όλων.



[**Εικόνα 2.4:** Niryo, ένα μικρό συνεργάσιμο ρομπότ, ικανό να πραγματοποιήσει ένα άπειρο αριθμό σύνθετων εργασιών / Πηγή: <https://niryo.com/>]

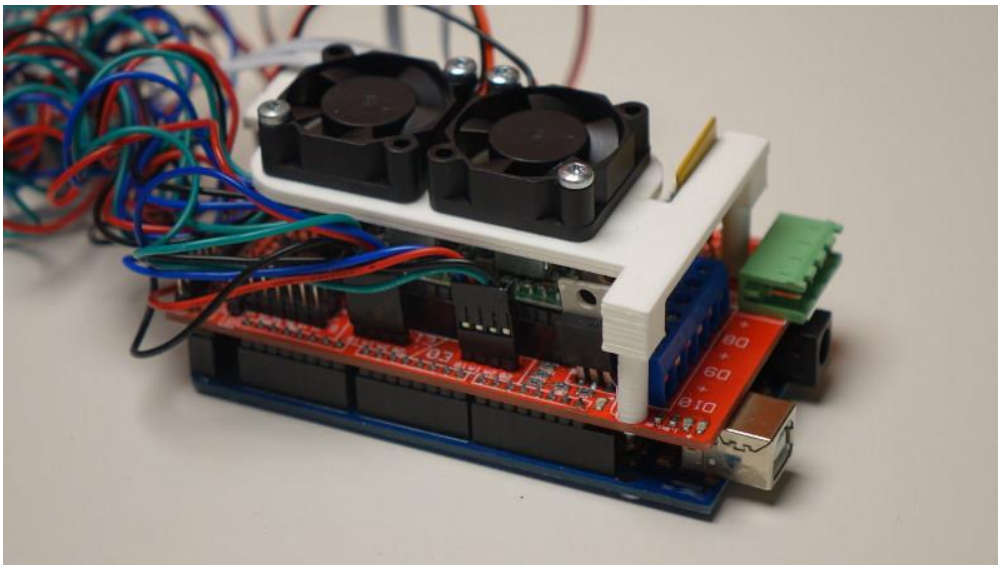
Ο συνδυασμός Arduino Mega και RAMPS 1.4 είναι γνωστός από τις κοινότητες εκτύπωσης 3D. Αυτά τα δύο είναι συχνά συνδεδεμένα: πολλοί RepRap 3D εκτυπωτές έχουν μια πλακέτα Arduino ως εγκέφαλο. Το Niryo χρησιμοποιεί μια συμβατή πλακέτα Arduino Mega.

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων

Το Arduino είναι μια ηλεκτρονική πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα για κατασκευαστές. Μας επιτρέπει να κάνουμε εύκολα λειτουργίες εισόδου / εξόδου, όπως ανάγνωση δεδομένων από αισθητήρες ή μοτέρ ελέγχου. Όλα όσα χρειαζόμαστε δηλαδή για να ξεκινήσουμε εφαρμογές ρομποτικής!

2.2.2 Arduino Mega + RAMPS 1.4, ένας υπέροχος συνδυασμός

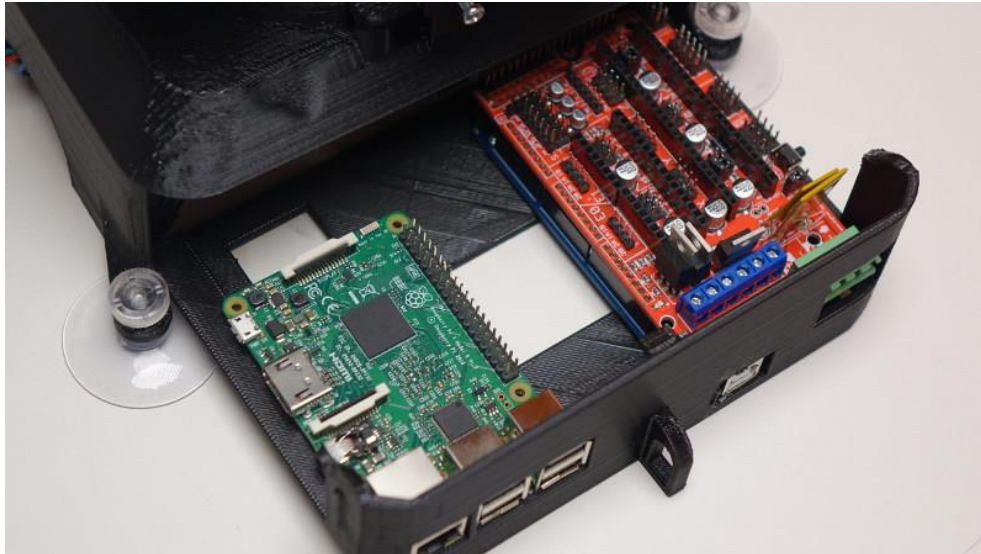
Οι ικανότητες του Arduino Uno είναι πολύ περιορισμένες για τις ανάγκες δημιουργίας του ρομπότ Niryo. Γι' αυτό το λόγο η πλακέτα Arduino Mega σε συνδυασμό με την εξωτερική πλακέτα (shield) RAMPS μας δίνει το κατάλληλο αποτέλεσμα. Το RAMPS 1.4 είναι μια επέκταση για συμβατές κάρτες Arduino Mega. Αυτό μπορεί να τροφοδοτήσει 5 βηματικούς κινητήρες και πολλούς σερβοκινητήρες από μια εξωτερική πηγή τροφοδοσίας. Επίσης, το RAMPS 1.4 έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί σε 3D εκτυπωτή και ύστερα από μερικές δοκιμές οι δημιουργοί κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι λειτουργεί πολύ καλά πάνω στο Niryo.



[Εικόνα 2.5: Arduino Mega με RAMPS 1.4 και 2 ανεμιστήρες για να δροσίζει τους οδηγούς του κινητήρα / Πηγή: <https://niryo.com/>]

Για να δουλέψει σωστά το ρομπότ μας εκτός απ' την πλακέτα Arduino Mega και την επέκταση Ramps 1.4 χρειάζεται και έναν «εγκέφαλο». Ο εγκέφαλος αυτός οφείλει να είναι το Raspberry Pi 3.

Η πλακέτα Raspberry Pi 3 έχει τη δυνατότητα να επικοινωνεί με την πλακέτα Arduino για τον έλεγχο των κινητήρων. Λαμβάνει επίσης δεδομένα από αισθητήρες έτσι ώστε το ρομπότ να μπορεί να προσαρμόσει τη συμπεριφορά του στο περιβάλλον του. Όλοι οι δύσκολοι υπολογισμοί γίνονται στο Raspberry Pi, οπότε το ρομπότ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολύ πιο ενδιαφέρουσες εφαρμογές.



[Εικόνα 2.6: Η πλακέτα Raspberry (στα αριστερά) ελέγχοντας την πλακέτα Arduino /

Πηγή: <https://niryo.com/>]

2.2.3 ROS – Robot Operating System

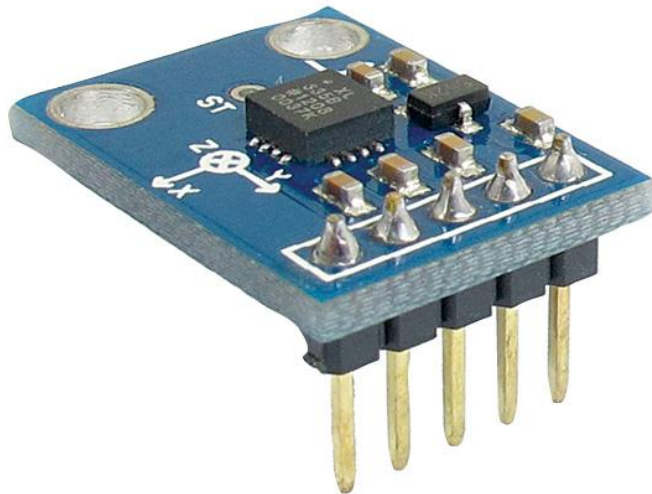
Το λειτουργικό σύστημα ρομπότ (ROS) είναι ένα εργαλείο ανοικτού κώδικα κατάλληλο να βοηθήσει τη ρομποτική να γίνει πιο ισχυρή και ανοικτή στον κόσμο. Οι δημιουργοί του Niryo One πιστεύουν ότι το ROS πρόκειται να “πιέσει” τη ρομποτική να φτάσει σε ένα πιο υψηλό επίπεδο δυνατοτήτων. Θα βοηθήσει τους ανθρώπους και τις επιχειρήσεις να δημιουργήσουν πρότυπα ρομποτικής, ώστε να δημιουργηθούν ταχύτερα νέα προσβάσιμα ρομπότ με καλύτερες δυνατότητες.

Το ROS χρησιμοποιείται στην πλακέτα Raspberry Pi 3. Διατηρεί ένα μοντέλο του ρομπότ για την εκτέλεση υπολογισμών υψηλού επιπέδου σε τρισδιάστατο χώρο.

2.3 Δείκτης σεισμού με χρήση Arduino

Ο σεισμός είναι ένα αναπόφευκτο και απρόβλεπτο φυσικό φαινόμενο που συχνά προκαλεί ζημιές σε ζώες και σε ιδιοκτησίες. Δεν μπορούμε να το

καταπολεμήσουμε, αλλά μπορούμε να είμαστε σε εγρήγορση και ενήμεροι χρησιμοποιώντας τεχνολογία που μπορεί να προστατεύσει εμάς και μια επιχείρηση. Εδώ παρουσιάζεται ένας απλός δείκτης σεισμού για το σπίτι και τη βιομηχανία, χρησιμοποιώντας ένα Arduino και ένα εξαιρετικά ευαίσθητο επιταχυνσιόμετρο ADXL335 (Εικόνα 2.7) που μπορεί να υποδεικνύει τους κραδασμούς.



[Εικόνα 2.7: Επιταχυνσιόμετρο ADXL335 / Πηγή: <https://electronicsforu.com/electronic-projects/hardware-diy/arduino-earthquake-indicator>]

Αυτό το έργο μπορεί να τροποποιηθεί και να χρησιμοποιηθεί ως ανιχνευτής “χτυπήματος” για ATM, για οχήματα ή συναγερμούς θύρας. Αλλά ο κύριος στόχος του είναι να ανιχνεύει σεισμούς και άλλες σεισμικές δραστηριότητες. Γνωρίζουμε ότι τα επιταχυνσιόμετρα όπως το ADXL335 είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα σε χτυπήματα και δονήσεις σε οποιονδήποτε από τους τρεις φυσικούς άξονες. Το ADXL335 παρέχει αναλογική τάση ισοδύναμη με την επιβαλλόμενη επιτάχυνση. Έχει τρεις εξόδους, το καθένα για τους άξονες X, Y και Z. Οι τρεις αναλογικές έξοδοι είναι ενσύρματες σε ακροδέκτες ADC⁴ του Arduino Uno. Οποιαδήποτε επιτάχυνση που προκαλείται λόγω της κίνησης σε οποιονδήποτε από τους άξονες, ανιχνεύεται από το επιταχυνσιόμετρο και επομένως από το Arduino ADC. Εάν η κίνηση είναι αρκετά βίαιη κατά τη διάρκεια σεισμού και ξεπεράσει ένα συγκεκριμένο κατώφλι, ανάβει μια τοπική λυχνία συναγερμού (LED) και ακούγεται

⁴ Analog to Digital Converter(ADC) – Αναλογικός-Ψηφιακός Μετατροπέας = ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο ηλεκτρονικό στοιχείο που μετατρέπει ένα αναλογικό ηλεκτρικό σήμα (συνήθως μια τάση) σε μια ψηφιακή αναπαράσταση.

ένας βομβητής καθώς ενεργοποιείται ο ηλεκτρονόμος⁵. Ενώ ο βομβητής και το φως είναι για οικιακή χρήση, η έξοδος του ρελέ προορίζεται για βιομηχανικούς σκοπούς. Μπορεί να συνδεθεί σε ένα PLC⁶ για την ασφαλή συναρμολόγηση οποιουδήποτε κινούμενου τμήματος μηχανής και ελέγχου καμίνου για το κλείσιμο αυτών σε περίπτωση σεισμού. Τα κουμπιά ρύθμισης κατωφλίου υπάρχουν για την εκτέλεση αυτής της εργασίας. Έχει προβλεφθεί μια οθόνη LCD για την προβολή ρυθμίσεων κατωφλίου και για τη διευκόλυνση της χρήσης του συστήματος (Εικόνα 2.8).



[**Εικόνα 2.8:** Λειτουργία αρχικοποίησης / Πηγή: <https://electronicsforu.com/electronic-projects/hardware-diy/arduino-earthquake-indicator>]

2.4 Arduino 3D Printer

Τον Φεβρουάριο του 2004, ο Adrian Bowyer δημοσίευσε την ιδέα μιας μηχανής, ικανής να αυτό-αναδιπλασιαστεί στο διαδίκτυο. Μετά τη συλλογή της χρηματοδότησης, το πρωτότυπο RepRap 0.2 εκτύπωσε επιτυχώς το πρώτο μέρος του εαυτού του.

Μόνο το 2005 η πλακέτα Arduino αναπτύχθηκε για πρώτη φορά από τον Massimo Banzi και τον David Cuartielles και με την ανάπτυξη της δεύτερης γενιάς των εκτυπωτών 3D ανοιχτού κώδικα της RepRap, χρησιμοποιήθηκαν ηλεκτρονικά με βάση το Arduino. Ήταν μια τέλεια εφαρμογή: Και τα δύο έργα περιείχαν μια προσέγγιση ανοιχτού κώδικα για να καταστήσουν την προηγουμένως αρκετά πολύπλοκη τεχνολογία, διαθέσιμη στις μάζες φτηνά.

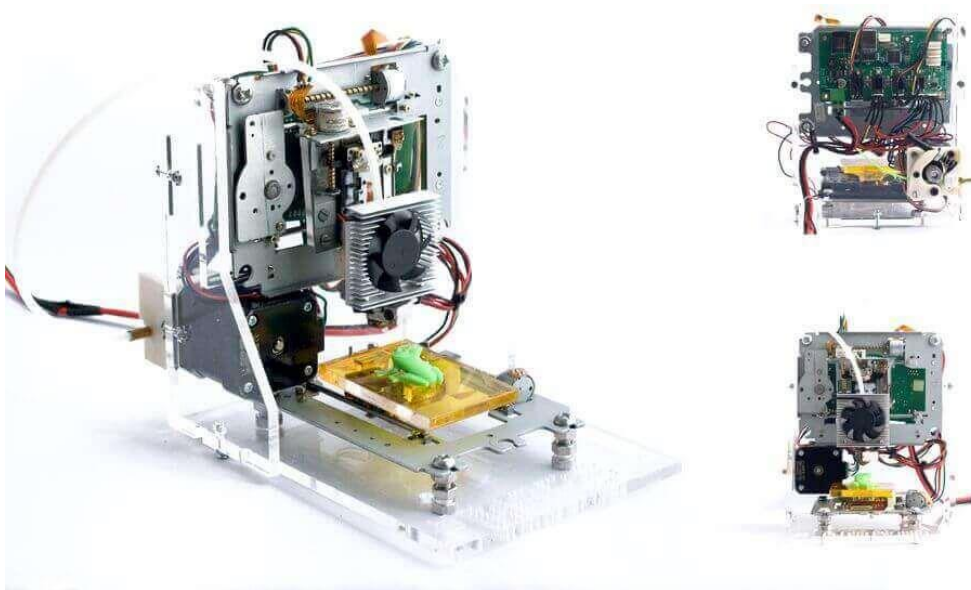
⁵ ηλεκτρονόμος ή ρελέ = Ηλεκτρικός διακόπτης που ανοίγει και κλείνει ένα ηλεκτρικό κύκλωμα κάτω από τον έλεγχο ενός άλλου ηλεκτρικού κυλώματος.

⁶ Programmable Logic Controller (PLC) - Προγραμματιζόμενος Λογικός Ελεγκτής = ανθεκτικός υπολογιστής που χρησιμοποιείται για βιομηχανικό αυτοματισμό.

2.4.1 EWaste 3DPrinter

Ο εκτυπωτής EWaste 3D είναι ένας μικρός, απλός εκτυπωτής Arduino 3D. Το μεγάλο πλεονέκτημα είναι ότι δεν χρειάζεται να αγοράσουμε πολλά εξαρτήματα. Τα ηλεκτρονικά σώζονται από παλιές συσκευές που μπορούμε να προμηθευτούμε ακόμη και από μάντρα. Θα χρειαστούμε κινητήρες από δύο τυποποιημένες μονάδες CD / DVD και μια μονάδα δισκέτας. Ο εκτυπωτής EWaste 3D ελέγχεται στη συνέχεια από το Arduino και τροφοδοτείται από παλιό τροφοδοτικό υπολογιστή. Το αποτέλεσμα είναι ένας εκτυπωτής μικρής μορφής με λιγότερο από 85€.

Από τη μία πλευρά έχουμε μια εισαγωγή στην κατασκευή μηχανών και την ψηφιακή κατασκευή και από την άλλη πλευρά έχουμε ένα μικρό 3D εκτυπωτή κατασκευασμένο από επαναχρησιμοποιούμενα ηλεκτρονικά μέρη. Αυτό μας βοηθάει να είμαστε πιο συνειδητοί για τα μεγάλα προβλήματα που σχετίζονται με την παραγωγή ηλεκτρονικών αποβλήτων.



[Εικόνα 2.9: EWaste 3DPrinter / Πηγή: <https://www.instructables.com/>]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Εκδόσεις Arduino με έμφαση στο Arduino Uno

3.1.1 Arduino Uno

Το **UNO** είναι η καλύτερη πλακέτα για να ξεκινήσουμε με τα ηλεκτρονικά και την κωδικοποίηση. Η πλατφόρμα UNO είναι η πιο ανθεκτική πλακέτα με την οποία μπορούμε να αρχίσουμε να παίζουμε. Επίσης, είναι η πιο χρησιμοποιημένη και τεκμηριωμένη πλακέτα ολόκληρης της οικογένειας Arduino.

Το Arduino Uno είναι ένας πίνακας μικροελεγκτών που βασίζεται στο ATmega328P (datasheet). Διαθέτει 14 ψηφιακές ακίδες εισόδου / εξόδου (από τις οποίες οι 6 μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έξοδο PWM), 6 αναλογικές εισόδους, κρύσταλλο συχνότητας 16 MHz, σύνδεση USB, υποδοχή τροφοδοσίας, κεφαλίδα ICSP⁷ και κουμπί επαναφοράς. Περιέχει όλα όσα χρειάζεται για να υποστηρίξει τον μικροελεγκτή. Απλά το συνδέουμε σε έναν υπολογιστή με καλώδιο USB ή το τροφοδοτούμε με έναν προσαρμογέα εναλλασσόμενου ρεύματος ή μπαταρία για να ξεκινήσουμε. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το UNO χωρίς να ανησυχούμε υπερβολικά μήπως κάνουμε κάτι λάθος. Το χειρότερο σενάριο που μπορεί να συμβεί είναι να αντικαταστήσουμε το chip για μερικά ευρώ και να ξεκινήσουμε πάλι.

Το "Uno" σημαίνει "Ένα" στην ιταλική γλώσσα και επιλέχθηκε για να επισημάνει την έκδοση του λογισμικού Arduino (IDE)⁸ 1.0. Η πλακέτα Uno και η έκδοση 1.0 του λογισμικού Arduino (IDE) ήταν οι εκδόσεις αναφοράς του Arduino, οι οποίες τώρα εξελίχθηκαν σε νεότερες εκδόσεις. Η πλακέτα Uno είναι η πρώτη σε μια σειρά από πλακέτες USB Arduino και το μοντέλο αναφοράς για την πλατφόρμα Arduino.

⁷ ICSP (In Circuit Serial Programming) = Μέθοδος για τον προγραμματισμό μικροελεγκτών

⁸ IDE= Ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (Integrated Development Environment) που βοηθάει στην ανάπτυξη προγραμμάτων υπολογιστή.



[Εικόνα 3.1: Arduino Uno REV3 / Πηγή: <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>]

3.1.1.1 Προγραμματισμός

Το Arduino Uno μπορεί να προγραμματιστεί με το (Arduino Software (IDE)). Το ATmega328 στο Arduino Uno έρχεται εκ των προτέρων προγραμματισμένο με ένα bootloader⁹ που μας επιτρέπει να ανεβάσουμε νέο κώδικα χωρίς να χρησιμοποιεί κάποιον εξωτερικό προγραμματιστή υλικού και επικοινωνεί χρησιμοποιώντας το αρχικό πρωτόκολλο STK500 (αναφορά, αρχεία επικεφαλίδας C). Μπορούμε επίσης να παρακάμψουμε το bootloader και να προγραμματίσουμε τον μικροελεγκτή μέσω της κεφαλίδας ICSP (Σειριακός Προγραμματισμός εντός κυκλώματος) χρησιμοποιώντας τον ISP¹⁰ του Arduino.

Ο πηγαίος κώδικας firmware του ATmega16U2 (ή 8U2 στην rev1 και rev2) είναι διαθέσιμος στο αποθετήριο Arduino.

3.1.1.2 Διαφορές με άλλες πλακέτες

Το Uno διαφέρει από όλες τις υπόλοιπες πλακέτες στο ότι δεν χρησιμοποιεί το chip driver FTDI USB-to-serial. Αντίθετα, διαθέτει το Atmega16U2 (Atmega8U2 μέχρι την έκδοση R2) προγραμματισμένο ως μετατροπέας USB σε σειριακό.

⁹Bootloader = Οι μικροελεγκτές προγραμματίζονται συνήθως μέσω ενός προγραμματιστή, εκτός αν υπάρχει ένα κομμάτι υλικολογισμικού στον μικροελεγκτή που να επιτρέπει την εγκατάσταση νέου υλικολογισμικού χωρίς την ανάγκη εξωτερικού προγραμματιστή.

¹⁰ In-System-Programmer (ISP) = χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό των μικροελεγκτών AVR.

3.1.1.3 Είσοδος και Έξοδος

Κάθε μία από τις 14 ψηφιακές ακίδες στο Uno μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως είσοδος ή έξοδος χρησιμοποιώντας τις λειτουργίες **pinMode()**, **digitalWrite()** και **digitalRead()**. Αυτές λειτουργούν στα 5V. Κάθε ακροδέκτης μπορεί να παρέχει ή να λαμβάνει 20 mA ως συνιστώμενη κατάσταση λειτουργίας και έχει εσωτερική αντίσταση pull-up (αποσυνδεδεμένη από προεπιλογή) 20-50k ohm. Το μέγιστο 40mA είναι η τιμή που δεν πρέπει να ξεπεραστεί σε οποιονδήποτε ακροδέκτη εισόδου / εξόδου για να αποφευχθεί η μόνιμη βλάβη του μικροελεγκτή.

Επιπλέον, μερικά pins έχουν εξειδικευμένες λειτουργίες:

- ❖ **Σειριακό:** 0 (RX) και 1 (TX). Χρησιμοποιείται για τη λήψη (RX) και τη μετάδοση (TX) TTL σειριακών δεδομένων. Οι ακίδες αυτές συνδέονται με τους αντίστοιχους ακροδέκτες του σειριακού τσιπ ATmega8U2 USB-σε-TTL.
- ❖ **Εξωτερικές Διακοπές:** 2 και 3. Αυτές οι ακίδες μπορούν να διαμορφωθούν για να προκαλέσουν διακοπή σε χαμηλή τιμή, άνοδο ή πτώση της άκρης ή αλλαγή τιμής.
- ❖ **PWM:** 3, 5, 6, 9, 10 και 11. Παρέχεται έξοδο PWM 8 bit με τη λειτουργία `analogWrite()`.
- ❖ **SPI:** 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Αυτές οι ακίδες υποστηρίζουν την επικοινωνία SPI χρησιμοποιώντας τη βιβλιοθήκη SPI.
- ❖ **LED:** 13. Υπάρχει μια ενσωματωμένη λυχνία LED που ενεργοποιείται από το ψηφιακό pin 13. Όταν ο ακροδέκτης είναι ΥΨΗΛΗ τιμή, η λυχνία LED είναι αναμμένη, όταν ο ακροδέκτης είναι LOW, είναι απενεργοποιημένος.
- ❖ **TWI:** Ακίδα A4 ή SDA και ακίδα A5 ή SCL. Υποστήριξη επικοινωνίας TWI χρησιμοποιώντας τη βιβλιοθήκη καλωδίων.

Το Uno διαθέτει 6 αναλογικές εισόδους, οι οποίες φέρουν την ένδειξη A0 έως A5, καθένα από τα οποία παρέχει 10 ψηφία ανάλυσης (δηλαδή 1024 διαφορετικές τιμές). Από προεπιλογή, μετρούν από το έδαφος σε 5V, αν και είναι δυνατή η αλλαγή του ανώτερου άκρου της εμβέλειας τους χρησιμοποιώντας την AREF ακίδα και τη λειτουργία `analogReference()`. Υπάρχουν δύο ακόμη ακίδες στην πλακέτα:

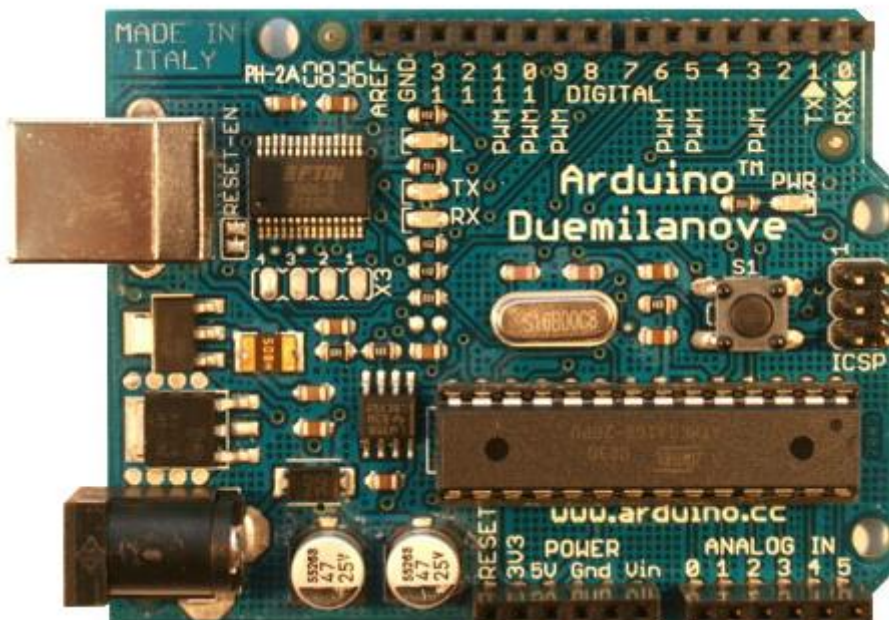
Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων

- ❖ **AREF:** Τάση αναφοράς για τις αναλογικές εισόδους. Χρησιμοποιείται με analogReference ().
- ❖ **Επαναφορά:** Θέτει αυτή την ακίδα στο LOW για να επαναφέρει τον μικροελεγκτή. Συνήθως χρησιμοποιείται για να προστεθεί ένα κουμπί επαναφοράς στις ασπίδες.

3.2 Arduino Duemilanove

Το **Arduino Duemilanove ("2009")** είναι ένας πίνακας μικροελεγκτών με βάση το ATmega168 (datasheet) ή το ATmega328 (datasheet). Έχει 14 ψηφιακές ακίδες εισόδου / εξόδου (από τις οποίες 6 μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έξοδο PWM), 6 αναλογικές εισοδοί, 16 MHz ταλαντωτής κρυστάλλου, σύνδεση USB, υποδοχή τροφοδοσίας, κεφαλίδα ICSP και κουμπί επαναφοράς. Περιέχει όλα όσα χρειάζονται για να υποστηρίξουν τον μικροελεγκτή. Απλά συνδέεται σε έναν υπολογιστή με καλώδιο USB ή ενεργοποιείται με προσαρμογέα AC ή DC ή μπαταρία για να ξεκινήσει.

Η λέξη "Duemilanove" σημαίνει 2009 στα ιταλικά και ονομάστηκε έτσι μετά το έτος της έκδοσής του. Το Duemilanove είναι το τελευταίο σε μια σειρά από πλακέτες USB Arduino.



[Εικόνα 3.2: Arduino Duemilanove / Πηγή:

<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardDuemilanove>]

3.2.1 Τροφοδοσία

Το Arduino Duemilanove μπορεί να τροφοδοτηθεί μέσω σύνδεσης USB ή με εξωτερικό τροφοδοτικό. Η πηγή ενέργειας επιλέγεται αυτόματα.

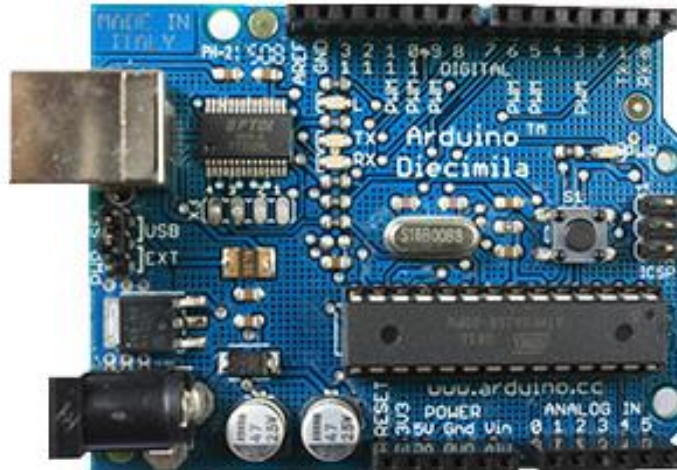
Η εξωτερική (χωρίς USB) ισχύς μπορεί να προέρχεται είτε από έναν προσαρμογέα AC-σε-DC (wall-wart) είτε από μπαταρία. Ο προσαρμογέας μπορεί να συνδεθεί, συνδέοντας ένα κεντρικό βύσμα 2.1 mm στην υποδοχή τροφοδοσίας της πλακέτας. Μεταγωγές από μπαταρία μπορούν να εισαχθούν στα pin του Gnd και του Vin της υποδοχής POWER.

Η πλακέτα μπορεί να λειτουργεί σε εξωτερική τροφοδοσία από 6 έως 20 βολτ. Εάν, ωστόσο παρέχεται με λιγότερα από 7V, το pin των 5V μπορεί να παρέχει λιγότερα από 5 βολτ και η πλακέτα μπορεί να είναι ασταθής. Εάν χρησιμοποιήσουμε περισσότερα από 12V, ο ρυθμιστής τάσης μπορεί να υπερθερμανθεί και να βλάψει την πλακέτα. Το συνιστώμενο εύρος τιμών είναι 7 έως 12 βολτ.

3.3 Arduino Diecimila

Η κύρια αλλαγή στο **Arduino Diecimila** είναι ότι μπορεί να γίνει επαναφορά από τον υπολογιστή, χωρίς να χρειαστεί να πατηθεί το κουμπί επαναφοράς στην πλακέτα. Το Diecimila χρησιμοποιεί ένα χαμηλό ρυθμιστή τάσης απόρριψης, ο οποίος μειώνει την κατανάλωση ισχύος του πίνακα όταν τροφοδοτείται από εξωτερική τροφοδοσία (προσαρμογέας AC / DC ή μπαταρία). Μια επανατοποθετούμενη ασφάλεια που προστατεύει τις θύρες USB του υπολογιστή από βραχυκυκλώσεις και υπερφορτώσεις. Παρέχει επίσης ακροδέκτες για τη γραμμή επαναφοράς και για 3.3V. Υπάρχει μια ενσωματωμένη λυχνία LED στον ακροδέκτη 13. Μερικές μπλε πλακέτες Diecimila λένε "Prototype - Limited Edition" αλλά στην πραγματικότητα είναι πλήρως δοκιμασμένες πλακέτες παραγωγής (τα πρωτότυπα είναι κόκκινα).

Ρομπωτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων



[Εικόνα 3.3: Arduino Diecimila / Πηγή:

<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardDiecimila>]

3.4 Arduino Bluetooth

Το **Arduino BT** είναι μια πλακέτα μικροελεγκτών που αρχικά βασιζόταν στο ATmega168, αλλά τώρα παρέχεται με τη μονάδα Bluetooth 328 και Bluegiga WT11. Υποστηρίζει ασύρματη σειριακή επικοινωνία μέσω bluetooth (αλλά δεν είναι συμβατή με Bluetooth ακουστικά ή άλλες συσκευές ήχου).

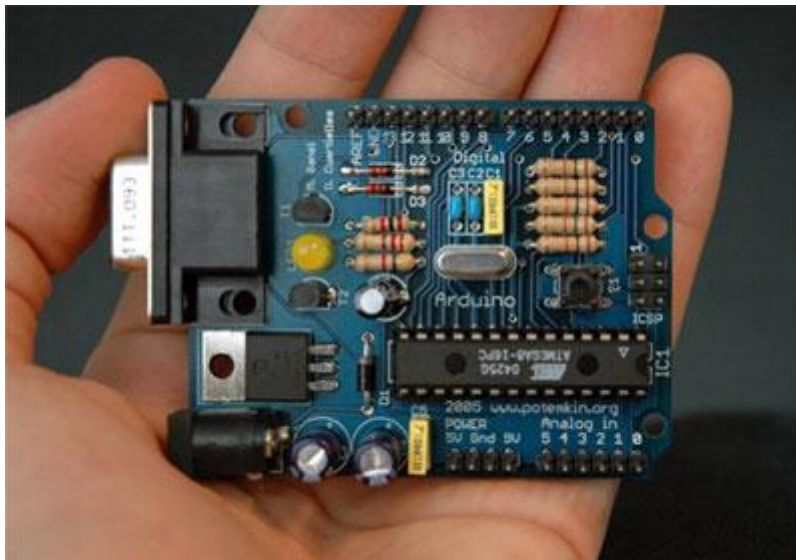


[Εικόνα 3.4: Πλακέτα Arduino Bluetooth / Πηγή:

<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardBT?from=Main.ArduinoBoardBluetooth>]

3.5 Arduino Serial

Είναι μια βασική πλακέτα που χρησιμοποιεί το RS232 ως διασύνδεση με έναν υπολογιστή για προγραμματισμό ή επικοινωνία. Αυτή η πλακέτα είναι εύκολη να συναρμολογηθεί ακόμα και ως εξάσκηση. Έχει σχεδιαστεί για να χρησιμοποιεί, όσο το δυνατόν, τα πιο απλά εξαρτήματα, έτσι ώστε να είναι εύκολο να κατασκευαστεί ακόμα και από έναν αρχάριο με υλικά που μπορεί να προμηθευτεί εύκολα.



[Εικόνα 3.5: Arduino Serial / Πηγή: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardSerial>]

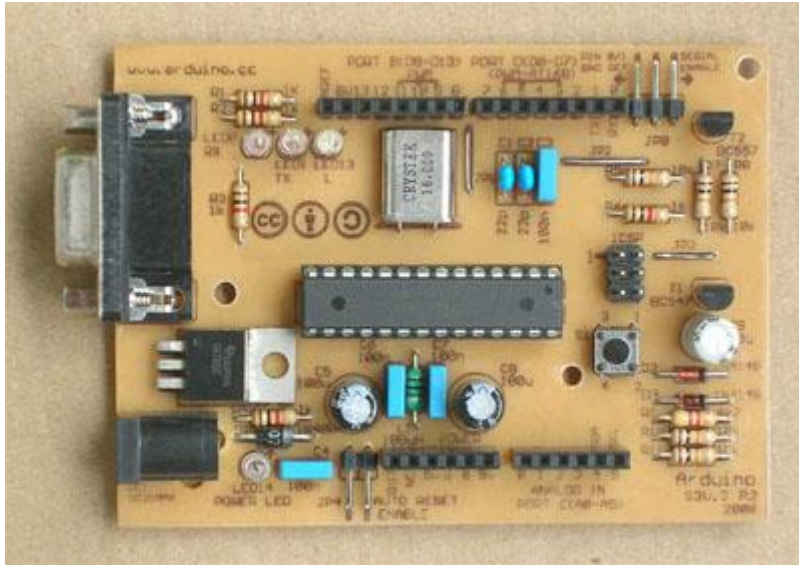
3.6 Severino (S3V3)

Εάν δεν υπάρχει εύκολος τρόπος για παραγγελία πλακέτας Arduino ή κιτ, ένας άλλος τρόπος είναι η χάραξη και συγκόλληση PCB¹¹ σχεδίου με το χέρι. Είναι συμβατό με το Arduino Diecimila και οφείλει να λειτουργεί με οποιαδήποτε ασπίδα Arduino.

Έχει τρεις λιγότερες γέφυρες από το πρωτότυπο και περιλαμβάνει TX, RX και pin 13 LEDs. Οι κεφαλές ICSP και Power είναι συμβατές με το Diecimila.

¹¹PCB (Printed Circuit Board) = Πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος που υποστηρίζει μηχανικά και συνδέει ηλεκτρικά ηλεκτρονικά εξαρτήματα χρησιμοποιώντας αγωγίμες τροχιές και άλλα χαρακτηριστικά χαραγμένα από φύλλα χαλκού που έχουν ελασματοποιηθεί επάνω σε ένα μη αγωγίμο υπόστρωμα.

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων



[Εικόνα 3.6: Arduino Single-Sided Serial Board (version 3) / Πηγή: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardSerialSingleSided3>]

3.7 Arduino Mini

Σε αυτή την πλακέτα, έχει προστεθεί ένα σημείο συγκόλλησης για το ψηφιακό pin 7 στην άκρη της πλακέτας (δίπλα στα σημεία συγκόλλησης για TX, RX, + 5V και Ground). Κάθε pin αριθμείται και η πλακέτα φέρει την ένδειξη "Mini 03".

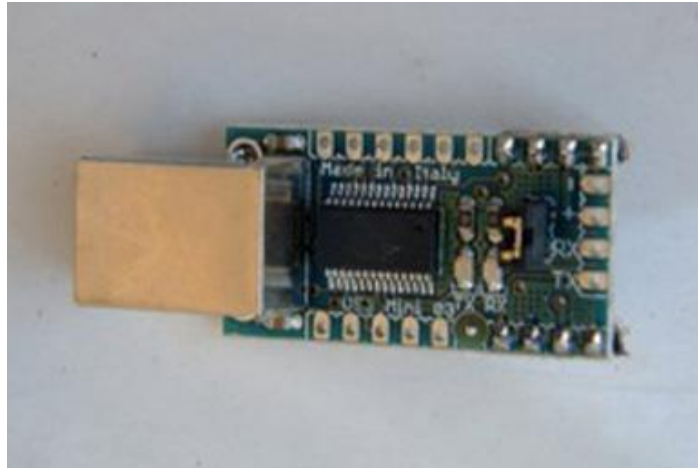


[Εικόνα 3.7: Arduino Mini 03 / Πηγή: <https://www.arduino.cc/en/Main/Boards>]

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων

3.8 Mini Usb Adapter

Αυτή η έκδοση του προσαρμογέα Mini USB “διαλύει” πολλούς ακροδέκτες του τσιπ FTDI USB-σε-serial. Έχει επισημανθεί σε "USB Mini 03".



[Εικόνα 3.8: Mini Usb Adapter 03 / Πηγή: <https://www.arduino.cc/en/Main/Boards>]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 Τεχνολογία 3D εκτυπώσεων

4.1.1 Ιστορική Αναδρομή

Η τρισδιάστατη εκτύπωση εφευρέθηκε για πρώτη φορά το 1982 από τον Chuck Hull. Ο Hull πίστευε ότι τοποθετώντας χιλιάδες λεπτά στρώματα πλαστικού το ένα πάνω από το άλλο και στη συνέχεια χαράζοντας το σχήμα τους, χρησιμοποιώντας το φως, τότε θα ήταν σε θέση να σχηματιστούν τρισδιάστατα αντικείμενα. Έχοντας κάνει άπειρα πειράματα, μετά από ένα χρόνο, κατέληξε στην ανάπτυξη ενός συστήματος συμπυκνωμένων ακτινών υπεριωδών φώτων, κινούμενων υπό τον έλεγχο ενός υπολογιστή, να προσκρούουν την επιφάνεια ενός κάδου γεμάτο με υγρό φωτοπολυμερές και όπου χτυπά το υγρό αυτό να μετατρέπεται σε ένα τύπο πλαστικού σε σταθερή μορφή. Ο Hull διαπίστωσε ότι η ανακάλυψή του δεν περιοριζόταν σε υγρά στοιχεία και ως εκ τούτου η επινόησή του ονομάστηκε *στερεολιθογραφία* ή *3D εκτύπωση*, καθώς κάλυπτε κάθε υλικό ικανό προς στερεοποίηση ή ικανό να μεταβάλει τη φυσική του κατάσταση. Από τότε βέβαια η 3D εκτύπωση διένυσε μακρύ δρόμο...

4.2 Εισαγωγή στους 3D εκτυπωτές

Η τρισδιάστατη εκτύπωση (3D εκτύπωση) είναι ένα νέο πεδίο της μηχανικής. Τα πρώτα πειράματα ξεκίνησαν στα τέλη της δεκαετίας του '80, αλλά μόλις από τη δεκαετία του '90 μπορούμε να μιλήσουμε για πραγματική 3D εκτύπωση. Με την αύξηση της χρήσης των 3D CAD¹² συστημάτων στην πραγματική ζωή, αναπτύχθηκαν επίσης και οι 3D εκτυπωτές. Η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι μια πρόσθετη τεχνική κατασκευή εξαρτημάτων, όπου τα προϊόντα κατασκευάζονται με την προσθήκη στρώσεων μέχρι το τελικό σχήμα να επιτευχθεί. Τα πλεονεκτήματα της 3D εκτύπωσης είναι το χαμηλότερο κόστος των πρωτοτύπων και η ταχύτερη διαδικασία παραγωγής περίπλοκων σχημάτων των εξαρτημάτων. Η πλειοψηφία των κατασκευαστών 3D εκτυπωτών επικεντρώνεται στην ανάπτυξη και πώληση μηχανών με υψηλή ακρίβεια και μικρές διαστάσεις. Από την άλλη πλευρά υπάρχει

¹² 3D CAD = Τεχνολογία σχεδιασμού, η οποία αντικαθιστά τη χειροκίνητη σχεδίαση με μια αυτοματοποιημένη διαδικασία. Χρησιμοποιείται από αρχιτέκτονες, μηχανικούς και άλλους επαγγελματίες και παρέχει μια πρόσθετη διάσταση για την ακριβή απεικόνιση και την κοινή χρήση σχεδίων.

η πιθανότητα να δούμε στο χώρο της αγοράς, όπου παράγονται μεγάλα εξαρτήματα, με χαμηλή ακρίβεια.

4.3 Διαδικασία κατασκευής ενός 3D αντικειμένου

Η 3D εκτύπωση ή η παρασκευή προσθέτων, περιγράφεται ως η διαδικασία κατασκευής ενός τρισδιάστατου στερεού αντικειμένου από ένα ψηφιακό αρχείο χρησιμοποιώντας διαδικασίες προσθέτων. Ένα 3D αντικείμενο δημιουργείται από την εναπόθεση διαδοχικών στρωμάτων ενός υλικού σύμφωνα με το σχεδιασμό σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Για την εκτύπωση ενός αντικειμένου 3D, είναι απαραίτητο να υπάρχει πρώτα το σχέδιο. Ένα εντελώς νέο αντικείμενο μπορεί να δημιουργηθεί στο CAD (υπολογιστικό σχέδιο) χρησιμοποιώντας ένα πρόγραμμα 3D μοντελοποίησης, όπως π.χ. SolidWorks ή AutoCad. Εναλλακτικά, το αντίγραφο ενός υπάρχοντος αντικειμένου μπορεί να γίνει με σάρωση αυτού, χρησιμοποιώντας ένα τρισδιάστατο σαρωτή. Χρησιμοποιώντας το κατάλληλο λογισμικό, το τρισδιάστατο μοντέλο τεμαχίζεται σε οριζόντιο επίπεδο στρωμάτων και φορτώνεται σε έναν 3D εκτυπωτή. Ο 3D εκτυπωτής χτίζει το τελικό αντικείμενο ένα στρώμα τη φορά.

Ένας μεγάλος αριθμός τεχνικών 3D εκτύπωσης είναι τώρα διαθέσιμος. Οι κυριότερες διαφορές μεταξύ τους είναι ο τρόπος με τον οποίο τα στρώματα τοποθετούνται και τα υλικά που χρησιμοποιούνται. Μεταξύ αυτών, οι τεχνικές βασισμένες με λέιζερ είναι πολύ δημοφιλείς, καθώς η δέσμη λέιζερ μπορεί να επικεντρωθεί και να κατευθυνθεί με μεγάλη ακρίβεια.

4.3.1 Οι πιο δημοφιλείς τεχνικές εκτύπωσης 3D βασισμένες σε λέιζερ

4.3.1.1 FDM

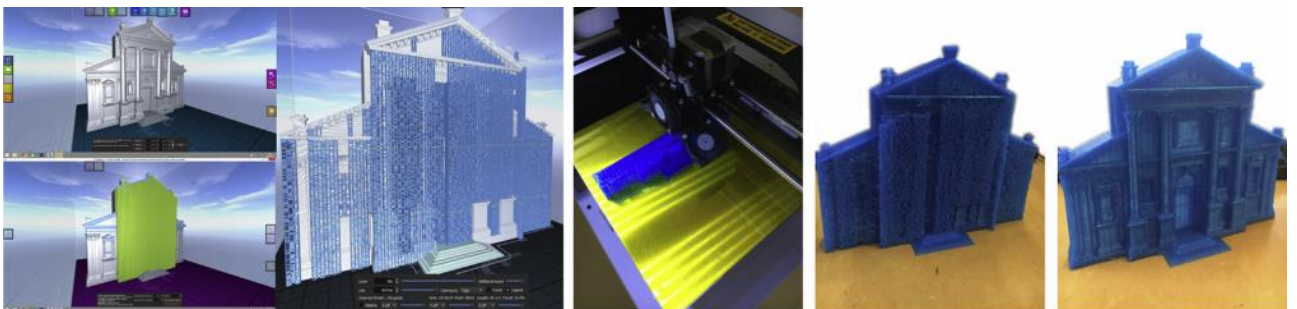
Η πιο διαδεδομένη τεχνική μεταξύ των εκτυπωτών, ειδικά για οικιακές συσκευές, είναι ο τύπος Fused Filament Fabrication (FFF), ο οποίος γεννήθηκε από μια άλλη προηγούμενη τεχνική Fused Deposition Modeling (FDM) που αναπτύχθηκε από τον Scott Crump στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και την οποία εμπορεύτηκε η Stratasys¹³ στη δεκαετία του 1990.

¹³ Stratasys = Το 2002, η εταιρία Stratasys εισάγει τον πρώτο 3D εκτυπωτή κάτω από \$30.000 και το 2008 ξεκινάει τον πρώτο 3D εκτυπωτή για παραγωγή

Και οι δύο τεχνικές βασίζονται στη στρωματοποίηση υγρών πλαστικών υλικών. Η χύτευση βασίζεται στην αρχή του προσθέτου, έτσι ώστε κάθε στρώμα που έχει εναποτεθεί να καλύπτεται από την επόμενη, δημιουργώντας επιπρόσθετες επιφάνειες που μπορούν να δημιουργήσουν τραχύτητα, ανάλογα με το υλικό, στη διάσταση χύτευσης, στο ακροφύσιο και στην ακρίβεια της χύτευσης.

Η λειτουργία είναι αρκετά εύκολη: ένα ακροφύσιο θερμαίνεται για να λιώσει το υλικό (νήμα) και μπορεί να μετακινηθεί σε τρεις άξονες, οριζόντια (άξονες X και Y) και κατακόρυφα (άξονας Z), από έναν αριθμητικά ελεγχόμενο κινητήρα, με εντολή ενός CAM λογισμικού. Το πλαστικό νήμα (στερεό) ξετυλίγεται από το έλικτρο στο οποίο έχει τοποθετηθεί, προκειμένου να περάσει από μια θερμαινόμενη περιοχή με υψηλή θερμοκρασία. Από εδώ, χάρη στην ώθηση ενός οδοντωτού τροχού που συνδέεται με τη μηχανή βημάτων, το υγρό πλαστικό εξάγεται από το ακροφύσιο, όπου η ροή μπορεί να ξεκινήσει και να σταματήσει.

Η τεχνική FDM απαιτεί επίσης τη δημιουργία μιας δομής στήριξης κατά τη δημιουργία του αντικειμένου, ειδικά για τους κενούς χώρους ή τις προεξοχές. Αυτές είναι οι υποστηρίξεις που προβάλλονται απευθείας από το λογισμικό του εκτυπωτή. Οι εκτυπωτές με ένα ακροφύσιο δημιουργούν υποστηρίγματα με το ίδιο υλικό του τελικού αντικειμένου, το οποίο σημαίνει ότι τα στηρίγματα πρέπει να αφαιρεθούν μόλις ολοκληρωθεί η εκτύπωση, πράγμα που σημαίνει ότι αυτή η αφαίρεση μπορεί να μην είναι ακριβής και μερικές φορές μπορεί να βλάψει την ποιότητα του τελικού προϊόντος. Στην (Εικόνα 4.1) που ακολουθεί βλέπουμε υποστηρίγματα για προεξέχοντα εξαρτήματα που έχουν σχεδιαστεί στο λογισμικό τεμαχισμού, τα οποία θα αφαιρεθούν στη συνέχεια από το τελικό τυπωμένο μοντέλο.



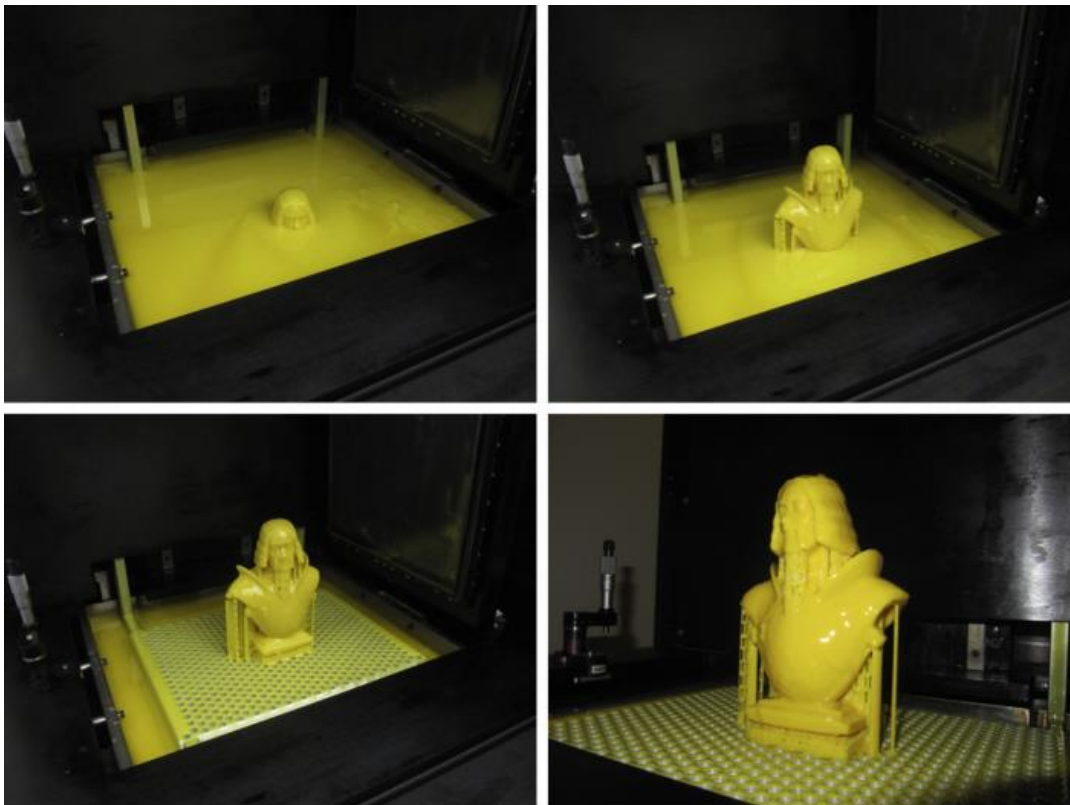
[Εικόνα 4.1: Η προσέγγιση της FDM εφαρμόστηκε στην πρόσοψη της εκκλησίας του S.Giorgio στη Βενετία / Πηγή:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1296207416301698>

Το αποτέλεσμα μιας εκτύπωσης FDM δεν είναι συγκρίσιμο με το επίπεδο ποιότητας που επιτυγχάνεται με άλλες βιομηχανικές τεχνικές που περιλαμβάνουν λέιζερ, αλλά η αξία για τα χρήματα είναι σίγουρα πιο κοντά στην προσδοκία του κοινού.

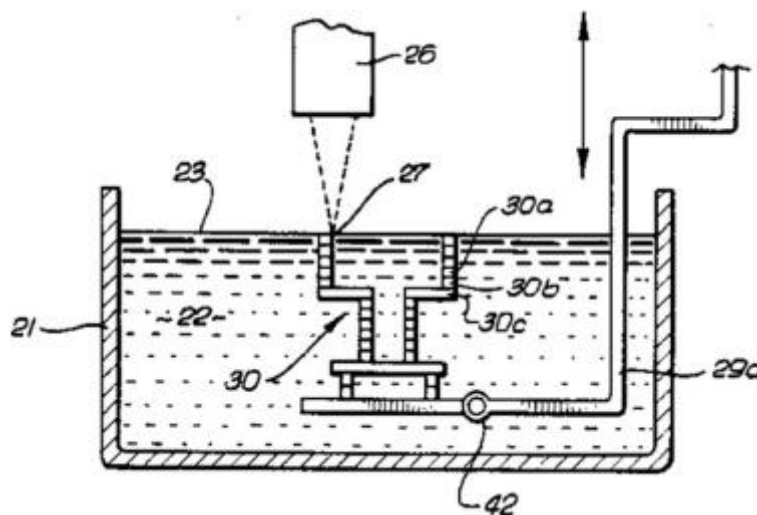
4.3.1.2 SLA

Η στερεολιθογραφία (SLA) είναι μια τεχνική εκτύπωσης που χρησιμοποιεί μια δεξαμενή γεμάτη με μια συγκεκριμένη υγρή ρητίνη, ικανή να πολυμεριστεί εάν εκτεθεί στο φως. Ένα λέιζερ προβάλλεται μέσω ενός συστήματος καθρεφτών για να ολοκληρώσει μια σάρωση της επιφάνειας. Ένα έμβολο χαμηλώνει τη δεξαμενή με τη ρητίνη υγρού για τις ακόλουθες σαρώσεις. Η διαδικασία σάρωσης επαναλαμβάνεται μέχρι να ολοκληρωθεί το τρισδιάστατο αντικείμενο. Στο τέλος, το αντικείμενο λαμβάνεται από την υγρή ρητίνη και εκτίθεται σε υπεριώδες φως για να ολοκληρωθεί η διαδικασία πολυμερισμού. Μια τέτοια διαδικασία απεικονίζεται στην παρακάτω (Εικόνα 4.2) στην αναπαραγωγή της προτομής του Francesco II Gonzaga, στο Μουσείο Πόλης της Μάντοβα.



[Εικόνα 4.2: Τεχνική εκτύπωσης SLA στην αναπαραγωγή της προτομής του Francesco II Gonzaga / Πηγή: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1296207416301698>]

Ο πατέρας του SLA , ο Charles (Chuck) W. Hull, ο οποίος εφάρμοσε για πρώτη φορά τον όρο «στερεολιθογραφία», περιέγραψε τη συσκευή στο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας του, το 1986 ως "Συσκευή για την παραγωγή τρισδιάστατων αντικειμένων από στερεολιθογραφία ". Εκεί, περιγράφεται ως "ένα νέο και βελτιωμένο σύστημα για την παραγωγή ενός τρισδιάστατου αντικειμένου σχηματιζόμενο από διαδοχικά, γειτονικά, τμηματικά στρώματα εκείνου του αντικειμένου στην επιφάνεια ενός ρευστού μέσου, ικανό να μεταβάλλει τη φυσική του κατάσταση σε απόκριση της κατάλληλης αλληλεπιδραστικής διέγερσης, ενώ τα διαδοχικά στρώματα ενσωματώνονται αυτόματα καθώς διαμορφώνονται για να ορίσουν το επιθυμητό τρισδιάστατο αντικείμενο." Το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας περιγράφει μια εστιασμένη δέσμη υπεριώδους ακτινοβολίας τραβώντας κάθε στρώμα του αντικειμένου επάνω στην επιφάνεια μιας δεξαμενής γεμάτης με υγρή ρητίνη, όπως φαίνεται στην (Εικόνα 4.3).



[Εικόνα 4.3: Σχέδιο SLA. Συσκευή του Hull C.W για παραγωγή Τρισδιάστατων

Αντικειμένων από Στερεολιθογραφία, 1986 / Πηγή:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1296207416301698>

Το SLA μπορεί να παράγει σχεδόν άπειρες πολύπλοκες λειτουργίες, όπως πρωτότυπα σε χρονικό διάστημα από μερικές ώρες έως περισσότερο από μία ημέρα. Η ανάλυση μπορεί να είναι κάτω από 5 mm, ενώ το συνολικό μέγεθος εξαρτάται από τον τύπο του μηχανήματος και το μέγεθος της πλατφόρμας του ανυψωτήρα. Συνήθως, μια μηχανή SLA είναι ικανή να παράγει στοιχεία μέγιστου

μεγέθους 50 x 50 x 60 cm³. Ωστόσο, στις μέρες μας υπάρχουν μηχανές SLA, όπως το Mammoth¹⁴, που μπορεί να παράγει μεγέθη μέχρι και 2 μέτρα.

Η κύρια εφαρμογή του SLA είναι η δημιουργία πρωτοτύπων. Ως εκ τούτου, έχει χρησιμοποιηθεί από μια ποικιλία βιομηχανιών, όπως στην αυτοκινητοβιομηχανία, όπου χρησιμοποιείται συνήθως για να κατασκευάσει συστηματικά πρωτότυπα πολυμερών μηχανών αυτοκινήτων.

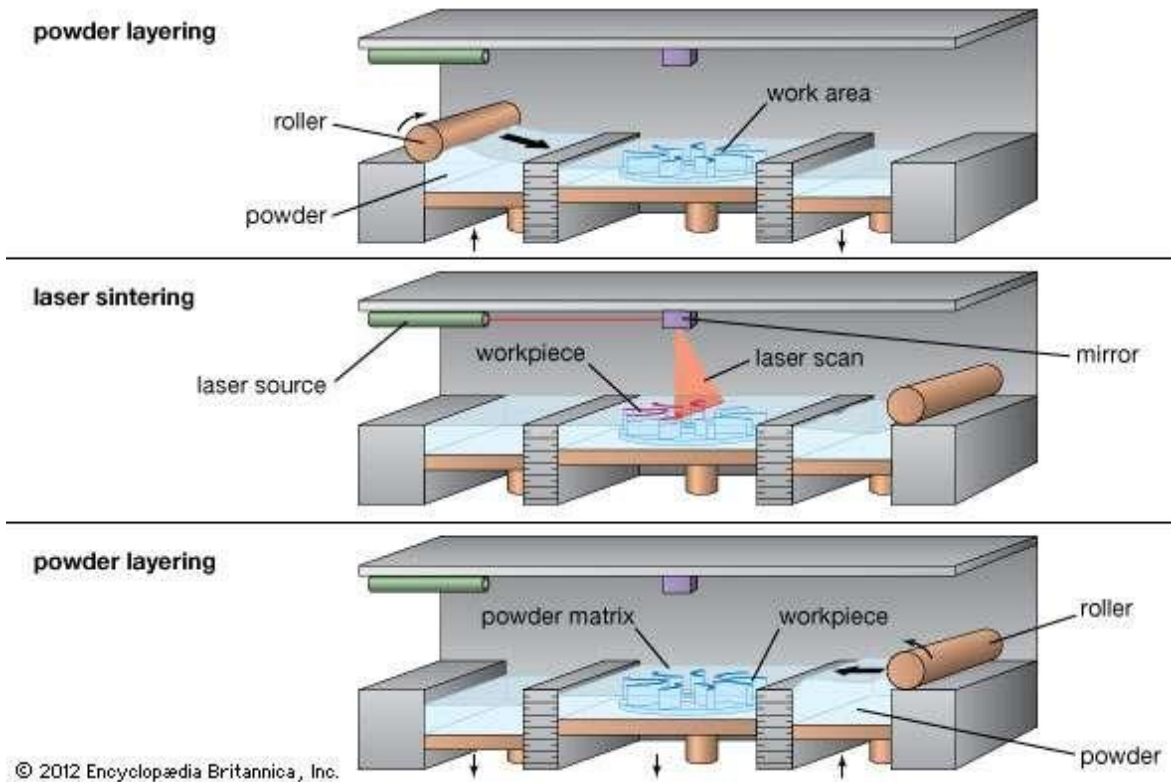
Το SLA έχει επίσης εφαρμοστεί στην ιατρική, για την κατασκευή οδηγών για τον εντοπισμό όγκων και την καθοδήγηση χειρουργικών επεμβάσεων, αλλά και για την κατασκευή εμφυτευμάτων και ικριωμάτων για τη μηχανική των οστών και των χόνδρων. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε αυτή την περίπτωση μπορεί να είναι καθαρά φωτοπολυμερή ή συνήθως υλικά όπως ρητίνες αναμεμιγμένες με υδροξυαπατίτη.

4.3.1.3 SLS

Η τεχνική **SLS**¹⁵ χρησιμοποιεί λέιζερ υψηλής ισχύος για την τήξη στρωμάτων υλικού σε μορφή σκόνης, προκειμένου να κατασκευαστούν 3D δομές. Μια τυπική πειραματική ρύθμιση παρουσιάζεται στην (Εικόνα 4.4). Ένα στρώμα σκόνης τοποθετείται πρώτα σε ένα έμβολο κατασκευής υποστρώματος. Η δέσμη λέιζερ σαρώνεται πάνω από την επιφάνεια σκόνης ακολουθώντας ένα σχέδιο CAD. Η δέσμη λέιζερ θερμαίνει τη σκόνη σε σημείο τήξης και προκαλεί την τήξη των σωματιδίων της σκόνης για να σχηματίσει μια στερεή μάζα. Τα επόμενα επίπεδα κατασκευάζονται απευθείας πάνω από τα προηγούμενα στρώματα, με νέα στρώματα σκόνης που έχουν κατατεθεί στην κορυφή των ήδη πυροσυσσωματωμένων στρωμάτων χρησιμοποιώντας ένα κύλινδρο.

¹⁴ Mammoth = Μηχάνημα στερεολιθογραφίας που επιτρέπει την κατασκευή και την αποστολή εξαρτημάτων σε λιγότερο από μία μέρα. Επίσης, δίνει τη δυνατότητα εκτύπωσης τρισδιάστατων εξαρτημάτων μήκους έως και 2 μέτρων σε μια ενιαία κατασκευή.

¹⁵ SLS = Selective Laser Sintering



© 2012 Encyclopædia Britannica, Inc.

[Εικόνα 4.4: Η διαδικασία SLS, που δείχνει (επάνω) την κύλιση ενός λεπτού στρώματος σκόνης πάνω από την περιοχή εργασίας, (μεσαία) η πυροσυσσωμάτωση σκόνης με λέιζερ για να δημιουργήσει το χώρο εργασίας και (κάτω) για την εκκίνηση μιας νέας στρώσης / Πηγή: <https://www.britannica.com/technology/3D-printing>]

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή εξαρτημάτων σε SLS μηχανές, μπορούν να είναι σκόνες μεμονωμένου συστατικού (όπως σκόνες μετάλλου που παράγονται με άλεση σφαιρών) ή, συνηθέστερα, δύο σκόνες συστατικών, επικαλυμμένες σκόνες ή μείγματα σκόνης. Σε σύγκριση με άλλες τεχνικές 3D εκτύπωσης λέιζερ, το SLS μπορεί να κατασκευάσει εξαρτήματα από μια μεγάλη ποικιλία υλικών. Αυτά μπορεί να είναι πολυμερή όπως νάιλον και επιστρωμένο με νάιλον μέταλλο σωματιδίων, πολυστυρόλιο, μέταλλα όπως τιτάνιο, χάλυβα, κράματα, και διάφορα βιοϋλικά όπως υδροξυαπατίτη, πολυκαπρολακτόνη, πολυλακτίδιο και μίγματα από εκείνα με άλλα βιοπολυμερή. Ανάλογα με το υλικό, μπορεί να επιτευχθεί πυκνότητα έως 100% με το υλικό, ιδιότητες συγκρίσιμες με αυτές της συμβατικής άλεσης μεθόδων.

4.4 Υλικά 3D Εκτύπωσης

4.4.1 PLA (PolyLactic Acid)

Το **PLA** (Poly Lactic Acid) ως ένα βιοδιασπώμενο θερμοπλαστικό προέρχεται από φυτικές ανανεώσιμες πηγές το οποίο κατατάσσεται πρώτο στη λίστα με τα πιο φιλικά προς το περιβάλλον πλαστικά υλικά. Το PLA είναι ένα σκληρό και ανθεκτικό υλικό γι' αυτό και παρουσιάζει μεγαλύτερη ακαμψία σε σύγκριση με το ABS. Η θερμοκρασία στην οποία αρχίζει να μαλακώνει το PLA είναι περίπου οι 65 βαθμοί Κελσίου. Ένα αντικείμενο το οποίο έχει εκτυπωθεί με PLA μπορεί να γίνει επεξεργασία με γυαλόχαρτο αλλά και μηχανουργική κατεργασία όπως τρύπημα, τόννευση και φρεζάρισμα. Επίσης, μπορεί να βαφεί με ακρυλικά και διάφορα άλλα χρώματα. Τέλος, είναι το πιο κοινά 3D εκτυπώσιμο υλικό, ιδανικό για όλες τις εφαρμογές που δεν υφίστανται υψηλές θερμοκρασίες.

4.4.2 ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)

Το **ABS** (Acrylonitrile Butadiene Styrene) είναι ένα από τα πιο συνηθισμένα είδη πλαστικών στη βιομηχανία κατασκευής προϊόντων. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι τα γνωστά σε όλους μας τουβλάκια LEGO®. Η προέλευση του ABS είναι πετρελαϊκή κάτι που το κάνει λιγότερο "πράσινο" από το PLA. Είναι ένα πολύ ανθεκτικό, σκληρό και σε μικρό βαθμό εύκαμπτο υλικό ώστε υπό περιορισμένη πίεση να λυγίζει αντί να σπάει. Διατηρεί τη στιβαρότητά του έως τους 105 βαθμούς Κελσίου, άρα είναι ιδανικό για εφαρμογές όπου απαιτείται αντοχή σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Όπως και το PLA, έτσι και το ABS μπορεί να τρυπηθεί αλλά και να λειανθεί με τρίψιμο χωρίς πρόβλημα.

4.5 Τεχνικές υφής επιφάνειας με βάση το λέιζερ

Σε γενικές γραμμές, η ποικιλία της επεξεργασίας υλικών λέιζερ περιλαμβάνει κοπή, διάτρηση, συγκόλληση, σκλήρυνση επιφάνειας, κράμα, επένδυση, γρήγορη δημιουργία πρωτοτύπων, σχηματισμό με υποβοήθηση από λέιζερ, αποκόλληση. Στις μέρες μας, οι διαθέσιμες μονάδες λέιζερ μπορούν να παράσχουν δέσμη με μήκος κύματος που κυμαίνεται από το UV έως την υπέρυθη (IR) φασματική περιοχή που κατέχει συνεχή ή παλμική πυκνότητα ισχύος - η ισχύς του λέιζερ

μπορεί να εκτείνεται από χαμηλές τιμές (BmW) σε εξαιρετικά υψηλές, όπως 1-100 W – εκθέματα, όχι μόνο χωρική όσο και χρονική συνοχή αλλά και χαμηλή απόκλιση.

Κατά την επεξεργασία των υλικών λέιζερ, τμήμα μιας δέσμης λέιζερ είτε παλμικής είτε συνεχούς κύματος - η οποία προσπίπτει στην επιφάνεια του υλικού - απορροφάται, ενώ η μεγαλύτερη αντανακλάται. Η απορροφούμενη ενέργεια φωτονίων μπορεί να οδηγήσει σε διέγερση του σθένους και / ή της αγωγιμότητας ηλεκτρονίων ζώνης, διεγερμένη αλληλεπίδραση ηλεκτρονίων-φωτονίων μέσα σε 10^{-11} - 10^{-12} s, αλληλεπίδραση ηλεκτρονίων-ηλεκτρονίων ή ηλεκτρονίων-πλάσματος και ανασυνδυασμός οπών ηλεκτρονίων σε χρονοδιάγραμμα 10^{-9} - 10^{10} s.

Σε κάθε περίπτωση, προς την επίτευξη του επιθυμητού και αποτελεσματικού βαθμού θέρμανσης και φάση μετάβασης για την κλίμακα επεξεργασίας της επιφάνειας λέιζερ, η ποσότητα της εναποθεμιμένης πυκνότητας ενέργειας του λέιζερ καθώς και η διάρκεια του παλμού λέιζερ θα πρέπει να διαλέγονται αντίστοιχα. Η επεξεργασία της επιφάνειας λέιζερ μπορεί να επιτευχθεί, είτε χωρίς τήξη (σκλήρυνση, κάμψη) απαιτώντας χαμηλή πυκνότητα ισχύος, με τήξη (επένδυση, συγκόλληση, κοπή) που επιβάλλει υψηλή πυκνότητα ισχύος ή με εξαέρωση (κοπή, διάτρηση, αποκόλληση) ζητώντας για την υψηλή πυκνότητα ισχύος που κατατίθεται σε υπερβολική διάρκεια παλμού.

Για περισσότερο από 20 χρόνια, η επιφανειακή επεξεργασία με λέιζερ (LST) έχει αποδείξει μια αποτελεσματική και ελεγχόμενη μέθοδο για την παραγωγή της υφής των μικροπόρων στους δίσκους μαγνητικών δίσκων και κεραμικών. Η LST¹⁶, στις μέρες μας, είναι μια αποτελεσματική και καθαρή για το περιβάλλον τεχνική που επιτρέπει το ακριβές σχήμα και τον έλεγχο των διαστάσεων των επαγόμενων μικρο-μοτίβων. Θεωρείται ότι είναι η πιο πρόωρη τεχνική για τη μηχανική

¹⁶ LST = Laser Surface Texturing

επιφάνεια των πολυμερών, μετάλλων, κεραμικών, γυαλιού και ημιαγωγών για τον έλεγχο της διαβρεξιμότητας, η χρωματική σήμανση για την απομίμηση, ο έλεγχος και η βελτίωση της αντοχής στη φθορά και του συντελεστή τριβής σε τριβολογική επαφή, βιομιμητικές, και μικρορευστοί σκοποί.

4.6 Καινοτομίες και πλεονεκτήματα της τρισδιάστατης εκτύπωσης

Τα τελευταία χρόνια η χρήση ηλεκτρονικών και Τεχνολογιών Πληροφορικής (IT) έχει αυξηθεί εκθετικά, δημιουργώντας νέα τοπία και δυνατότητες στον τομέα της πολιτιστικής κληρονομιάς. Αυτή η εξέλιξη των μέσων και των μεθόδων είναι σε συνεργασία με τη διάδοση των τεχνικών εργαλείων για τις έρευνες. Συγκεκριμένα, η 3D σάρωση, η οποία επιτρέπει την παρατήρηση σύνθετων γεωμετριών, είναι αδύνατο να αναλυθούν μέσω παραδοσιακών μεθόδων.

Η στερεή εκτύπωση έχει αποκτήσει ιδιαίτερο ρόλο σε αυτή την τεχνολογική εξέλιξη. Η ταχεία δημιουργία πρωτοτύπων είναι μια τεχνική που επιτρέπει την παραγωγή υλικών αντιγράφων αντικειμένων με σύνθετες γεωμετρίες απευθείας από το μαθηματικό μοντέλο σε σχετικά σύντομες χρονικές περιόδους και συχνά χωρίς να είναι δαπανηρές. Τα τελευταία χρόνια, αυτή η τεχνική γνώρισε μια πολύ ισχυρή εξέλιξη χάρη στη μεγάλη διάχυση στην αγορά επιτραπέζιων 3D εκτυπωτών, εκτυπωτών που είναι αρκετά φτηνοί και των οποίων οι διαστάσεις είναι λογικές.

Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές έχουν αποδείξει την αποτελεσματικότητά τους σε πολλούς άλλους τομείς εφαρμογής, ιδίως εκείνους της πολιτιστικής κληρονομιάς. Χάρη στις πρόσφατες καινοτομίες στην τεχνολογία πληροφορικής και τα πολυμέσα, είναι πλέον δυνατή η ανάπτυξη νέων μορφών ανάλυσης και αξιοποίηση της πολιτιστικής κληρονομιάς, τα οποία χρησιμοποιούνται μαζί με πιο παραδοσιακές μεθόδους.

Τα μοντέλα, πρώτα ψηφιακά και έπειτα υλικά, εισήγαγαν νέες δυνατότητες πρόσβασης, καταλογογράφησης και μελέτης των πολιτιστικών αγαθών, καθώς αποτελούν τη βάση τόσο για την οπτικοποίηση όσο και για τη μετρική ανάλυση οποιουδήποτε αντικειμένου τόσο από καλλιτεχνική όσο και από ιστορική άποψη. Όσον αφορά τα μουσεία, για παράδειγμα, υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας όμοιων αντιγράφων, τόσο ψηφιακών όσο και υλικών, χώρων και τρισδιάστατων αντικειμένων. Οι εκθέσεις και οι συλλογές μπορούν να επωφεληθούν από την ψηφιακή κατασκευή, καθώς η πρόσβαση στις πληροφορίες τους προσαρμόζεται

ανάλογα με τον χρήστη, το περιεχόμενο και την πολυπλοκότητα του συγκεκριμένου μηνύματος. Όλα αυτά έφεραν την τρισδιάστατη εκτύπωση σε φήμη ως μία από τις σημαντικότερες δυνατές εξόδους, στο ίδιο επίπεδο των πιο παραδοσιακών ψηφιακών ή χαρτιού.

Η πραγματοποίηση αντιγράφων συνήθως γίνεται με τη χρήση καλουπιών από καουτσούκ πάνω από τα πρωτότυπα έργα τέχνης, τα οποία στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για την επακόλουθη παραγωγή αντιγράφων γύψου ή ρητίνης. Αυτή η διαδικασία απαιτεί άμεση επαφή με το αντικείμενο, μερικές φορές διακινδυνεύοντας τη διατήρησή του. Τώρα, χάρη στις μεθόδους 3D τοπογραφίας, από τη σάρωση με λέιζερ μέχρι τη φωτογραμμετρία¹⁷, τα ψηφιακά μοντέλα πραγματοποιούνται με μεγάλη ακρίβεια και η τρισδιάστατη εκτύπωση δίνει τη δυνατότητα να αποκτηθούν ακριβή αντίγραφα του πρωτοτύπου, διασφαλίζοντας την ασφάλεια του έργου.

Τέλος, τα τρισδιάστατα αντίγραφα μπορούν να αντικαταστήσουν μια χαμένη κληρονομιά για να αποφευχθεί η μνήμη της, όπως σχεδιάστηκε για την πόλη της Πάλμιρα, στη Συρία, όπου πρόσφατα καταστράφηκαν τα μνημεία. Ένα πολύ φιλόδοξο σχέδιο σχεδιάζει να αναδημιουργήσει τα ερείπια του αρχαιολογικού χώρου αντικαθιστώντας τα με τα φυσικά τους αντίγραφα που έγιναν μέσω ρομποτικής και τρισδιάστατης εκτύπωσης. Τα έργα όπως αυτό καθιστούν προφανές ότι υπάρχει ανάγκη να εκτιμηθεί πόσο το τυπωμένο μοντέλο αντιστοιχεί στο πρωτότυπο.

¹⁷ Φωτογραμμετρία = η τέχνη, η επιστήμη και τεχνολογία για την ανάκτηση αξιόπιστης πληροφορίας σχετικά με φυσικά αντικείμενα και το περιβάλλον, μέσα από διαδικασίες καταγραφής, μέτρησης και ερμηνείας φωτογραφικών εικόνων αλλά και προτύπων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 Εισαγωγή

Τα βασικά υλικά της πτυχιακής εργασίας είναι ο ρομποτικός βραχίονας, οι σέρβο κινητήρες, μια μικροϋπολογιστική μονάδα (Arduino), το γάντι, οι flex αισθητήρες και ο 3D εκτυπωτής.

Στο γάντι τοποθετούνται εύκαμπτοι αισθητήρες, μεταβαλλόμενες αντιστάσεις που μεταβάλλουν την αντίστασή τους όταν κάμπτονται. Συνδυάζοντας τον αισθητήρα με μία αντίσταση δημιουργούμε έναν διαιρέτη τάσης. Παράγουμε δηλαδή μια μεταβλητή τάση η οποία διαβάζεται από τον μικροελεγκτή και έτσι μετατρέπουμε το αναλογικό σήμα σε ψηφιακό. Το Arduino διαβάζει την αλλαγή τάσης όταν οι αισθητήρες κάμπτονται και ενεργοποιεί τους σέρβο κινητήρες για να μετακινήσουν ένα αναλογικό ποσό. Οι σέρβο κινητήρες έλκουν νήματα που δρουν ως τένοντες, επιτρέποντας στα δάχτυλα να μετακινούνται.

Το ίδιο το χέρι προέρχεται από μια εκτύπωση ανοιχτού κώδικα, 3D εκτυπώσιμη λήψη σε μορφή .stl¹⁸. Είναι μέρος ενός έργου που ονομάζεται InMoov: <http://inmoov.blogspot.com> (<http://www.inmoov.fr>)

Ο Γάλλος γλύπτης και σχεδιαστής Gael Langevin, το 2012 ξεκίνησε το έργο του Inmoov ως το πρώτο προσθετικό χέρι ανοιχτού κώδικα. Με την πάροδο του χρόνου, το έργο έχει εξελιχθεί σε ένα παγκόσμιο δίκτυο ανθρώπων που δουλεύουν μαζί πάνω στο πρώτο 3D εκτυπωμένο ρομπότ σε ανθρώπινη κλίμακα. Αναπαραγόμενο σε οποιονδήποτε οικιακό 3D εκτυπωτή με εκτυπώσιμη περιοχή 12x12x12cm, έχει σχεδιαστεί ως πλατφόρμα ανάπτυξης για Πανεπιστήμια, εργαστήρια, χομπίστες αλλά πρώτα απ' όλα για κατασκευαστές. Προς το παρόν, το ρομπότ InMoov μπορεί να δει, να μιλήσει, να μετακινήσει και να κρατήσει κάτι.

Η πρόσβαση σε τρισδιάστατους εκτυπωτές, τα υλικά που υπάρχουν στην αγορά έχουν δώσει τη δυνατότητα να κατασκευάζουμε από μόνοι μας ρομπότ. Το δίκτυο κατασκευαστών πίσω από το InMoov δημιουργεί και μοιράζεται τη γνώση και την

¹⁸ .stl = χρησιμοποιείται ευρέως για γρήγορη δημιουργία πρωτοτύπων, εκτύπωση 3D και κατασκευή με υπολογιστή. Τα αρχεία STL περιγράφουν μόνο την γεωμετρία επιφάνειας ενός τρισδιάστατου αντικειμένου χωρίς οποιαδήποτε αναπαράσταση του χρώματος, της υφής ή άλλων κοινών χαρακτηριστικών μοντέλου CAD.

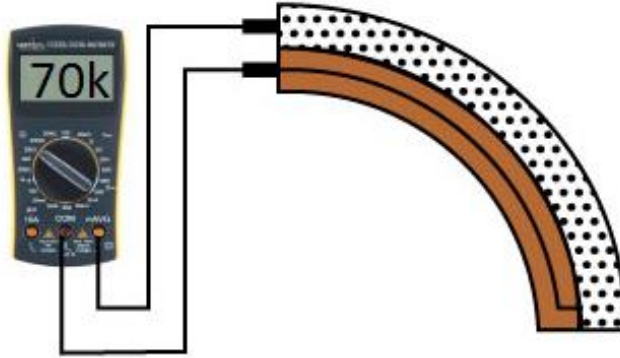
καινοτομία σχετικά με το ρομπότ και την τεχνολογία του. Σύμφωνα με τον Langenin, το μεγάλο πλεονέκτημα του ανοικτού κώδικα είναι το γεγονός ότι το έργο έχει τη δυνατότητα να έχει ευρύτερη εμβέλεια και έτσι να περάσει σε μεγαλύτερη ανάπτυξη.

5.2 Εισαγωγή στους αισθητήρες

5.2.1 Αισθητήρας Flex

Οι αισθητήρες μετατρέπουν διάφορες μορφές φυσικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια, επιτρέποντας στους μικροελεγκτές να διαβάζουν τις αλλαγές στον φυσικό κόσμο. Πολλοί αισθητήρες λειτουργούν μετατρέποντας την ενέργεια που διαβάζουν σε μια μεταβαλλόμενη ηλεκτρική αντίσταση χρησιμοποιώντας ένα μεταβλητό υλικό αντίστασης στην καρδιά τους. Για παράδειγμα, οι αισθητήρες δύναμης(force sensors) και οι αισθητήρες έκτασης(stretch sensors) είναι κατασκευασμένοι από μερικώς αγώγιμο καουτσούκ. Όταν το καουτσούκ είναι τεντωμένο ή συμπιεσμένο, αλλάζει η αντίσταση. Για να διαβάσουμε τις αλλαγές στην αντίσταση, τοποθετούμε αυτούς τους αισθητήρες σε ένα κύκλωμα διαιρέτη τάσης, το οποίο μετατρέπει την αλλαγή αντίστασης σε μεταβαλλόμενη τάση.

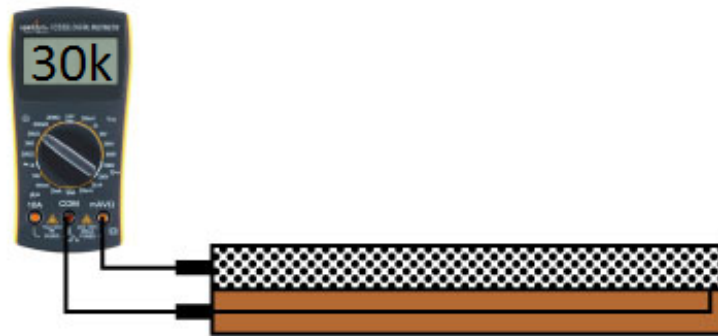
Οι αισθητήρες Flex είναι διαθέσιμοι σε δύο μεγέθη: το ένα σε μήκος 2.2" (5.588cm) και το άλλο ανέρχεται σε μήκος 4.5" (11.43cm). Η μία πλευρά του αισθητήρα τυπώνεται με ένα πολυμερές μελάνι που έχει αγώγιμα σωματίδια ενσωματωμένα σε αυτό. Όταν ο αισθητήρας είναι ίσιος, τα σωματίδια δίνουν στο μελάνι αντίσταση περίπου 30k Ohms. Όταν ο αισθητήρας κάμπτεται μακριά από το μελάνι, τα αγώγιμα σωματίδια κινούνται πιο μακριά, αυξάνοντας αυτή την αντίσταση (σε περίπου 50k-70k Ohms όταν ο αισθητήρας κάμπτεται στους 90°, όπως στην παρακάτω Εικόνα).



[Εικόνα 5.1: Τα αγώγιμα σωματίδια χωρίζονται περαιτέρω – 70kΩ / Πηγή:

<https://learn.sparkfun.com/tutorials/flex-sensor-hookup-guide>]

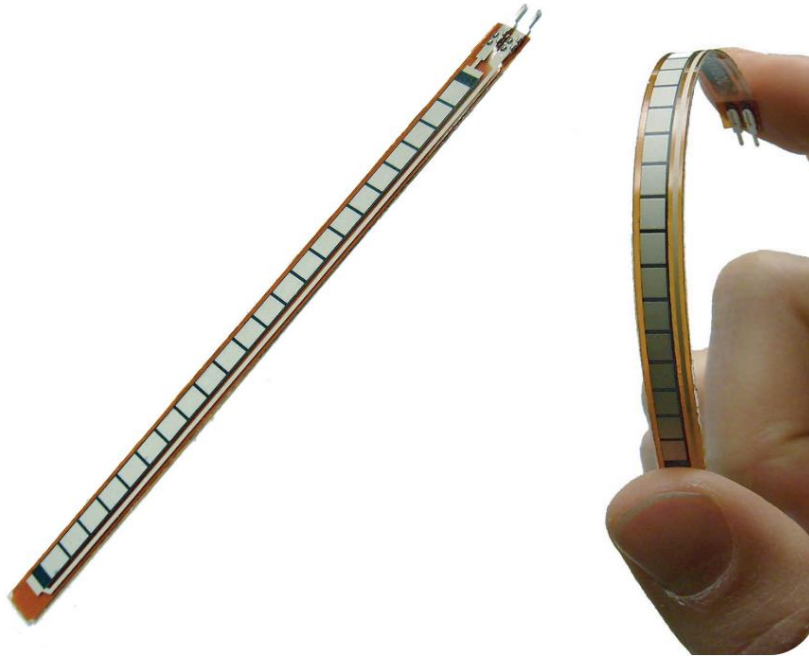
Όταν ο αισθητήρας ισιώνει ξανά, η αντίσταση επιστρέφει στην αρχική τιμή. Μέσω της μέτρησης της αντίστασης, μπορούμε να καθορίσουμε πόσο έχει λυγίσει ο αισθητήρας.



[Εικόνα 5.2: Τα αγώγιμα σωματίδια κοντά – 30kΩ / Πηγή:

<https://learn.sparkfun.com/tutorials/flex-sensor-hookup-guide>]

Ο αισθητήρας ευκαμψίας έχει σχεδιαστεί για να κάμπτεται σε μια μόνο κατεύθυνση - μακριά από το μελάνι - όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



[Εικόνα 5.3: Flex sensor bend direction / Πηγή: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/flex-sensor-hookup-guide>]

Η κλίση του αισθητήρα προς την άλλη κατεύθυνση δεν θα παράγει αξιόπιστα δεδομένα και μπορεί να προκαλέσει βλάβη στον αισθητήρα. Επίσης, πρέπει να προσέξουμε να μην λυγίζουμε τον αισθητήρα κοντά στη βάση, καθώς έχουν την τάση να αποτυγχάνουν.

5.3 MG995 σερβοκινητήρας

Το MG995 είναι το πιο διάσημο σέρβο του TowerPro¹⁹. Ο ψηφιακός σερβομηχανισμός MG995 υψηλής ροπής διαθέτει μεταλλικά γρανάζια που οδηγούν σε επιπλέον 10kg ροπή στρέψης σε μια μικρή συσκευασία. Το MG996R είναι ουσιαστικά μια αναβαθμισμένη έκδοση του γνωστού σέρβου MG995 και διαθέτει αναβαθμισμένη προστασία από τα κρούσματα και επανασχεδιασμένο PCB²⁰ και IC²¹ σύστημα ελέγχου που το καθιστούν πολύ ακριβέστερο από τον προκάτοχό του. Το γρανάζι και ο κινητήρας έχουν επίσης αναβαθμιστεί για να βελτιώσουν το νεκρό εύρος ζώνης και το κεντράρισμα. Αυτός ο σερβομηχανισμός

¹⁹ Το TowerPro είναι ένα εργοστάσιο που ειδικεύεται από το 2000 στον τομέα των τηλεκατευθυνόμενων ηλεκτρικών αξεσουάρ. Παράλληλα παράγει μια σειρά από Servos, ESC, κινητήρες κ.ά.

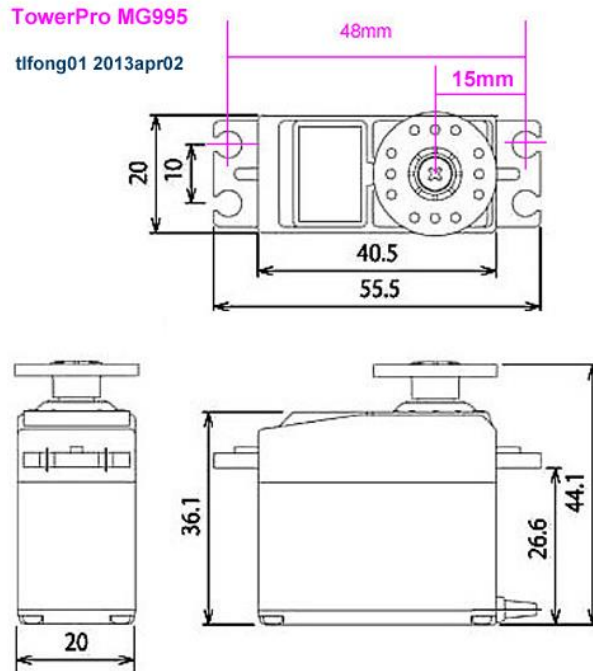
²⁰ PCB (Printed Circuit Board)= Πίνακας τυπωμένων κυκλωμάτων

²¹ IC (Integrated Circuit) = Ολοκληρωμένο κύκλωμα συνδεδεμένων λογικών πυλών, δημιουργημένο πάνω σε ένα φύλλο.

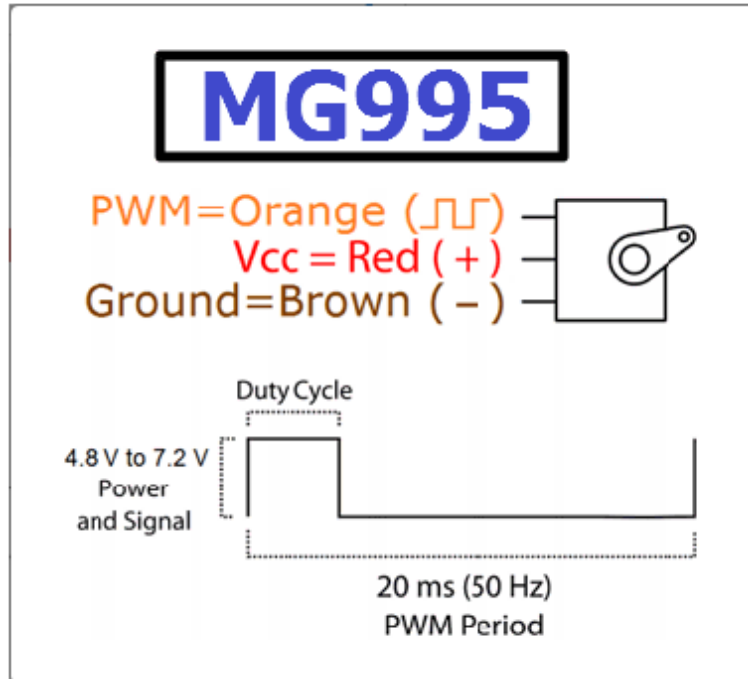
Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων

υψηλής ταχύτητας μπορεί να περιστρέφεται περίπου 180 μοίρες (90 σε κάθε κατεύθυνση).

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε οποιοδήποτε σέρβο κώδικα, υλικό ή βιβλιοθήκη για να ελέγξουμε τους σερβοκινητήρες, γι 'αυτό είναι ιδανικό για αρχάριους που θέλουν να ασχοληθούν με την ρομποτική χωρίς να χρειάζεται να δημιουργήσουν περίπλοκες εργασίες.



[Εικόνα 5.4: Διαστάσεις TowerPro MG995 / Πηγή: <https://impmedia.net/towerpro-mg995-servo-motor-datasheet/>]



[Εικόνα 5.5: Servo Motor Mg995 Datasheet / Πηγή : <https://impremedia.net/towerpro-mg995-servo-motor-datasheet/>]

Specifications

- Weight: 55 g
- Dimension: 40.7 x 19.7 x 42.9 mm approx.
- Stall torque: 9.4 kgf·cm (4.8 V), 11 kgf·cm (6 V)
- Operating speed: 0.17 s/60° (4.8 V), 0.14 s/60° (6 V)
- Operating voltage: 4.8 V a 7.2 V
- Running Current 500 mA – 900 mA (6V)
- Stall Current 2.5 A (6V)
- Dead band width: 5 μs
- Stable and shock proof double ball bearing design
- Temperature range: 0 °C – 55 °C

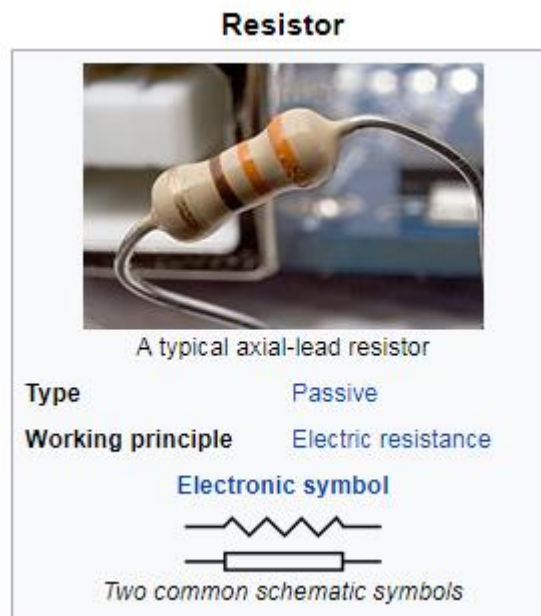
[Εικόνα 5.6: Χαρακτηριστικά TowerPro MG995 Servo]

5.4 Αντίσταση

Μια αντίσταση είναι ένα παθητικό ηλεκτρικό στοιχείο δύο τερματικών που υλοποιεί την ηλεκτρική αντίσταση ως στοιχείο κυκλώματος. Στα ηλεκτρονικά κυκλώματα, οι αντιστάσεις χρησιμοποιούνται για να μειώσουν τη ροή ρεύματος, να ρυθμίσουν τα επίπεδα σήματος, να διαιρέσουν τις τάσεις, να ενεργοποιήσουν τα ενεργά στοιχεία και να τερματίσουν τις γραμμές μεταφοράς, μεταξύ άλλων χρήσεων.

Οι αντιστάσεις υψηλής ισχύος που μπορούν να διαχέουν πολλά ηλεκτρικά ρεύματα ισχύος ως θερμότητα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέρος για το έλεγχο κινητήρων στα συστήματα διανομής ισχύος ή ως φορτία δοκιμής για γεννήτριες. Οι σταθερές αντιστάσεις έχουν αντιστάσεις που αλλάζουν ελαφρά μόνο με τη θερμοκρασία, το χρόνο ή την τάση λειτουργίας. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μεταβλητές αντιστάσεις για να ρυθμίσουμε στοιχεία κυκλώματος (όπως ρυθμιστικό έντασης ή λαμπτήρα φωτισμού) ή ως συσκευές ανίχνευσης θερμότητας, φωτός, υγρασίας, δύναμης ή χημικής δραστηριότητας.

Η ηλεκτρική λειτουργία ενός αντιστάτη καθορίζεται από την αντοχή του: οι κοινές εμπορικές αντιστάσεις κατασκευάζονται σε μια κλίμακα άνω των εννέα τάξεων μεγέθους. Η ονομαστική τιμή της αντίστασης εμπίπτει στην κατασκευαστική ανοχή, η οποία υποδεικνύεται στα κατασκευαστικά στοιχεία.



[Εικόνα 5.7: Απεικόνιση αντιστάτη / Πηγή: <https://en.wikipedia.org/wiki/Resistor>]

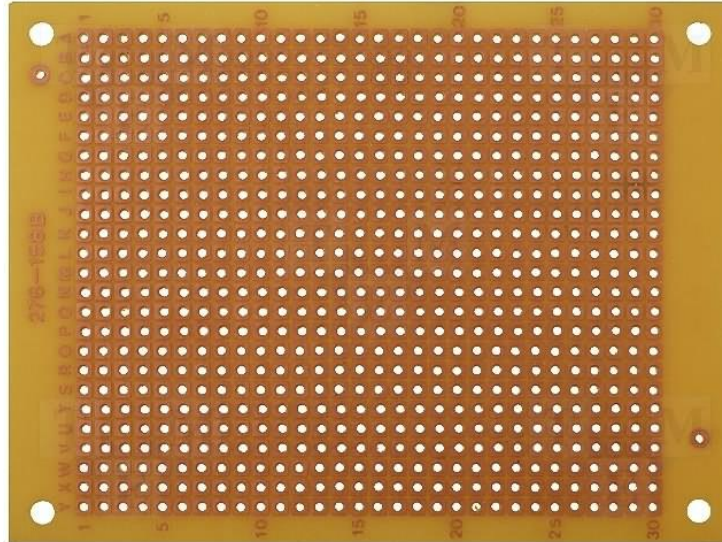
5.5 Πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος – Printed Circuit Board (PCB)

Μία από τις βασικές έννοιες στα ηλεκτρονικά είναι η πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος ή το PCB. Το PCB είναι ένα ακρωνύμιο για την πλακέτα τυπωμένων κυκλωμάτων. Είναι ένας πίνακας που έχει γραμμές και νησίδες²² (τυπωμένου κυκλώματος) που συνδέουν διάφορα σημεία μαζί. Ένα PCB επιτρέπει τη δρομολόγηση σημάτων και ισχύος μεταξύ φυσικών συσκευών. Η συγκόλληση

²² Νησίδα = Επιμεταλλωμένη περιοχή για τη συγκόλληση των ακροδεκτών των εξαρτημάτων σε ένα τυπωμένο κύκλωμα

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων

είναι το μέταλλο που δημιουργεί τις ηλεκτρικές συνδέσεις μεταξύ της επιφάνειας του PCB και των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Όντας μέταλλο, η συγκόλληση χρησιμεύει επίσης ως ισχυρή μηχανική κόλλα.



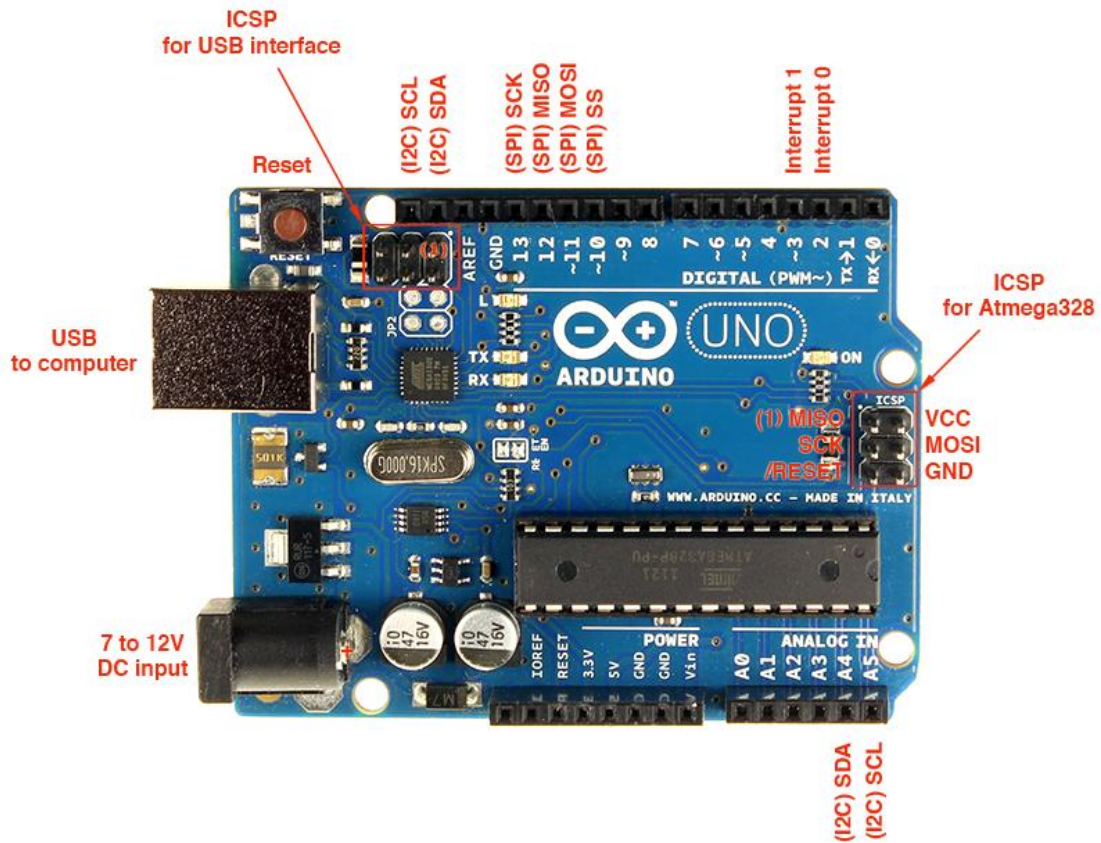
[Εικόνα 5.8: Πλακέτα Διάτρητη / Πηγή: <https://grobotronics.com/71x94mm.html>]

5.6 Arduino Uno πλακέτα

Ο Arduino αποτελείται από έναν μικροεπεξεργαστή, τον ATmega της Atmel, ο οποίος έχει την δυνατότητα να δέχεται μονάδες εισόδου / εξόδου. Οι μονάδες εισόδου / εξόδου χωρίζονται σε Ψηφιακές & Αναλογικές. Υπάρχει μεγάλη πληθώρα συσκευών, συμβατές με τις πλακέτες Arduino. Κάποιες από αυτές είναι: αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας, δύναμης, απόστασης, γυροσκόπια²³, πίεσης κ.α. Επίσης, με τον Arduino μπορούμε να ελέγξουμε μοτεράκια DC, βηματικά (stepper), servo, leds, φώτα (220V), ρελέ και ό,τι άλλο μπορούμε να σκεφτούμε ώστε να δημιουργήσουμε το δικό μας έργο. Ο Arduino είναι διαδεδομένος σε ολόκληρο τον κόσμο και χρησιμοποιείται από πολλούς και πολλές που θέλουν να κάνουν το δικό τους έργο, σε αντίθεση με άλλες πλακέτες. Γι' αυτό το λόγο υπάρχει και μια μεγάλη κοινότητα που τον υποστηρίζει.

²³ Γυροσκόπιο = Συσκευή η οποία μπορεί να διατηρεί σταθερό τον προσανατολισμό της μέσω της περιστροφής των μερών της και της αρχής της διατήρησης της στροφορμής.

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων

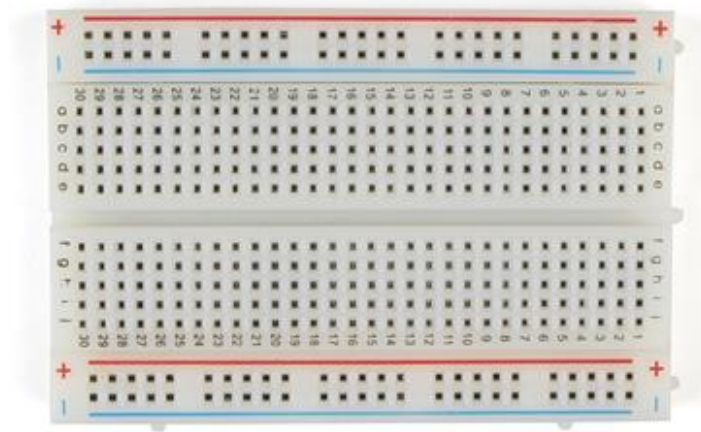


[Εικόνα 5.9: Πλακέτα Arduino Uno / Πηγή: <https://grobotronics.com/arduino-boards-el.html>]

5.7 Breadboard

Το Breadboard ή αλλιώς πλακέτα δοκιμών μας δίνει τη δυνατότητα να δοκιμάσουμε το κύκλωμα, χωρίς την χρήση κολλητηριού. Ουσιαστικά, είναι μια μονάδα για την κατασκευή προσωρινών κυκλωμάτων, κατάλληλη για συνδέσεις που δε χρειάζονται συγκολλήσεις. Παρακάτω ακολουθεί η Εικόνα 5.9.1.

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων



[Εικόνα 5.9.1: Breadboard / Πηγή: <https://potentiallabs.com/cart/buy-breadboard-medium-online-hyderabad-india>]

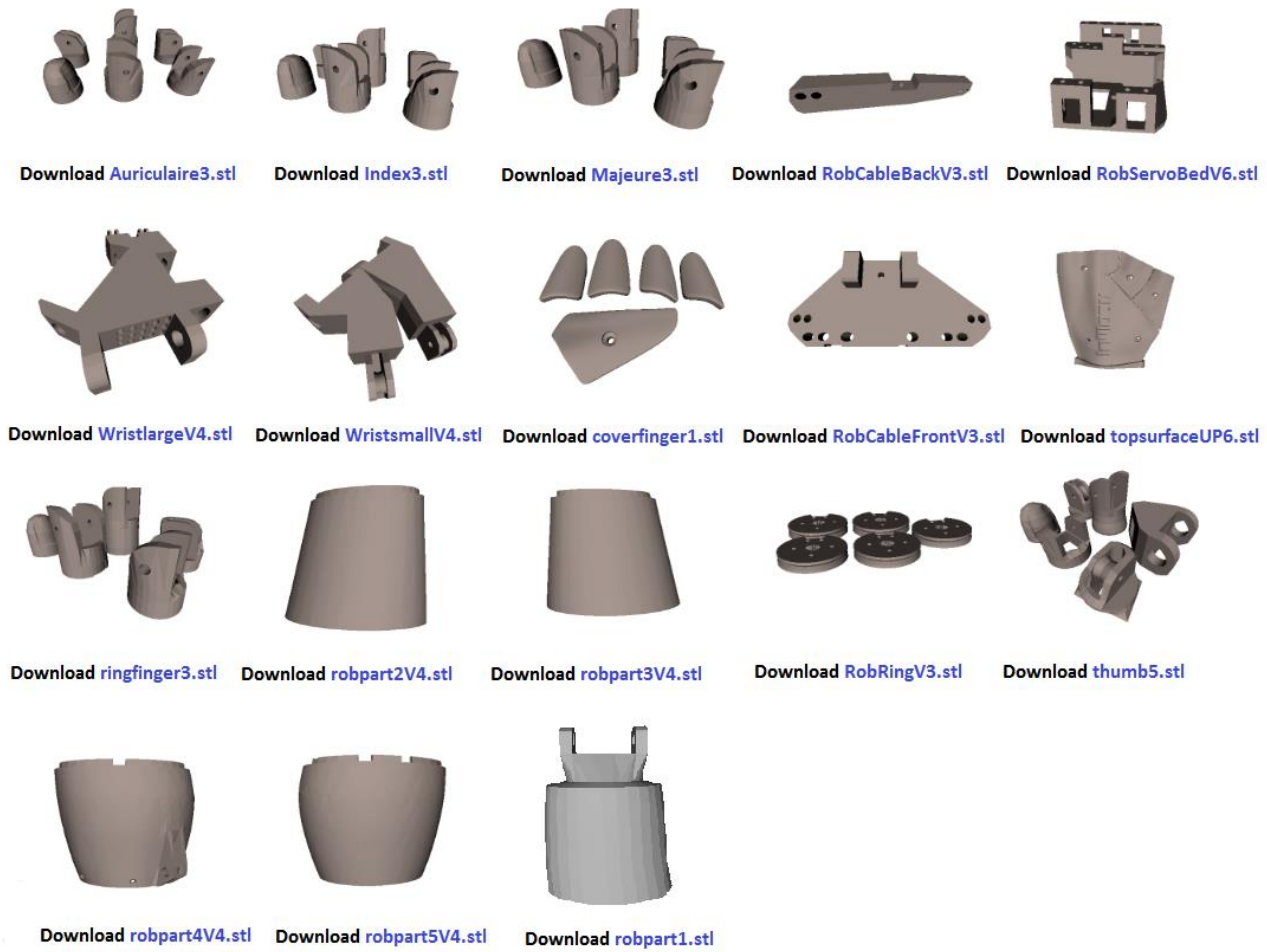
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6.1 Πήχυς

Ο πήχυς (ή αντιβράχιο, λατ. antebrachium) είναι η περιοχή του άνω άκρου μεταξύ του αγκώνα και του καρπού. Το μέσο μήκος του αντιβραχίου είναι περίπου 0,65 εκατοστά του μέτρου. Ο πήχυς συνδέεται με τον βραχίονα με την άρθρωση του αγκώνα και με το χέρι με την άρθρωση του καρπού. Περιλαμβάνει δυο μακρά οστά, την ωλένη και την κερκίδα: η ωλένη συνδέεται στον καρπό προς την πλευρά του μικρού δακτύλου, ενώ η κερκίδα συνδέεται προς την πλευρά του αντίχειρα. Τα δυο αυτά οστά συνδέονται μεταξύ τους με έναν ισχυρό υμένα, το μεσόστεο καθώς και με τις άνω και κάτω κερκιδωωλένιες αρθρώσεις.

6.2 Τα μέρη ενός βραχίονα

Το χέρι είναι μέρος ενός έργου ανοιχτού κώδικα που ονομάζεται InMoov. Είναι ένα 3D-εκτυπώσιμο ρομπότ και αυτό είναι μόνο το χέρι και το συγκρότημα του αντιβραχίου. Παρακάτω, απεικονίζονται τα μέρη προς εκτύπωση.



[Εικόνα 6.1: Βιβλιοθήκη εξαρτημάτων σώματος InMoon: Δεξί χέρι]

Ο χρόνος εκτύπωσης ποικίλει ανάλογα τον εκτυπωτή και την ανάλυση εκτύπωσης που θα επιλέξουμε. Συνολικά, τα μέρη του ρομποτικού βραχίονα χρειάστηκαν 70-75 ώρες εκτύπωσης. Ο εκτυπωτής που χρησιμοποιήθηκε είναι ο I3 Prusa Pro και πρόγραμμα το Cura.

6.3 Λογισμικό Cura

Το Cura είναι μια εφαρμογή ανοικτού κώδικα 3D. Δημιουργήθηκε από τον David Braam ο οποίος αργότερα απασχολούσε την εταιρεία παραγωγής 3D εκτυπωτών της Ultimaker για τη συντήρηση του λογισμικού. Το Cura κυκλοφόρησε αρχικά με

την ανοικτή πηγή Affero General Public License έκδοση 3, αλλά στις 28 Σεπτεμβρίου 2017 η άδεια μετατράπηκε σε LGPLv3. Αυτή η αλλαγή επέτρεψε μεγαλύτερη ενοποίηση με εφαρμογές CAD τρίτων κατασκευαστών. Το Ultimaker Cura χρησιμοποιείται πάνω από ένα εκατομμύριο χρήστες σε όλο τον κόσμο και είναι το προτιμώμενο λογισμικό 3D εκτύπωσης για εκτυπωτές Ultimaker 3D, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και με άλλους εκτυπωτές.

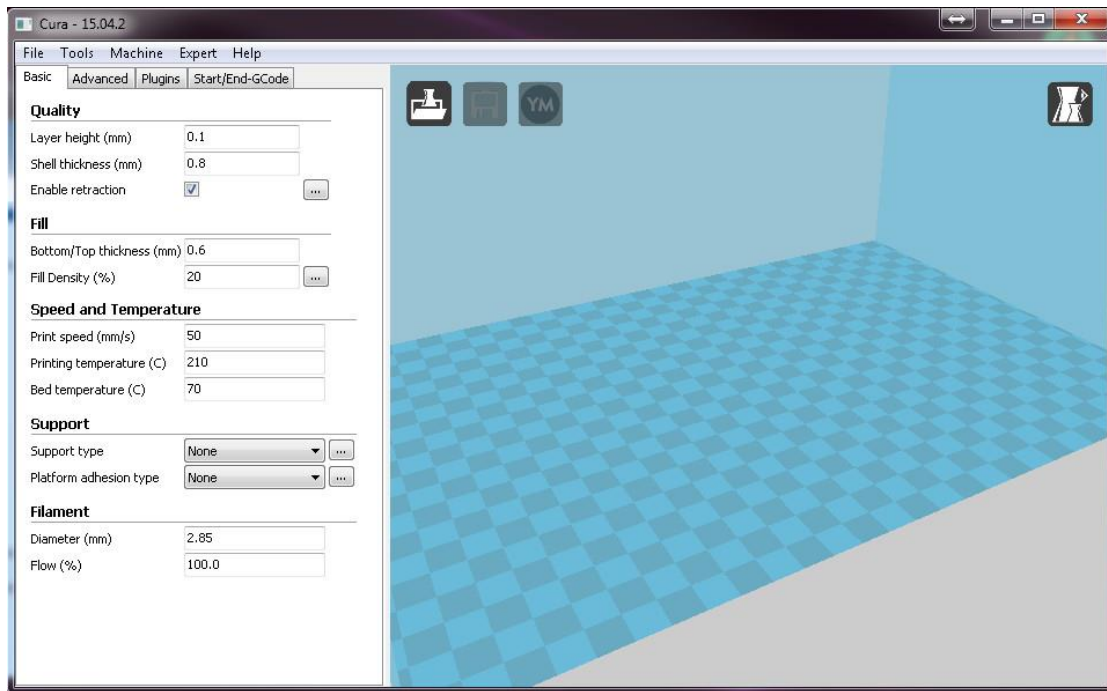
Το Ultimaker Cura λειτουργεί με το τεμαχισμό του αρχείου μοντέλου χρήστη σε στρώματα και την παραγωγή ενός κώδικα g για τον εκτυπωτή. Μόλις ολοκληρωθεί, ο g κώδικας μπορεί να σταλεί στον εκτυπωτή για την κατασκευή του φυσικού αντικειμένου.

Το λογισμικό ανοιχτού κώδικα είναι συμβατό με τους περισσότερους επιτραπέζιους εκτυπωτές 3D, που μπορούν να λειτουργήσουν με αρχεία στις πιο κοινές μορφές 3D, όπως STL, OBJ, X3D, 3MF καθώς και μορφές αρχείων εικόνας όπως BMP, GIF, JPG και PNG.

6.3.1 Περιγραφή των ρυθμίσεων

Το προτιμώμενο λογισμικό για το Ultimaker είναι το Cura από την Ultimaker και η έκδοση που έχει χρησιμοποιηθεί για την εργασία αυτή είναι η 15.4.6. Αυτό το πακέτο λογισμικού προετοιμάζει το μοντέλο 3D για την παραγωγή ενός αντικειμένου. Το πακέτο λογισμικού Cura βρίσκεται προς διάθεση στο site www.ultimaker.com (απευθείας σύνδεσμος: www.ultimaker.com/pages/our-software).

Ακολουθεί η κύρια οθόνη του Cura. Εδώ μπορούμε να φορτώσουμε και να προσαρμόσουμε μοντέλα 3D και να επιλέξουμε προφίλ εκτύπωσης. Παρακάτω μπορούμε να δούμε μια γρήγορη επισκόπηση για όλα τα στοιχεία της διασύνδεσης.



[Εικόνα 6.2: Το περιβάλλον Cura / Πηγή: <http://doc.3dmodularsystems.com/premiers-pas-dans-cura/>]

- ❖ **Layer Height (mm)** Το ύψος κάθε στρώματος. Για την ποιότητα εκτύπωσης και τον χρόνο εκτύπωσης αυτή είναι η πιο σημαντική ρύθμιση. Οι συνήθεις ρυθμίσεις είναι 0,2 mm για εκτύπωση χαμηλής ποιότητας, 0,1 mm για εκτύπωση μεσαίας ποιότητας, 0,06 mm για εκτύπωση υψηλής ποιότητας και 0,02 mm για εκτύπωση εξαιρετικής ποιότητας.
- ❖ **Shell Thickness (mm)** Το πάχος των πλευρικών τοιχωμάτων. Αυξάνοντάς το βελτιώνεται η αντοχή του εξαρτήματος.
- ❖ **Enable Retraction** Η επιλογή αυτή τραβάει το νήμα πίσω όταν μετακινείται ένα κενό στην εκτύπωση. Αυτό μειώνει την ποσότητα των λεπτών γραμμών μεταξύ των τυπωμένων τμημάτων. Αυτές οι λεπτές γραμμές ονομάζονται χορδές.
- ❖ **Bottom/Top Thickness** Είναι το εξωτερικό πάχος του κελύφους στο πάνω και στο κάτω μέρος του εξαρτήματος. Για παράδειγμα, κατά την εκτύπωση ενός απλού κύβου, αυτά που καταγράφονται είναι το πάχος της πάνω και

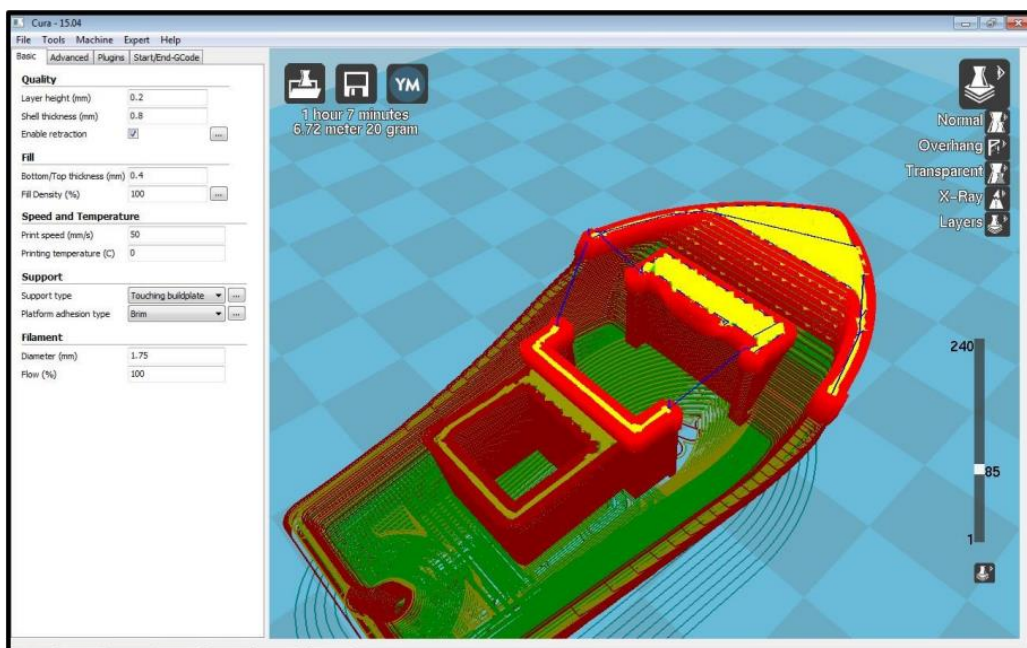
κάτω πλευράς του τετραγώνου. Αυξάνοντας την τιμή αυτού του πεδίου, κάνουμε το μοντέλο μας ισχυρότερο.

- ❖ **Fill Density (%)** Είναι το εσωτερικό πλέγμα που δημιουργείται για την αντοχή και την στήριξη των κορυφαίων στρωμάτων. Περισσότερη πλήρωση παράγει ισχυρότερα εξαρτήματα που χρειάζονται περισσότερο χρόνο για εκτύπωση.
- ❖ **Print Speed (mm/s)** Είναι η ταχύτητα με την οποία βγαίνει η εκτύπωση. Η προεπιλογή των 50mm ανά δευτερόλεπτο είναι λίγο χαμηλή για ένα Ultimaker αλλά αυτό είναι ένα ασφαλές σημείο εκκίνησης.
- ❖ **Printing Temperature (°C)** Είναι η θερμοκρασία στην οποία εκτυπώνουμε. Αυτή η ρύθμιση έχει πολύ μεγάλη επίδραση στην εκτύπωση. Η προεπιλογή είναι ρυθμισμένη σε 220 °C, η οποία είναι λίγο υψηλή για PLA, ενώ για το ABS είναι ιδανική. Αν θέλουμε να εκτυπώσουμε γρηγορότερα ίσως χρειαστεί να αυξήσουμε τη θερμοκρασία πάνω από τους 220 βαθμούς.
- ❖ **Bed Temperature (°C)** Είναι η θερμοκρασία της πλάκας όπου εκτυπώνεται το μοντέλο μας. Για το ABS συνιστάται τιμή 100-120 °C και για PLA 50-60 °C (αν και δεν είναι απαραίτητη).
- ❖ **Support Type** Τα υποστηρίγματα είναι δομές που εκτυπώνονται κάτω από το αντικείμενο εκτύπωσης για να υποστηρίξουν τμήματα που διαφορετικά δεν θα μπορούσαν να αποτυπωθούν. Υπάρχουν δύο επιλογές, οι δομές υποστήριξης που πρέπει να αγγίξουν την πλατφόρμα δημιουργίας ή οι δομές υποστήριξης που μπορούν επίσης να αγγίξουν την κορυφή του μοντέλου μας.
- ❖ **Platform adhesion type** Ο τύπος πρόσφυσης της πλατφόρμας είναι μια ρύθμιση που βοηθά το τυπωμένο αντικείμενο να κολλήσει στο κρεβάτι του εκτυπωτή. Η επιλογή Brim δημιουργεί γραμμές γύρω από το κάτω μέρος του αντικειμένου μας και λόγω της ευρύτερης περιοχής οι γωνίες διατηρούνται κάτω. Το Brim συνήθως δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα,

καθώς δεν κρούει το αντικείμενο αλλά απαιτεί περισσότερο χώρο στο κρεβάτι του εκτυπωτή.

- ❖ **Diameter (mm)** Είναι η διάμετρος του νήματος μας. Η ακριβής μέτρηση του νήματος μας δίνει εκτυπώσεις καλύτερης ποιότητας. Χρειάζεται να είναι γνωστό μέχρι 2 δεκαδικά ψηφία.
- ❖ **Flow (%)** είναι ένας συντελεστής διόρθωσης για να γίνει η εξώθηση υψηλότερη ή χαμηλότερη από τη συνήθη. Ορισμένα συστήματα ή υλικά απαιτούν διόρθωση δίπλα στη συνήθη ρύθμιση διαμέτρου. Αυτή η ρύθμιση ροής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αυτό.

Μια από τις κύριες λειτουργίες που διατίθενται στο Cura είναι το Layer view που βρίσκεται στη δεξιά πλευρά της οθόνης και μπορούμε να περιηγηθούμε στο στρώμα μοντέλου ανά στρώμα παρατηρώντας τον τρόπο με τον οποίο το πρόγραμμα χτίζει τη δομή. Οι εξωτερικές γραμμές περιγράμματος σημειώνονται με κόκκινο χρώμα, οι γραμμές εσωτερικού περιγράμματος είναι πράσινες, το περίβλημα της δομής είναι κίτρινο και οι δομές στήριξης για τη βελτίωση της πρόσφυσης στο κρεβάτι είναι μπλε.



[Εικόνα 6.3: Η λειτουργία Layer view / Πηγή:

http://www.vgtu.lt/files/1461/73/3/13_0/Cura15.4_manual.pdf

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων

Το σύνολο των εικονιδίων που βρίσκονται στην επάνω αριστερή γωνία της οθόνης χρησιμοποιείται για την ανάγνωση αρχείων *.STL / *.OBJ και την αποθήκευσή τους στο δίσκο ή την κάρτα SD. Ο εκτιμώμενος χρόνος εκτύπωσης, το μήκος και το βάρος του νήματος εμφανίζονται κάτω από το εικονίδιο.



[Εικόνα 6.4: Φόρτωση και αποθήκευση αρχείων / Πηγή:

http://www.vgtu.lt/files/1461/73/3/13_0/Cura15.4_manual.pdf]

6.4 Εκτυπωτής I3 Prusa Pro

Το Prusa i3 είναι ένας εκτυπωτής τρισδιάστατης εκτύπωσης με μοντελοποίηση ανοιχτού κώδικα. Το Prusa i3 σχεδιάστηκε από τον Josef Průša το 2012 με το Prusa i3 MK2 να κυκλοφορεί το 2016 και το MK2S το 2017. Η τελευταία έκδοση, που ονομάζεται Prusa i3 MK3 κυκλοφόρησε το Σεπτέμβριο του 2017 με σημαντικές βελτιώσεις σε σχέση με τα προηγούμενα μοντέλα. Το συγκρίσιμο χαμηλό κόστος, η ευκολία κατασκευής και η τροποποίηση του Prusa i3 το κατέστησαν δημοφιλές στην εκπαίδευση στους χομπίστες και στους επαγγελματίες. Λόγω του ότι ο εκτυπωτής είναι ανοικτού κώδικα, υπάρχουν πολλές παραλλαγές που παράγονται από εταιρείες και άτομα παγκοσμίως και όπως και πολλοί άλλοι εκτυπωτές RepRap²⁴, το Prusa i3 είναι ικανό να εκτυπώνει μερικά από τα δικά του μέρη.

Ανάλογα με την εγκατάσταση του θερμού άκρου και της θερμαινόμενης κλίνης, το Prusa i3 είναι ικανό να εκτυπώνει πολλά υλικά όπως ακρυλονιτρίλιο βουταδιένιο

²⁴ Το RepRap είναι η πρώτη μη αυτόματη μηχανή παραγωγής γενικής χρήσης της ανθρωπότητας.

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων

στυρόλιο (ABS), πολυγαλακτικό οξύ (PLA), πολυστυρένιο υψηλής αντοχής (HIPS), πολυαιθυλένιο τροποποιημένο με τερεφθαλική γλυκόλη (PETG), εύκαμπτα νήματα (FLEX, TPU, TPE), πολυπροπυλένιο (PP) και νάilon. Διαφορετικά υλικά απαιτούν διαφορετικές θερμοκρασίες εργασίας και τεχνικές για να προσκολληθούν στο κρεβάτι εκτύπωσης.

6.5 Η διαδικασία εκτύπωσης

6.5.1 Δοκιμή λειτουργίας εκτυπωτή

Η δοκιμή λειτουργίας εκτυπωτή μπορεί να γίνει μέσω του πίνακα ελέγχου LCD. Οι μέθοδοι είναι οι ακόλουθες:

Σαν πρώτη φάση πρέπει να φτιάξουμε την κατεύθυνση του κινητήρα. Πατώντας το κουμπί OK μετακινούμαστε στο δευτερεύον μενού και επιλέγουμε το “Prepare”.



[Εικόνα 6.5: Μενού του πίνακα ελέγχου LCD / Πηγή:

<http://www.geeetech.com/Documents/Geeetech%20Prusa%20I3%20pro&pro%20B%20User%20Manual.pdf>]

Μετακινούμαστε στην επιλογή “Move axis”.



[Εικόνα 6.5.1: Κατεύθυνση του κινητήρα μέσω του Πίνακα Ελέγχου LCD / Πηγή:
<http://www.geeetech.com/Documents/Geeetech%20Prusa%20I3%20pro&pro%20B%20User%20Manual.pdf>]

Και επιλέγουμε “Move 1mm”.

Σημείωση: Ο εξωθητήρας μπορεί να υποστηρίξει μόνο δύο επιλογές: Την επιλογή “Move 1mm” και την επιλογή “Move 0,1mm”. Η επιλογή των 10mm είναι απενεργοποιημένη.



[Εικόνα 6.5.2: Κατεύθυνση κινητήρα / Πηγή:
<http://www.geeetech.com/Documents/Geeetech%20Prusa%20I3%20pro&pro%20B%20User%20Manual.pdf>]

Επιλέγουμε τον άξονα που θέλουμε να μετακινήσουμε χρησιμοποιώντας τις επιλογές “Move X / Y / Z”. Η περιστροφή του κουμπιού μπορεί να κάνει κάθε άξονα να μετακινείται αριστερά και δεξιά ή προς τα εμπρός και πίσω.

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων



[Εικόνα 6.5.3: Μετακίνηση αξόνων X,Y & Z / Πηγή:

<http://www.geeetech.com/Documents/Geeetech%20Prusa%20I3%20pro&pro%20B%20User%20Manual.pdf>]

Αφού ελέγξουμε κάθε άξονα, μπορούμε να επιλέξουμε “Prepare → Auto home” στο μενού για να το επαναφέρουμε στην αρχική θέση.



[Εικόνα 6.5.4: Αρχική θέση κινητήρα / Πηγή:

<http://www.geeetech.com/Documents/Geeetech%20Prusa%20I3%20pro&pro%20B%20User%20Manual.pdf>]

Αν θέλουμε να μετακινήσουμε χειροκίνητα τον κινητήρα, μπορούμε να ξεκλειδώσουμε τον κινητήρα. Μέθοδος ξεκλειδώματος: Prepare → Disable steppers.



[Εικόνα 6.5.5: Ξεκλείδωμα κινητήρα / Πηγή:

<http://www.geeetech.com/Documents/Geeetech%20Prusa%20I3%20pro&pro%20B%20User%20Manual.pdf>]

Στη δεύτερη φάση ελέγχουμε τη θερμοκρασία. Στο μενού Ελέγχου, μπορούμε να επιλέξουμε τη ρύθμιση θερμοκρασίας του κρεβατιού και του εξωθητήρα.

Επιλέγουμε "Control".



[Εικόνα 6.5.6: Βήματα ρύθμισης θερμοκρασίας / Πηγή:

<http://www.geeetech.com/Documents/Geeetech%20Prusa%20I3%20pro&pro%20B%20User%20Manual.pdf>]

Επιλέγουμε "Temperature".

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων



[Εικόνα 6.5.7: Επιλογή θερμοκρασίας / Πηγή:

<http://www.geeetech.com/Documents/Geeetech%20Prusa%20I3%20pro&pro%20B%20User%20Manual.pdf>]

Επιλέγουμε τη θερμοκρασία που θέλουμε να ρυθμίσουμε.



[Εικόνα 6.5.8: Έλεγχος θερμοκρασίας ακροφυσίου, κρεβατιού & ταχύτητας ακροφυσίου / Πηγή:

<http://www.geeetech.com/Documents/Geeetech%20Prusa%20I3%20pro&pro%20B%20User%20Manual.pdf>]

Μετά τη ρύθμιση, μπορούμε να επιλέξουμε “Prepare → Preheat PLA” ή “Prepare → Preheat ABS” – ανάλογα το υλικό που χρησιμοποιούμε – για προθέρμανση του κρεβατιού και του εξωθητήρα.



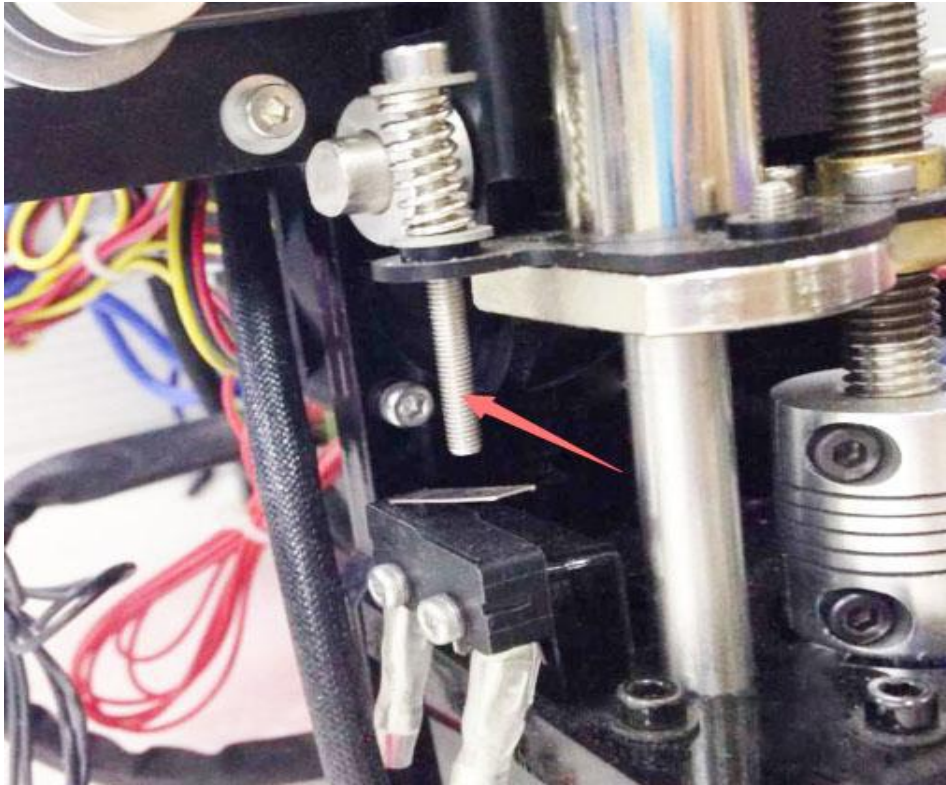
[Εικόνα 6.5.9: Προθέρμανση υλικού PLA ή ABS / Πηγή:

<http://www.geeetech.com/Documents/Geeetech%20Prusa%20I3%20pro&pro%20B%20User%20Manual.pdf>]

Μέχρι τώρα, έχουν γίνει οι λειτουργικές δοκιμές του εκτυπωτή. Στην τρίτη φάση πριν από την εκτύπωση, πρέπει να κάνουμε οριζόντια εξομάλυνση. Μόνο μετά από αυτό το βήμα βελτιώνεται η ποιότητα των τυπωμένων στοιχείων. Διαφορετικά, η αποκοπή αφαίρεσης μεταξύ του κρεβατιού και της κεφαλής εξώθησης θα επηρεάσει το νήμα που προσκολλάται στο κρεβάτι, προκαλώντας έτσι κακή ποιότητα εκτύπωσης ή ακόμα και μη εκτύπωση.

Αρχικά, συντονίζουμε την απόσταση μεταξύ του ακροφυσίου και του κρεβατιού. Εδώ έχουμε δύο περιπτώσεις. Η μία περίπτωση είναι το ακροφύσιο να απέχει πολύ από την επιφάνεια της εστίας, οπότε χαλαρώνουμε τη βίδα για να επεκτείνουμε το κάτω μέρος. Έτσι, ο εκτυπωτής θα είναι σε σχετικά χαμηλότερη θέση, δηλαδή η απόσταση μεταξύ του ακροφυσίου και της εστίας θα μειωθεί και η άλλη περίπτωση είναι το ακροφύσιο να βρίσκεται πολύ κοντά στην επιφάνεια της εστίας. Σε αυτή την περίπτωση σφίγγουμε τη βίδα για να χαλαρώσουμε το κάτω μέρος. Στη συνέχεια, ο εκτυπωτής θα είναι σε σχετικά υψηλότερη θέση, δηλαδή η απόσταση μεταξύ του ακροφυσίου και της εστίας θα αυξηθεί. Μπορεί να χρειαστεί να κάνουμε βαθμονόμηση πολλές φορές σε αυτή τη φάση.

Η συνιστώμενη απόσταση μεταξύ του ακροφυσίου και της εστίας είναι 0,5-1mm.



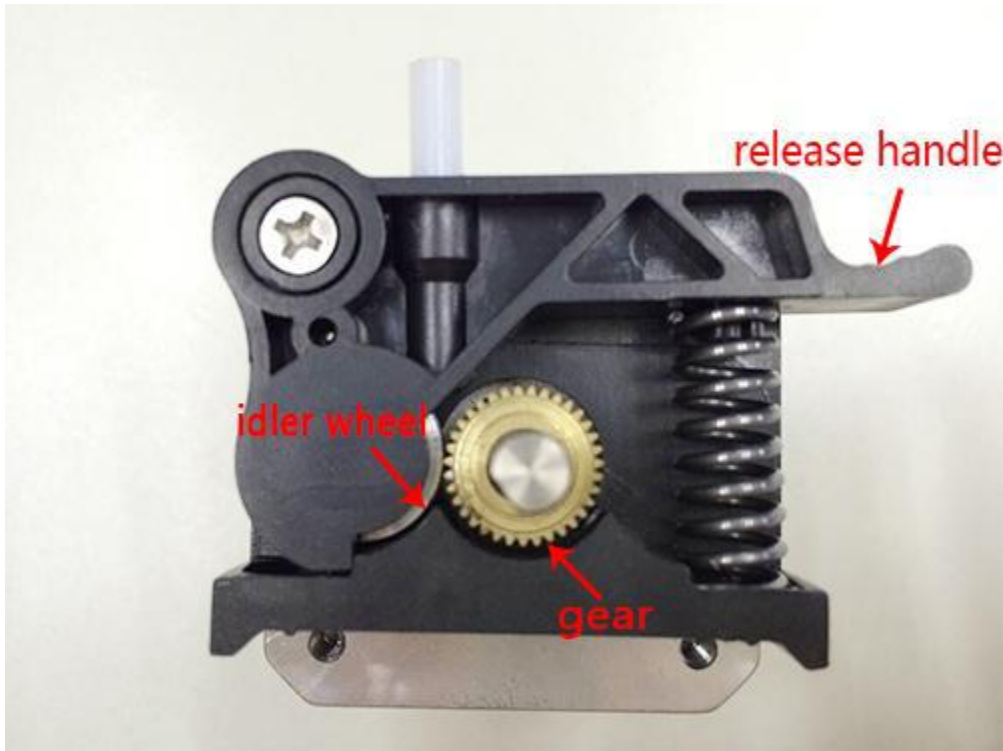
[Εικόνα 6.6: Ρύθμιση απόστασης ακροφυσίου με την επιφάνεια εστίας / Πηγή:

<http://www.geeetech.com/Documents/Geeetech%20Prusa%20I3%20pro&pro%20B%20User%20Manual.pdf>]

Μετά την αρχική ρύθμιση, τοποθετούμε τον εκτυπωτή στον υπολογιστή. Απενεργοποιούμε τους βηματικούς κινητήρες, μετακινούμε χειροκίνητα τον εξωθητή στις τέσσερις γωνίες της ζεστής εστίας και ρυθμίζουμε με ακρίβεια το παξιμάδι του πτερυγίου σε κάθε γωνία για να ρυθμίσουμε τις αποστάσεις μεταξύ της κεφαλής εξώθησης και των τεσσάρων γωνιών. Κατά τη διάρκεια της ρύθμισης, μπορούμε να βάλουμε ένα κομμάτι χαρτί A4 ανάμεσα στο ακροφύσιο και την εστία. Εάν αισθανθούμε λίγη τριβή όταν τραβήξουμε το χαρτί εμπρός και πίσω, η απόσταση είναι σωστή.

Μετά την ολοκλήρωση της ρύθμισης τεσσάρων γωνιών, ολοκληρώνεται ολόκληρη η διαδικασία ισοστάθμισης. Μπορούμε επίσης να μετακινήσουμε τον εξωθητήρα στο κέντρο της εστίας για να επαληθεύσουμε το αποτέλεσμα εξισορρόπησης.

Το επόμενο βήμα είναι η δοκιμή εξώθησης. Ζεσταίνουμε τον εξωθητή στους 200 °C, και στη συνέχεια εισάγουμε το νήμα στο φίλτρο μέσω του κοχλιωτού συνδέσμου. Όταν πιέζουμε το νήμα, πιέζουμε τη λαβή με το ένα χέρι και σπρώχνουμε το νήμα με το άλλο χέρι.

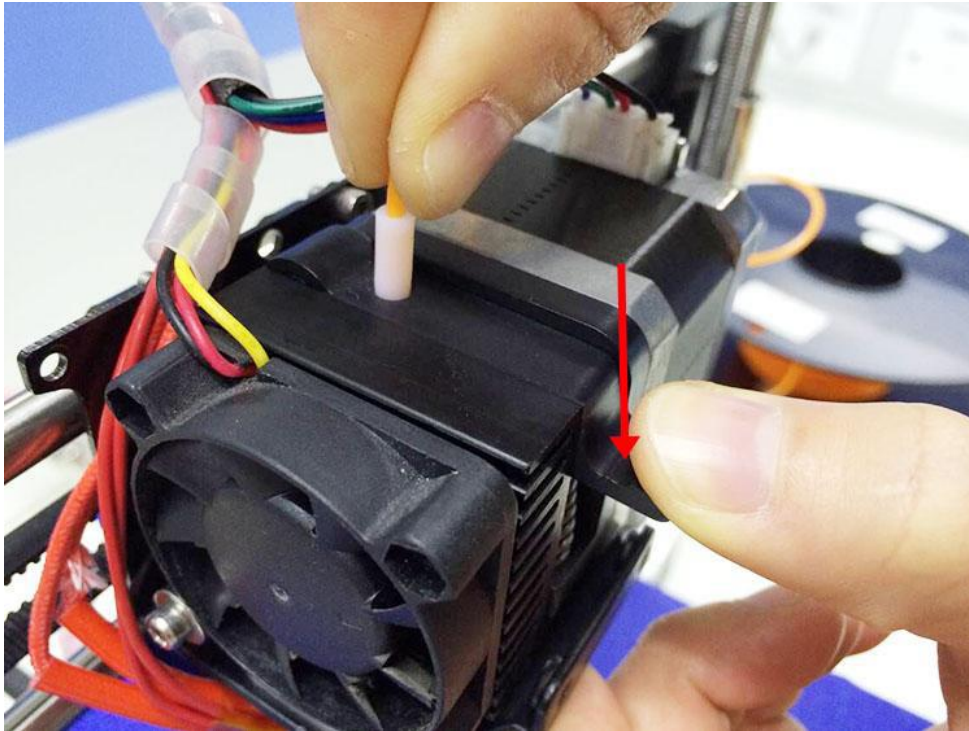


[Εικόνα 6.7: Μηχανισμός εξωθητήρα / Πηγή:

<http://www.geeetech.com/Documents/Geeetech%20Prusa%20I3%20pro&pro%20B%20User%20Manual.pdf>]

Ας λάβουμε υπόψη ότι το νήμα πρέπει να βρίσκεται στην εγκοπή του γραναζιού, διαφορετικά η τροφοδοσία δεν θα είναι ευχάριστη.

Αφού πιέσουμε το νήμα στο κάτω μέρος του φίλτρου, χρησιμοποιούμε το κουμπί τροφοδοσίας στο Repetier (όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα) για να κάνουμε χειροκίνητη τροφοδοσία. Εάν το ακροφύσιο μπορεί να εξωθήσει το νήμα με ευκολία, ο εξωθητής λειτουργεί καλά.



[Εικόνα 6.8: Χειροκίνητη τροφοδοσία / Πηγή:

<http://www.geeetech.com/Documents/Geeetech%20Prusa%20I3%20pro&pro%20B%20User%20Manual.pdf>]

6.5.2 Ξεκινώντας την εκτύπωση

Μέχρι στιγμής έχουν ολοκληρωθεί όλες οι προπαρασκευαστικές εργασίες. Το επόμενο βήμα είναι η εισαγωγή του αρχείου μοντέλου για την εκτύπωση. Για τον εκτυπωτή 3D, η μορφή αρχείου του μοντέλου είναι γενικά το .stl αρχείο. Μπορούμε να κατεβάσουμε δωρεάν και να εκτυπώσουμε τα μοντέλα που είναι κοινόχρηστα στο διαδίκτυο και μπορούμε επίσης να σχεδιάσουμε τα δικά μας δημιουργικά αντικείμενα για εκτύπωση.

Μετά τη φόρτωση του .stl αρχείου ακολουθεί η αποθήκευση του στον υπολογιστή. Το αρχείο που δημιουργείται έχει την κατάληξη .gcode. Υπάρχουν δύο τρόποι μεταφοράς του αρχείου από τον υπολογιστή στο 3D εκτυπωτή είτε με καλώδιο USB είτε με SD CARD. Στην πρώτη περίπτωση η μία άκρη του καλωδίου USB συνδέεται σε μια θύρα του υπολογιστή και η άλλη άκρη στη θύρα του εκτυπωτή. Στη δεύτερη περίπτωση όντας συνδεδεμένη η SD CARD στον υπολογιστή αντιγράφουμε το αρχείο στην κάρτα, ύστερα τη συνδέουμε στο πίσω μέρος του πίνακα ελέγχου LCD στον εκτυπωτή και επιλέγουμε το αντίστοιχο .gcode αρχείο για εκτύπωση. Πατάμε το κουμπί στην οθόνη LCD, περιστρέφουμε το κουμπί για

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων

να μπούμε στο κύριο μενού και επιλέγουμε "Print from SD". Ακολουθεί παράδειγμα:



[Εικόνα 6.9: Εκτύπωση από SD CARD / Πηγή:

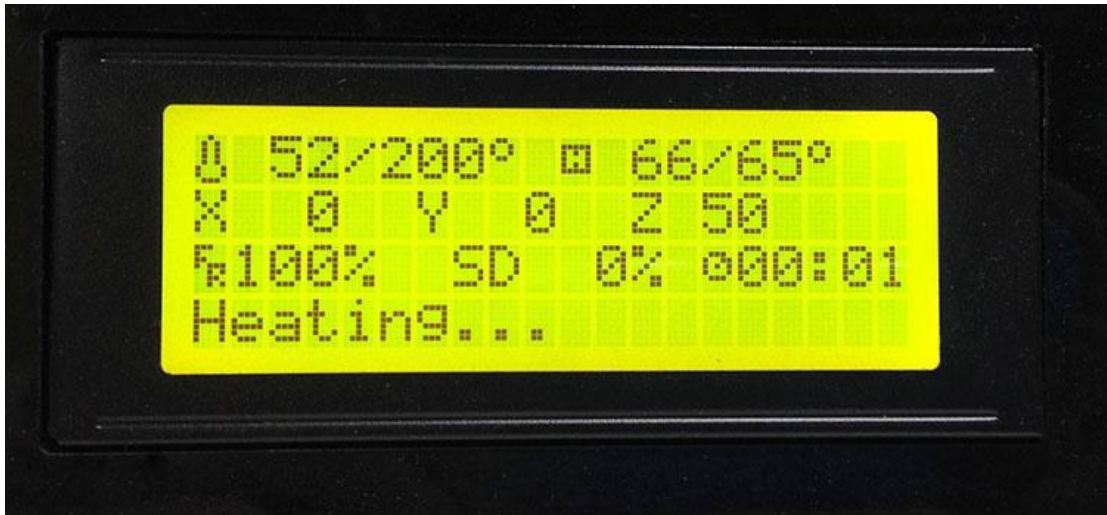
<http://www.geeetech.com/Documents/Geeetech%20Prusa%20I3%20pro&pro%20B%20User%20Manual.pdf>]



[Εικόνα 6.9.1: Επιλογή gcode αρχείου / Πηγή:

<http://www.geeetech.com/Documents/Geeetech%20Prusa%20I3%20pro&pro%20B%20User%20Manual.pdf>]

Μετά την επιλογή του .gcode αρχείου περιμένουμε να ζεσταθεί η κεφαλή εξώθησης και η εστία.



[Εικόνα 6.9.2: Θέρμανση κεφαλής εξώθησης και εστίας / Πηγή:

<http://www.geeetech.com/Documents/Geeetech%20Prusa%20I3%20pro&pro%20B%20User%20Manual.pdf>]

Όταν ολοκληρωθεί η θέρμανση, αρχίζει αυτόματα η εκτύπωση.

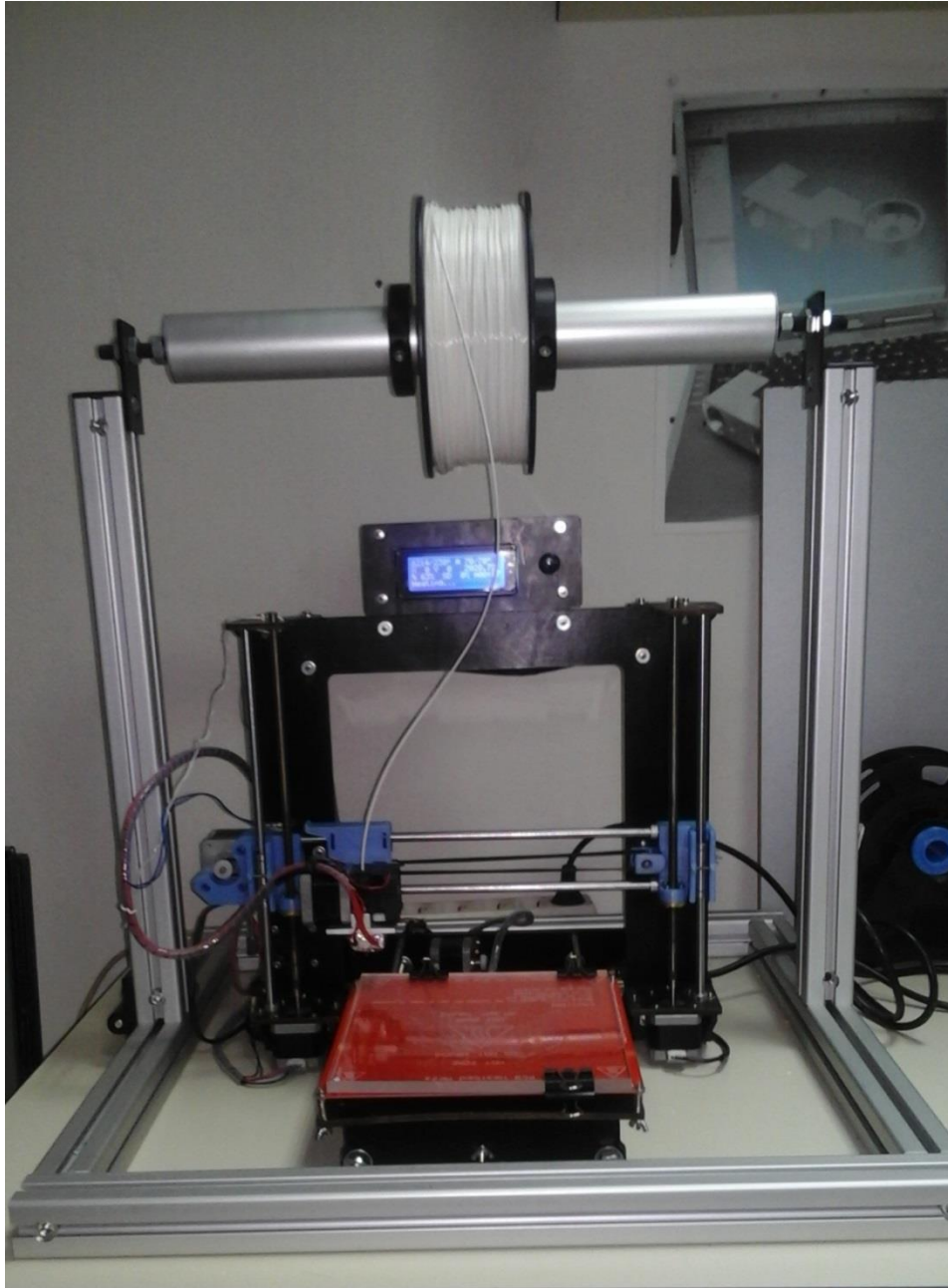


[Εικόνα 6.9.3: Ολοκλήρωση θέρμανσης / Πηγή:

<http://www.geeetech.com/Documents/Geeetech%20Prusa%20I3%20pro&pro%20B%20User%20Manual.pdf>]

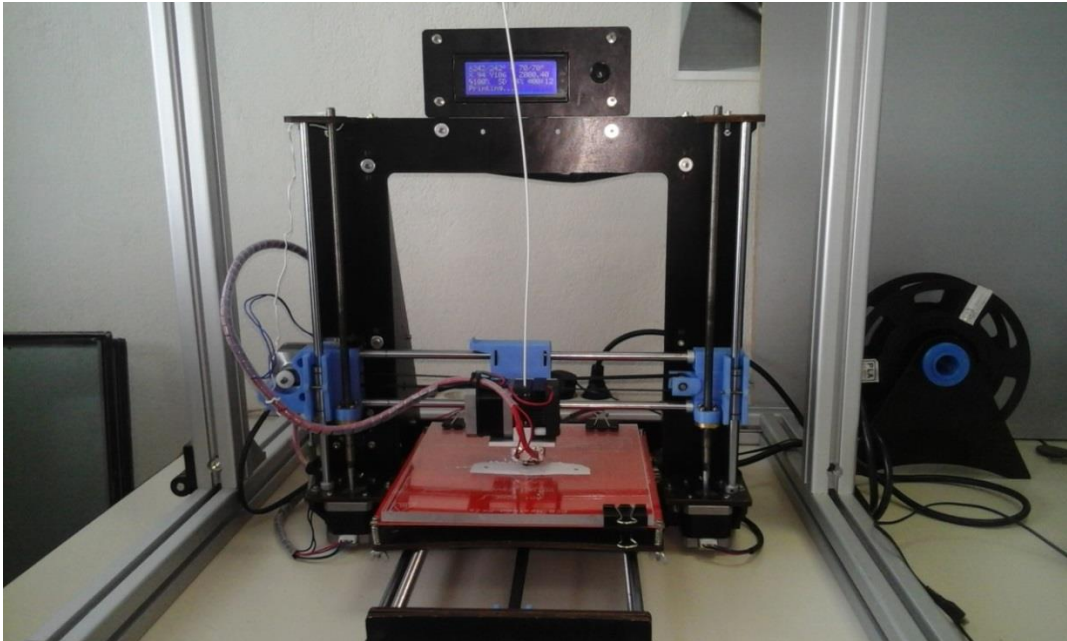
Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων

Παρακάτω ακολουθούν φωτογραφίες απ' την εκτύπωση του ρομποτικού βραχίονα.

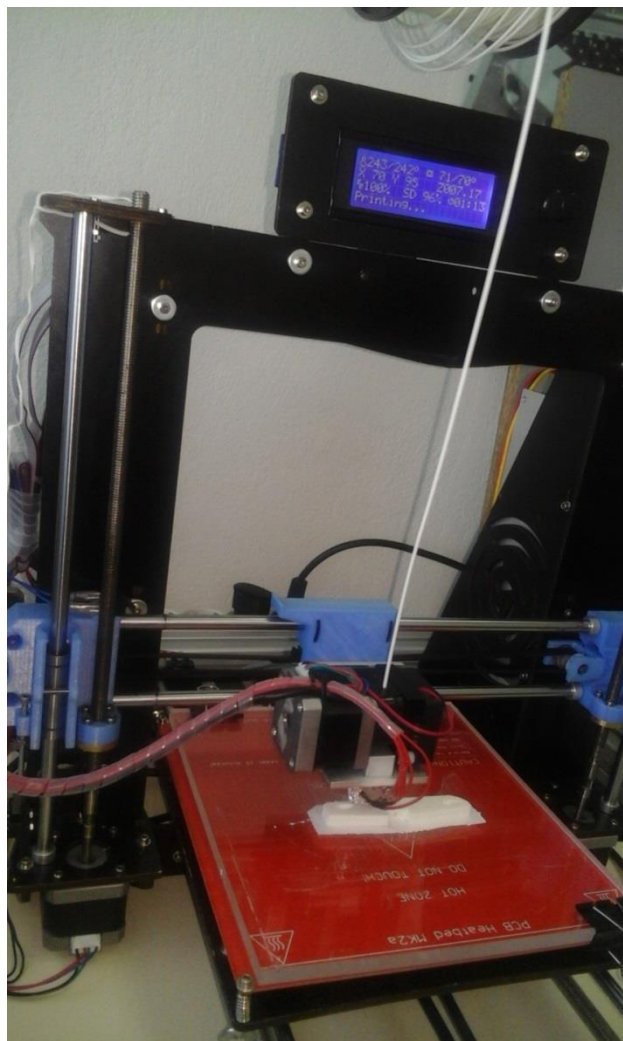


[Εικόνα 6.9.4: Ο εκτυπωτής που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια εκτύπωσης]

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων



[Εικόνα 6.9.5: Κατά τη διάρκεια εκτύπωσης του αρχείου RobCableBackV3.stl στο 4%]

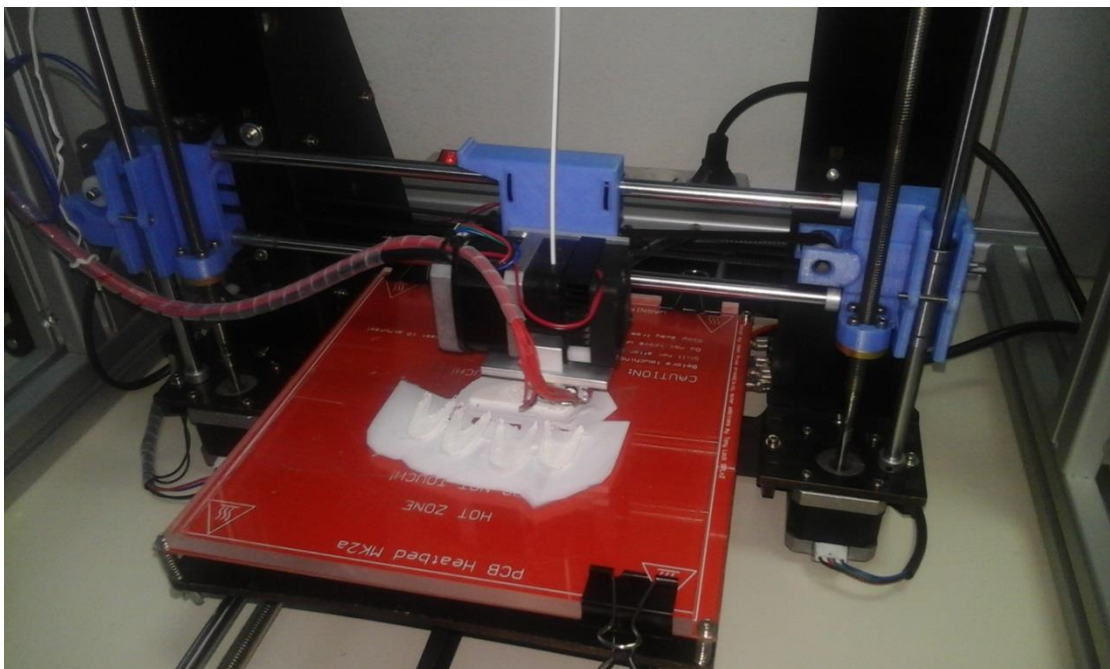


[Εικόνα 6.9.6: Κατά τη διάρκεια εκτύπωσης του αρχείου RobCableBackV3.stl στο 96%]

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων



[Εικόνα 6.9.7: Χρήση του προγράμματος Cura. Φόρτωση του αρχείου coverfinger1.stl]

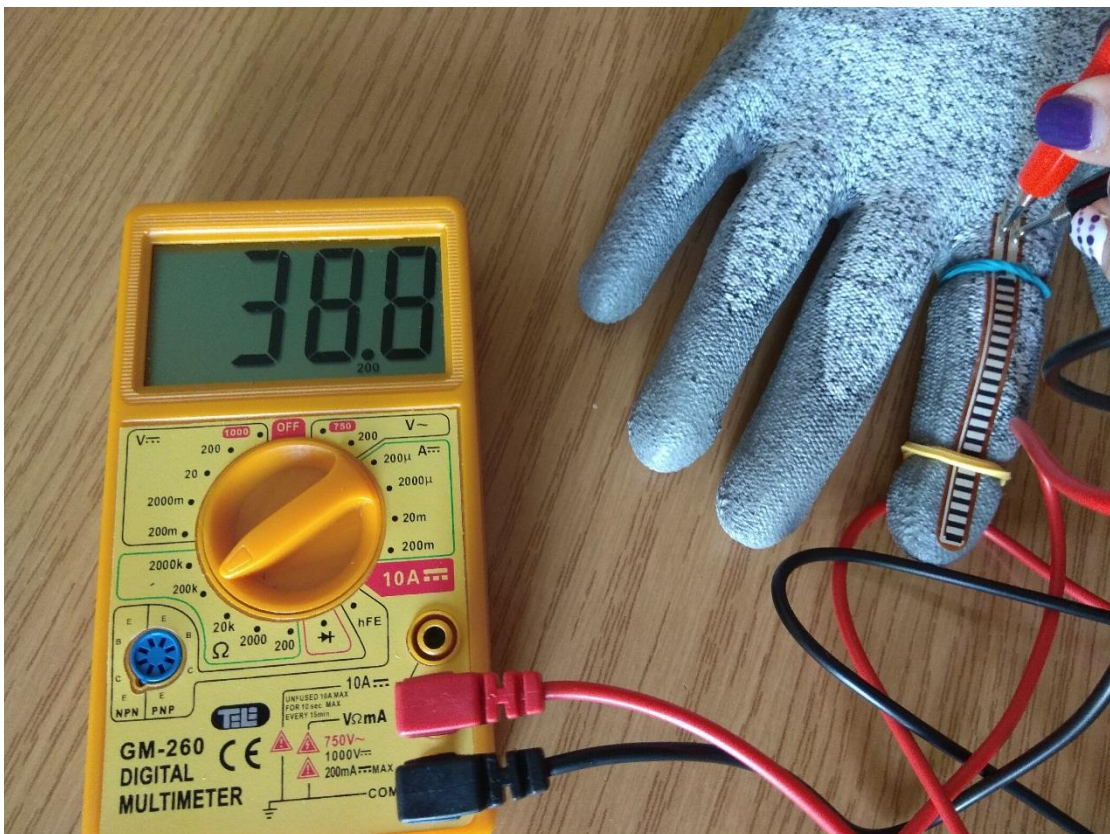


[Εικόνα 6.9.8: Εκτύπωση του αρχείου coverfinger1.stl]

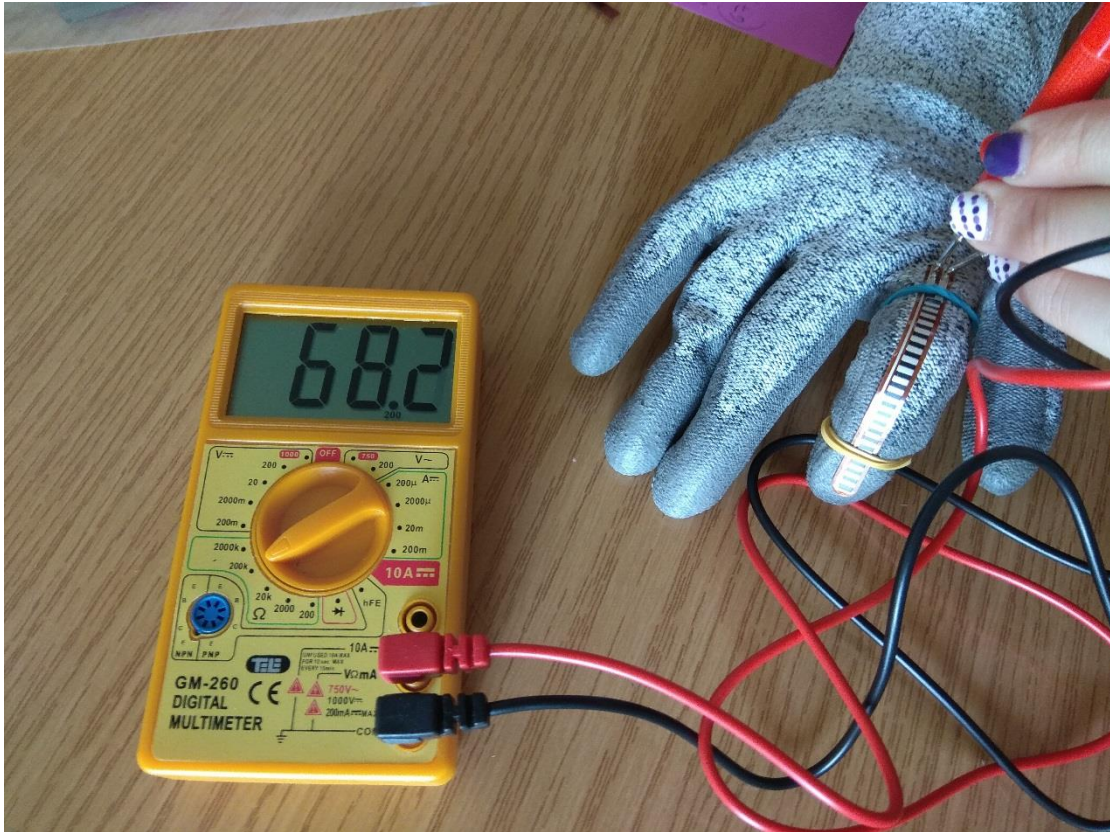
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7.1 Μέτρηση flex αισθητήρων

Με τη χρήση ενός πολύμετρου παίρνουμε μετρήσεις. Ο flex αισθητήρας σε επίπεδη θέση τείνει να έχει αντίσταση περίπου 25K Ohms, ενώ το εύρος αντοχής σε κάμψη είναι 45K έως 125K Ohms. Παρακάτω, η μέτρηση γίνεται πάνω στο γάντι, ώστε να δούμε την ακριβή αντίσταση. Οι flex αισθητήρες δεν έχουν πολικότητα, οπότε δεν έχει σημασία πώς θα τα συνδέσουμε. Όπως, παρατηρούμε στην παρακάτω Εικόνα όταν ο δείκτης είναι τεντωμένος η αντίσταση κυμαίνεται στα 38,8K Ohms ενώ όταν είναι λυγισμένος στα 68,2K Ohms.



[Εικόνα 7.1: Μέτρηση αντίστασης flex sensor 2.2" με πολύμετρο σε επίπεδη αντίσταση]



[Εικόνα 7.2: Μέτρηση αντίστασης flex sensor 2.2" με πολύμετρο σε θέση κάμψης]

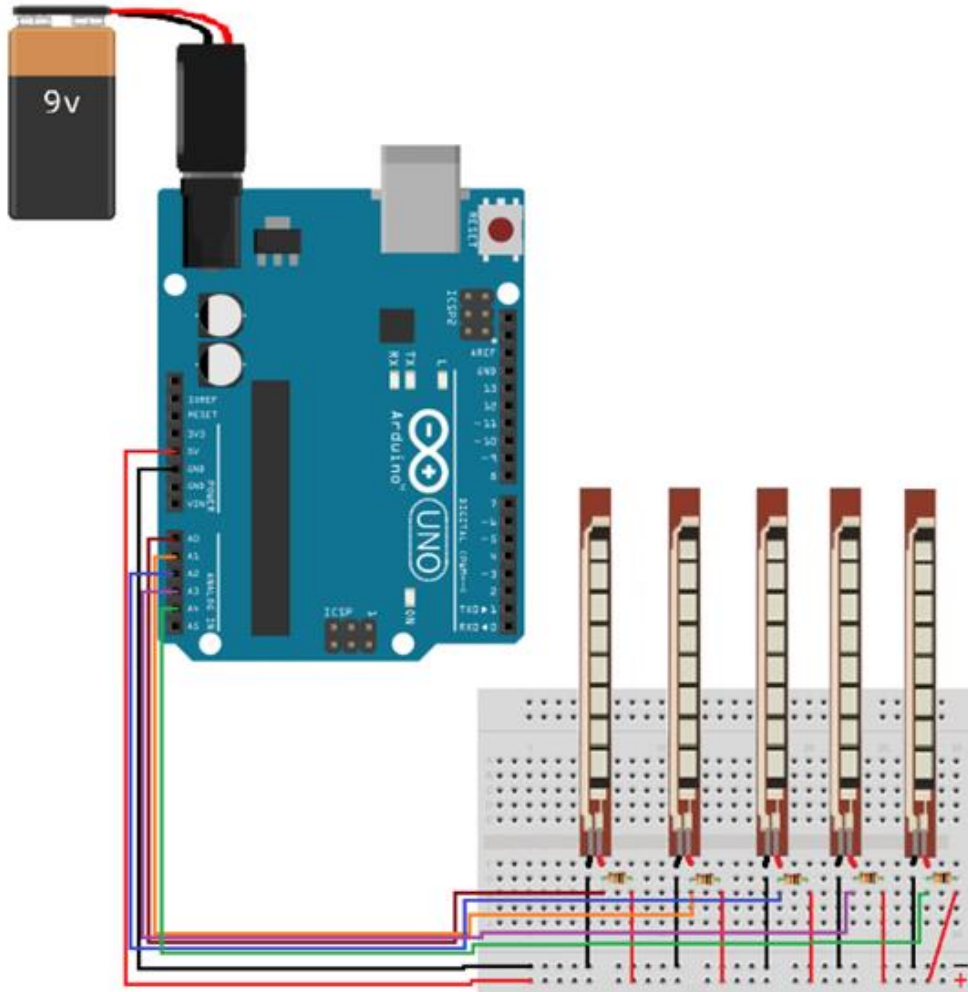
Αυτή η μέτρηση θα γίνει και για τους υπόλοιπους flex αισθητήρες για να βρούμε την τιμή της αντίστασης που θα χρησιμοποιήσουμε.

Πώς όμως βρίσκουμε την τιμή των αντιστάσεων; Αφού γίνουν οι απαραίτητες μετρήσεις και καταγράψουμε τις τιμές και των δύο θέσεων (ευθεία και θέση κάμψης) για το κάθε δάκτυλο τότε προσθέτουμε και τις πέντε τιμές των δακτύλων για την ευθεία θέση και διαιρούμε με το πλήθος των δακτύλων. Το ίδιο κάνουμε και για τη θέση κάμψης. Οι τιμές που βρήκαμε ύστερα από τη διαίρεση είναι 32,36KΩ και 61,4KΩ, αντίστοιχα. Τέλος, προσθέτουμε τις δύο αυτές τιμές και διαιρούμε με την τιμή δύο. Το αποτέλεσμα που θα βρούμε μας δείχνει τη τιμή των αντιστάσεων που θα χρησιμοποιήσουμε και για τα πέντε δάκτυλα. Η τιμή της αντίστασης πρέπει να είναι κοινή και για τα πέντε δάκτυλα - όχι όμως απαραίτητα - για να αποφευχθεί η μη ρεαλιστικότητα των κινήσεων των δακτύλων. Οι αντιστάσεις που θα χρησιμοποιήσουμε είναι της τιμής των 47KΩ. Σύμφωνα, με την εταιρία κατασκευής των αισθητήρων η τιμή της αντίστασης μπορεί να κυμαίνεται από 10K Ohm μέχρι 100K Ohm. Εάν η τιμή ξεπεράσει τα 100K Ohm η κίνηση των αισθητήρων επιβραδύνεται.

Υποσημείωση: Ύστερα από δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως εάν οι τιμές των αντιστάσεων είναι διαφορετικές για κάθε δάχτυλο, τότε υφίσταται μια καθυστέρηση στην έναρξη κίνησης. Επίσης, στην πτυχιακή εργασία χρησιμοποιούνται τέσσερις Flex μεγέθους 2.2" και ένας Flex μεγέθους 4.5". Η διαφορά αυτή δε θα επηρεάσει την κίνηση των δακτύλων. Είναι πολύ σημαντικό όμως να χρησιμοποιήσουμε ίδιες τιμές αντιστάσεων όπως προαναφέρθηκε.

Στην παρακάτω Εικόνα με τη χρήση ενός Arduino Uno, breadboard, καλώδια male to male και μια μπαταρία των 9V πραγματοποιούμε τη συνδεσμολογία των flex αισθητήρων.

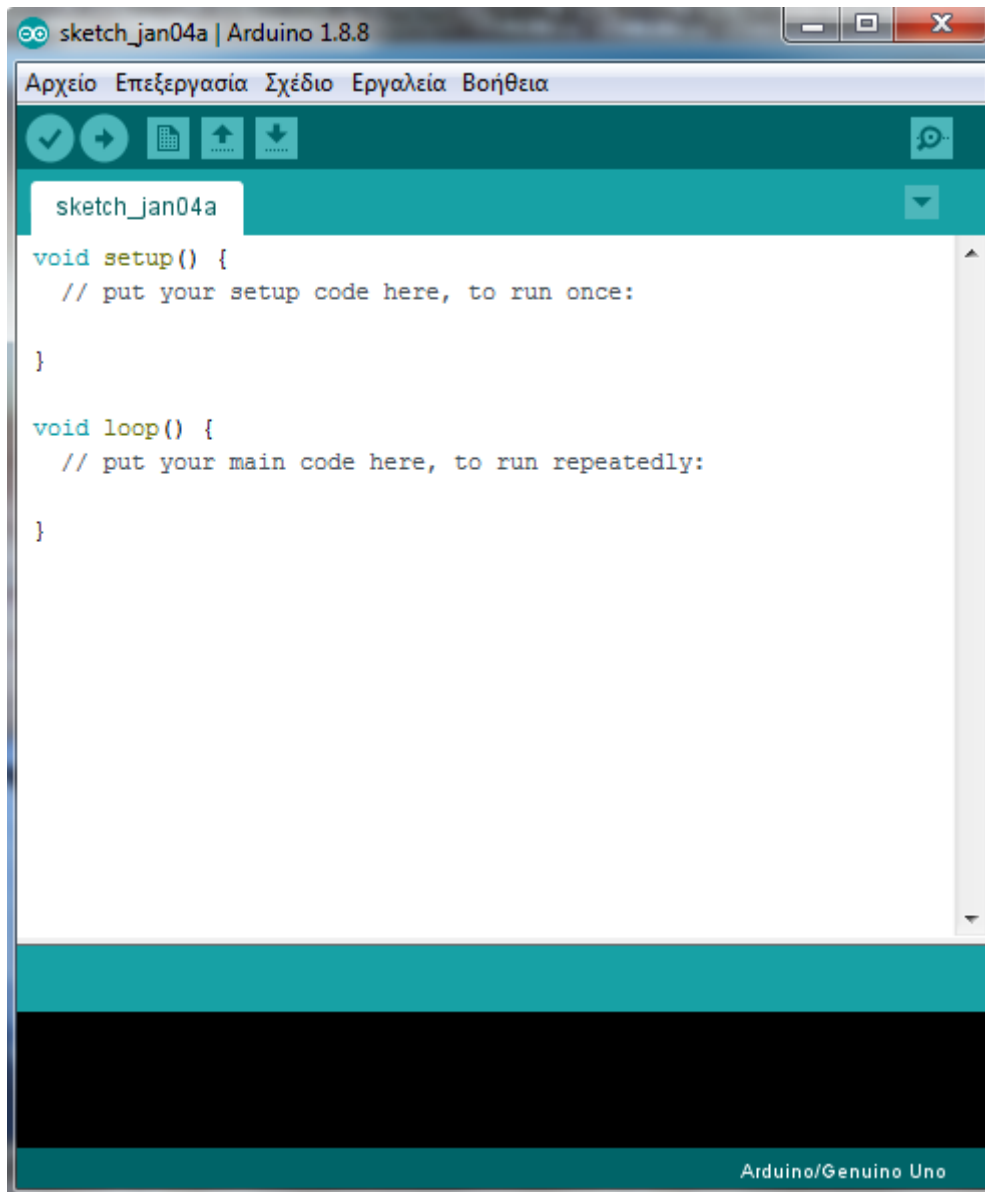
Η συνδεσμολογία έχει ως εξής: γειώνουμε τον κάθε flex ξεχωριστά και με ένα καλώδιο απ' το ground του breadboard οδηγείται στο GND του Arduino Uno. Τα VCC των flex ενώνονται με την πάνω πλευρά της αντίστασης και η κάτω πλευρά με το VCC του breadboard κα όλα αυτά οδηγούνται στα 5V του Arduino. Κάτω από την αριστερή πλευρά της κάθε αντίστασης συνδέουμε ένα καλώδιο το οποίο οδηγείται σε μια από της αναλογικές θέσεις A0 έως A4.



[Εικόνα 7.3: Συνδεσμολογία flex sensor]

7.2 Δοκιμή των Flex μέσω της εφαρμογής Arduino

Για την δοκιμή της συνδεσμολογίας είναι απαραίτητο να κατεβάσουμε πρώτα την εφαρμογή Arduino. Στην ιστοσελίδα <https://www.arduino.cc/> και συγκεκριμένα στην καρτέλα **Software** → **Downloads** βρίσκουμε την κατάλληλη έκδοση για τον υπολογιστή μας. Ακολουθούμε τα βήματα για την εγκατάσταση και ανοίγουμε την εφαρμογή Arduino.



[Εικόνα 7.4: Το περιβάλλον του προγράμματος Arduino(IDE)]

Κατά την πρώτη εγκατάσταση του Arduino (IDE) πρέπει να κάνουμε και εγκατάσταση των Drivers. Για να γίνει αυτό συνδέουμε την πλακέτα Arduino στον υπολογιστή μας και κάνοντας δεξί κλικ "Ο Υπολογιστής μου" επιλέγουμε "Διαχείριση". Στο παράθυρο που μας εμφανίζεται επιλέγουμε "Διαχείριση Συσκευών". Δεξιά του παραθύρου εμφανίζεται μια λίστα με τις συνδεδεμένες συσκευές του υπολογιστή και επιλέγουμε "Θύρες (COM & LPT)" → "Arduino Uno". Στην εφαρμογή Arduino πηγαίνουμε στη γραμμή μενού "Εργαλεία" → "Πλακέτα: Arduino / Genuino Uno". Εκεί επιλέγουμε το είδος της πλακέτας που έχουμε συνδέσει και ύστερα ξανά "Εργαλεία" → "Θύρα" → "COM3 (Arduino / Genuino Uno)".

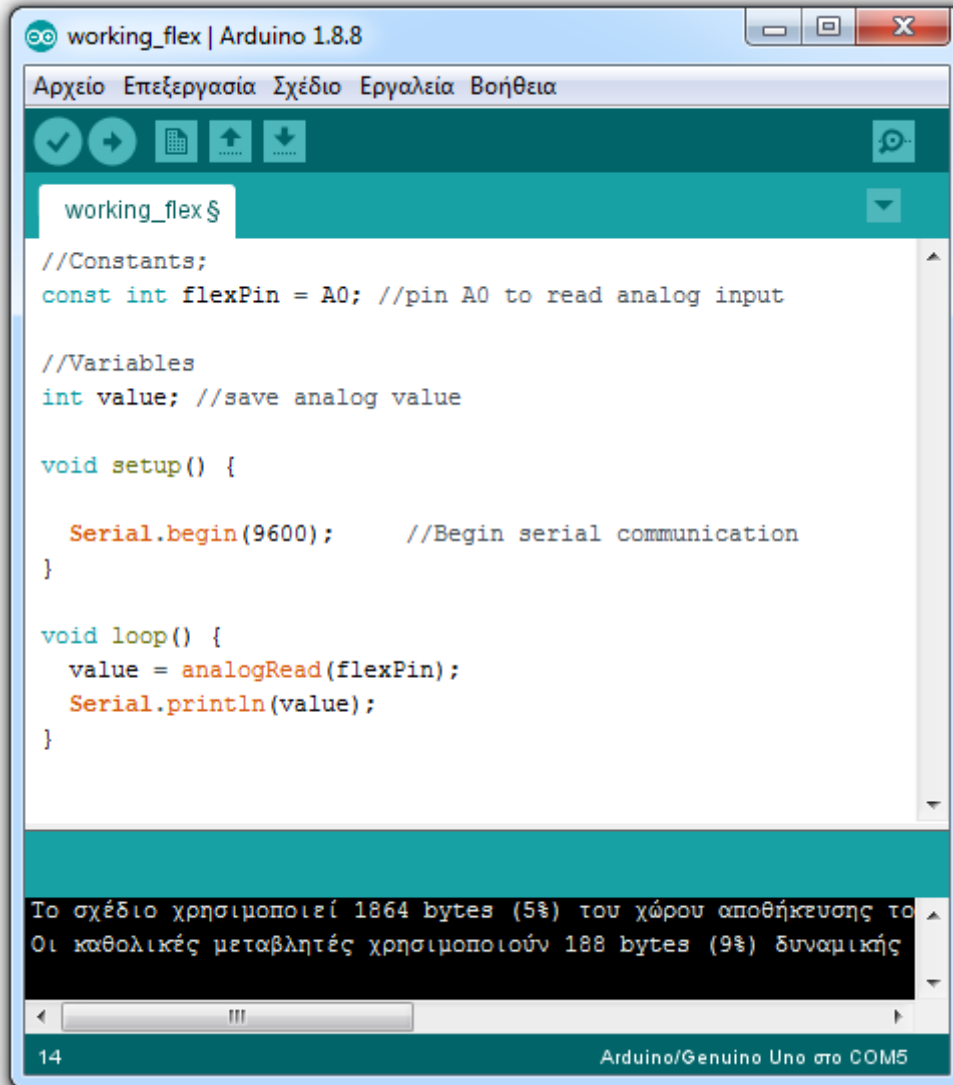


[Εικόνα 7.5: Επεξήγηση των εικονιδίων του Arduino (IDE)]

- ❖ **Επικύρωση:** Ελέγχει το sketch για τυχόν λάθη. Αν εντοπίσει λάθη τότε "χτυπάει" και δεν προχωράει αν τα λάθη δεν διορθωθούν.
- ❖ **Ανέβασμα:** Ανεβάζει το sketch στην πλακέτα. Αν όμως εντοπιστούν λάθη "χτυπάει" και δεν ανεβαίνει στην πλακέτα τίποτα. Πρέπει πρώτα να διορθωθούν τα λάθη και ύστερα να ανέβει το sketch στην πλακέτα.
- ❖ **Δημιουργία:** Δημιουργεί ένα νέο sketch.
- ❖ **Άνοιγμα:** Ανοίγει ένα προϋπάρχον sketch.
- ❖ **Αποθήκευση:** Αποθηκεύει ένα φάκελο που έχει την ίδια ονομασία με το αρχείο μας (.ino). Αρχείο και φάκελος πρέπει να έχουν την ίδια ονομασία διαφορετικά το αρχείο βγάζει σφάλμα.
- ❖ **Παρακολούθηση σειριακής:** Μέσα απ' τη σειριακή οθόνη παρακολουθούμε την πορεία του κώδικα π.χ. αν εκτελείται σωστά.
Προϋπόθεση: Για να δούμε την πορεία του κώδικα - αν ο κώδικας κάνει αυτό που επιθυμούμε εμείς - πρέπει να εισάγουμε πρώτα την εντολή `Serial.begin();` στην `void setup()` η οποία χρησιμοποιείται για αρχικοποίηση και έπειτα εισάγουμε την εντολή `Serial.print` ή `Serial.println` στη `void loop()` η οποία χρησιμοποιείται ως βρόχος.

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων

Έχοντας ακολουθήσει τη συνδεσμολογία της Εικόνας 7.3 μπορούμε να κάνουμε δοκιμή και να πάρουμε τις ελάχιστες και τις μέγιστες τιμές για έναν flex.



```
working_flex | Arduino 1.8.8
Αρχείο Επεξεργασία Σχέδιο Εργαλεία Βοήθεια
working_flex $
//Constants;
const int flexPin = A0; //pin A0 to read analog input

//Variables
int value; //save analog value

void setup() {
  Serial.begin(9600); //Begin serial communication
}

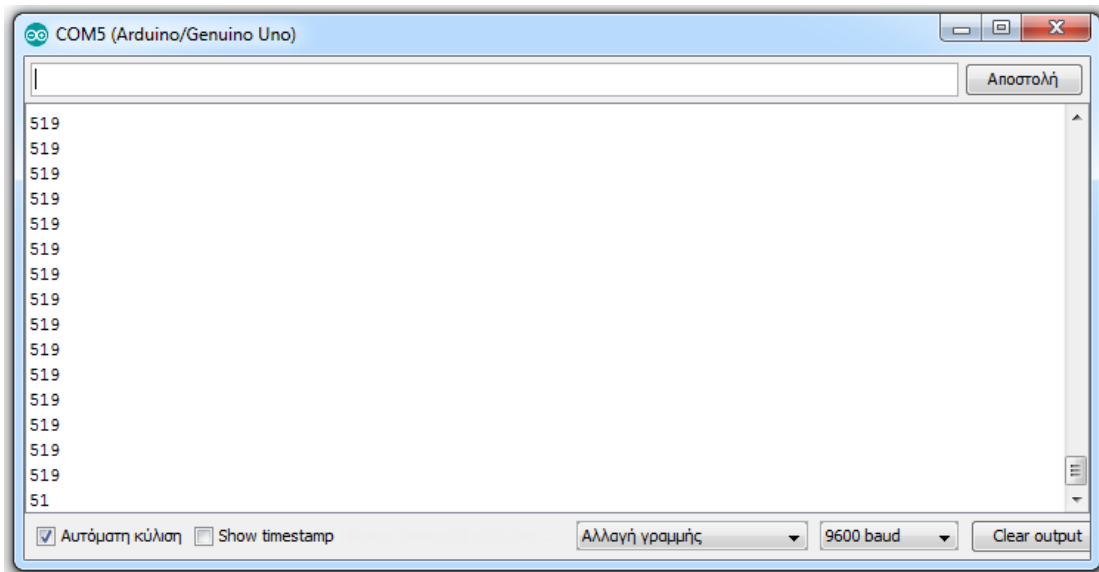
void loop() {
  value = analogRead(flexPin);
  Serial.println(value);
}

Το σχέδιο χρησιμοποιεί 1864 bytes (5%) του χώρου αποθήκευσης το
Οι καθολικές μεταβλητές χρησιμοποιούν 188 bytes (9%) δυναμικής
14 Arduino/Genuino Uno στο COM5
```

[Εικόνα 7.6: Κώδικας για τις αναλογικές τιμές ενός Flex]

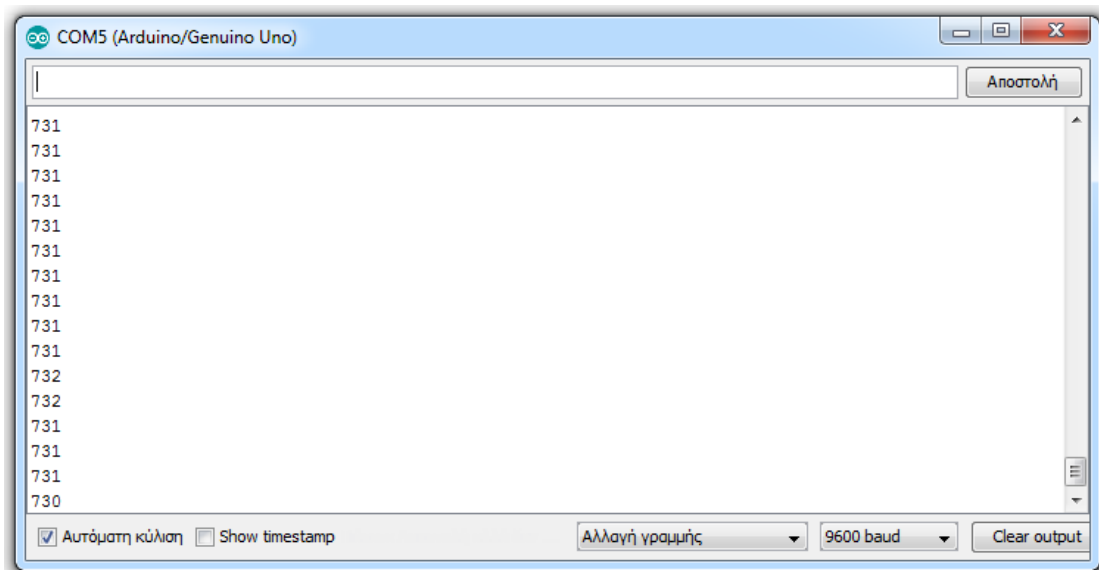
Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων

Οι τιμές αυτές εμφανίζονται στη σειριακή οθόνη όταν ο flex είναι ευθεία.

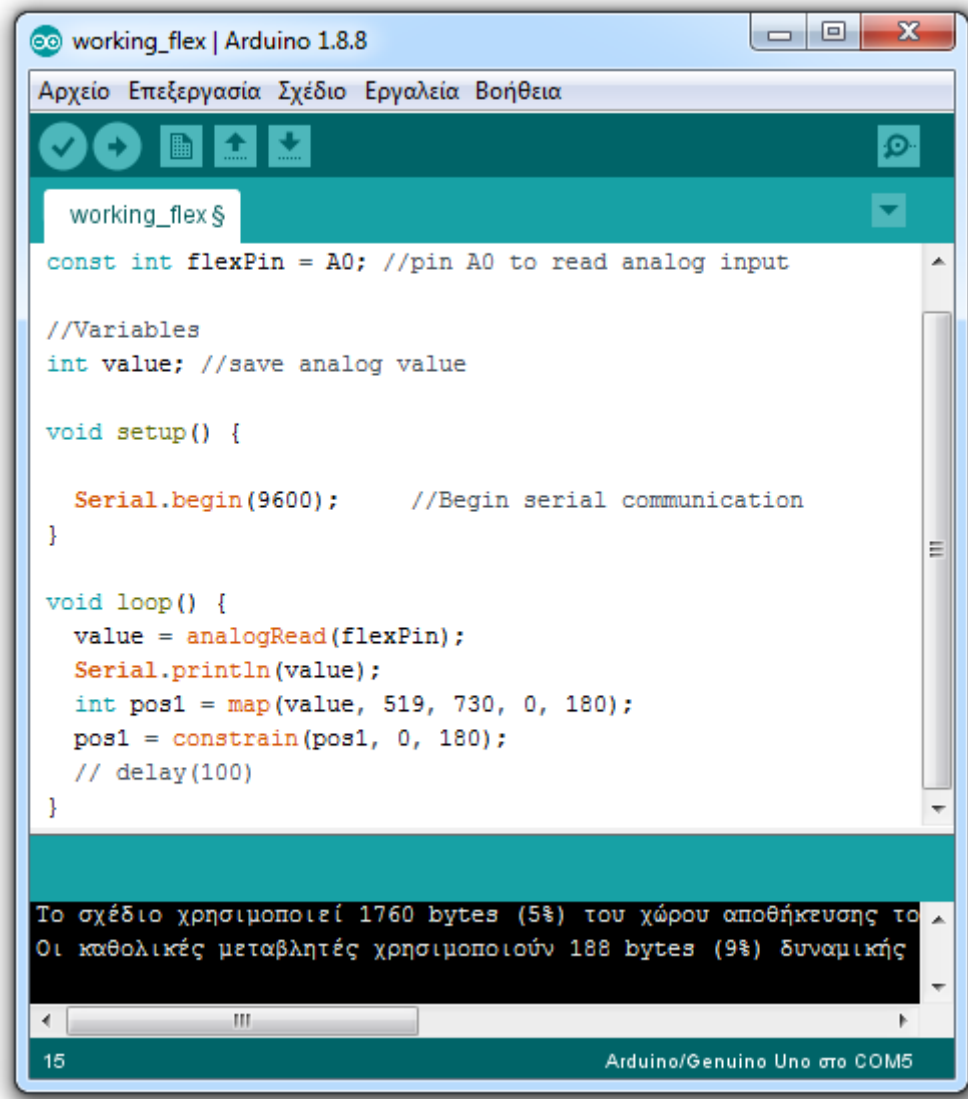


[Εικόνα 7.6.1: Αναλογικές τιμές του flex σε ευθεία κλίση]

Οι τιμές αυτές εμφανίζονται στη σειριακή οθόνη όταν ο flex είναι σε κάμψη.



[Εικόνα 7.6.2: Αναλογικές τιμές του flex σε κάμψη]



```
working_flex $
const int flexPin = A0; //pin A0 to read analog input

//Variables
int value; //save analog value

void setup() {
  Serial.begin(9600); //Begin serial communication
}

void loop() {
  value = analogRead(flexPin);
  Serial.println(value);
  int pos1 = map(value, 519, 730, 0, 180);
  pos1 = constrain(pos1, 0, 180);
  // delay(100)
}

Το σχέδιο χρησιμοποιεί 1760 bytes (5%) του χώρου αποθήκευσης το
Οι καθολικές μεταβλητές χρησιμοποιούν 188 bytes (9%) δυναμικής
```

[Εικόνα 7.7: Κώδικας για την μετατροπή αναλογικών σε ψηφιακών τιμών]

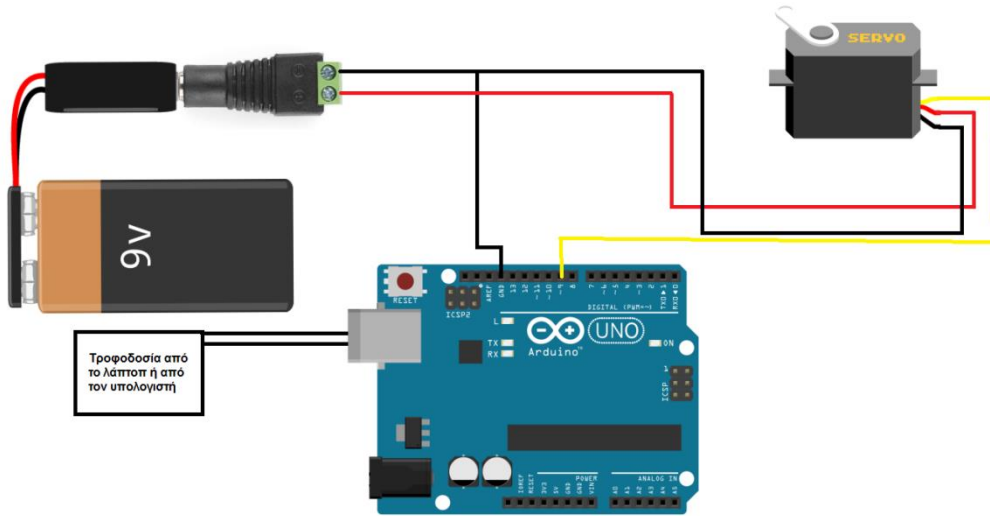
Αφού πήραμε τη μέγιστη και την ελάχιστη τιμή του flex χρησιμοποιούμε την εντολή map. Η εντολή αυτή μετατρέπει τις αναλογικές τιμές σε ψηφιακές για να διαβάζονται από το σέρβο (0°, 180°).

7.3 Δοκιμή των Servo μέσω της εφαρμογής Arduino

Η παρακάτω συνδεσμολογία πραγματοποιείται για έναν σερβοκινητήρα. Το καλώδιο του σήματος του σέρβο συνδέεται σε μια ψηφιακή θέση PWM. Το Vcc του σέρβο συνδέεται στο Vcc του adapter, το ground καλώδιο του σέρβο με τη θέση ground του adapter και με ένα δεύτερο καλώδιο από το ground του adapter σε μια θέση Gnd του Arduino. Το dc barrel jack adapter συνδέεται σε μια

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων

μπαταρία των 9V και τέλος το arduino συνδέεται με ένα καλώδιο USB είτε σε έναν υπολογιστή είτε σε ένα λάπτοπ.



[Εικόνα 7.8: Συνδεσμολογία σέρβο κινητήρα]

```
sketch_jul13a | Arduino 1.8.0
Αρχείο Επεξεργασία Σχέδιο Εργαλεία Βοήθεια
sketch_jul13a $
#include <Servo.h>

Servo myservo;

void setup() {
  myservo.attach(9);
}

void loop() {
  myservo.write(0);
  delay(1000);
  myservo.write(180);
  delay(1000);
}

Ολοκλήρωση ανεβάσματος.
Οι καθολικές μεταβλητές χρησιμοποιούν 165 bytes (2%) δυναμικής μνήμης.
Βρέθηκε μη έγγυρη βιβλιοθήκη στο C:\Program Files (x86)\Arduino\lib
Βρέθηκε μη έγγυρη βιβλιοθήκη στο C:\Program Files (x86)\Arduino\lib
16 Arduino/Genuino Mega or Mega 2560, ATmega2560 (Mega 2560) στο COM5
```

[Εικόνα 7.8.1: Ο κώδικας για την κίνηση ενός σερβοκινητήρα]

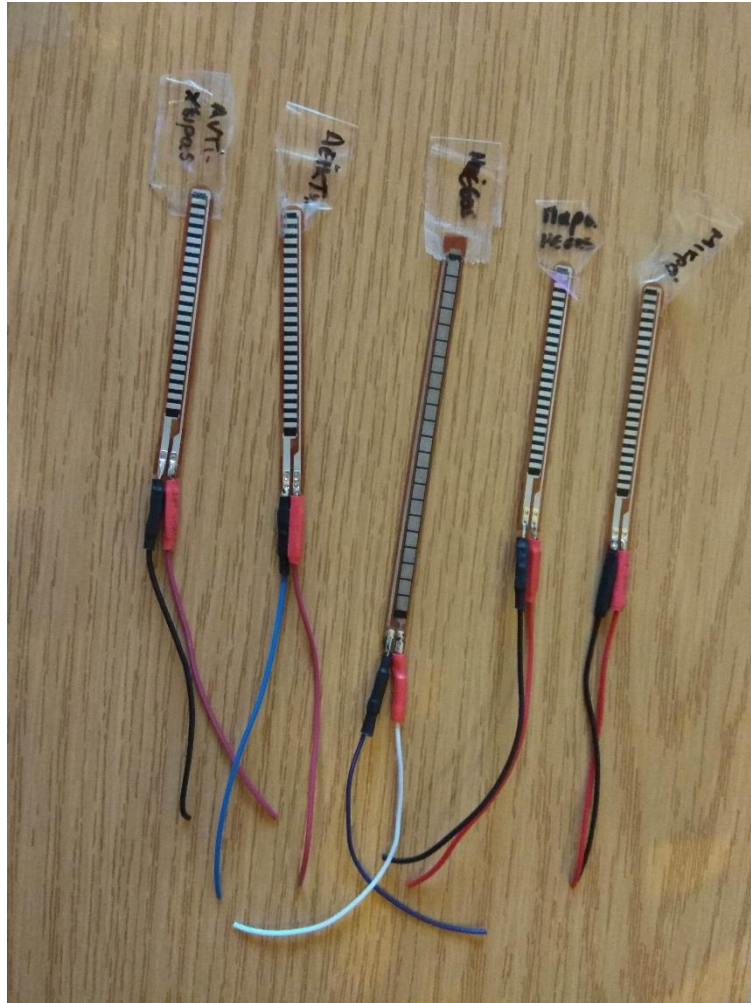
7.4 Συγκόλληση Flex αισθητήρων

Το επόμενο βήμα είναι η συγκόλληση των μεταλλικών ακροδεκτών με jumper wire (καλώδια βραχυκύκλωσης). Για να γίνει αυτό θα χρειαστούμε τη βοήθεια ενός κολλητηριού και καλαΐ. Το κολλητήρι αποτελείται από αντιστάσεις, οι οποίες ζεσταίνονται όταν τις διαπερνάει ρεύμα και έχουν την ικανότητα να λιώνουν μαλακά μέταλλα. Η παραγόμενη θερμότητα εκτονώνεται στην αφαιρούμενη μύτη που προσαρμόζεται στο μπροστινό μέρος, ανάλογα με το πάχος που χρειαζόμαστε. Το καλαΐ αποτελείται από μαλακά μέταλλα, κράμα κασσίτερου με χαλκό και είναι ένα είδος μαλακής συγκόλλησης. Στην αγορά το βρίσκουμε κυρίως σε συρμάτινα ρολά, ανάλογα με το πάχος του σύρματος. Ο Flex δεν έχει πολικότητα, οπότε ορίζουμε εμείς ποιος ακροδέκτης θα είναι Vcc και ποιος Gnd. Παρακάτω ακολουθεί η διαδικασία συγκόλλησης ενός Flex αισθητήρα.



[Εικόνα 7.9: Συγκόλληση Flex αισθητήρα]

Η Εικόνα που ακολουθεί μας δείχνει την ολοκληρωμένη συγκόλληση και των πέντε Flex. Σε κάθε καλώδιο υπάρχει και ένα θερμοσυστελλόμενο, κατάλληλο για την κάλυψη και μόνωση των ηλεκτρικών καλωδίων.



[Εικόνα 7.9.1: Τελικό αποτέλεσμα μετά την συγκόλληση των αισθητήρων και την τοποθέτηση των θερμοσυστελλόμενων]

7.5 Συνδεσμολογία πάνω σε διάτρητη πλακέτα

Η συνδεσμολογία των Flex αισθητήρων θα γίνει πάνω σε διάτρητη πλακέτα και αυτό γιατί είναι πιο σταθερή από ένα Breadboard. Άλλωστε, το Breadboard είναι πλακέτα δοκιμής πριν την τελική συγκόλληση. Τι θα χρειαστούμε;

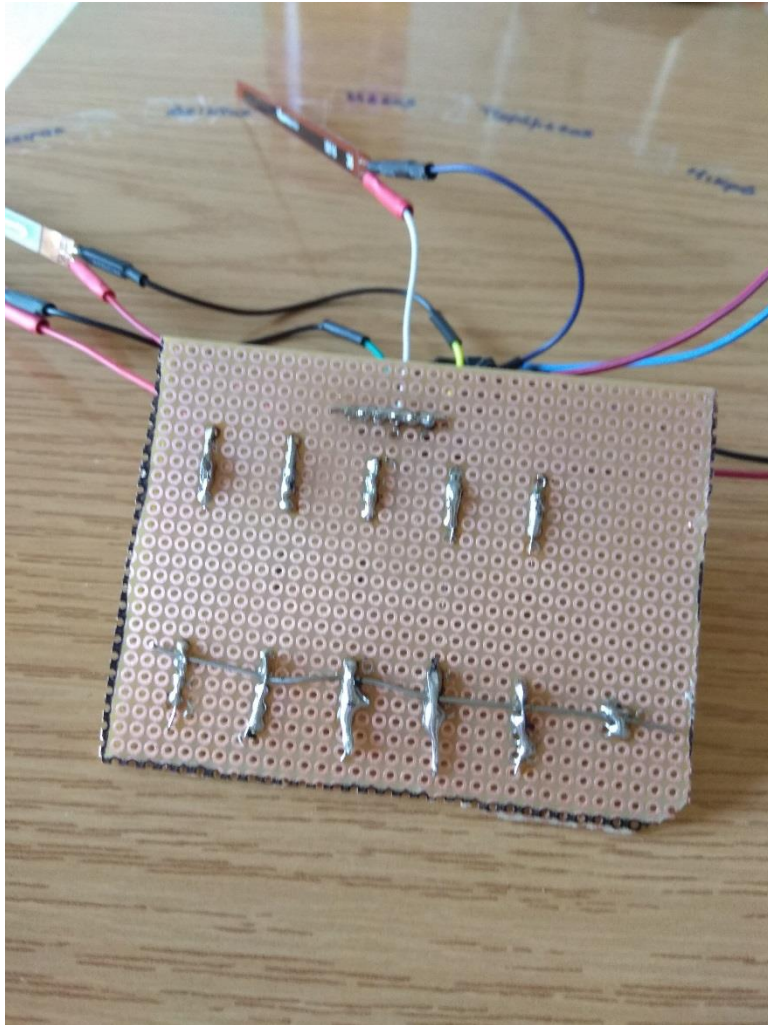
- Ένα κομμάτι διάτρητης πλακέτας ή PCB
- Καλώδια male to male & female to male
- Αντιστάσεις
- Κολλητήρι
- Καλάι
- Flex Αισθητήρες

- Pin Headers (male)²⁵

Ξεκινάμε τις συγκολλήσεις στο κέντρο της πλακέτας ώστε να έχουμε χώρο από όλες τις πλευρές. Το πρώτο μας βήμα είναι η τοποθέτηση των αντιστάσεων σε κάθετη διάταξη και η απόσταση τέτοια ώστε η συγκόλληση να γίνεται άνετα. Ύστερα, στην κάτω και πάνω πλευρά των αντιστάσεων συγκολλούμε τα pin headers. Η κάτω πλευρά της αντίστασης θα την ορίσουμε ως Vcc και την επάνω ως σήμα για τις θέσεις της πλακέτας Arduino π.χ. A0,A1 κ.ο.κ. Ακριβώς πάνω από τη θέση pin header του σήματος θα συγκολλήσουμε το Vcc του κάθε Flex. Θα μπορούσαμε να μην απογυμνώσουμε τα καλώδια που έχουν συγκολληθεί στο Flex και στη θέση αυτών να υπήρχαν female to male jumper wires αλλά τα pin headers αποφασίστηκαν στην πορεία της πτυχιακής.

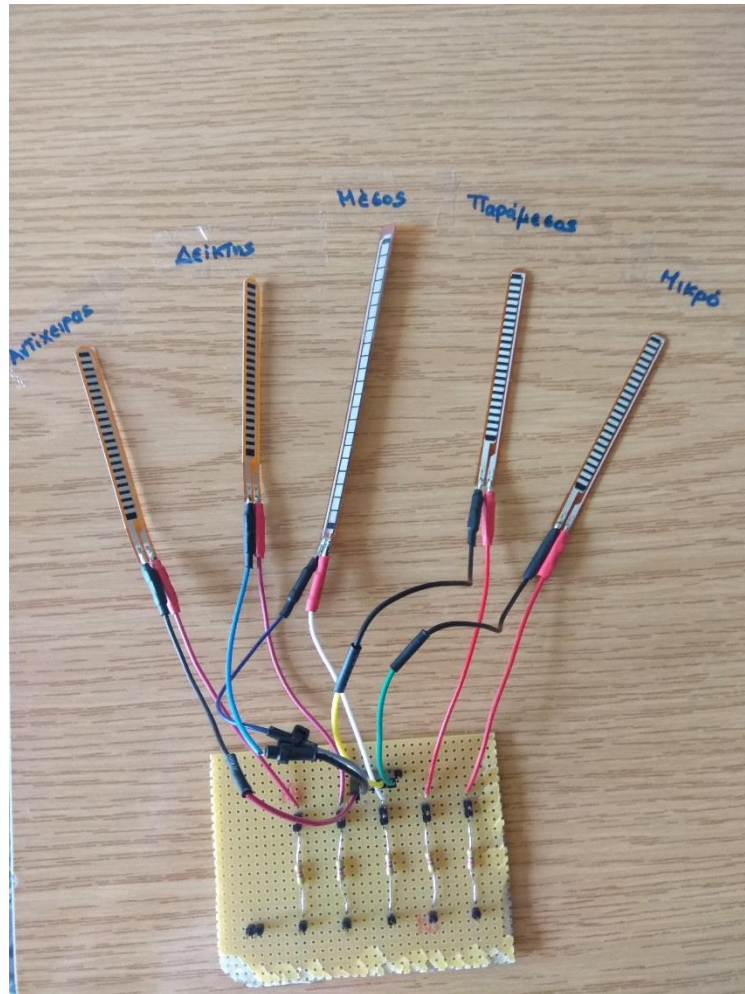
Στην κορυφή της πλακέτας βρίσκονται έξι θέσεις από pin headers, οι πέντε εκ των οποίων είναι οι γειώσεις των κάθε Flex ξεχωριστά και η έκτη η γείωση όλων των γειώσεων που θα συνδεθεί με τη θέση Gnd του Arduino. Τέλος, στην πλευρά της αντίστασης που έχουμε ορίσει ως Vcc θα τοποθετήσουμε άλλο ένα pin header, το οποίο θα συνδέεται με τη θέση των 5V του Arduino. Τα pin headers των Vcc και των Gnd γεφυρώνονται ξεχωριστά με ένα κομμάτι από καλώδι και αυτό για να συνδέσουμε όλα τα Vcc και όλα τα Gnd στο αντίστοιχο pin του Arduino. Έτσι εξοικονομούμε αρκετό καλώδι και χρόνο. Είναι πολύ σημαντικό να αναφερθεί ότι η κόλληση των εξαρτημάτων γίνεται ΠΑΝΤΑ από την πλευρά του χαλκού. Στη συνέχεια, βλέπουμε την ολοκληρωμένη συγκόλληση των εξαρτημάτων από την κάτω πλευρά της διάτρητης πλακέτας.

²⁵ Τα Pin Headers είναι μια μορφή ηλεκτρικού συνδετήρα που συχνά οδηγούν σαν παραλήπτες των jumper wires.



[Εικόνα 7.9.2: Η κάτω πλευρά συγκόλλησης της διάτρητης πλακέτας]

Και ακολουθεί ολοκληρωμένη συγκόλληση των εξαρτημάτων από την πάνω πλευρά της διάτρητης πλακέτας.



[Εικόνα 7.9.3: Η πάνω πλευρά συγκόλλησης της διάτρητης πλακέτας]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

8.1 Συναρμολόγηση του ρομποτικού βραχίονα

8.1.1 Λιμάρισμα των ρομποτικών κομματιών

Μετά την ολοκλήρωση της εκτύπωσης περνάμε στο στάδιο όπου τα κομμάτια πρέπει να λιμαριστούν. Λιμάρισμα επιδέχεται μόνο το υλικό ABS. Το υλικό PLA και άλλα υλικά χαμηλότερης θερμοκρασίας είναι σημαντικό να μην μπούμε στον πειρασμό να χρησιμοποιήσουμε μηχανή τριβής με κινητήρα. Η παραγόμενη θερμότητα θα παραμορφώσει τα εξωτερικά στρώματα της εκτύπωσης μας. Να σημειώσουμε ότι ο ρομποτικός βραχίονας έχει εκτυπωθεί από αυτά τα δύο υλικά. Υπάρχουν δύο τρόποι λιμαρίσματος. Ο πρώτος είναι η χρήση γυαλόχαρτων και ο δεύτερος τρόπος είναι το ηλεκτρικό τρυπάνι. Έχοντας χρησιμοποιήσει και τους δύο τρόπους, το ηλεκτρικό τρυπάνι είναι μακράν το καλύτερο λόγω της ευελιξίας και της ταχύτητας που προσφέρει.



[Εικόνα 8.1: Γυαλόχαρτα έντονης λείανσης]



[Εικόνα 8.1.1: Εργαλείο περιστροφής υψηλής ταχύτητας / Πηγή:

<https://www.ebay.com/p/60pc-Cordless-Dremel-Type-Mini-Rotary-Hobby-Drill-Tool-With-Case-Accessories/2255438773?iid=282985350281>]

Τα γυαλόχαρτα μπορούμε να τα προμηθευτούμε από καταστήματα με εργαλεία, δομικά είδη κ.ά. Για την αγορά ενός ηλεκτρικού τρυπανιού μπορούμε να συμβουλευτούμε διάφορα ηλεκτρονικά καταστήματα. Μια οικονομική λύση που προσφέρεται είναι και το ebay.

Κατά τη διάρκεια του λιμαρίσματος θα πρέπει να είμαστε ιδιαίτερα προσεκτικοί. Τα κομμάτια και συγκεκριμένα τα δάκτυλα θα χρειαστούν χρόνο μέχρι να λιμαριστούν σωστά. Θα πρέπει να κάνουμε δοκιμές ανάμεσα στις αρθρώσεις των δακτύλων και να μην τα πιέζουμε κατά την ένωση τους γιατί ενδέχεται να σπάσουν.



[Εικόνα 8.1.2: Λιμάρισμα άρθρωσης δακτύλου με ηλεκτρικό τρυπάνι]

8.1.2 Διαδικασία λείανσης των υλικών ABS & PLA

Η εκτύπωση FDM (FFF) συχνά παράγει ένα τελικό αντικείμενο που ενώ είναι μηχανικά σωστό, τείνει να μην έχει εκείνη την «επαγγελματική εμφάνιση» που χρειαζόμαστε. Μια εύκολη και αξιόπιστη μέθοδος είναι η μέθοδος κρύου ατμού με ασετόν ή διαφορετικά cold acetone varour method. Όλες οι εκτυπώσεις 3D με υλικό ABS μπορούν να λειανθούν με ασετόν. Ενώ, το υλικό PLA στερείται αυτής της δυνατότητας και αυτό συμβαίνει επειδή το PLA σε καθαρή μορφή δεν αντιδρά με ασετόν. Όταν το PLA αντιδρά στην επίδραση του ασετόν, οφείλεται σε άλλα υλικά που έχουν προστεθεί σε αυτό.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για να λειάνουμε ένα ABS υλικό με ασετόν. Ένας εύκολος τρόπος είναι η τοποθέτηση του κομματιού σε ένα κλειστό πλαστικό κουτί με χάρτινες πετσέτες ποτισμένες με ασετόν και στη βάση του κουτιού ένα κομμάτι αλουμινόχαρτο για να μη λιώσει το πλαστικό. Μέσα σε είκοσι λεπτά το κομμάτι μας έχει λειανθεί και οι τυχόν γραμμές εκτύπωσης έχουν εξομαλυνθεί. Ένας άλλος τρόπος ο οποίος ανακαλύφθηκε στην πορεία της πτυχιακής και μείωσε σημαντικά τον χρόνο, ήταν η απευθείας επαφή του ασετόν με ένα πινέλο ζωγραφικής πάνω στο αντικείμενό μας. Τοποθετούμε τα κομμάτια πάνω σε ένα αλουμινόχαρτο και

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων

τα αφήνουμε να στεγνώσουν. Το αποτέλεσμα που θα μας δώσει θα είναι ένα λείο υλικό, πιο δυνατό και ανθεκτικό στην υγρασία.

Τα υλικά που θα χρειαστούμε είναι ασετόν επαγγελματικής χρήσης, ένα ζευγάρι γάντια, μάσκα, ένα πινέλο ζωγραφικής και αλουμινόχαρτο.



[Εικόνα 8.2: Ασετόν, γάντια και μάσκα]

Η διαδικασία αυτή απαιτεί εξοπλισμό και ιδιαίτερη προσοχή. Το ασετόν θεωρείται ένα ιδιαίτερα εύφλεκτο υλικό με αρκετά έντονη μυρωδιά, ικανή να προκαλέσει ζάλη και ευαισθησία στα μάτια.

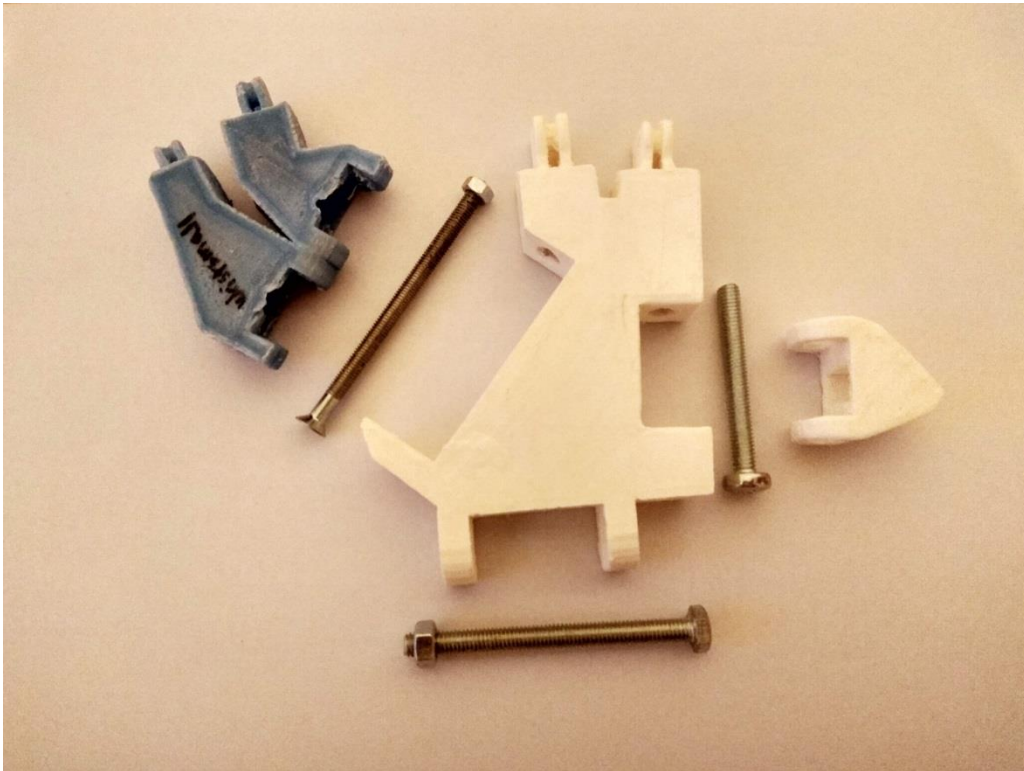


[Εικόνα 8.2.1: Χρήση ασετόν για λείανση ABS υλικού]

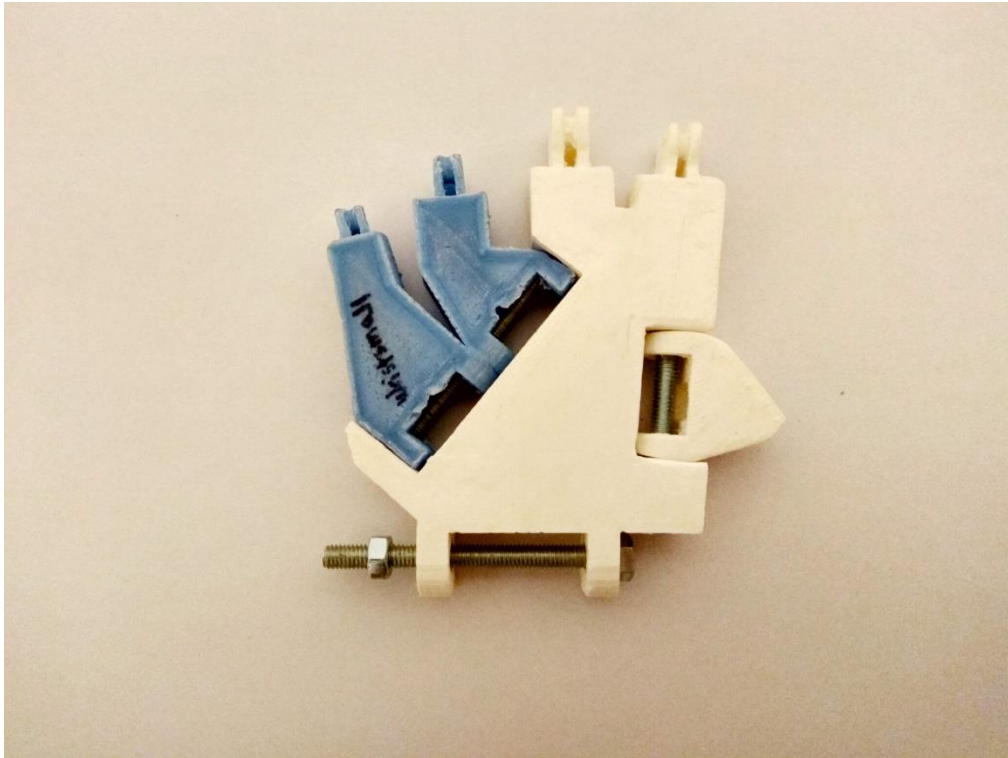
Σε αντίθεση με το ABS, το PLA λειτουργεί εντελώς διαφορετικά. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως το υλικό αυτό δεν μπορεί να δουλέψει με ηλεκτρικό τρυπάνι, όμως με τα γυαλόχαρτα μπορούμε να έχουμε τα κατάλληλα αποτελέσματα. Για να γίνει λεία η επιφάνεια ενός PLA θα χρειαστούμε γυαλόχαρτα με νούμερο 200 μέχρι 3000. Ξεκινάμε σταδιακά αυξάνοντας το νούμερο του γυαλόχαρτου και με κυκλικές κινήσεις λειαίνουμε την επιφάνεια μέχρι να μην αισθανόμαστε τις γραμμές εκτύπωσης. Μόλις τρίψουμε το αντικείμενό μας με το γυαλόχαρτο νούμερο 3000, με ένα μαλακό βαμβακερό ύφασμα εφαρμόζουμε μία μικρή ποσότητα βερνικιού πάνω στην επιφάνεια εκτύπωσης με κυκλικές κινήσεις μέχρι να απλωθεί καλά το βερνίκι. Ύστερα, με καθαρό πανί συνεχίζουμε να τρίβουμε το σημείο που εφαρμόστηκε το βερνίκι. Το κομμάτι μας είναι έτοιμο.

8.1.3 Ένωση Χεριού

Τα πρώτα κομμάτια που θα ενώσουμε ουσιαστικά είναι η παλάμη. Τα κομμάτια που θα χρειαστούμε είναι τα εξής: WristlargeV4, WristsmallV4 και thumb5. Τα προτεινόμενα μεγέθη των βιδών είναι 1x8mmx8cm για τη βίδα που ενώνει τα WristlargeV4 και WristsmallV4, 1x8mmx6cm για τη βίδα που βρίσκεται κάθετα στο thumb5 και 1x8mmx6cm για τη βίδα του καρπού (robpart1). Είτε σταυρωτές είτε εξάγωνες βίδες είναι αποδεκτές.



[Εικόνα 8.3: Συναρμολόγηση χεριού]



[Εικόνα 8.3.1: Ολοκλήρωση συναρμολόγησης παλάμης]

8.1.4 Προσθήκη χορδών

Η προσθήκη των χορδών είναι μακράν το δυσκολότερο και το πιο κουραστικό μέρος αυτού του έργου. Πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι το να περάσουμε τις χορδές ανάμεσα στα δάκτυλα απαιτεί υπομονή. Τα υλικά που θα χρειαστούμε είναι πετονιά και ελαστικό κορδόνι. Είναι σημαντικό η πετονιά να είναι αρκετά ανθεκτική. Δε θα θέλαμε να σπάσει κατά τη διάρκεια κίνησης των δακτύλων όταν θα έχουμε κολλήσει τα κομμάτια μεταξύ τους. Επίσης, το κορδόνι που θα χρησιμοποιήσουμε πρέπει να είναι ελαστικό, διαφορετικά τα δάκτυλα δε θα ανοίγουν. Ουσιαστικά, η πετονιά περνάει απ' τις μπροστινές τρύπες των κομματιών του δακτύλου και το κορδόνι απ' τις πίσω τρύπες. Το κορδόνι τεντώνει, δηλαδή ανοίγει τα δάκτυλα, ενώ η πετονιά κλείνει το χέρι.

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων



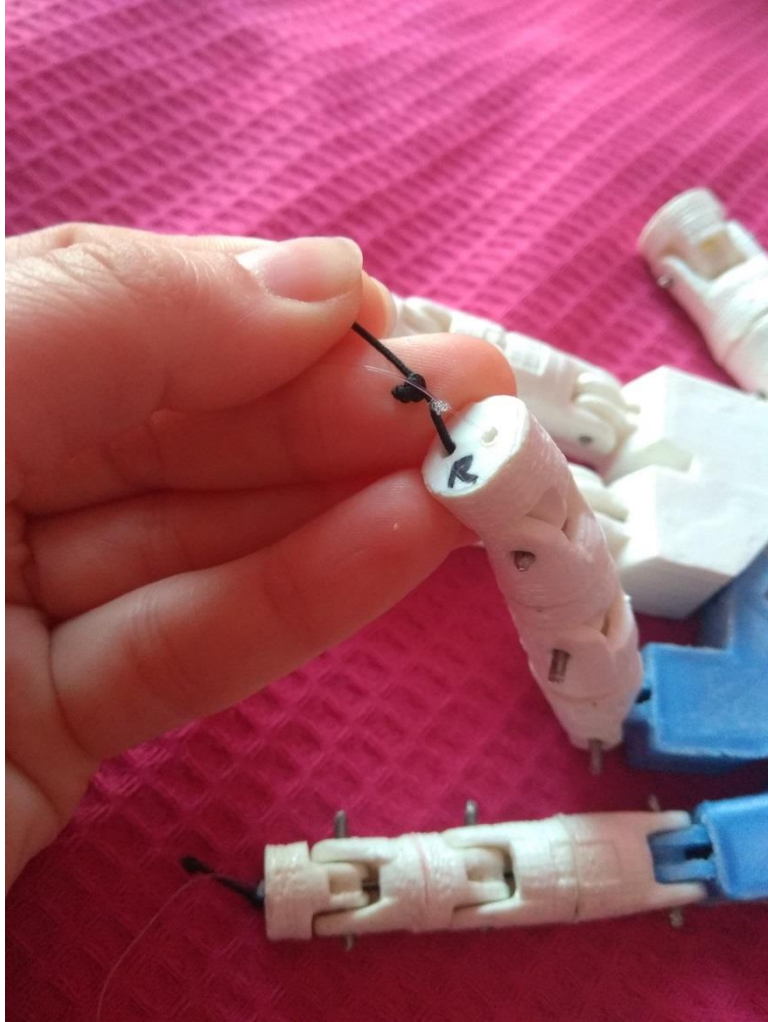
[Εικόνα 8.4: Ελαστικό κορδόνι / Πηγή: <https://www.e-jumbo.gr/scholika/cheirotechnia/axesouar-kataskevis-kosmimaton/kaoutsouk-elastika-vrachiolia/elastiko-kordoni-gia-vrachiolia-mavro-4.5-m. 329535>]



[Εικόνα 8.4.1: Πετονιά / Πηγή: https://fishingplanet.gr/index.php?route=product/product&product_id=3822]

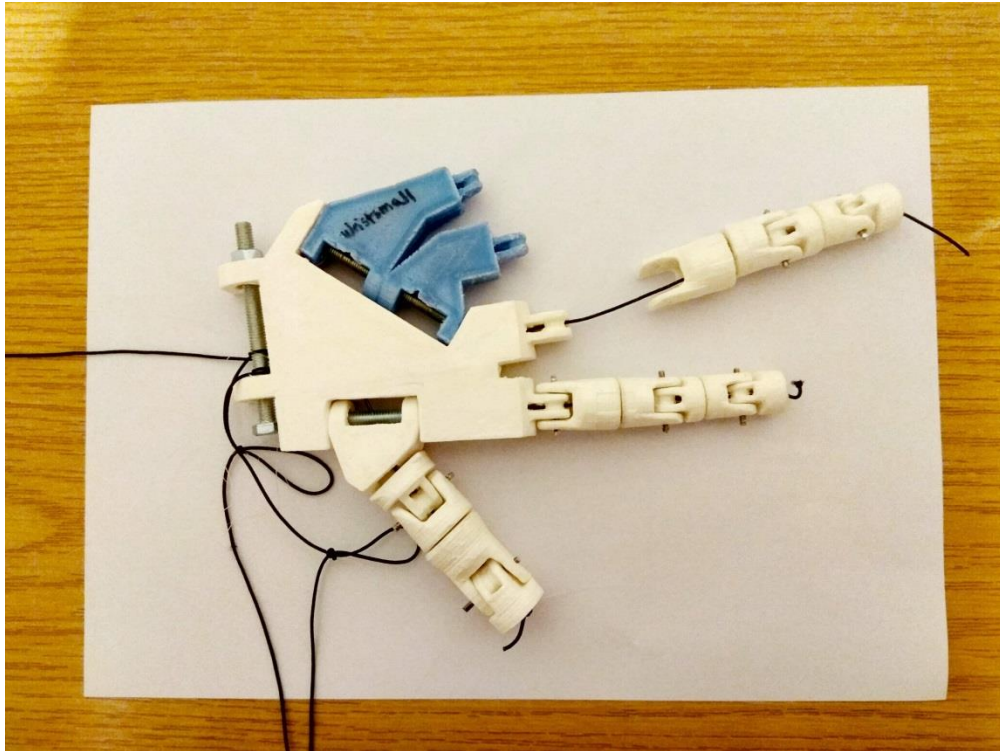
Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων

Η πετονιά όσο πιο δυνατή είναι τόσο πιο χονδρό το νήμα της. Γι' αυτό το λόγο ένας απλός κόμπος δεν εξυπηρετεί. Μία καλή λύση είναι η επιλογή ενός αλιευτικού κόμπου.

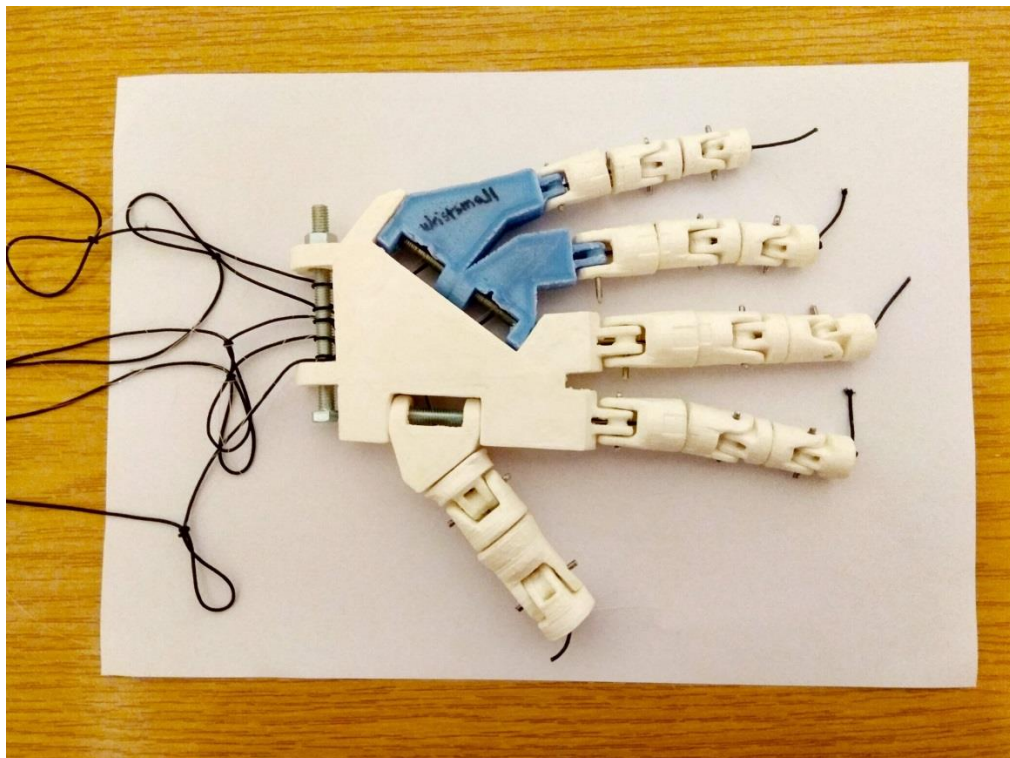


[Εικόνα 8.4.2: Κόμπος Clinch]

Όπως βλέπουμε στην παραπάνω Εικόνα δημιουργούμε 2-3 κόμπους στο ελαστικό κορδόνι και ύστερα πάνω σε αυτό δένουμε την πετονιά. Ξεκινάμε να περνάμε την πετονιά και το κορδόνι απ' την κορυφή ανάμεσα στις τρύπες των δακτύλων, μέχρι να βγουν στην άλλη άκρη του χεριού. Το ίδιο κάνουμε και για τα υπόλοιπα δάκτυλα.



[Εικόνα 8.4.3: Τοποθέτηση πετονιάς και κορδονιού στο μεσαίο δάκτυλο]



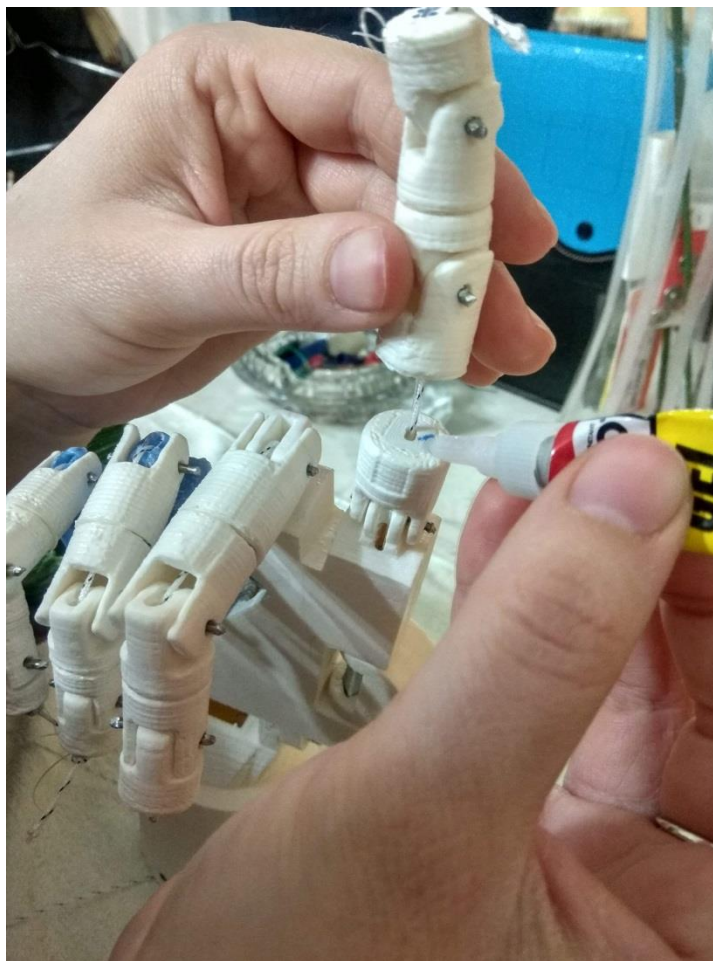
[Εικόνα 8.4.4: Τοποθέτηση πετονιάς και κορδονιού σε όλα τα δάκτυλα]

8.1.5 Τοποθέτηση κομματιών αντιβράχιου

Έχοντας ολοκληρώσει το προηγούμενο στάδιο το κομμάτι που ακολουθεί είναι το `robrpart1`. Περνάμε τη βίδα - με διαστάσεις 1x8mmx6mm - ανάμεσα στα κομμάτια `Wristlarge` και `robrpart1` και με ένα παξιμάδι εξασφαλίζουμε ότι η βίδα θα παραμείνει σταθερή. Ύστερα, με βίδες των 3mm ενώνουμε τις αρθρώσεις των δακτύλων. Με την χρήση μιας θερμοκόλλας εφαρμόζουμε στις άκρες που έχουμε περάσει τις βίδες των 3mm ώστε να παραμείνουν στη θέση τους. Τα κορδόνια που περισσεύουν τα δένουμε πολύ σφικτά και τεντωμένα πάνω στη βίδα. Θέλουμε να είναι καλά τεντωμένα τα κορδόνια ώστε το χέρι να επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση (ανοικτό χέρι).

Προχωράμε με τα επόμενα κομμάτια τα οποία είναι το `robrpart2V4` και ακολουθεί το `robrpart5V4`. Τα δύο αυτά κομμάτια αποτελούνται από μια βάση στήριξης απαραίτητη κατά την εκτύπωση. Μετά την εκτύπωση πρέπει να αφαιρεθούν. Ύστερα, με μία κόλλα στιγμής ενώνουμε αυτά τα δύο κομμάτια μαζί. Θα πρέπει να είμαστε ιδιαίτερα υπομονετικοί και ακριβείς κατά την τοποθέτηση των κομματιών του αντιβράχιου. Ίσως χρειαστούν λιμάρισμα για να “κουμπώσουν” τα κομμάτια μεταξύ τους. Επίσης, καλό θα ήταν να αφήσουμε να στεγνώσει η κόλλα καλά για να μην ξεκολλήσουν με την παραμικρή πίεση.

Τα τελευταία κομμάτια που μένουν για να κολλήσουμε είναι τα δάκτυλα. Με προσοχή και σωστή ευθυγράμμιση, ενώνουμε τα κομμάτια μεταξύ τους. Εκτός απ' την κόλλα στιγμής μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το ασετόν. Το ασετόν μόλις έρθει σε επαφή με το ABS αντιδρά σαν κόλλα. Απ' την άλλη, θερμαίνοντας τα κομμάτια από PLA είτε με έναν αναπτήρα είτε με ένα κολλητήρι έχουν την ικανότητα να κολλάνε μεταξύ τους. Όμως, για πιο σίγουρα αποτελέσματα η κόλλα στιγμής είναι μια πολύ καλή και σίγουρη λύση.

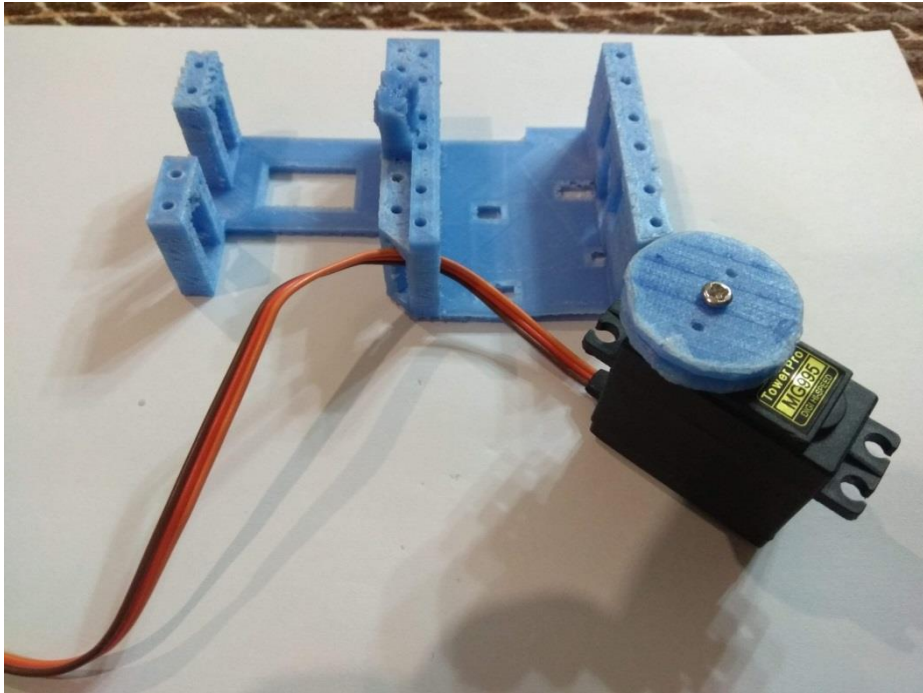


[Εικόνα 8.5: Κόλληση δείκτη]

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων

8.1.6 Τοποθέτηση σερβοκινητήρων

Τοποθετούμε τους σερβοκινητήρες πάνω στον σέρβο υποδοχέα. Στο RobServoBedV6 υπάρχουν πλαϊνές τρύπες για το πέρασμα των καλωδίων των σέρβο.



[Εικόνα 8.6: Τοποθέτηση σέρβο πάνω στον σέρβο υποδοχέα]

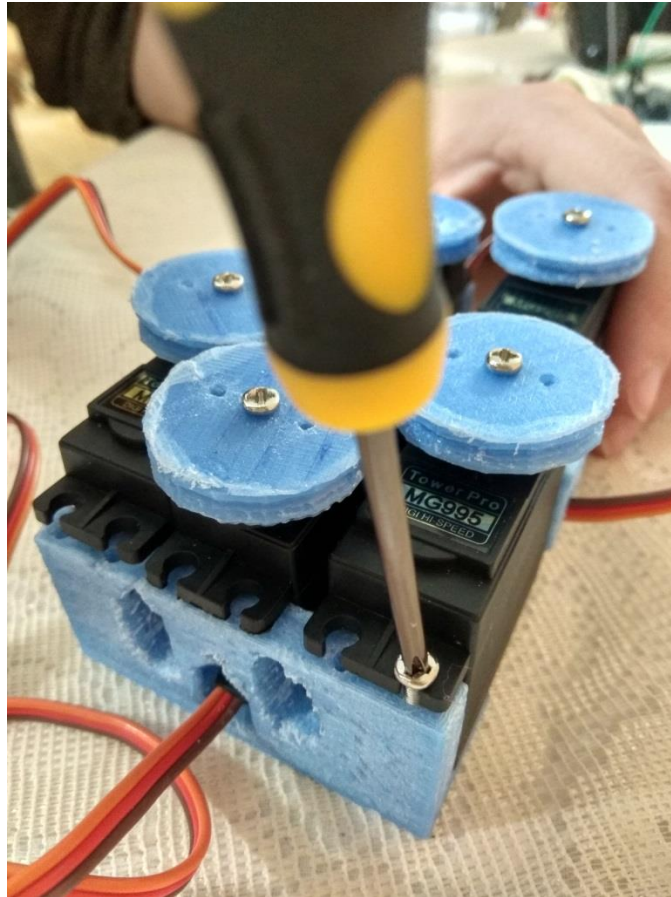
Παράλληλα, λιμάρουμε τα RobRingV3. Ανοίγουμε τις τρύπες που υπάρχουν στην πάνω πλευρά που θα περαστούν αργότερα οι πετονιές.



[Εικόνα 8.6.1: Τρίψιμο κυλίνδρων]

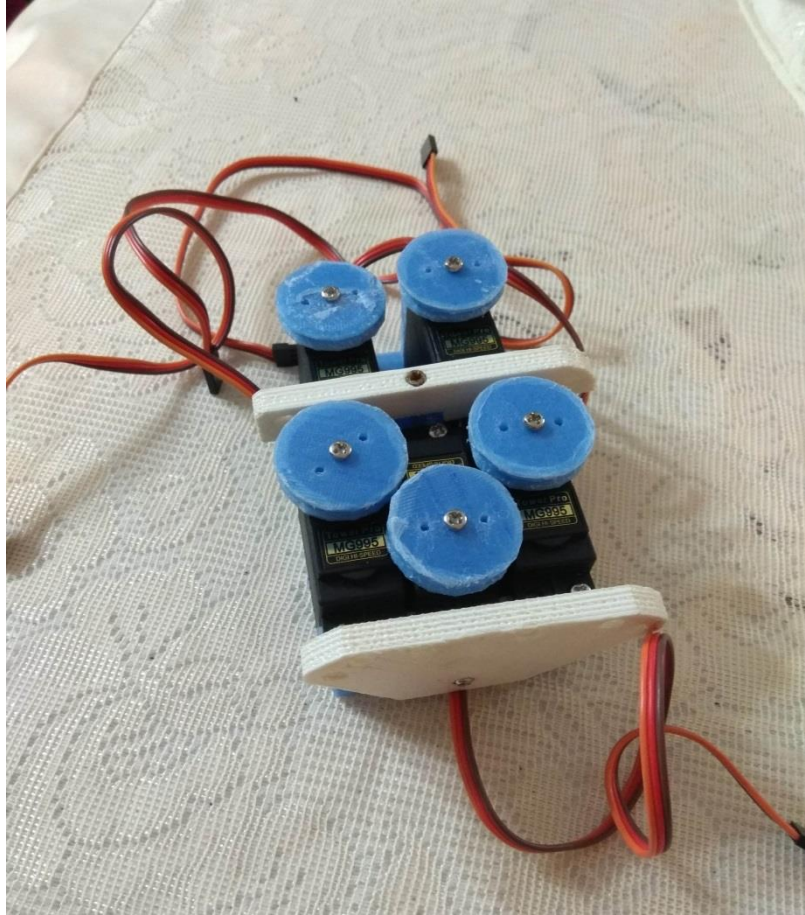
Ύστερα, κουμπώνουμε τους κυλίνδρους πάνω στα σέρβο. Σταθεροποιούμε με βίδες - διαστάσεων M3 x 8mm - τα σέρβο πάνω στον σέρβο υποδοχέα.

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων



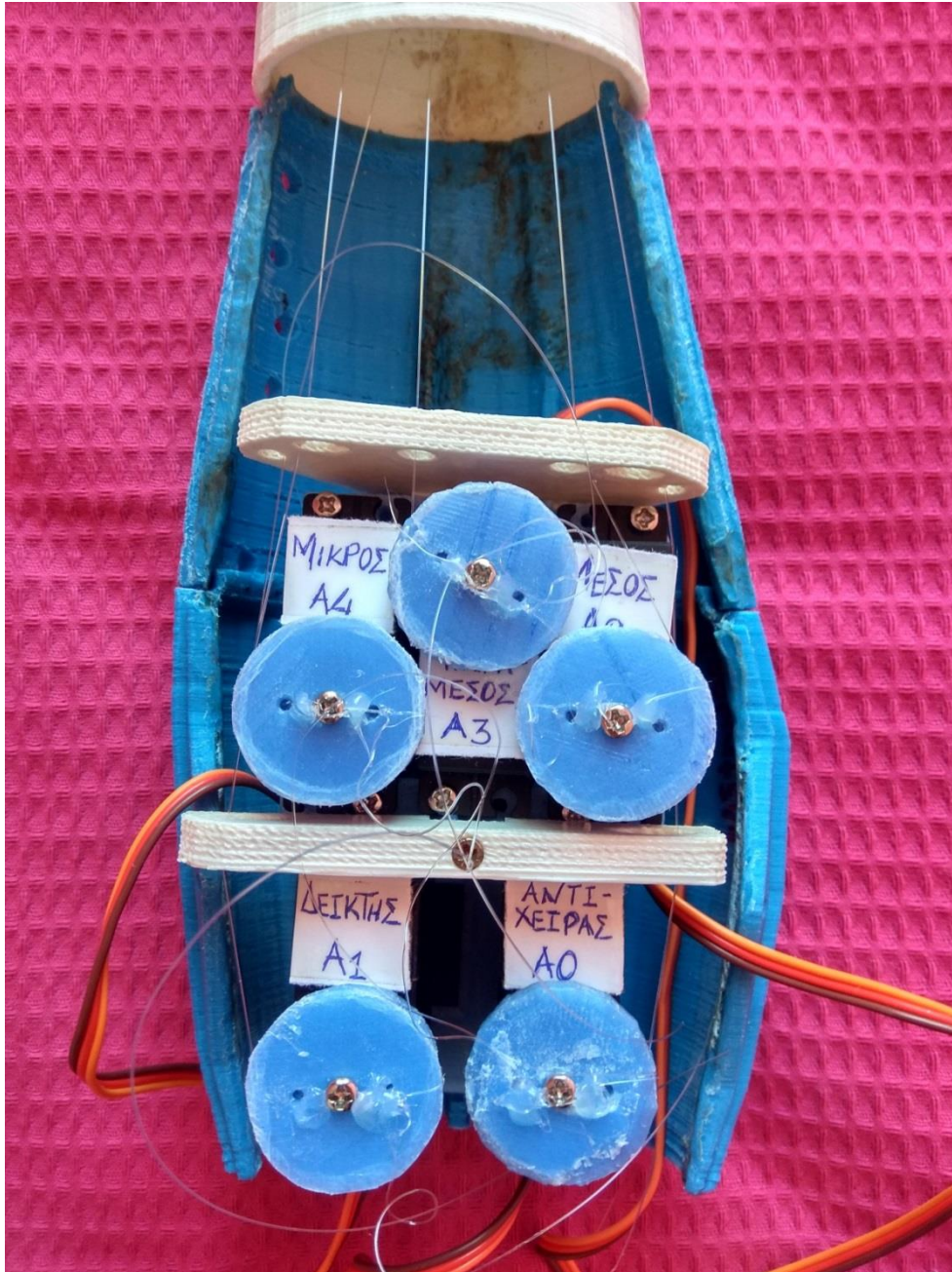
[Εικόνα 8.6.2: Σταθεροποίηση σέρβο]

Τέλος, τοποθετούμε το RobCableFrontV3 στην μπροστινή πλευρά του RobServoBedV6 και στη μέση τοποθετούμε το RobCableBackV3. Σταθεροποιούμε με δύο βίδες.



[Εικόνα 8.6.3: Τοποθέτηση RobCableFrontV3 και RobCableBackV3]

Με μία κόλλα στιγμής κολλάμε το RobServoBedV6 πάνω στο robpart5V4. Έχοντας κουμπώσει τους κυλίνδρους πάνω στα σέρβο περνάμε τις πετονιές ανάμεσα στις τρύπες. Για τα δάκτυλα Index3, ringfinger3, Auriculaire3 περνάμε την πετονιά απ' τα αριστερά προς τα δεξιά. Στα thumb5 και Majeure περνάμε την πετονιά απ' τα δεξιά προς τα αριστερά. Αυτό γίνεται γιατί είναι έτσι σχεδιασμένο το χέρι που δεν μπορούμε να κάνουμε διαφορετικά. Τεντώνουμε τις πετονιές, κάνουμε κόμπους και εφαρμόζουμε θερμοκόλλα.

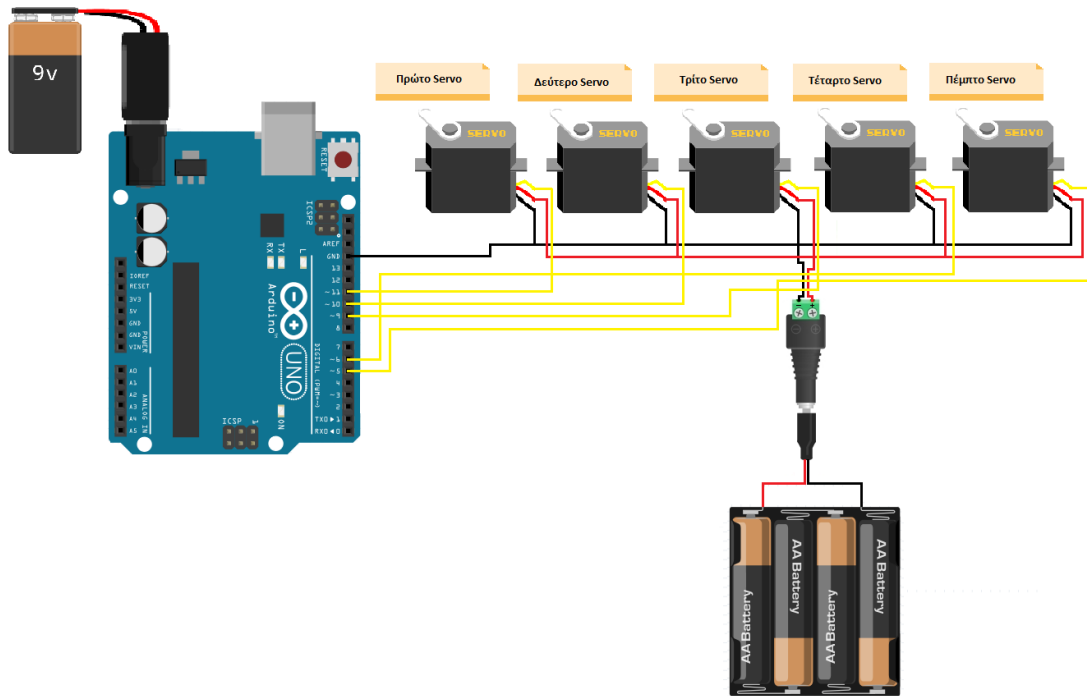


[Εικόνα 8.6.4: Κάτοψη σέρβο υποδοχέα]

8.1.6.1 Συνδεσμολογία για την ρύθμιση των σέρβο

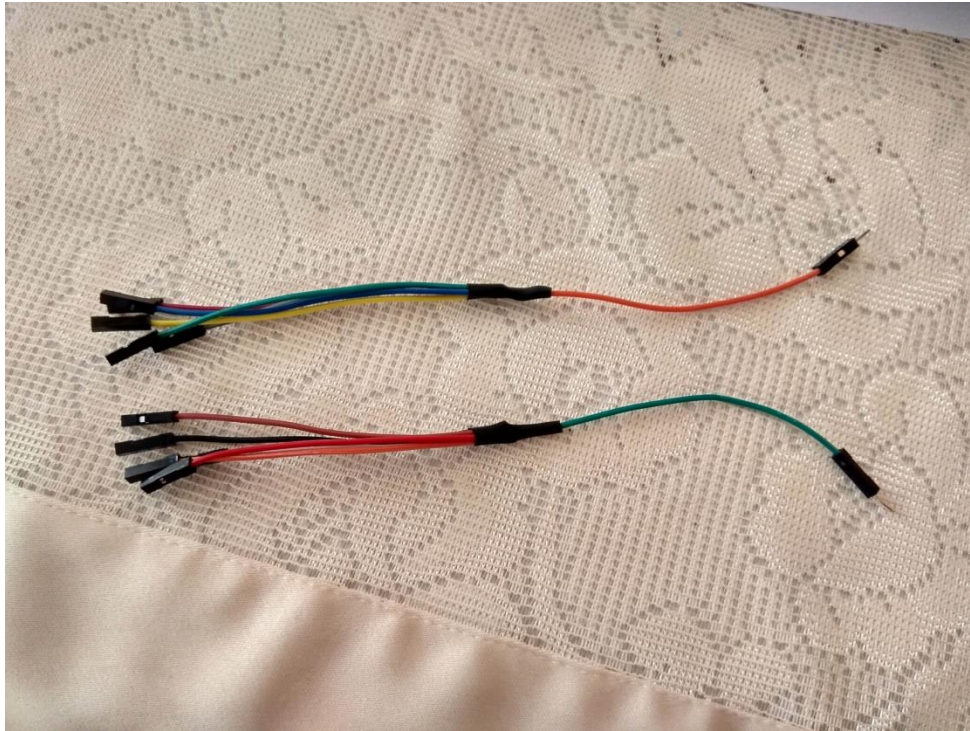
Για τη συνδεσμολογία των σέρβο θα χρειαστούμε τροποποίηση καλωδίων. Όπως φαίνεται στην Εικόνα, στο ground του dc barrel jack adapter βάζουμε δύο καλώδια. Το ένα καλώδιο συνδέεται στα Gnd των σέρβο και το άλλο στο Gnd του Arduino. Δηλαδή έχουμε κοινό Gnd σέρβο με Arduino. Στο Vcc του adapter συνδέουμε ένα καλώδιο το οποίο οδηγεί στα Vcc των σέρβο.

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων



[Εικόνα 8.7: Συνδεσμολογία servo]

Για να γίνει αυτό εφικτό θα χρειαστούμε δώδεκα female to male. Τα κόβουμε στη μέση απογυμνώνοντας την άκρη των δέκα female. Το ίδιο κάνουμε και για δύο male που μας έχουν περισσέψει. Ενώνουμε πέντε female με ένα male, κάνουμε συγκόλληση μεταξύ τους και περνάμε ένα θερμοσυστελλόμενο για να τα προστατεύσουμε. Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία και για τα υπόλοιπα καλώδια που μας έμειναν.



[Εικόνα 8.7.1: Καλώδια βραχυκύκλωσης]

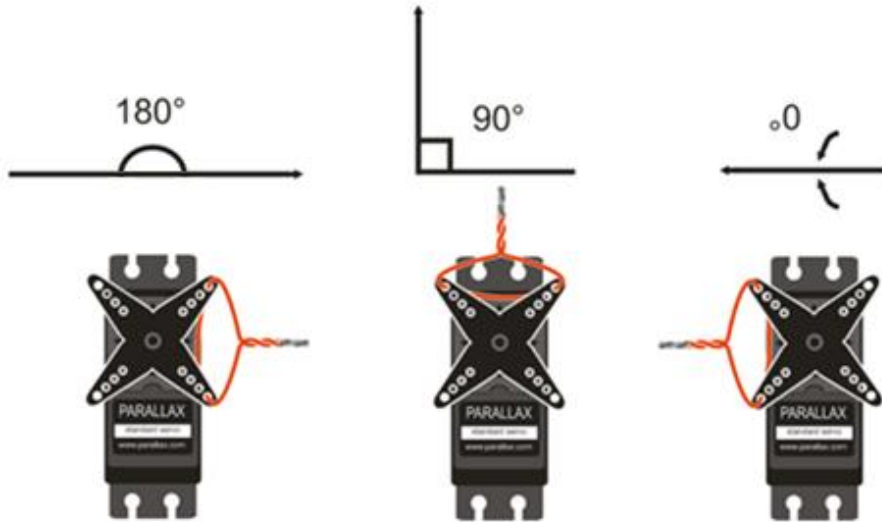
Στη θέση gnd του dc barrel jack adapter βάζουμε το male καλώδιο και στα υπόλοιπα πέντε female συνδέουμε καλώδια τα οποία οδηγούνται στα Gnd των σέρβο. Στην ίδια θέση πάλι θα βάλουμε ένα καλώδιο male το οποίο θα οδηγηθεί σε μια θέση Gnd του Arduino. Για το Vcc του dc barrel jack adapter ακολουθούμε την ίδια διαδικασία με πριν με τη διαφορά ότι τα καλώδια οδηγούνται στα Vcc των σέρβο. Το τρίτο καλώδιο των servo είναι το καλώδιο του σήματος. Συνδέουμε σε μια θέση του Arduino και συγκεκριμένα είτε στις digital θέσεις είτε στα PWM. Στις θέσεις PWM (~) έχουμε τη δυνατότητα ελέγχου ταχύτητας ενώ στις θέσεις των digital pins όχι.

8.1.6.2 Ρύθμιση των σέρβο

Οι σερβοκινητήρες θα χρειαστούν προσαρμογή (calibration). Στον κώδικα που ακολουθεί θέτουμε τα σέρβο στις 0° και 180°. Για τα δάκτυλα Index3, ringfinger3, Auriculaire3 θέτουμε τα σέρβο στις 0° και τοποθετούμε τους κυλίνδρους πάνω στα σέρβο (οι δύο οπές που έχει ο κύλινδρος πρέπει να είναι στο κέντρο). Στα υπόλοιπα, thumb5 και Majeure θέτουμε τα σέρβο στις 180° και ακολουθούμε την ίδια διαδικασία. Αυτό το κάνουμε γιατί στα thumb5 και Majeure η πετονιά είναι στη δεξιά πλευρά του κυλίνδρου. Αντίθετα, στα υπόλοιπα η πετονιά είναι στην

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων

αριστερή πλευρά. Δεν πρέπει να παραλείψουμε αυτό το κομμάτι γιατί είναι ένα σημαντικό κομμάτι για την ομαλή λειτουργία του ρομποτικού βραχίονα.



[Εικόνα 8.8: Θέσεις 0°, 90° & 180° μετά την προσαρμογή]

```
#include <Servo.h>
Servo first; // create servo object
Servo second; // create servo object
Servo third;
Servo forth;
Servo five;

int firstservopin = 10; // Αντίχειρας
int secondservopin = 5; // Δείκτης
int thirdservopin = 9; // Μέσος
int forthservopin = 11; // Παράμεσος
int fiveservopin = 6; // Μικρός

void setup() {
  first.attach(firstservopin); // attach the servo to digital output 10
  second.attach(secondservopin); // attach the servo to digital output 5
  third.attach(thirdservopin);
  forth.attach(forthservopin);
  five.attach(fiveservopin);
}

void loop()
{
  CheckServo();
}

void CheckServo()
{
  first.write(180); // move first servo to pos 180
  second.write(0); // move second servo to pos 0
  third.write(180);
  forth.write(0);
  five.write(0);
  delay(1000);
  first.write(0); // move first servo to pos 0
  second.write(180); // move second servo to pos 180
  third.write(0);
  forth.write(180);
  five.write(180); // move second servo to pos 180
  delay(1000)
}
```

[Εικόνα 8.8.1: Κώδικας για τη ρύθμιση των πέντε σέρβο]

8.1.7 Συνδεσμολογία Flex Αισθητήρων

Μετά τον έλεγχο και των πέντε σερβοκινητήρων ακολουθεί και η συνδεσμολογία των Flex αισθητήρων. Πρώτα όμως, πρέπει να ράψουμε τους αισθητήρες και τη διάτρητη πλακέτα πάνω σε ένα γάντι.

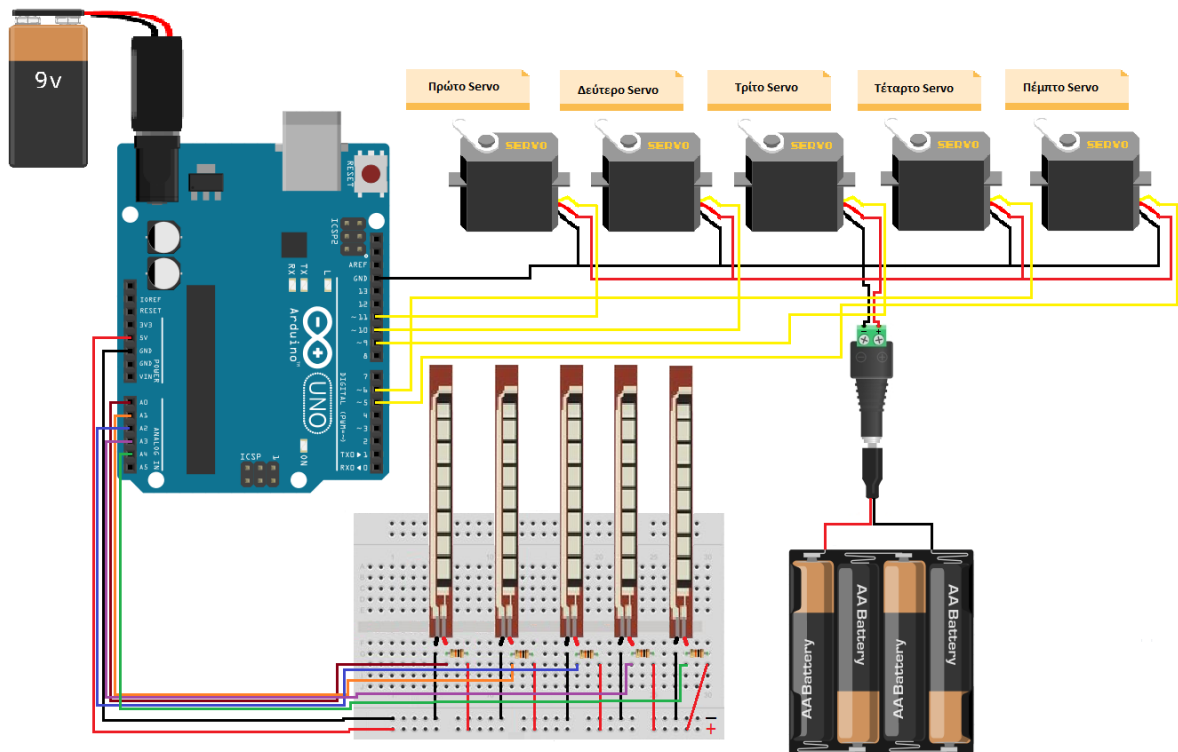


[Εικόνα 8.8.2: Ολοκληρωμένη συνδεσμολογία γαντιού]

Μετά τον έλεγχο των σερβοκινητήρων και χωρίς να αλλάξουμε τη συνδεσμολογία, προσθέτουμε καλώδια στη διάτρητη πλακέτα των flex. Για την ακρίβεια, στο πάνω μέρος την πλακέτας εκεί που υπάρχουν τα έξι pin headers συνδέουμε τα πέντε καλώδια Gnd των flex αισθητήρων και στο έκτο pin header συνδέουμε καλώδιο το οποίο θα οδηγηθεί σε μια θέση Gnd του Arduino. Ακριβώς από κάτω ακολουθεί μια δυάδα από pin headers τα οποία είναι συνδεδεμένα με τα Vcc των flex.

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων

Χρησιμοποιώντας μία θέση απ' τις δύο με καλώδια female το male συνδέουμε τα pin headers με τις αναλογικές θέσεις A0, A1, A2, A3, A4 για αντίχειρα, δείκτη, μέσο, παράμεσο, μικρό, αντίστοιχα. Κάτω αριστερά της πλακέτας συνδέουμε ένα καλώδιο το οποίο οδηγείται σε pin των 5V. Τα καλώδια που θα χρησιμοποιήσουμε για τη συνδεσμολογία αυτή είναι female το male και καλό είναι να χρησιμοποιήσουμε διπλά καλώδια ώστε να έχουμε ελευθερία κινήσεων. Στις Εικόνες που ακολουθούν βλέπουμε τη συνδεσμολογία των flex και των σέρβο όπως και τον ολοκληρωμένο κώδικα.



[Εικόνα 8.8.3: Ολοκληρωμένη συνδεσμολογία Flex και Servo]

Ρομπωτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων

```
#include <Servo.h>

//Constants;
const int flexPin0 = A0; // Αντίχειρας
const int flexPin1 = A1; // Δείκτης
const int flexPin2 = A2; // Μέσος
const int flexPin3 = A3; // Παράμεσος
const int flexPin4 = A4; // Μικρός

//Variables
int value0, value1, value2, value3, value4; //save analog value

Servo first;
Servo second;
Servo third;
Servo forth;
Servo five;

int firstservopin = 10; // Αντίχειρας
int secondservopin = 5; // Δείκτης
int thirdservopin = 9; // Μέσος
int fourthservopin = 11; // Παράμεσος
int fiveservopin = 6; // Μικρός

void setup() {
  Serial.begin(9600); //Begin serial communication

  first.attach(firstservopin); // attach the servo to digital output 8
  second.attach(secondservopin); // attach the servo to digital output 7
  third.attach(thirdservopin);
  forth.attach(forthservopin);
  five.attach(fiveservopin);

  // even necessary, but I did just in case it is */
  pinMode(firstservopin, OUTPUT);
  pinMode(secondservopin, OUTPUT);
  pinMode(thirdservopin, OUTPUT);
  pinMode(forthservopin, OUTPUT);
  pinMode(fiveservopin, OUTPUT);

  //Set each flex sensor pin to input: this is necessary
  pinMode(flexPin0, INPUT);
  pinMode(flexPin1, INPUT);
  pinMode(flexPin2, INPUT);
  pinMode(flexPin3, INPUT);
  pinMode(flexPin4, INPUT);
}

void loop() {

  value0 = analogRead(flexPin0);
  value1 = analogRead(flexPin1);
  value2 = analogRead(flexPin2);
  value3 = analogRead(flexPin3);
  value4 = analogRead(flexPin4);

  Serial.print("Flex0 = ");
  Serial.print(value0);
  Serial.print("\t");
  Serial.print("Flex1 = ");
  Serial.print(value1);
  Serial.print("\t");
  Serial.print("Flex2 = ");
  Serial.print(value2);
  Serial.print("\t");
  Serial.print("Flex3 = ");
  Serial.print(value3);
  Serial.print("\t");
  Serial.print("Flex4 = ");
  Serial.print(value4);
  Serial.print("\t");
  Serial.println();

  int pos0 = map(value0, 483, 600, 180, 0);
  pos0 = constrain(pos0, 0, 180);
  int pos1 = map(value1, 477, 556, 0, 180);
  pos1 = constrain(pos1, 0, 180);
  int pos2 = map(value2, 202, 348, 180, 0);
  pos2 = constrain(pos2, 0, 180);
  int pos3 = map(value3, 531, 614, 0, 180);
  pos3 = constrain(pos3, 0, 180);
  int pos4 = map(value4, 513, 617, 0, 180);
  pos4 = constrain(pos4, 0, 180);

  first.write(pos0);
  second.write(pos1);
  third.write(pos2);
  forth.write(pos3);
  five.write(pos4);
}
}
```

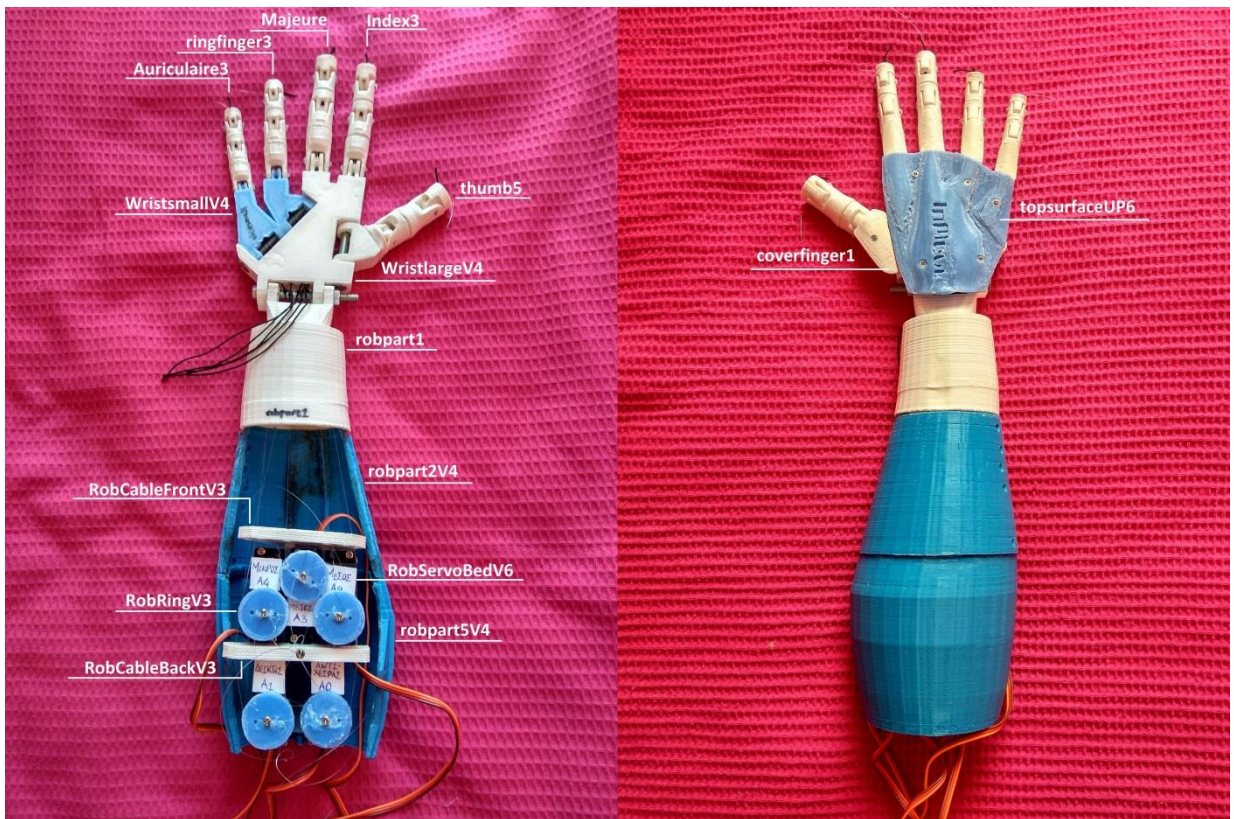
[Εικόνα 8.8.4: Κώδικας ρομπωτικού βραχίονα]

8.1.8 Ολοκλήρωση κατασκευής χεριού

Στην Εικόνα που ακολουθεί βλέπουμε το κάτω και πάνω μέρος του ρομποτικού βραχίονα. Στην κορυφή των δακτύλων λείπει ένα τελευταίο κομμάτι το οποίο ουσιαστικά είναι το “νύχι”. Αφού λιμαριστούν και αυτά ώστε να χωρέσουν η πετονιά με το κορδόνι, τοποθετούμε θερμοκόλλα στα εξωτερικά τοιχώματα ανάμεσα στο τελευταίο και προτελευταίο κομμάτι. Η θερμοκόλλα θα μπορέσει να αφαιρεθεί σχετικά εύκολα σε σχέση με την κόλλα στιγμής που θα ακινητοποιήσει το κομμάτι και θα κάνει πολύ δύσκολο την αφαίρεσή του για τυχόν μελλοντικές διορθώσεις.

Επιπρόσθετα, τα ελαστικά κορδόνια που περισσεύουν στον καρπό δεν χρειάζεται να τα κόψουμε αλλά μπορούμε να τα τοποθετήσουμε προσεκτικά μέσα στον καρπό, ώστε να μην φαίνονται. Το ίδιο ισχύει και για την πετονιά. Την πετονιά δεν μπορούμε να την “κρύψουμε” αλλά μας βολεύει το ότι είναι διάφανη. Τα κομμάτια robrpart3V4 και robrpart4V4 μπορούμε και αυτά να τα κολλήσουμε με θερμοκόλλα. Όλα αυτά προαναφέρθηκαν ώστε σε περίπτωση κάποιας δυσλειτουργίας του ρομποτικού βραχίονα να έχουμε τη δυνατότητα διόρθωσης αυτού.

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων



[Εικόνα 8.9: Πάνω και κάτω μέρος του ρομποτικού βραχίονα]

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων



[Εικόνα 8.9.1: Ολοκληρωμένος Ρομποτικός βραχίονας]

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1^ο κεφάλαιο

Ανάπτυξη εφαρμογών με το Arduino, Εκδόσεις Τζιόλα, Συγγραφείς: Παναγιώτης Παπάζογλου M.Sc., Ph.D. , Σπύρος-Πολυχρόνης Λιωνής, M.Sc.

2^ο κεφάλαιο

Anatol Locker (2017) “Arduino 3D Printer – 4 DIY 3D Printer Projects to Build Yourself”, Ιστοσελίδα:

<https://all3dp.com/arduino-3d-printer/>

Ronie Adhiraaj Ghosh (2016) “Earthquake Indicator Using Arduino”, Ιστοσελίδα:

<http://electronicsforu.com/electronics-projects/hardware-diy/arduino-earthquake-indicator>

Edouard Renard (2017) “Niryo One, an accessible robot for makers powered by open source”

<https://niryo.com/2016/12/15/niryo-one-accessible-robot-makers-powered-open-source/>

Cyberhiker (2017) “The FarmBot Project”, Ιστοσελίδα:

<http://wiki.farmbot.org/the-farmbot-project>

F. A. Candelas, G. J. García, S. Puente, J. Pomares, C.A. Jara, J. Pérez, D. Mira, F. Torres (2015) “Experiences on using Arduino for laboratory experiments of Automatic Control and Robotics”, Ιστοσελίδα:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896315024799>

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων

Ashutosh M. Bhatt (2018) “Gesture Controlled Wheelchair Using ATmega32”, Ιστοσελίδα:

<https://electronicsforu.com/electronics-projects/gesture-controlled-wheelchair-atmega32>

3^ο κεφάλαιο

Άρθρο Arduino.cc, Ιστοσελίδα:

<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardSerial>

Άρθρο Arduino.cc, Ιστοσελίδα:

<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardDuemilanove>

Άρθρο Arduino.cc, Ιστοσελίδα:

<https://www.arduino.cc/en/Main/Boards>

Άρθρο Arduino.cc, Ιστοσελίδα:

<https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>

4^ο κεφάλαιο

Άρθρο Wikipedia.com, Ιστοσελίδα:

https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%B4%CE%B9%CE%AC%CF%83%CF%84%CE%B1%CF%84%CE%B7_%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%8D%CF%80%CF%89%CF%83%CE%B7

Marián Stopka, Róbert Kohár, Stanislav Gramblička, Rudolf Madaj (2017) “Dynamical Analysis of 3D Printer's Powertrain”, Ιστοσελίδα:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817326930>

A.Selimis, M.Farsari (2017) “3.8 Laser-Based 3D Printing and Surface Texturing”, Ιστοσελίδα:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128035818091712>

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων

Caterina Balletti, Martina Ballarin, Francesco Guerra (2017) “3D printing: State of the art and future perspectives”, Ιστοσελίδα:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1296207416301698>

Enoworx “3D Printing - Εκτύπωση τριών διαστάσεων”, Ιστοσελίδα:

<https://www.enoworx.gr/3d-printing#fortosh-sxediou>

5^ο κεφάλαιο

Dschurman (2013) DIY Robotic Hand Controlled by a Glove and Arduino

<https://www.instructables.com/id/DIY-Robotic-Hand-Controlled-by-a-Glove-and-Arduino/>

Gaël LANGEVIN “French InMoov designer”

<http://inmoov.fr/>

INMOOV (2012) “NOW, OPEN SOURCE 3D-PRINTED ROBOT”

<https://robotlove.nl/en/gael-langevin/>

Tom Igoe (2014) “Sensors: the Basics”, Ιστοσελίδα:

<https://itp.nyu.edu/physcomp/lessons/sensors-the-basics/>

Jimblom “Flex Sensor Hookup Guide”, Ιστοσελίδα:

<https://learn.sparkfun.com/tutorials/flex-sensor-hookup-guide>

electronicscaldas.com “MG996R High Torque Metal Gear Dual Ball Bearing Servo”, Ιστοσελίδα:

http://www.electronicscaldas.com/datasheet/MG996R_Tower-Pro.pdf

Άρθρο Wikipedia.com, Ιστοσελίδα:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Resistor>

SFUptownMaker “PCB Basics”, Ιστοσελίδα:

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων

<https://learn.sparkfun.com/tutorials/pcb-basics>

grobotronics.com “Τι είναι ο Arduino;”, Ιστοσελίδα:

<https://grobotronics.com/arduino-boards-el.html>

“Γνωρίζω τον κόσμο των Ρομπότ”, Ιστοσελίδα:

[https://4dimkal-](https://4dimkal-robot.weebly.com/chirhoetasigmaiotamuomicronpiomicroniota974nutaualphasigm)

[robot.weebly.com/chirhoetasigmaiotamuomicronpiomicroniota974nutaualphasigm](https://4dimkal-robot.weebly.com/chirhoetasigmaiotamuomicronpiomicroniota974nutaualphasigm)
[af-breadboard.html](https://4dimkal-robot.weebly.com/chirhoetasigmaiotamuomicronpiomicroniota974nutaualphasigm)

grobotronics.com “Πλακέτες Δοκιμών”, Ιστοσελίδα:

<https://grobotronics.com/prototyping/breadboard/>

6^ο κεφάλαιο

Άρθρο Wikipedia.com, Ιστοσελίδα:

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%AE%CF%87%CE%B7%CF%82>

Άρθρο Wikipedia.com, Ιστοσελίδα:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Cura_\(software\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Cura_(software))

**“Cura 13.11.2 Ultimaker’s software for making 3D prints User manual”,
Ιστοσελίδα:**

https://ultimaker.com/download/170/Cura_User-Manual_v1.0.pdf

“Cura 15.4 – instructions”, Ιστοσελίδα:

http://www.vgtu.lt/files/1461/73/3/13_0/Cura15.4_manual.pdf

Άρθρο Wikipedia.com, Ιστοσελίδα:

https://en.wikipedia.org/wiki/Prusa_i3

“Geetech Prusa I3 pro & pro B User Manual”, Ιστοσελίδα:

Ρομποτικός βραχίονας με ελεγχόμενες αρθρώσεις μέσω εύκαμπτων αισθητήρων

<http://www.geeetech.com/Documents/Geeetech%20Prusa%20I3%20pro&pro%20B%20User%20Manual.pdf>

7^ο κεφάλαιο

Χριστόφορος Κώτσιος (2017) “DIYsteps #4: Τι Είναι το Κολλητήριο και Πώς το Χρησιμοποιώ”, Ιστοσελίδα:

<https://www.pcsteps.gr/221849-diysteps-4-%CE%BA%CE%BF%CE%BB%CE%BB%CE%B7%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B9-%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CE%B1%CF%81%CF%87%CE%AC%CF%81%CE%B9%CE%BF%CF%85%CF%82/>

Admin (2017) “Τι είναι το θερμοσυστελλόμενο μακαρόνι. Όλα όσα πρέπει να γνωρίζετε”, Ιστοσελίδα:

<https://www.supereverything.gr/ti-einai/thermosistelomeno-makaroni>

8^ο κεφάλαιο

ergaleiogatos.gr “Ποια λειαντικά είναι κατάλληλα για το τρίψιμό μας”, Ιστοσελίδα:

<https://www.ergaleiogatos.gr/pia-liantika-ine-katallila-gia-tripsimo-mas/>

Susi Woods “How To Easily Cold Acetone Vapour Smooth & Finish 3D Prints [Step by Step]”, Ιστοσελίδα:

<https://rigid.ink/blogs/news/acetone-vapor-smoothing>

Ed Tyson “How to Smooth PLA to a Mirror Finish [Step-by-Step]”, Ιστοσελίδα:

<https://rigid.ink/blogs/news/how-to-smooth-pla-to-a-mirror-finish>