



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΠΣΤΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΧΡΩΜΑ ΤΩΝ
ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ, ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ
ΜΙΚΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ.

Παναγιώτης Κεραμάρης

ΑΜ: HN06747

Επιβλέπων καθηγητής: Δημητριάδης Δημήτριος

(Υπογραφή)

.....

©2022- All rights reserved

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία αφορά στην μελέτη για το πως η γεωργία ακριβείας μπορεί να συμβάλλει στην βελτιστοποίηση της γεωργικής διαδικασίας και παραγωγής μέσα από την εισαγωγή των αυτοματοποιημένων μηχανών με σκοπό την διαλογή αντικειμένων με βάση το χρώμα και τον διαμοιρασμό τους. Πιο συγκεκριμένα, στην εργασία παρουσιάζεται η μελέτη, η σχεδίαση και η κατασκευή ενός ανθρωπόμορφου βραχίονα, προγραμματισμένου με πλατφόρμα Arduino έχοντας ως τελικό στοιχείο δράσης του την αρπάγη. Η κατασκευή πρόκειται να αξιοποιηθεί στην γεωργική διαδικασία και να εκτελέσει την χειρωνακτική εργασία που έως τώρα πραγματοποιούνταν από το ανθρώπινο εργατικό δυναμικό.

Στο πρώτο κεφάλαιο διευκρινίζονται οι ορισμοί των σχετικών με την κατασκευή εννοιών όπως αυτοματισμός, γεωργία ακριβείας, ρομπότ και μικροεπεξεργαστές με σκοπό την διασαφήνιση των εννοιών καθώς και μια αναλυτική περιγραφή του ρόλου της γεωργίας ακριβείας. Στο κεφάλαιο δύο παρουσιάζονται οι μικροεπεξεργαστές και οι μικροελεγκτές, η πλατφόρμα Arduino, οι δυνατότητες και ο προγραμματισμός της. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μελέτη, ο σχεδιασμός και ο τρόπος με τον οποίο κατασκευάστηκε ο ρομποτικός βραχίονας και το ηλεκτρολογικό κύκλωμα. Στο τέταρτο κεφάλαιο ακολουθεί ο προγραμματισμός της πλατφόρμας Arduino και στην πέμπτη τα συμπεράσματα και οι προτάσεις βελτίωσης της κατασκευής.

Λέξεις Κλειδιά: Γεωργία ακριβείας, μικροεπεξεργαστές και μικροελεγκτές, αυτοματισμός, ρομπότ, πλατφόρμα Arduino.

ABSTRACT

This work concerns the study of how precision agriculture can contribute to the optimization of the agricultural process and production through the introduction of automated machines for the purpose of sorting objects based on color and their distribution. More specifically, the work presents the study, design and construction of an anthropomorphic arm, programmed with the Arduino platform, having as its final element of action the grabber. The construction is to be utilized in the agricultural process and perform the manual work that until now was performed by human labor.

The first chapter clarifies the definitions of manufacturing-related concepts such as automation, precision agriculture, robots and microprocessors in order to clarify the concepts as well as a detailed description of the role of precision agriculture. Chapter two introduces microprocessors and microcontrollers, the Arduino platform, its capabilities and programming. The third chapter presents the study, the design and the way in which the robotic arm and the electrical circuit were manufactured. In the fourth chapter follows the programming of the Arduino platform and in the fifth the conclusions and suggestions for improving the construction.

Keywords: Precision agriculture, microprocessors and microcontrollers, automation, robots, Arduino platform.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη.....	3
Abstract.....	5
Πίνακας Περιεχομένων.....	7
Πίνακας Εικόνων.....	8
Κατάλογος πινάκων.....	10
Εισαγωγή.....	11
Κεφάλαιο 1. Γεωργία ακριβείας, στόχοι και πλεονεκτήματα	12
1.1 Ορισμοί.....	13
Κεφάλαιο 2. Μικροεπεξεργαστές και μικροελεγκτές.....	15
2.1 Πλατφόρμα Arduino Mega 2560 R3.....	18
2.2 Μικροελεγκτής AT Mega 2560.....	19
2.3 Προγραμματισμός πλακέτας Arduino.....	21
Κεφάλαιο 3. Ρομποτικός βραχίονας	24
3.1 Μελέτη και Σχεδιασμός.....	26
3.1.1 Επιλογή σερβοκινητήρων και εξαρτημάτων.....	35
3.2 Κατασκευή βραχίονα	45
3.2.1 Σχεδιασμός ηλεκτρολογικού κυκλώματος.....	53
Κεφάλαιο 4. Ανάπτυξη κώδικα για τον Ρομποτικό Βραχίονα	54
Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα.....	62
Κεφάλαιο 6. Βιβλιογραφία.....	63

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 : Ρομπότ της εταιρίας Octinion για περισυλλογή καρπών σε θερμοκήπια.	12
Εικόνα 2 : Ρομπότ της εταιρίας Agrobot για την περισυλλογή φραουλών.	14
Εικόνα 3 : Ο πρώτος μικροεπεξεργαστής της Intel, μοντέλο 4004.	15
Εικόνα 4 : Ο μικροελεγκτής ATMEGA645.	16
Εικόνα 5 : Η δομή ενός μικροεπεξεργαστή και ενός μικροελεγκτή.	17
Εικόνα 6 : Η πλακέτα Arduino Mega2560 Rev3.	18
Εικόνα 7 : Τα pins(ακροδέκτες) του μικροελεγκτή.	20
Εικόνα 8 : Παράδειγμα του text-based coding.	21
Εικόνα 9 : Παράδειγμα του block-based coding.	22
Εικόνα 10 : Η επιφάνεια εργασίας του Arduino IDE.	23
Εικόνα 11 : βιομηχανικός ρομποτικός βραχίονας.	24
Εικόνα 12 : Γραμμή παραγωγής ρομπότ από ρομπότ.	25
Εικόνα 13 : 1ο Μπράτσο βραχίονα.	26
Εικόνα 14 : 2ο μπράτσο βραχίονα.	27
Εικόνα 15 : Σταθερή βάση.	27
Εικόνα 16 : Περιστρεφόμενη βάση.	28
Εικόνα 17 : Ξύλινη βάση στερέωσης ρουλεμάν.	29
Εικόνα 18 : Βάση στερέωσης σερβοκινητήρα.	30
Εικόνα 19 : Συγκόλληση της βάσης στερέωσης του σερβοκινητήρα (μπροστινή όψη).	30
Εικόνα 20 : Συγκόλληση της βάσης στερέωσης του σερβοκινητήρα (πλάγια όψη).	31
Εικόνα 21 : Συνδετικός κρίκος αρπάγης με βραχίονα.	32
Εικόνα 22 : Δημιουργία τρυπών στον συνδετικό κρίκο.	33
Εικόνα 23 : Ο βραχίονας σε οριζόντια μορφή και οι δυνάμεις που ασκούνται πάνω του.	34
Εικόνα 24 : Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του MG996R.	35
Εικόνα 25 : Ο MG996r και οι διαστάσεις του.	36
Εικόνα 26 : Η αρπάγη.	37

Εικόνα 27 : Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της αρπάγης.	37
Εικόνα 28 : Ο αισθητήρας υπερήχων HC-SR04.	38
Εικόνα 29 : Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του HC-SR04.	39
Εικόνα 30 : Ο αισθητήρας χρωμάτων RGB TCS 3200.	40
Εικόνα 31 : Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα.	41
Εικόνα 32 : Το ρουλεμάν AXK 100135.	42
Εικόνα 33 : Η μπαταρία για την τροφοδοσία των σερβοκινητήρων.	43
Εικόνα 34 : Η πλακέ μπαταρία για την τροφοδοσία της πλακέτας.	44
Εικόνα 35 : Σταθερή βάση βραχίονα.	45
Εικόνα 36 : Τοποθέτηση περιστρεφόμενης βάσης βραχίονα και βάσης σερβοκινητήρα.	46
Εικόνα 37 : Τελική μορφή βάσης βραχίονα.	47
Εικόνα 38 : Τελειοποιημένη μορφή μπράτσων, σερβοκινητήρων και αρπάγης.	48
Εικόνα 39 : Ο Βραχίονας.	49
Εικόνα 40 : Ενσωμάτωση αισθητήρα RGB.	50
Εικόνα 41 : Ο αισθητήρας υπερήχων.	51
Εικόνα 42 : Ο βραχίονας σε λειτουργία.	52
Εικόνα 43 : Το ηλεκτρολογικό σχέδιο.	53
Εικόνα 44 : Εικόνα προγραμματισμού 1.	55
Εικόνα 45 : Εικόνα προγραμματισμού 2.	56
Εικόνα 46 : Εικόνα προγραμματισμού 3.	57
Εικόνα 47 : Εικόνα προγραμματισμού 4.	58
Εικόνα 48 : Εικόνα προγραμματισμού 5.	59
Εικόνα 49 : Εικόνα προγραμματισμού 6.	60
Εικόνα 50 : Εικόνα προγραμματισμού 7.	61

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 : Τεχνικά χαρακτηριστικά ATMEGA 2560 (Πηγή: tme.eu).....	19
Πίνακας 2 : Η επεξήγηση των μεταβλητών.....	34
Πίνακας 3 : Οι τιμές των μεταβλητών.....	34

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην σύγχρονη εποχή όπου οι απαιτήσεις στο εργασιακό περιβάλλον των ανθρώπων έχουν αυξηθεί ραγδαία, είναι αναγκαίο να αξιοποιηθούν τα ευρήματα της τεχνολογίας προκειμένου να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες του ανθρώπου και της παραγωγής. Ο κλάδος της τεχνολογίας ο οποίος ασχολείται με τον αυτοματισμό είναι από τους πιο χρήσιμους για την εξέλιξη και την βελτίωση της γεωργικής παραγωγής με σκοπό την αύξηση αλλά και την βελτιστοποίηση της. Η εξέλιξη των τεχνολογικών εργαλείων έχει συμβάλλει στην αύξηση της παραγωγής βελτιώνοντας την γεωργική διαδικασία και αυξάνοντας τους ρυθμούς διεξαγωγής της. Στόχος αποτελεί η κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών καθώς και η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου.

Η ανάγκη για αύξηση της γεωργικής παραγωγής αρχικά δημιουργήθηκε από την αύξηση του πληθυσμού ώστε να καλυφθούν οι βιοτικές ανάγκες των ανθρώπων. Η ανάγκη αυτή σε συνδυασμό με την οικολογική κρίση και την άμεση ανάγκη για δραστικά μέτρα ώστε να αποφευχθεί η καταστροφή του περιβάλλοντος, οδήγησε στην εισαγωγή της τεχνολογίας στην γεωργία. Η χρήση των νέων τεχνολογιών και του αυτοματισμού στην γεωργία μπορούν να προσφέρουν αρκετά πλεονεκτήματα τα οποία οι άνθρωποι μέσω της χειρωνακτικής εργασίας δεν κατάφεραν να τα επιτύχουν λόγω της ανθρώπινης φύσης τους. Για την ακρίβεια, στην γεωργία αξιοποιούνται ρομπότ και αυτόματα συστήματα(π.χ. αυτόματα συστήματα ποτίσματος και συλλογής καρπών, φρούτων και λαχανικών), μια σύγχρονη δηλαδή τακτική, η λεγόμενη «γεωργία ακριβείας», η οποία περιορίζει το κόστος αλλά και τον χρόνο της παραγωγής, διευκολύνοντας την ανθρώπινη εργασία και απελευθερώνοντας τον άνθρωπο από την εξαντλητική και πολύωρη εργασία στα χωράφια για την ολοκλήρωση της εργασίας του με αποτέλεσμα να βελτιώνεται η ποιότητα ζωής του.

Με αφορμή την εισαγωγή της τεχνολογίας στην γεωργική παραγωγή, η παρούσα εργασία στοχεύει στην παρουσίαση της κατασκευής ενός ρομποτικού βραχίονα με χρήση μικροεπεξεργαστή. Ειδικότερα, πρόκειται για ένα αυτοματοποιημένο σύστημα που χρησιμοποιεί ολοκληρωμένο κύκλωμα με ενσωματωμένο μικροελεγκτή ανοικτού λογισμικού(Arduino) με σκοπό να αξιοποιηθεί σε γεωργικές εφαρμογές. Πιο συγκεκριμένα, η κατασκευή θα έχει την δυνατότητα να κάνει κινήσεις μεταφοράς αντικειμένων με βάση το χρώμα τους και να τα ταξινομεί στην αντίστοιχη ορισμένη θέση. Στόχος της κατασκευής είναι να κάνει πιο εύκολη την ανθρώπινη εργασία εξοικονομώντας χρόνο και κόστος στον άνθρωπο ώστε να μεγιστοποιηθεί η γεωργική παραγωγή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Γεωργία ακριβείας, στόχοι και πλεονεκτήματα

Η ενσωμάτωση των νέων τεχνολογικών επιτευγμάτων στην γεωργική διαδικασία αποτελεί μια σύγχρονη καινοτομία που παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα. Σύμφωνα με τις προβλέψεις του ΟΗΕ(Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας) υπολογίζεται ότι η παγκόσμια παραγωγή τροφίμων πρέπει να αυξηθεί κατά 70%, προκειμένου να τροφοδοτηθεί ο πληθυσμός της γης. Η γεωργία ακριβείας αποτελεί την τεχνολογική λύση έτσι ώστε να εξομαλυνθεί η παραγωγή και να καλυφθούν οι ανάγκες του πληθυσμού.

Βασικός στόχος αποτελεί η βελτίωση της αποδοτικότητας των γεωργικών καλλιεργειών ο οποίος θα επιτευχθεί μέσα από στοχευμένες παρεμβάσεις και την καλύτερη ενημέρωση και πληροφόρηση. Έπειτα, μέσα από την ορθολογική χρήση εισροών θα προκύψει η βελτίωση της ποιότητας των γεωργικών προϊόντων, θα εξοικονομηθούν πόροι (π.χ. ενέργεια) καθώς και θα επιτευχθεί η προστασία του περιβάλλοντος (Balafoutis et al, 2017· Walter, et al, 2017[1]).



Εικόνα 1: Ρομπότ της εταιρίας Octinion για περισυλλογή καρπών σε θερμοκήπια. (Πηγή:pencilonthemoon¹)

¹ Διαθέσιμο: <https://www.pencilonthemoon.gr/technologia/i-epanastasi-tis-eksypnis-georgias-ksekinaei-me-ta-rompot/>

Η χρήση των νέων τεχνολογιών προσφέρουν νέα πλεονεκτήματα τα οποία στο παρελθόν δεν ήταν εφικτά. Αρχικά, μέσα από την αντικατάσταση του ανθρώπου από μια αυτοματοποιημένη μηχανή, ο άνθρωπος θα αποδεσμευτεί από τα τυποποιημένα και επαναλαμβανόμενα καθήκοντα του και την θέση του θα πάρουν τα αυτόματα ρομπότ τα οποία θα είναι σε θέση να εκτελούν τις παραγωγικές εργασίες δίχως να υπάρχει το ενδεχόμενο της σωματικής και επίπονης εργασίας που βιώνει το ανθρώπινο σώμα. Ήδη στην γεωργία αξιοποιούνται ρομπότ τα οποία κατασκευάστηκαν ώστε να εκτελούν γεωργικές διαδικασίες όπως φύτευση, συγκομιδή, άρδευση και διαλογή. Έτσι ο άνθρωπος εκτελεί μόνο ενέργειες χειρισμού και ελέγχου μιας μηχανής η ενός ρομπότ με αποτέλεσμα η εργασία του να εκτελείται πιο ξεκούραστα, πιο άμεσα και με ακρίβεια[2].

Με αφορμή τον στόχο της παρούσας εργασίας, αξίζει να σημειωθεί ο ρόλος και τα πλεονεκτήματα των αυτόματων μηχανών οι οποίες κατασκευάζονται για την διαδικασία της συγκομιδής. Οι μηχανές αυτές βασίζονται στην γεωργία ακριβείας και στην υψηλή τεχνολογία για την συλλογή και τον διαμοιρασμό των καρπών, φρούτων και λαχανικών. Ειδικότερα, κατασκευάζονται αξιοποιώντας προηγμένες τεχνολογίες, ενσωματωμένες κάμερες, αλγόριθμους και πλατφόρμες τύπου Arduino προκειμένου να εντοπίζουν το σχήμα, το χρώμα και την θέση των προϊόντων καθώς και να προσδιορίζουν την ωριμότητα τους. Η ενσωμάτωση της ρομποτικής στην διαδικασία συλλογής των προϊόντων ελαχιστοποιεί την εξάρτηση από την χειρωνακτική και ανθρώπινη εργασία ενώ ταυτόχρονα επιτυγχάνεται η αύξηση στην παραγωγή, στην απόδοση και στην αποτελεσματικότητα.

1.1 Ορισμοί

Αυτοματισμός

Η λέξη αυτοματισμός περιλαμβάνει δύο διαφορετικές μεταξύ τους έννοιες. Από την μία πλευρά συσχετίζεται με την καθημερινότητα και συνεπάγεται την αντικατάσταση του ανθρώπου από μια αυτόματη μηχανή η οποία θα είναι σε θέση να εκτελεί ανθρώπινες εργασίες και ενέργειες. Από την άλλη πλευρά, η έννοια του αυτοματισμού χρησιμοποιείται στις επιστήμες ως συντομογραφία της έννοιας σύστημα αυτοματισμού. Ειδικότερα, αφορά αυτόματα συστήματα, τα οποία μπορούν να ξεπεράσουν τις ανθρώπινες ικανότητες και εφαρμόζονται στην βιομηχανία των μηχανολογικών κατασκευών και της ενέργειας.

Μικροεπεξεργαστές

Ο μικροεπεξεργαστής λειτουργεί ως μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας (ΚΜΕ, CPU) ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή σε ένα κλειστό κύκλωμα.

Ρομπότ

Σύμφωνα με το Τεχνολογικό Μουσείο Καινοτομίας(2000), ως ρομπότ ορίζεται μια μηχανή η οποία έχει την ικανότητα να συλλέγει πληροφορίες από το περιβάλλον και να χρησιμοποιεί τα δεδομένα αυτά ακολουθώντας τις οδηγίες του χειριστή της μηχανής με σκοπό να εκτελέσει μια προκαθορισμένη εργασία ή ενέργεια[3].

Γεωργία Ακριβείας

Πρόκειται για την λεγόμενη «έξυπνη γεωργία» στην οποία αξιοποιούνται οι νέες τεχνολογίες και τα σύγχρονα τεχνολογικά εργαλεία και μέσα στις γεωργικές εργασίες έτσι ώστε να επιτευχθεί η αύξηση στην αποδοτικότητα της γεωργικής παραγωγής αλλά και στην ποιότητα των προϊόντων. Στόχος της γεωργίας ακριβείας είναι και ο περιορισμός των αρνητικών συνεπειών από την μη ορθή χρήση τακτικών στις γεωργικές εργασίες (Γέμτος, 2003).[4]



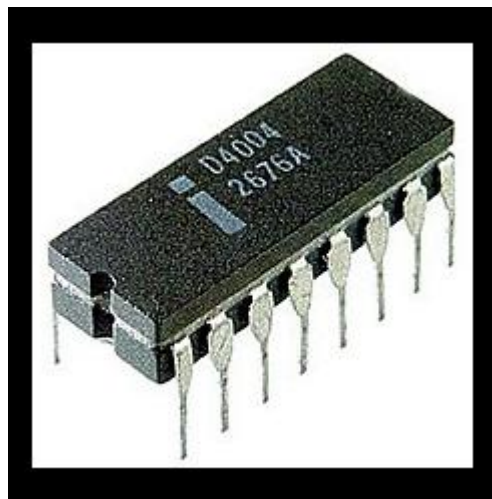
Εικόνα 2: Ρομπότ της εταιρίας Agrobot για την περισυλλογή φραουλών.(Πηγή: agriculture-xprt²)

² Διαθέσιμο: <https://www.agriculture-xprt.com/products/agrobot-model-e-series-robotic-strawberry-harvesters-315719>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:Μικροεπεξεργαστές και μικροελεγκτές

Ο μικροεπεξεργαστής ενσωματώνει τις λειτουργίες μιας κεντρικής μονάδας επεξεργασίας και αξιοποιείται για την λειτουργία των ηλεκτρονικών συσκευών. Ειδικότερα, αποτελείται από τις παρακάτω μονάδες:

1. **Μονάδα αποκωδικοποίησης των δεδομένων.**
2. **Μονάδα προσκόμισης:** η οποία μεταδίδει τις εντολές από τη μνήμη στον επεξεργαστή.
3. **Μονάδα έλεγχου:** θέτει υπό έλεγχο τη ροή των δεδομένων από και προς την ALU και τις περιφερειακές μονάδες των εισόδων και των εξόδων. Επίσης είναι υπεύθυνη για τον έλεγχο των καταχωρητών και τη μνήμη.
4. **Μονάδα προστασίας:** Διασφαλίζει την ορθή λειτουργία της κάθε διεργασίας που εκτελεί ο επεξεργαστής. Αυτή η λειτουργία αποσκοπεί στο να μην αλλάζουν τα δεδομένα που δεν ή να μην πραγματοποιούνται αδύνατες εντολές, όπως π.χ. διαίρεση αριθμού με το μηδέν.
5. **Αριθμητική και Λογική Μονάδα(ALU):** Η μονάδα στην οποία εκτελούνται μία προς μία οι αριθμητικές ή λογικές πράξεις, όπως υπαγορεύονται από τις εντολές που έχουν δοθεί στον υπολογιστή.
6. **Καταχωρητές:** αποτελούν κελιά μνήμης και εντοπίζονται στο εσωτερικό του επεξεργαστή. Η χρήση τους είναι για την προσωρινή αποθήκευση των δεδομένων, εφόσον υφίστανται επεξεργασία. Η διαφορά ανάμεσα στους καταχωρητές ποικίλει ανάλογα με τον τύπο του επεξεργαστή και τον κατασκευαστή, όσον αφορά την οργάνωση αλλά και την χωρητικότητά τους.(Καλομοίρος, I., 2015) [5]



Εικόνα 3: Ο πρώτος μικροεπεξεργαστής της Intel, μοντέλο 4004. (Πηγή:wikipedia³)

³ Διαθέσιμο: <https://en.wikipedia.org/wiki/Microprocessor>

Εξίσου ο μικροελεγκτής θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως ένα είδος μικροεπεξεργαστή, ο οποίος εμπεριέχει τις απαραίτητες μονάδες στο ενσωματωμένο του σύστημα με την διαφορά ότι ο μικροελεγκτής για να λειτουργήσει απαιτεί την ύπαρξη ενός μικροεπεξεργαστή. Στο ενσωματωμένο σύστημα του μικροελεγκτή δεν δίνεται η δυνατότητα εισαγωγής και εξαγωγής περιφερειακών μονάδων και υποσυστημάτων. Μερικά από τα πιο γνωστά είδη περιφερειακών συστημάτων και μονάδων είναι τα εξής:

1. Μεγάλο μέγεθος μνήμης RAM.
2. Ρολόι πραγματικού χρόνου (Real Time Clock, RTC).
3. Διαχειριστή αιτήσεων διακοπής (interrupt request controller) από τα περιφερειακά.
4. Μνήμη προγράμματος (τύπου FLASH, ROM, EPROM κλπ) η οποία περιλαμβάνει το λογισμικό του συστήματος.
5. Κύκλωμα συνδετικής λογικής (glue logic) για τη σύνδεση των εξωτερικών μνημών και άλλων περιφερειακών που μπορούν να συνδεθούν παράλληλα στην κύρια αρτηρία δεδομένων.
6. Μόνιμη μνήμη αποθήκευσης παραμέτρων λειτουργίας (τύπου NVRAM ή EEPROM). (Wikipedia.org) [6]

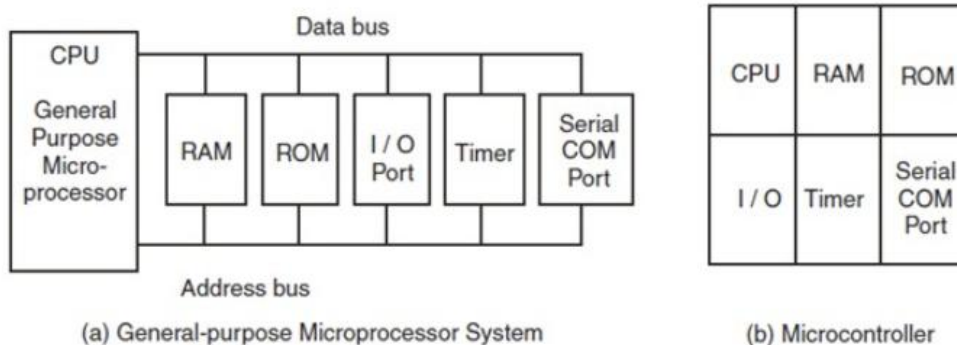


Εικόνα 4: Ο μικροελεγκτής ATMEGA645. (Πηγή: electronicscomp⁴)

⁴ Διαθέσιμο: <https://www.electroniccomp.com/atmega2560-16au-microcontroller-smd-tqfp-100-package>

Παρακάτω ακολουθεί εικόνα με τις διαφορές μεταξύ ενός μικροεπεξεργαστή και ενός μικροελεγκτή αναφορικά με την δομή τους και την επικοινωνία με άλλα είδη μονάδων και περιφερειακών συστημάτων.

Difference between microcontroller and microprocessor



Structure of microprocessor and microcontroller

Εικόνα 5: Η δομή ενός μικροεπεξεργαστή και ενός μικροελεγκτή. (Πηγή:slideplayer⁵)

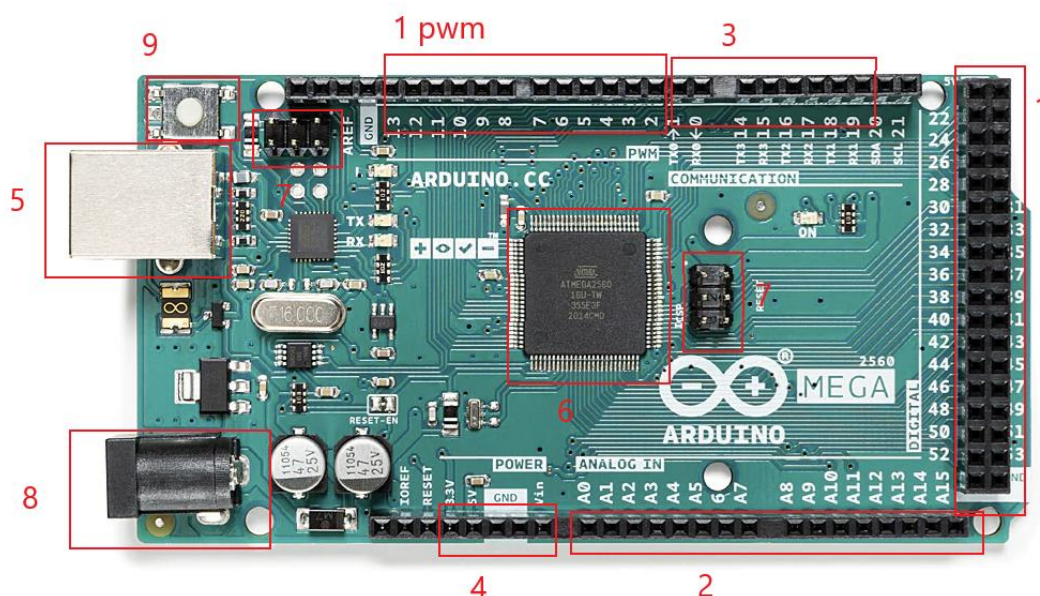
⁵ Διαθέσιμο: <https://slideplayer.com/slide/10609071/> σελίδα 119.

2.1 Πλατφόρμα Arduino Mega 2560 R3

Η πλατφόρμα Arduino 2560 R3 είναι μια μητρική πλακέτα ανοικτού κώδικα την οποία ο χρήστης μπορεί να την προσαρμόσει με βάση τις απαιτήσεις και τις ανάγκες του. Προσφέρει την δυνατότητα να δημιουργηθούν ή και να χρησιμοποιηθούν βιβλιοθήκες ανάλογα με την σύνδεση των εξαρτημάτων που επιθυμεί ο χρήστης. Η πλακέτα αποτελείται από τον μικροελεγκτή ATmega2560.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της πλακέτας είναι τα εξής:

1. Διαθέτει 54 ψηφιακά pins, 15 εκ των οποίων έχουν την δυνατότητα χρήσης PWM(παλμού) που μπορούν να αξιοποιηθούν ως εξόδοι ή και εισοδοι.
2. 16 αναλογικές εισόδους
3. 4 UARTS εισόδους που χρησιμοποιούνται για σύνδεση με ηλεκτρονικό υπολογιστή ή με άλλη πλακέτα Arduino
4. 5 pins για την τροφοδοσία της πλακέτας και των εξαρτημάτων της με τάση εξόδου στα 5V και στα 3,3V.
5. Σύνδεση USB
6. Μικροελεγκτής ATmega2560
7. Θύρα υποδοχής ICSP(για εγκατάσταση ή παράκαμψη του bootloader)
8. Θύρα υποδοχής τροφοδοσίας
9. Κουμπί Reset



Εικόνα 6: Η πλακέτα Arduino Mega2560 Rev3. (Πηγή:store.arduino⁶)

⁶ Διαθέσιμο <https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3> και επεξεργάστηκε με Paint 3D.

2.2 Μικροελεγκτής ATmega 2560

Ο κατασκευαστής του μικροελεγκτή του ATmega 2560 είναι η εταιρία ATMEL και ως ολοκληρωμένο κύκλωμα εντάσσεται στην κατηγορία AVR, 8bit τεχνολογίας CMOS, αρχιτεκτονικής RISC και αποτελεί χαμηλής ισχύος μικροελεγκτή. Η ξεχωριστή ικανότητα του συγκεκριμένου μικροελεγκτή είναι η εξισορρόπηση της κατανάλωσης ενέργειας με την ταχύτητα επεξεργασίας των δεδομένων.

Πίνακας 1: Τεχνικά χαρακτηριστικά ATMEGA 2560 (Πηγή: tme.eu⁷)

Χωρητικότητα μνήμης Flash	256kB
Χωρητικότητα μνήμης EEPROM	4kB
Χωρητικότητα μνήμης SRAM	8kB
Συχνότητα συντονισμού	16MHz
Αριθμός εισόδων/εξόδων	86
Αριθμός καναλιών PWM	15
Αριθμός χρονομετρών 16bit	4
Αριθμός χρονομετρών 8bit	2
Συχνότητα λειτουργίας	16MHz
Συναρμολόγηση	SMD
Θερμοκρασία λειτουργίας	-40...85 °C
Αριθμός εξωτερικών διακοπών	32
Αριθμός καναλιών σύγκρισης εξόδου	16
Αριθμός συγκριτών	1
Αριθμός καναλιών σύλληψης εισόδου	4
Αριθμός μετατροπέων A/D 10bit	16
Ράστερ εξόδων	0,5mm

⁷ Διαθέσιμο: <https://www.tme.eu/gr/details/atmega2560-16au/oikogeneia-avr-8-bit/microchip-atmel/?2fa3=2fa3>

2.3 Προγραμματισμός πλακέτας Arduino

Η ανάπτυξη του κώδικα για πλακέτες Arduino μπορεί να γίνει με δύο διαφορετικούς τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι γράφοντας κείμενο κώδικα (text-based coding), σε αυτόν τον τρόπο προγραμματισμού ο προγραμματιστής θα πρέπει να γνωρίζει εντολές και την σύνταξη του κώδικα (βλέπε εικόνα: 8). Ένα τέτοιο λογισμικό είναι το Arduino IDE που αποτελεί και το επίσημο λογισμικό της Arduino και μπορεί να ανακτηθεί από το site <https://www.arduino.cc/> δωρεάν.

```
void setup() {  
  // put your setup code here, to run once:  
  pinMode(3, OUTPUT);  
}  
  
void loop() {  
  // put your main code here, to run repeatedly:  
  digitalWrite(3, HIGH);  
  delay(500);  
  digitalWrite(3, LOW);  
  delay(500);  
}
```

Εικόνα 8: Παράδειγμα του text-based coding. (Πηγή: createmakers⁹)

⁹ Διαθέσιμο: <https://www.createmakers.com/blog/software-for-arduino-programming/>

Η δεύτερη μέθοδος προγραμματισμού είναι βασισμένη στην ανάπτυξη μπλοκ (block-based coding). Η συγκεκριμένη μέθοδος εφαρμόζεται σε λογισμικά με γραφικό περιβάλλον με την χρήση του ποντικιού σέρνοντας μπλοκς . Σε αντίθεση με τον κώδικα κειμένου απευθύνεται κυρίως σε αρχάριους και παιδιά (βλέπε εικόνα: 9). Ένα λογισμικό γι' αυτού του είδους προγραμματισμού είναι το Pictoblox IDE και μπορεί ο καθένας να το κατεβάσει δωρεάν από την σελίδα <https://thestempedia.com/product/pictoblox/> .



Εικόνα 9: Παράδειγμα του block-based coding. (Πηγή: createmakers¹⁰)

Και στα δύο παραδείγματα αποτυπώνεται ένας κώδικας που κάνει ένα λαμπάκι led στο pin 3 να αναβοσβήνει κάθε μισό δευτερόλεπτο.

Η καλύτερη επιλογή για την ανάπτυξη του κώδικα είναι το Arduino IDE για τον λόγο ότι είναι το επίσημο του Arduino και επίσης παρέχει πληθώρα βιβλιοθηκών, παραδειγμάτων και οδηγιών σε αντίθεση με τα λογισμικά του block-based coding. Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται το λογισμικό Arduino IDE με εξήγηση για τα πιο βασικά σημεία του.

¹⁰ Διαθέσιμο: <https://www.createmakers.com/blog/software-for-arduino-programming/>



Εικόνα 10: Η επιφάνεια εργασίας του Arduino IDE. (Πηγή: tutorialspoint¹¹)

1. Γραμμή εργαλείων με τις πιο βασικές λειτουργίες: έλεγχος κώδικα, φόρτωση του κώδικα στην πλακέτα, αποθήκευση κ.α.
2. Στην περιοχή με το 'void setup' ορίζονται τα εξαρτήματα που είναι συνδεδεμένα με την πλακέτα όπως επίσης και το κομμάτι του κώδικα που θα τρέξει μία φορά.
3. Στο σημείο του 'void loop' αναπτύσσεται ο κώδικας που θα τρέχει επαναλαμβανόμενα.
4. Στο κομμάτι αυτό του λογισμικού εμφανίζεται εάν ο κώδικας ήταν σωστός και ανέβηκε στην πλακέτα ή εάν υπάρχουν σφάλματα και που βρίσκονται.
5. Το μοντέλο της πλακέτας που είναι συνδεδεμένη καθώς και η θύρα επικοινωνίας.

¹¹ Διαθέσιμο: https://www.tutorialspoint.com/arduino/arduino_program_structure.htm επεξεργάστηκε με Paint 3D.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Ρομποτικός βραχίονας

Οι ρομποτικοί βραχίονες αποτελούν αυτόματες μηχανές οι οποίες λειτουργούν όπως ένας ανθρώπινος βραχίονας, εκτελώντας περιστροφικές κινήσεις ή γραμμικές μετατοπίσεις χάρη στις αρθρώσεις που εντοπίζονται στα άκαμπτα τμήματά τους. Πιο συγκεκριμένα, ένας ρομποτικός βραχίονας αποτελείται από την βάση(το στήριγμα του βραχίονα), τις αρθρώσεις, τους συνδέσμους και το εργαλείο δράσης. Πάνω στη βάση ενός βραχίονά εντοπίζονται οι αρθρώσεις οι οποίες επιτρέπουν τις κινήσεις και συνδέονται διαδοχικά ενώ στην βάση εντοπίζονται και οι σύνδεσμοι οι οποίοι αποτελούν τον «κορμό» του ρομποτικού βραχίονα. Για να εκτελέσει μια εντολή ο ρομποτικός βραχίονας είναι απαραίτητο να υπάρχει το εργαλείο τελικής δράσης το οποίο επιλέγεται από τον κατασκευαστή με βάση την εντολή που επιθυμεί να εκτελέσει ο βραχίονας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο ρομποτικός βραχίονας της παρούσας εργασίας, ο οποίος είναι υπεύθυνος για την συλλογή γεωργικών προϊόντων και γι' αυτόν τον λόγο ως εργαλείο τελικής δράσης επιλέχθηκε η αρπάγη. Η αρπάγη μπορεί να έχει διάφορες μορφές όπως για παράδειγμα δαγκάνα ώστε να συλλέγει τα επιθυμητά αντικείμενα. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί πως ο βραχίονας περιλαμβάνει ενεργοποιητές «κινητήρες», αισθητήρες, σύστημα επικοινωνίας που συνήθως είναι ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής(«εγκέφαλος»)και τέλος το σύστημα αυτόματου ελέγχου.



Εικόνα 11: βιομηχανικός ρομποτικός βραχίονας. (Πηγή: pngwing¹²)

¹²Διαθέσιμο: <https://www.pngwing.com/en/free-png-xguoq>



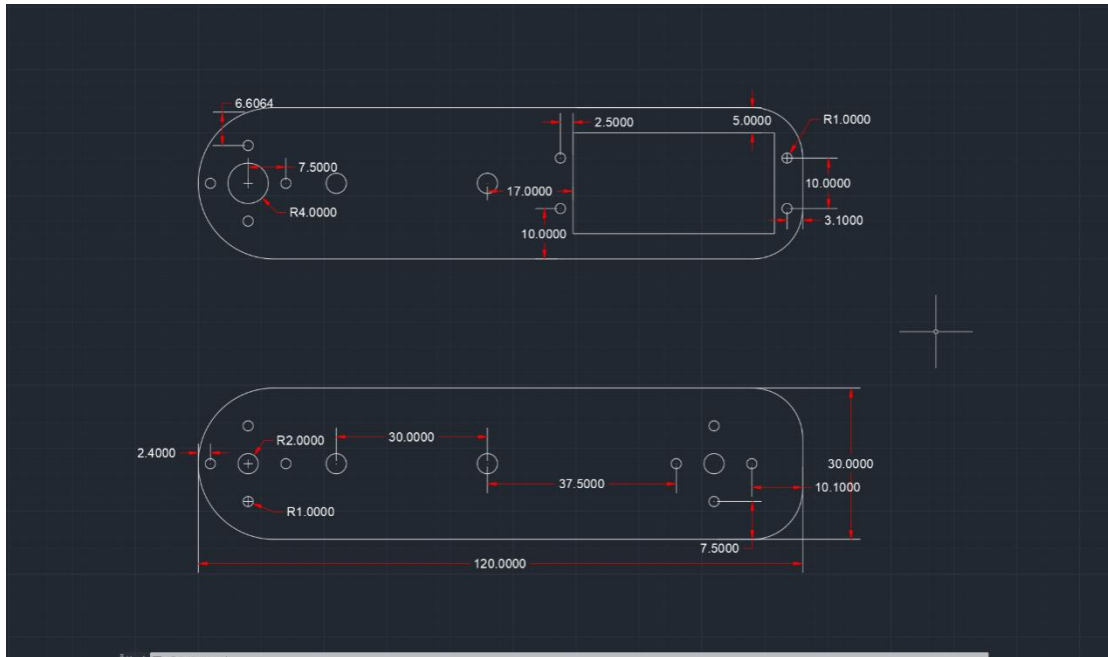
Εικόνα 12: Γραμμή παραγωγής ρομπότ από ρομπότ. (Πηγή: alamy¹³)

3.1 Μελέτη και Σχεδιασμός

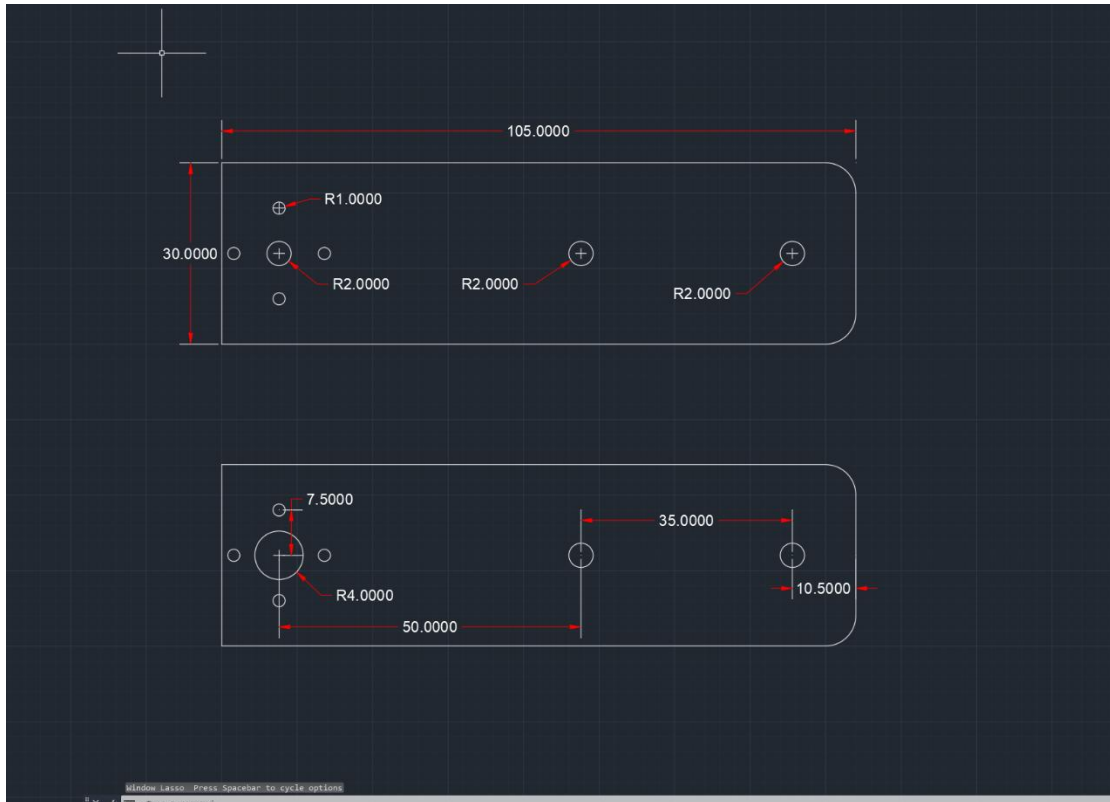
Για την κατασκευή του βραχίονα επιλέχθηκε ως υλικό το αλουμίνιο επειδή είναι ένα σχετικά οικονομικό μέταλλο, ανθεκτικό σε σχέση με άλλα υλικά(π.χ. ξύλο, Plexiglass) και εύκολο στην επεξεργασία του. Η μορφή του αλουμινίου που θα χρησιμοποιήσουμε είναι φύλλο πάχους 2mm. Η επιθυμητή μορφή που επιδιώκουμε να δώσουμε είναι ενός ανθρωπόμορφου βραχίονα, βασισμένη στην ιδέα <https://www.instructables.com/DIY-Robotic-Arm/> του Mohamed Solidman.

¹³ Διαθέσιμο: <https://www.alamy.com/stock-photo-augsburg-germany-22nd-mar-2017-a-kuka-robot-of-the-titan-series-are-135855347.html?imageid=DE063B1E-DFA4-4AC7-9F15-FF74777B2F1C&p=173981&pn=1&searchId=3e96de7362da494f11040eb1b12f73bd&searchtype=0>

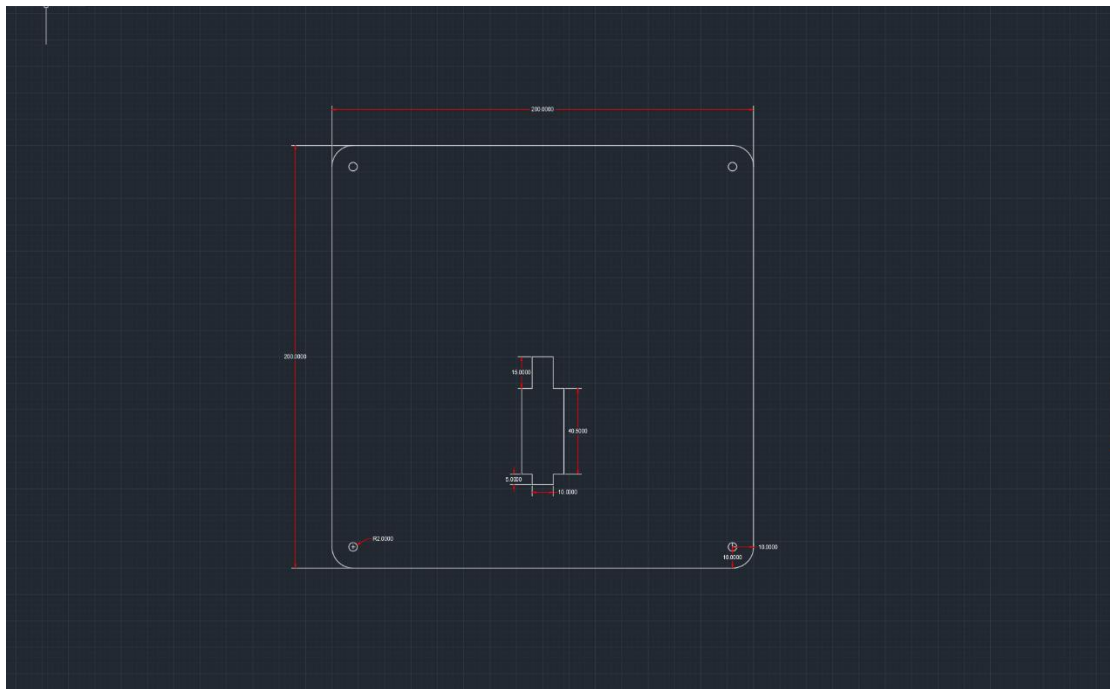
Για την δημιουργία των σχεδίων χρησιμοποιήθηκε το σχεδιαστικό πρόγραμμα AutoCad 2022. Οι αποστάσεις που αναγράφονται πάνω στα σχέδια είναι δοσμένες σε χιλιοστά(mm). Λόγω των απαιτήσεων της ακρίβειας που ήταν απαραίτητη για το κόψιμο των μετάλλων τα σχέδια δόθηκαν κατασκευάστηκαν σε ιδιωτικό μηχανουργείο με το μηχάνημα CNC Router. Στην συνέχεια παρατίθενται τα σχέδια των τμημάτων του βραχίονα που κατασκευάστηκαν από το μηχανουργείο και στην συνέχεια ακολουθούν τα σχέδια των τμημάτων που δημιουργήθηκαν με εργαλεία χειρός.



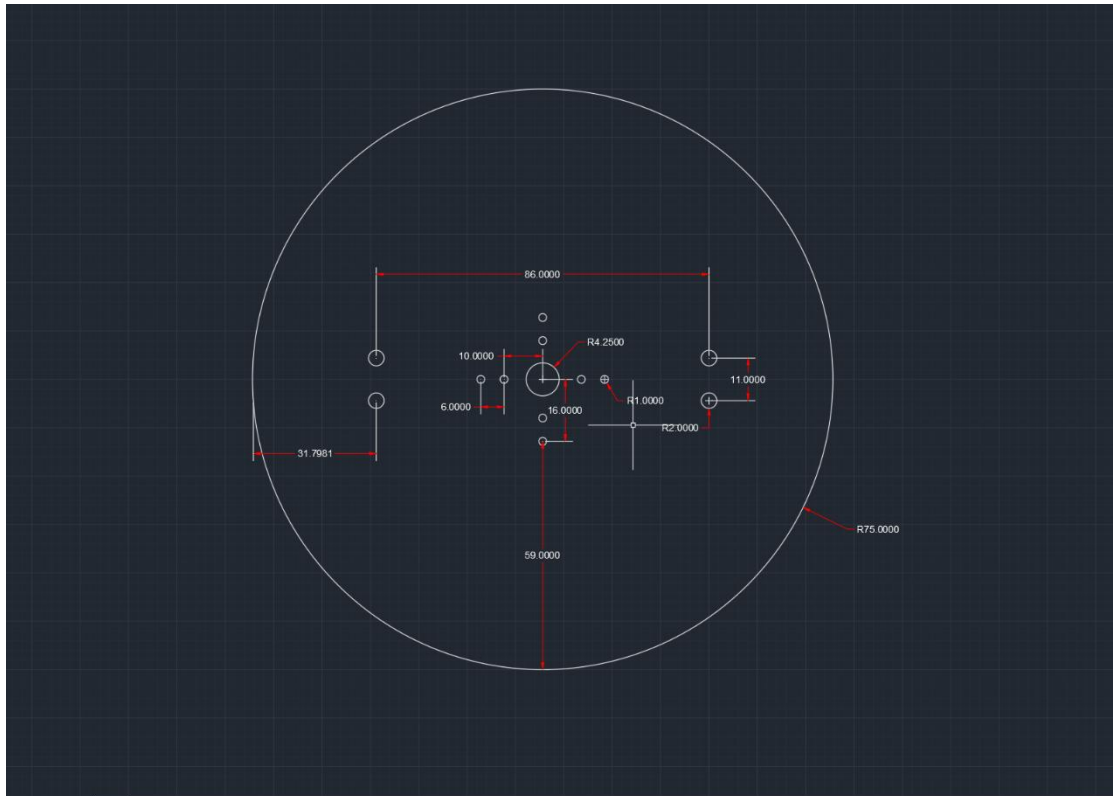
Εικόνα 13: 1^ο Μπράτσο βραχίονα.



Εικόνα 14: 2^ο μπράτσο βραχίονα.

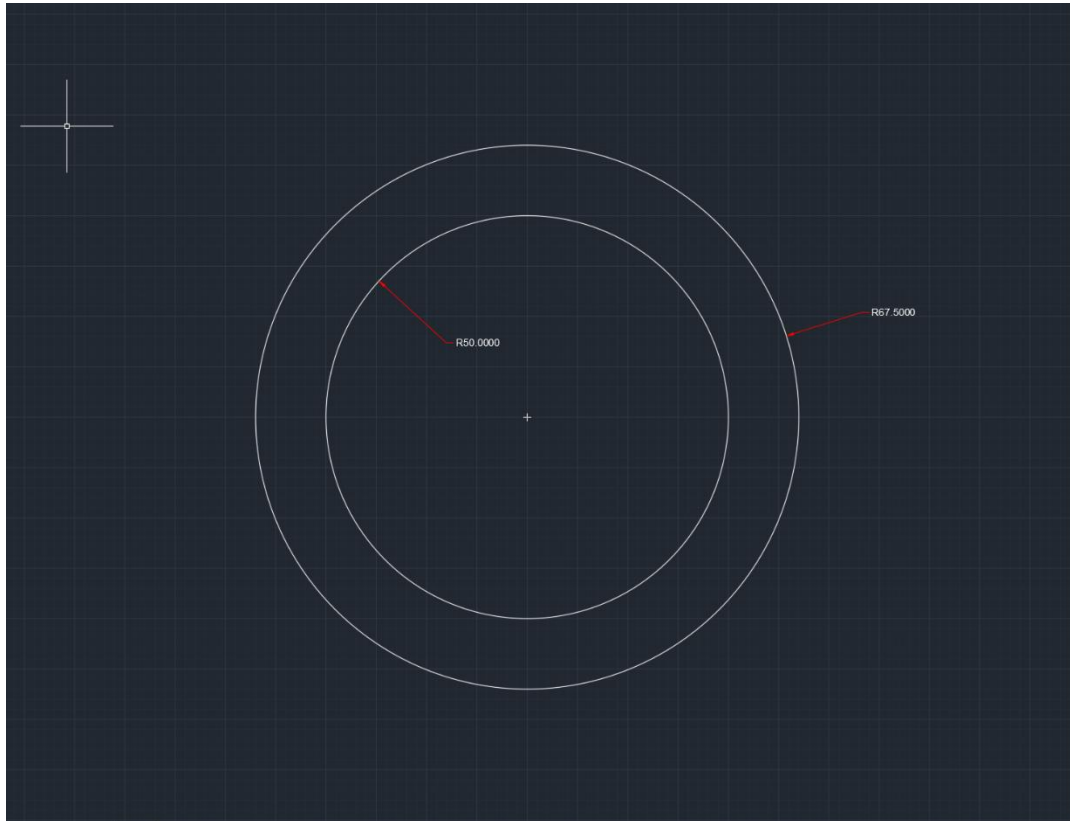


Εικόνα 15: Σταθερή βάση.

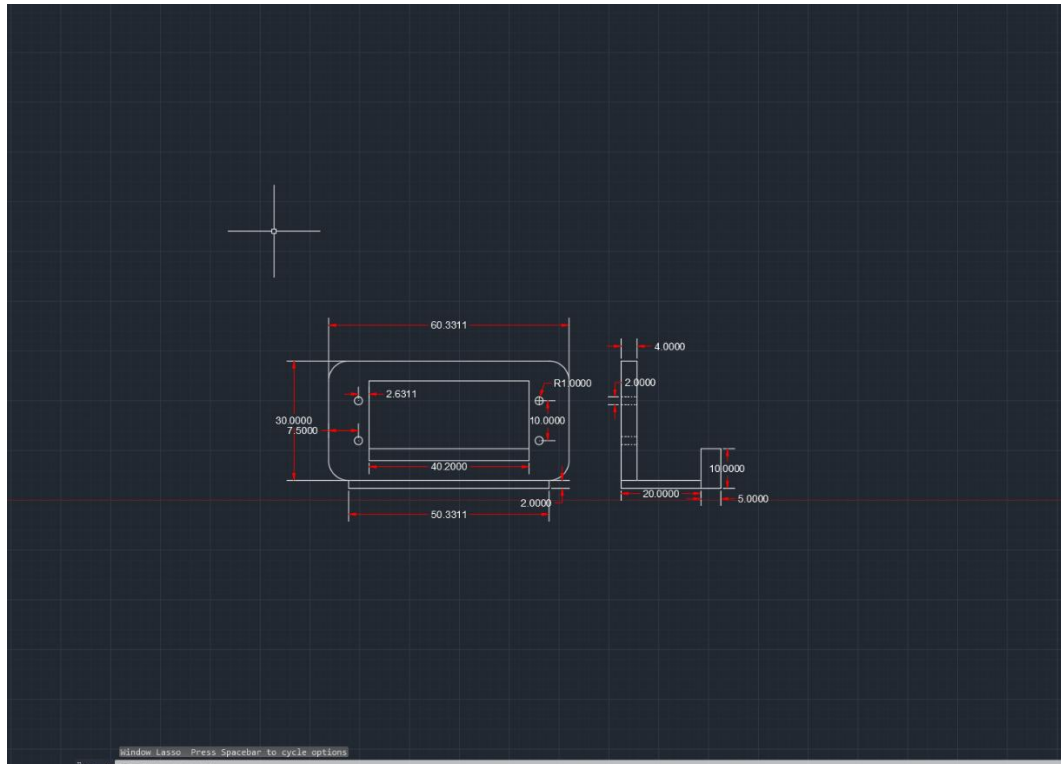


Εικόνα 16: Περιστρεφόμενη βάση.

Σε αυτό το σημείο ακολουθούν τα σχέδια των τμημάτων του βραχίονα που κατασκευάστηκαν χειρωνακτικά εργαλεία. Τα τμήματα αυτά είναι μια ξύλινη βάση ύψους 4cm (εκατοστών) για την στερέωση του ρουλεμάν, η βάση στερέωσης του σερβοκινητήρα στο σημείο 0 και ο συνδετικός κρίκος αρπάγης με βραχίονα.



Εικόνα 17: Ξύλινη βάση στερέωσης ρουλεμάν.



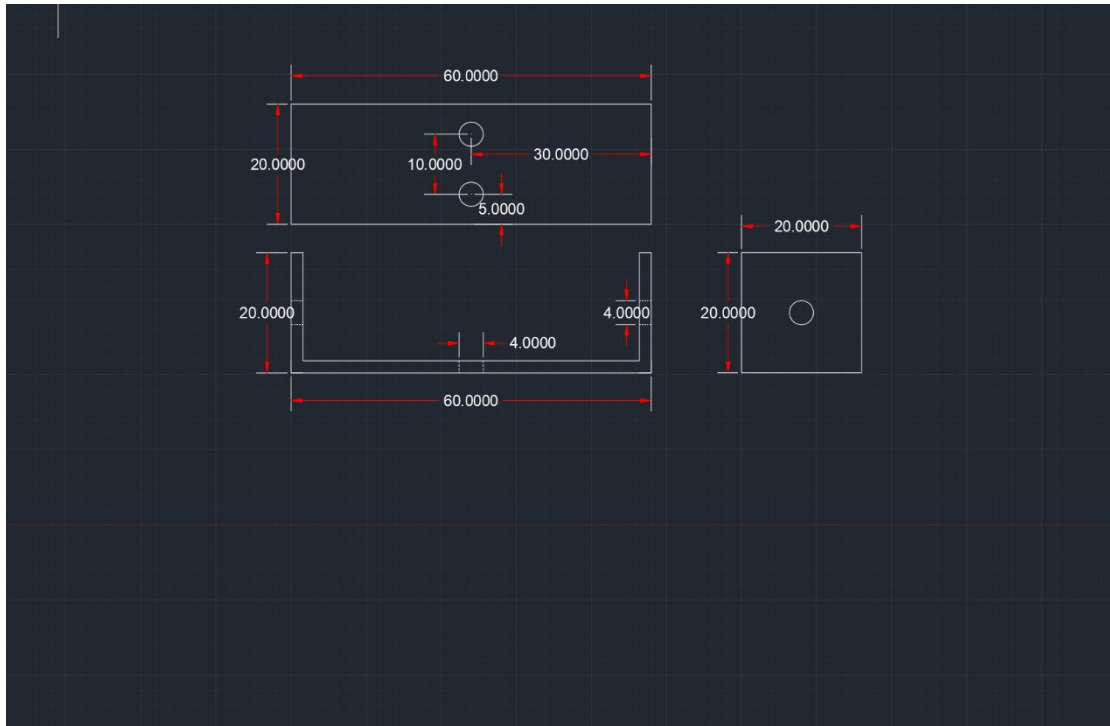
Εικόνα 18: Βάση στερέωσης σερβοκινητήρα.



Εικόνα 19: Συγκόλληση της βάσης στερέωσης του σερβοκινητήρα (μπροστινή όψη).



Εικόνα 20: Συγκόλληση της βάσης στερέωσης του σερβοκινητήρα (πλάγια όψη).

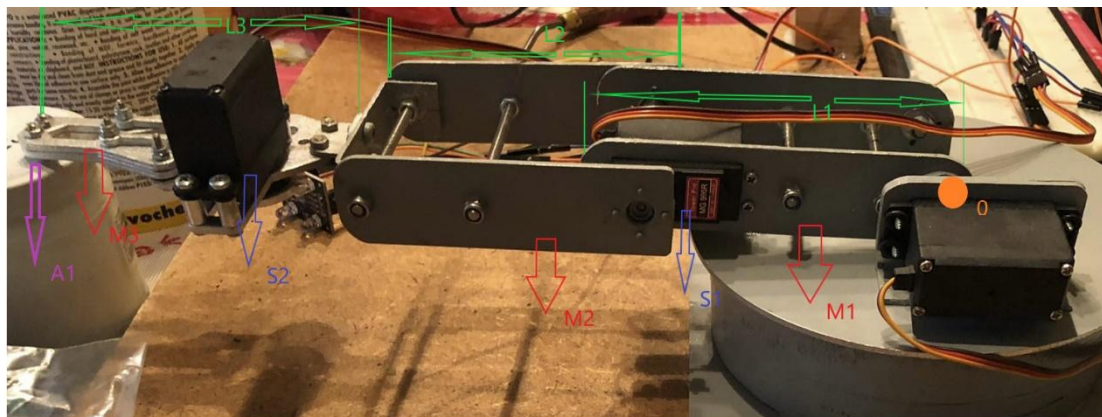


Εικόνα 21: Συνδετικός κρίκος αρπάγης με βραχίονα.



Εικόνα 22: Δημιουργία τρυπών στον συνδετικό κρίκο.

Για να υπολογίσουμε την απαραίτητη ισχύ ροπής διαλέγουμε το κρίσιμο σημείο στο οποίο το βάρος του βραχίονα έχει την μεγαλύτερη ισχύ. Το κρίσιμο σημείο θ όπως δείχνεται και στη εικόνα παρακάτω είναι όταν ο βραχίονας βρίσκεται σε πλήρως οριζόντια θέση.



Εικόνα 23: Ο βραχίονας σε οριζόντια μορφή και οι δυνάμεις που ασκούνται πάνω του.

Ο τύπος που θα χρησιμοποιήσουμε είναι: $T = M \cdot L$

Πίνακας 2: Η επεξήγηση των μεταβλητών.

T	η ροπή στο κρίσιμο σημείο
M	η μάζα των αντικειμένων
L	το μήκος των αντικειμένων
S	η μάζα των σερβοκινητήρων
A	η μάζα το σώματος που θα σηκώνει η αρπάγη

Πίνακας 3: Οι τιμές των μεταβλητών.

L1	12cm
L2	10,5 cm
L3	10,8 cm
M1	50gr
M2	53gr
M3	68gr
S1, S2,	55gr
A1	20gr

$$T1 = M1 \cdot (L1 : 2) = 0,3 \text{ kg} \times \text{cm}$$

$$T2 = S1 \times L1 = 0,66 \text{ kg} \times \text{cm}$$

$$T3 = M2 \times (L1 + (L2 : 2)) = 0,91425 \text{ kg} \times \text{cm}$$

$$T4 = S2 \times (L1 + L2) = 1,2375 \text{ kg} \times \text{cm}$$

$$T5 = M3 \times (L1 + L2 + L3 : 2) = 3,4317 \text{ kg} \times \text{cm}$$

$$T6 = A1 (L1 + L2 + L3) = 0,666 \text{ kg} \times \text{cm}$$

Έπειτα από το άθροισμα των παραπάνω δεδομένων προκύπτει το εξής αποτέλεσμα:

$$T_{\text{κρ}} = 0,3 + 0,66 + 0,91425 + 1,2375 + 3,4317 + 0,666 = 7,20945 \text{ Kg} \times \text{cm}$$

3.1.1 Επιλογή σερβοκινητήρων και εξαρτημάτων.

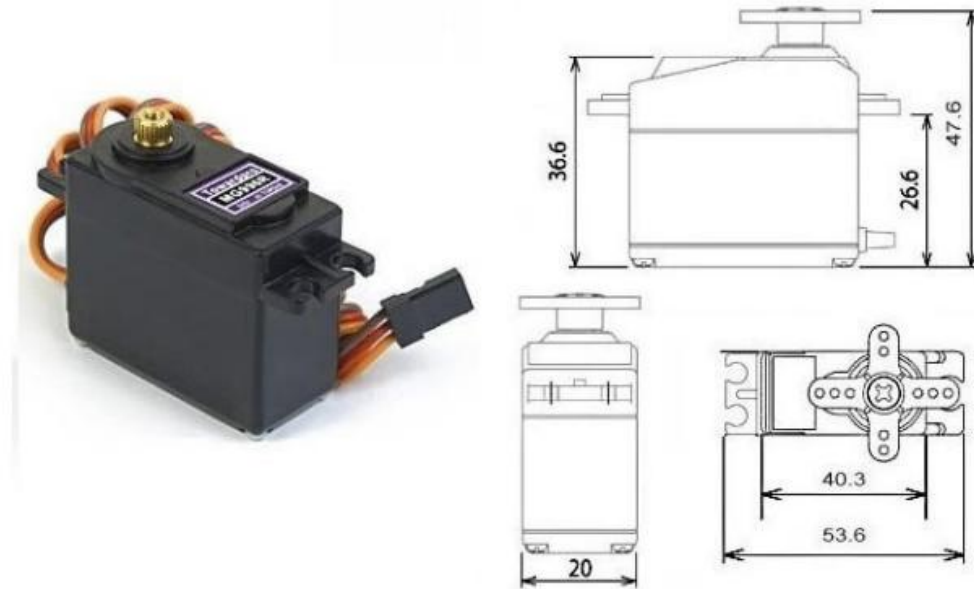
Από το παραπάνω αποτέλεσμα αποδεικνύεται ότι ο σερβοκινητήρας στο σημείο 0 πρέπει να έχει ροπή μεγαλύτερη από 7,20 Kg × cm. Για τον λόγο αυτόν επιλέξαμε 4 σερβοκινητήρες MG996R. Παρακάτω δίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά και οι διαστάσεις των σερβοκινητήρων.

Specifications

- Dimension : 40mm x 19mm x 43mm
- Weight : 55g
- Operating Speed : 0.17sec / 60 degrees (4.8V no load)
- Operating Speed : 0.13sec / 60 degrees (6.0V no load)
- Stall Torque : 13 kg-cm (180.5 oz-in) at 4.8V
- Stall Torque : 15 kg-cm (208.3 oz-in) at 6V
- Operation Voltage : 4.8 - 7.2Volts
- Gear Type: All Metal Gears
- Connector Wire: Heavy Duty, 11.81" (300mm)

Εικόνα 24: Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του MG996R.(Πηγή: hellasdigital¹⁴)

¹⁴ Διαθέσιμο: <https://www.hellasdigital.gr/go-create/servo/servos/mg996r-servo-180degrees/>



Εικόνα 25: Ο MG996r και οι διαστάσεις του.(Πηγή: [electronicoscaldas¹⁵](https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG996R_Tower-Pro.pdf))

Επιπλέον για την κατασκευή θα χρειαστεί και ένα τελικό σημείο δράσης που στην προκειμένη περίπτωση επιλέχθηκε μια αρπάγη. Οι λόγοι που επιλέχθηκε η συγκεκριμένη είναι η συμβατότητά της με τους σερβοκινητήρες και το υλικό κατασκευής της που είναι το αλουμίνιο όπως και ο βραχίονας.

¹⁵ Διαθέσιμο: https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG996R_Tower-Pro.pdf



Εικόνα 26: Η αρπάγη. (Πηγή: hellasdigital¹⁶)

- **Specifications:**
- Claws Material: Aluminum
- Paw weight: about 68g (excluding servos, without disc)
- Paw maximum opening angle: 55mm (maximum opening angle spacing 55mm)
- Paw overall length: 108mm (overall length of the longest claws when closed)
- Paw Overall width: 98mm (maximum overall width of the paw when open)

Εικόνα 27: Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της αρπάγης. (Πηγή: hellasdigital¹⁷)

Επίσης για την ανίχνευση του αντικειμένου και την αναγνώριση των χρωμάτων χρησιμοποιήθηκαν ένας αισθητήρας υπερήχων και ένας αισθητήρας χρωμάτων RGB. Ο αισθητήρας υπερήχων χρησιμοποιείται για την ανίχνευση του αντικειμένου εάν

¹⁶ Διαθέσιμο: <https://www.hellasdigital.gr/go-create/robotics/robotic-arms/metal-robotic-arm-gripper-robot-mechanical-claws-robot-accessories-compatible-with-mg995-sg5010/>

¹⁷ Διαθέσιμο: <https://www.hellasdigital.gr/go-create/robotics/robotic-arms/metal-robotic-arm-gripper-robot-mechanical-claws-robot-accessories-compatible-with-mg995-sg5010/>

αυτό υπάρχει μπροστά στον βραχίονα. Έπειτα ο αισθητήρας χρωμάτων αναγνωρίζει το χρώμα του αντικειμένου. Ακολουθούν οι δύο αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους.



Εικόνα 28: Ο αισθητήρας υπερήχων HC-SR04. (Πηγή: sparkfun¹⁸)

¹⁸ Διαθέσιμο: <https://www.sparkfun.com/products/15569>

Operating Voltage	5V DC
Operating Current	15mA
Operating Frequency	40KHz
Min Range	2cm / 1 inch
Max Range	400cm / 13 feet
Accuracy	3mm
Measuring Angle	<15°
Dimension	45 x 20 x 15mm

Εικόνα 29: Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του HC-SR04. (Πηγή: [howtomechatronics](https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/ultrasonic-sensor-hc-sr04/)¹⁹)

¹⁹ Διαθέσιμο: <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/ultrasonic-sensor-hc-sr04/>



Εικόνα 30: Ο αισθητήρας χρωμάτων RGB TCS 3200. (Πηγή: hellasdigital²⁰)

²⁰Διαθέσιμο: <https://www.hellasdigital.gr/electronics/sensors/light-and-color-sensors/tcs230-tcs3200-color-recognition-sensor-detector-module-3v-5v-black/>

Input Voltage: 3V ~ 5V.
Best Detection Range: 10mm.
High-resolution conversion of light intensity to frequency.
Chip pins all has drawn for standard 100.
Put the needle (2.54 mm).
Mil-convenient for bitmap board.
Programmable color and full-scale output frequency.
Communicate directly with a microcontroller.
Low-profile surface mount package.
PCB Size (L x W): Appro 1.2 x 0.95 inch.
Weight: 4g

Εικόνα 31: Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα. (Πηγή: hellasdigital²¹)

²¹ Διαθέσιμο: <https://www.hellasdigital.gr/electronics/sensors/light-and-color-sensors/tcs230-tcs3200-color-recognition-sensor-detector-module-3v-5v-black/>

Επίσης για την ομαλή περιστροφική κίνηση του βραχίονα θα χρειαστεί και ένα ρουλεμάν που θα παρέχει την ολισθηρότητα που θα χρειασθεί καθώς και την απορρόφηση κραδασμών και βάρους. Το ρουλεμάν που επιλέχθηκε είναι το AXK 100135 της εταιρίας SKF .



Εικόνα 32: Το ρουλεμάν AXK 100135. (Πηγή: alibaba²²)

²² Διαθέσιμο: https://www.alibaba.com/product-detail/AXK-100135-Thrust-Needle-Roller-Bearing_1600264155770.html

Επιπλέον για την τροφοδοσία των σερβοκινητήρων του βραχίονα θα χρειαστεί μια πηγή ενέργειας στα 6V με τουλάχιστον 10A διότι ο κάθε σερβοκινητήρας καταναλώνει 2,5A στα 6V και ο βραχίονας αποτελείται από τέσσερις. Με αυτό το κριτήριο η πηγή που επιλέχθηκε είναι μια μπαταρία στα 6V με 12A.



Εικόνα 33: Η μπαταρία για την τροφοδοσία των σερβοκινητήρων.

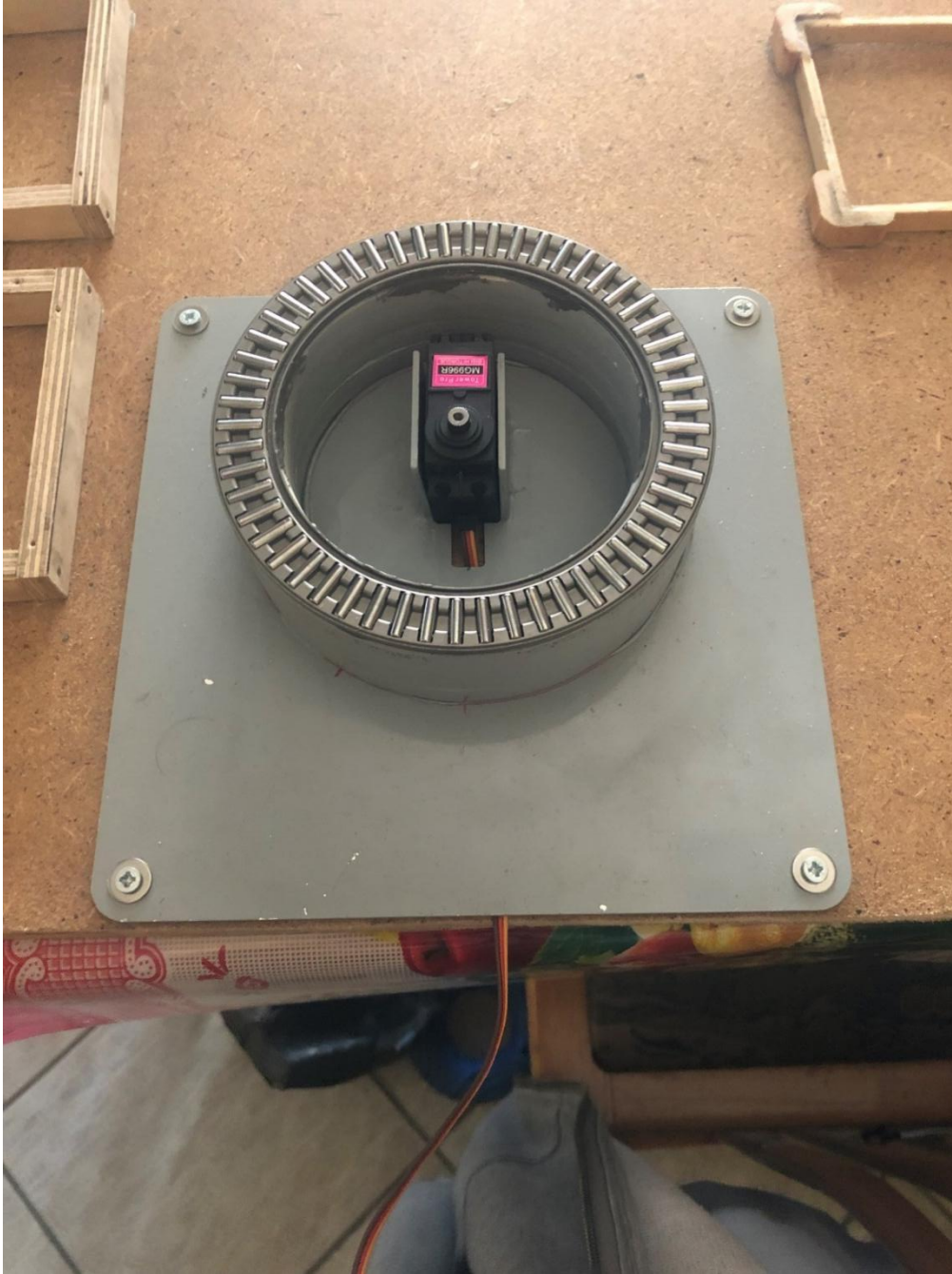
Επειδή όμως ο κατασκευαστής της πλακέτας Arduino Mega2560 συνιστά τροφοδοσία για την πλακέτα 7V-12V. Για τον λόγο αυτόν για την τροφοδοσία της πλακέτας θα χρησιμοποιηθεί μια πλακέ μπαταρία των 9V.



Εικόνα 34: Η πλακέ μπαταρία για την τροφοδοσία της πλακέτας.

3.2 Κατασκευή βραχίονα

Στην εικόνα παρουσιάζεται η τοποθέτηση του σερβοκινητήρα της περιστρεφόμενης βάσης, την τοποθέτηση και στερέωση της ξύλινης βάσης ύψους 4cm (Σχέδιο, εικόνα 6) η οποία θα καλύψει το κενό μεταξύ σταθερής και περιστρεφόμενης βάσης και βρίσκεται κάτω από το ρουλεμάν.



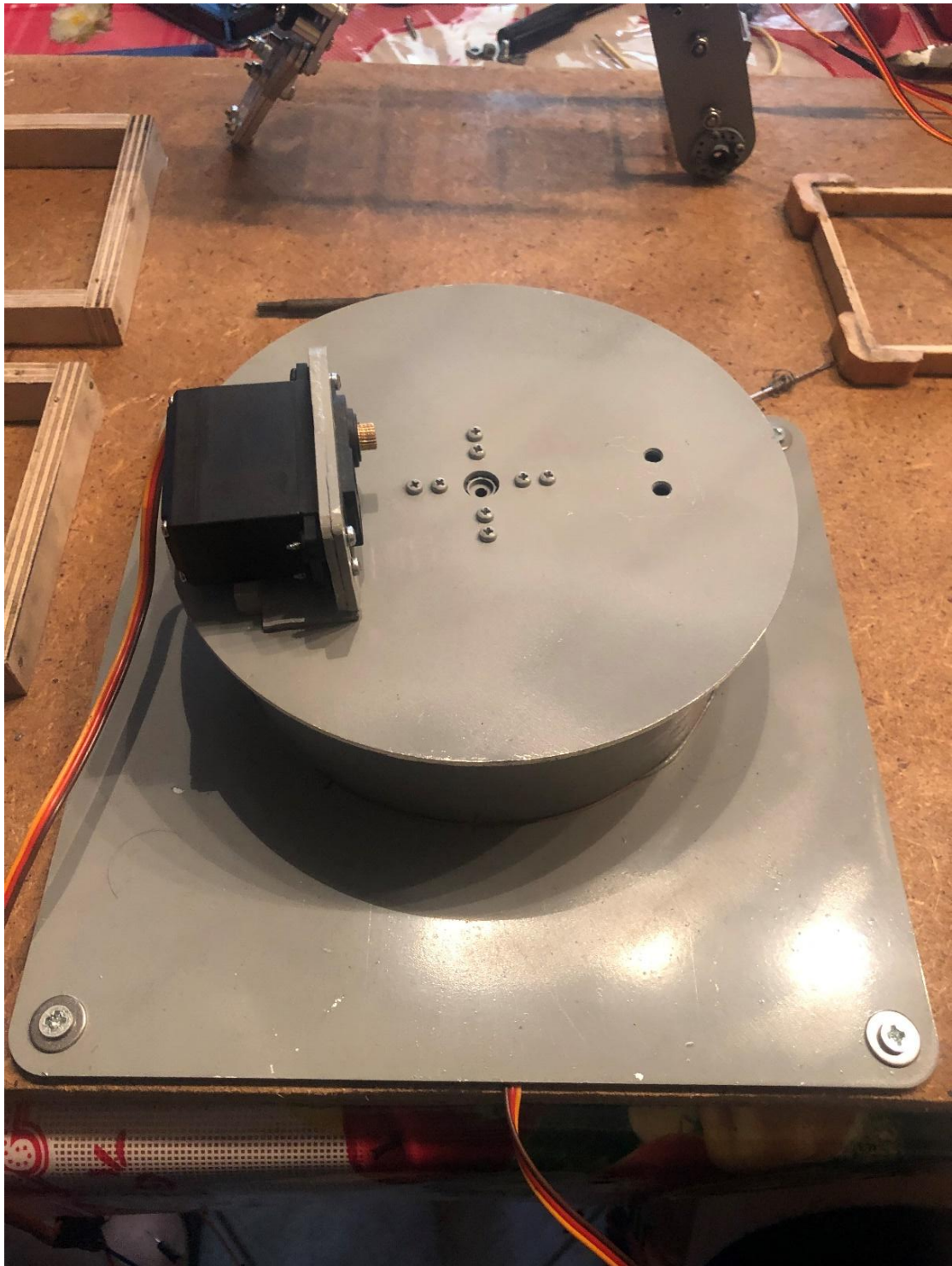
Εικόνα 35: Σταθερή βάση βραχίονα.

Στην συνέχεια ακολουθεί η τοποθέτηση της περιστρεφόμενης βάσης πάνω στο ρουλεμάν και στον σερβοκινητήρα καθώς και η τοποθέτηση και στερέωση της βάσης του σερβοκινητήρα.



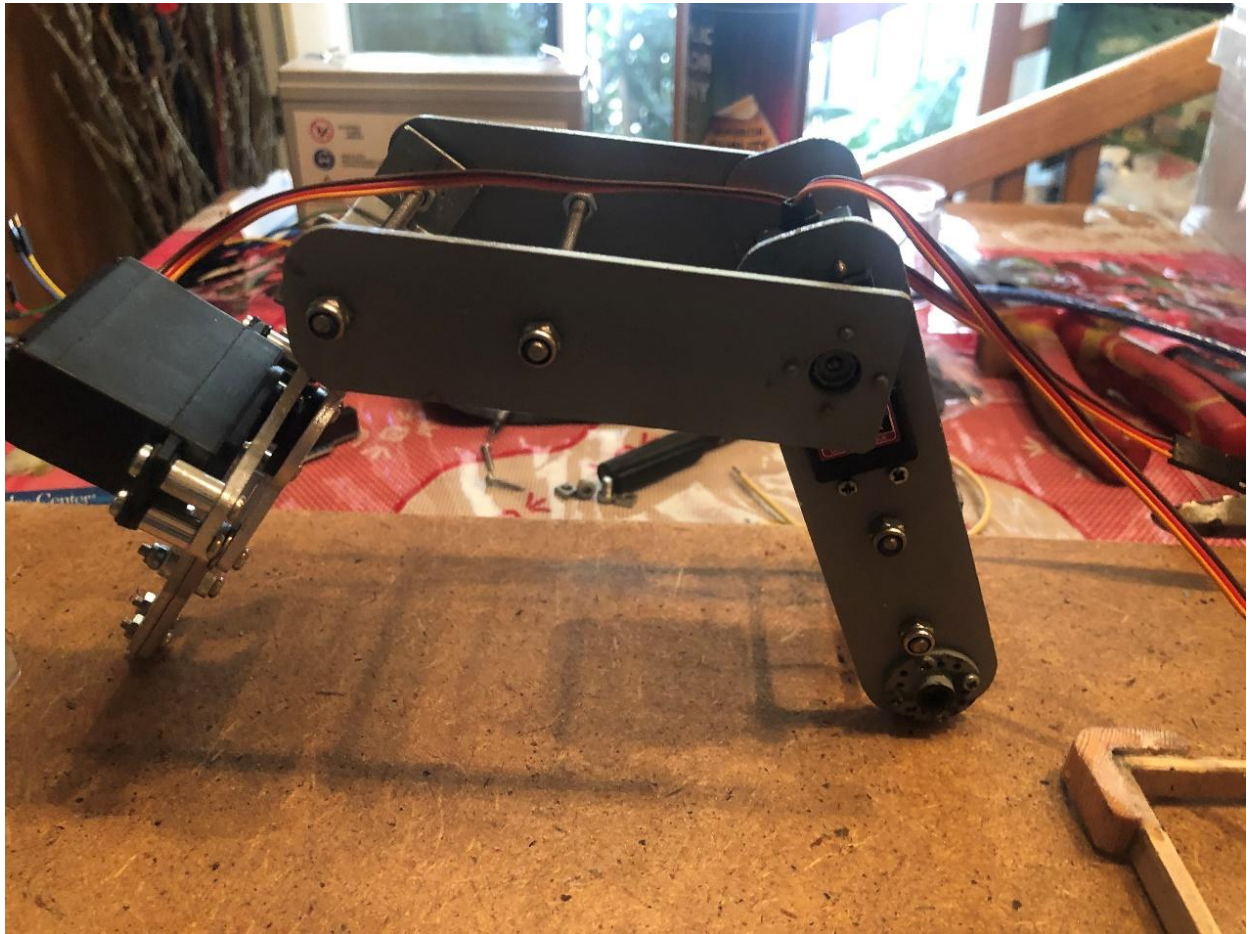
Εικόνα 36: Τοποθέτηση περιστρεφόμενης βάσης βραχίονα και βάσης σερβοκινητήρα.

Έπειτα εμφανίζεται η τοποθέτηση κινητήρα στην βάση του που μετατοπίζει τον βραχίονα σε κινήσεις μπρος και πίσω.



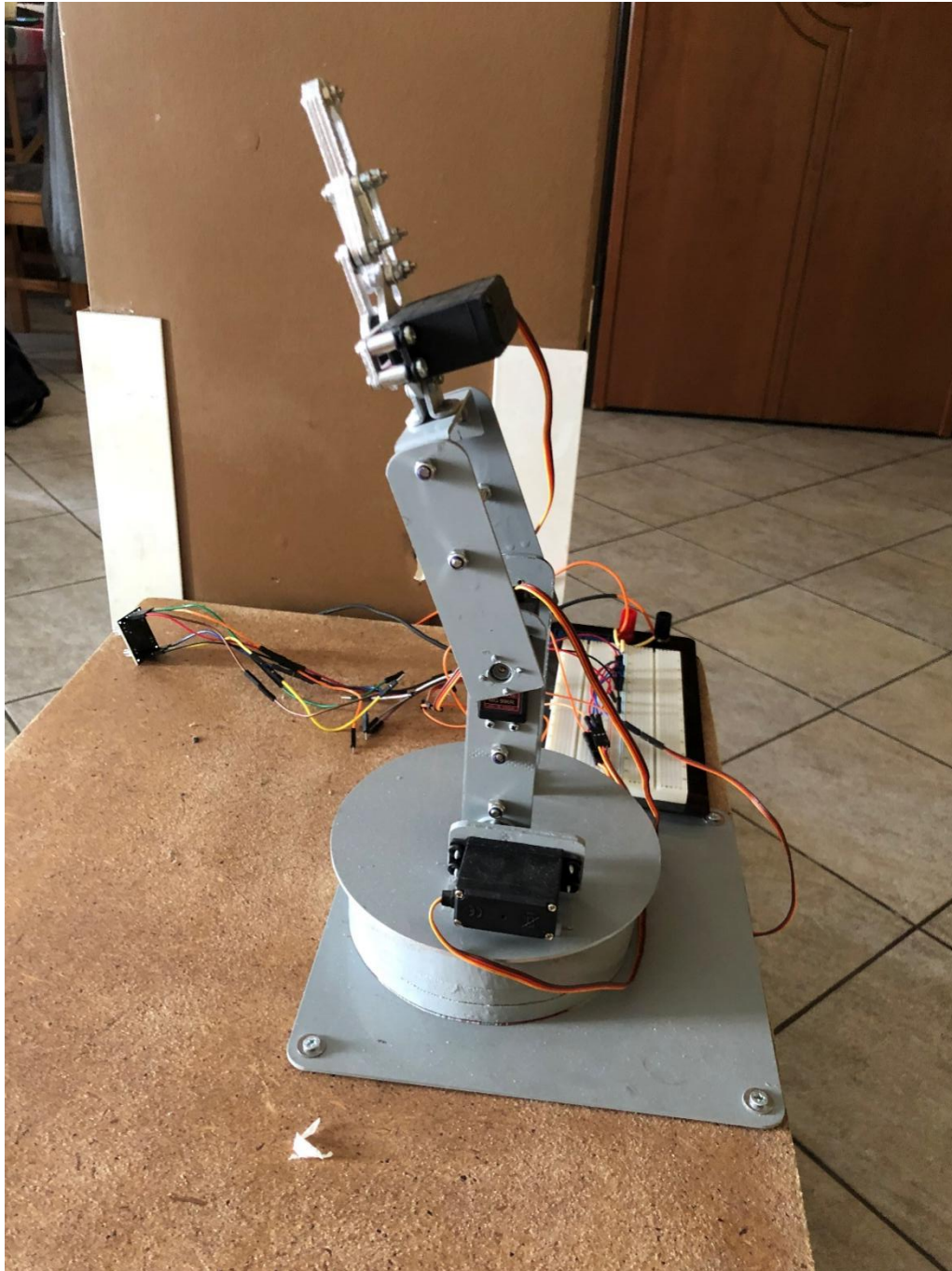
Εικόνα 37: Τελική μορφή βάσης βραχίονα.

Στο σημείο αυτό ενσωματώθηκαν ο σερβοκινητήρας στο πρώτο μπράτσο του βραχίονα για την κίνηση πάνω-κάτω. Επιπλέον, τοποθετήθηκε η αρπάγη μαζί με τον σερβοκινητήρα της, η βάση στερέωσης της, καθώς και οι ντίζες που ενώνουν και σταθεροποιούν τα μέταλλα μεταξύ τους.



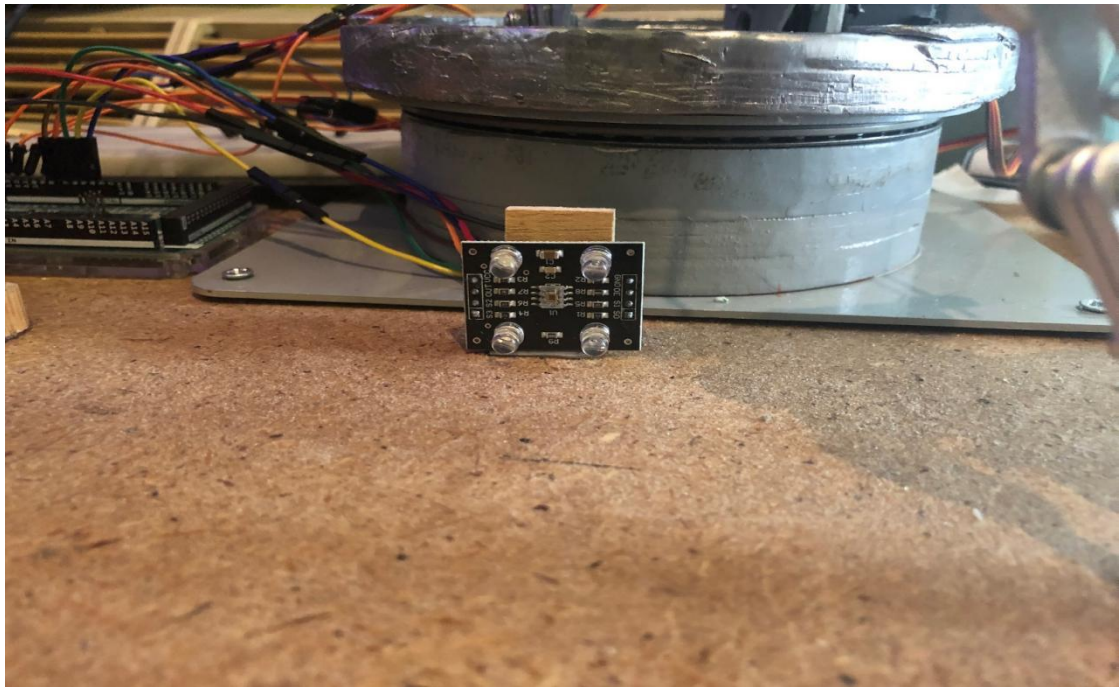
Εικόνα 38: Τελειοποιημένη μορφή μπράτσων, σερβοκινητήρων και αρπάγης.

Στην εικόνα εμφανίζεται η τελειοποιημένη μορφή του βραχίονα.



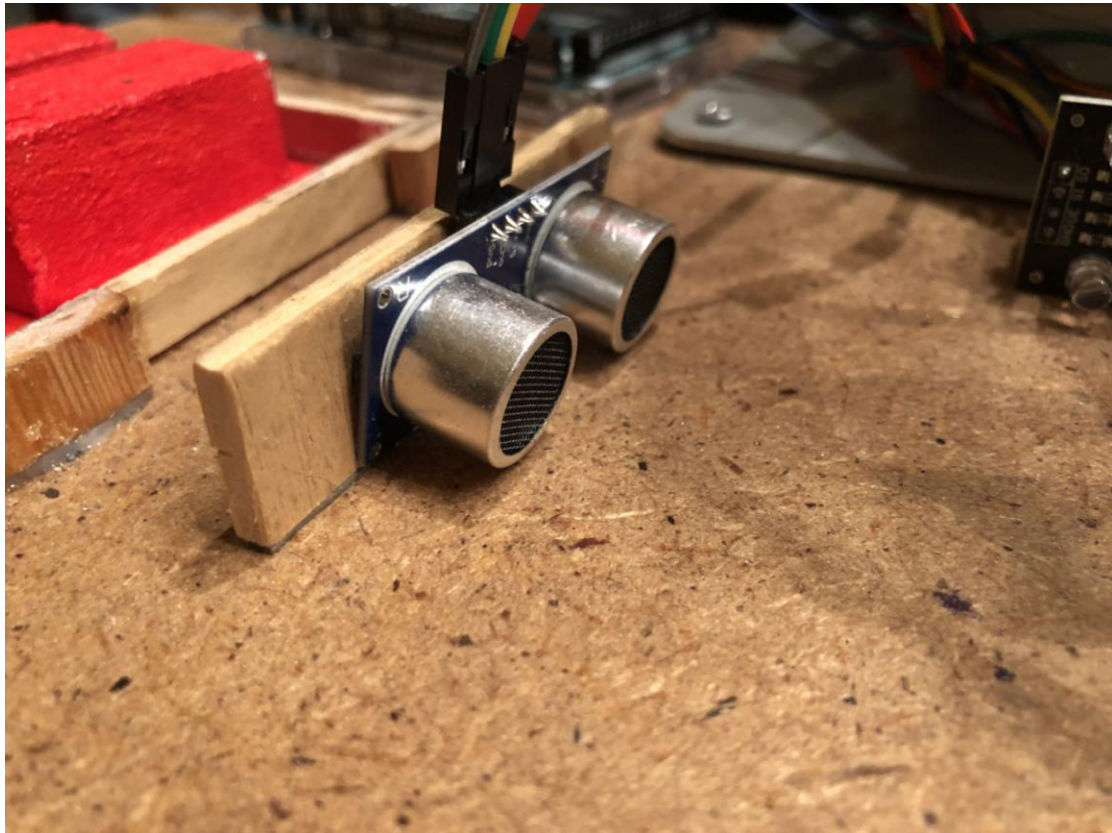
Εικόνα 39: Ο Βραχίονας.

Εδώ πραγματοποιήθηκε η τοποθέτηση και η στερέωση του αισθητήρα RGB (Red, Green, Blue).



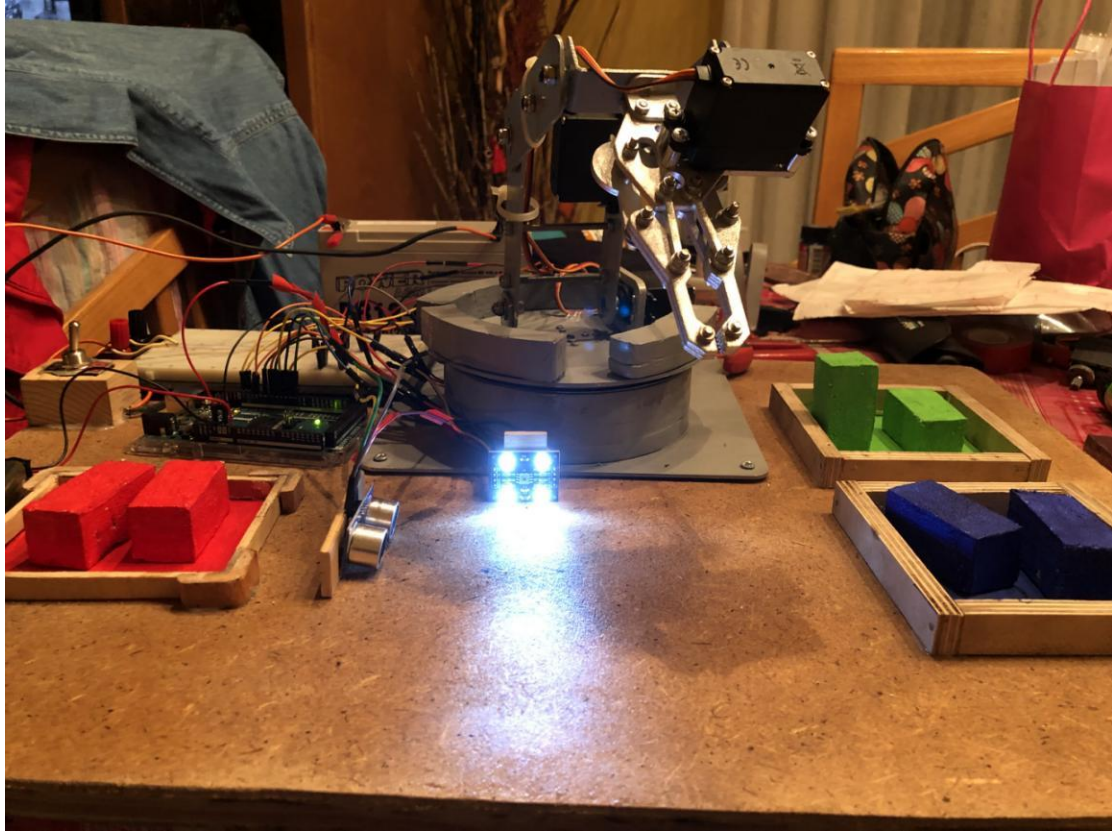
Εικόνα 40: Ενσωμάτωση αισθητήρα RGB.

Σε αυτό το σημείο πραγματοποιήθηκε η εγκατάσταση του αισθητήρα υπερήχων.



Εικόνα 41: Ο αισθητήρας υπερήχων.

Ο βραχίονας σε λειτουργία στην τελική του μορφή μαζί με τους αισθητήρες.

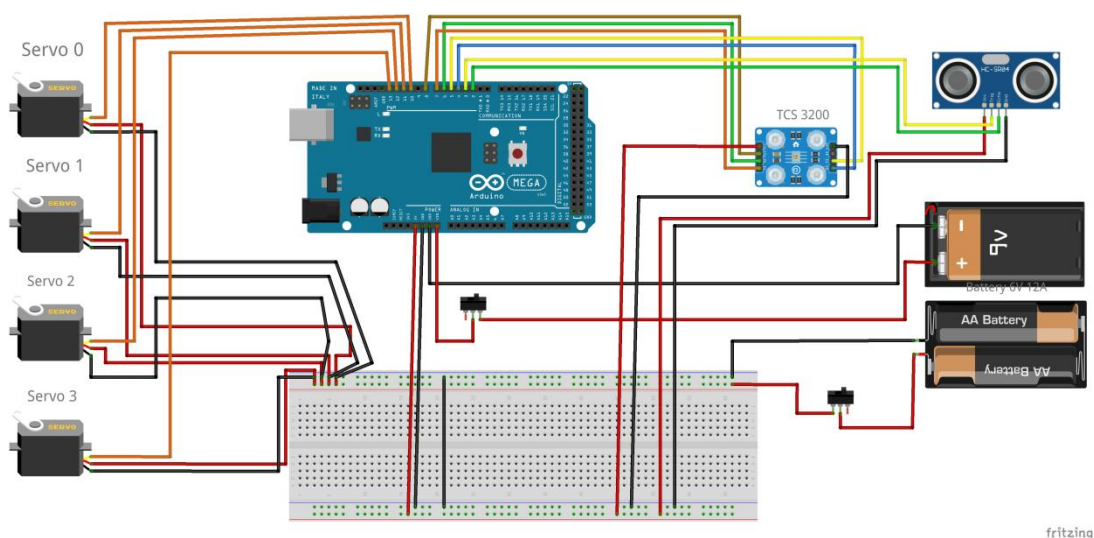


Εικόνα 42: Ο βραχίονας σε λειτουργία.

3.2.1 Σχεδιασμός ηλεκτρολογικού κυκλώματος

Για την δημιουργία του ηλεκτρολογικού σχεδίου του βραχίονα χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Fritzing. Ο λόγος που επιλέχθηκε το συγκεκριμένο λογισμικό είναι:

- Η δυνατότητα σχεδιασμού με εικονίδια ή ηλεκτρονικό σχέδιο.
- Προσφέρει μεγάλη ποικιλία πλακετών.
- Μεγάλη ποικιλία εξαρτημάτων.
- Πρόκειται για ένα δωρεάν λογισμικό.



Εικόνα 43: Το ηλεκτρολογικό σχέδιο.

Τα χρώματα των καλωδίων των σερβοκινητήρων είναι τρία: ένα πορτοκαλί που συνδέεται στην υποδοχή της πλακέτας που υποστηρίζει PWM σήμα, ένα κόκκινο της τάσης και ένα μαύρο καλώδιο της γείωσης.

Ο αισθητήρας RGB έχει οχτώ ακροδέκτες από τους οποίους θα χρησιμοποιηθούν οι επτά. Αυτοί είναι: ο ακροδέκτης Vcc που συνδέεται στο +5V, το Pinaki GND της γείωσης που συνδέεται αντίστοιχα στη θύρα της γείωσης καθώς και οι ακροδέκτες S1,S2, και Out που συνδέονται σε οποιαδήποτε ψηφιακή θύρα της πλακέτας. Αντίθετα οι ακροδέκτες S0 και S3 πρέπει η θύρα τους να υποστηρίζει σήμα PWM.

Ο αισθητήρας υπερήχων έχει τέσσερα pins εκ των οποίων τα δύο είναι για την τροφοδοσία του το Vcc και το GND συνδέονται στο +5V και της γείωσης αντίστοιχα. Οι ακροδέκτες Trig και Echo συνδέονται σε ψηφιακή θύρα που υποστηρίζει PWM σήμα.

Επίσης για την ορθή λειτουργία της κατασκευής και του κυκλώματος χρειάζεται κοινή γείωση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Ανάπτυξη κώδικα για τον Ρομποτικό Βραχίονα

Για την ανάπτυξη του κώδικα του βραχίονα και των αισθητήρων RGB και υπερήχων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Arduino IDE. Επίσης ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε για την αναγνώριση χρωμάτων ανακτήθηκε από το site <https://create.arduino.cc/projecthub/SurtrTech/color-detection-using-tcs3200-230-84a663> του προγραμματιστή SurtrTech και τροποποιήθηκαν τα νούμερα στις συναρτήσεις των χρωμάτων, ώστε να ταιριάζουν στις επιθυμητές απαιτήσεις των χρωμάτων. Επίσης ο κώδικας της συνάρτησης του αισθητήρα υπερήχων ανακτήθηκε από το site https://www.tutorialspoint.com/arduino/arduino_ultrasonic_sensor.htm?fbclid=IwAR0vVLW8UhbIT6VhNRViBgs6c1TmfREfvsweXmrtDrjhcA_TmVoMsM-bvHA#. Στην συνέχεια αναπτύχθηκε ο κώδικας για την κίνηση του βραχίονα. Παρακάτω παρουσιάζεται ολόκληρος ο κώδικας με επεξηγήσεις σε κάθε κομμάτι του.

```
Testrgb | Arduino 1.8.19
File Edit Sketch Tools Help

Testrgb $
1 #include <Servo.h> //συμπεριλαμβάνω την βιβλιοθήκη Servo.h για την λειτουργία των σερβοκινητήρων
2
3 Servo Servo11; // Δημιουργία των σερβοκινητήρων ως αντικείμενα και τα ονόματά τους
4 Servo Servo12;
5 Servo Servo13;
6 Servo Servo10;
7
8 #define s0 4 // Δήλωση των pins του RGB αισθητήρα στα αντίστοιχα pins του arduino
9 #define s1 5
10 #define s2 6
11 #define s3 7
12 #define out 8
13
14 const int pingPin = 3; // Δήλωση των Pins του αισθητήρα στις αντίστοιχες θύρες του arduino
15 const int echoPin = 2; //
16
17 int Red=0, Blue=0, Green=0; // Δήλωση μεταβλητών οι οποίες θα περιέχουν ακέραιους αριθμούς
18
19 void setup() // Αρχή της συνάρτησης Setup
20 {
21 Servo11.attach(11); // Δήλωση των σερβοκινητήρων στα αντίστοιχα pins
22 Servo12.attach(12);
23 Servo13.attach(13);
24 Servo10.attach(10);
25 pinMode(s0,OUTPUT);
26 pinMode(s1,OUTPUT);
27 pinMode(s2,OUTPUT);
28 pinMode(s3,OUTPUT);
29 pinMode(out,INPUT);
30
31 Serial.begin(9600); // Αρχικοποίηση της επικοινωνίας με το Serial Monitor με ρυθμό μετάδοσης 9600
32
33 digitalWrite(s0,HIGH); // Το s0 και το s1 να γράψουν στο Serial Monitor
34 digitalWrite(s1,HIGH);
35
36
37 arxi(); // Καλείται η συνάρτηση arxi η οποία ορίζει τις αρχικές θέσεις
38 }
39
40 void loop() // Από αυτό το σημείο ξεκινάει η κεντρική ροή του προγράμματος
41 {
42 if (distance() < 5){ // Καλείται η συνάρτηση distance
43
44
45 GetColors(); // Εκτέλεση της συνάρτησης Getcolors
```

Εικόνα 44: Εικόνα προγραμματισμού 1

```

Testrgb | Arduino 1.8.19
File Edit Sketch Tools Help
Testrgb $
46 // Ανάλογα τις τιμες του RGB που μας δίνει ο αισθητήρας μπορούμε να καθορίσουμε το χρώμα και να το εμφανίσουμε στο Serial Monitor.
47
48 if (Red <5 && Green <=15 && Blue <=5){ // Αν όλες οι τιμές είναι χαμηλές το αναγνωρίζει ως άσπρο.
49   Serial.println("White");
50 }
51 else if (Red<Blue && Red<=Green && Red<23){ // Αν η τιμή του κόκκινου είναι η χαμηλότερη και μικρότερη του 23 τότε το αναγνωρίζει ως κόκκινο.
52   gotoRed();
53 }
54 else if (Blue<Green && Blue<Red && Blue<20){ // Αν η τιμή του μπλε είναι η χαμηλότερη και μικρότερη απο 20 τότε το αναγνωρίζει ως μπλε
55   gotoBlue();
56 }
57 else if (Green<Red && Green<Blue && Green <= 8){ //Αν η τιμή του πράσινου είναι η χαμηλότερη και μικρότερη του 8 τότε το αναγνωρίζει ως πράσινο.
58   gotoGreen();
59 }
60 else{
61   Serial.println("Unknown"); // Αν το χρώμα δεν αναγνωρίζεται
62 }
63 }
64 delay(2000); //2s καθυστέρηση
65 }
66 }
67
68 int distance(){ // δημιουργία συνάρτησης για την μέτρηση της απόστασης του αντικειμένου
69   long duration, cm;
70   pinMode(pingPin, OUTPUT);
71   digitalWrite(pingPin, LOW);
72   delayMicroseconds(2);
73   digitalWrite(pingPin, HIGH);
74   delayMicroseconds(10);
75   digitalWrite(pingPin, LOW);
76   pinMode(echoPin, INPUT);
77   duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
78   cm = microsecondsToCentimeters(duration);
79   return cm;
80 }
81
82
83 long microsecondsToCentimeters(long microseconds) {
84   return microseconds / 29 / 2;
85 }
86
87 void moter10(int pane){
88
89   int prougonmeni = Servo10.read(); //Αποθηκεύω την προηγούμενη θέση του μοτέρ ως αναφορά
90   int i = Servo10.read(); //Αποθηκεύω την αρχική θέση του μοτέρ για μετακίνηση

```

Εικόνα 45: Εικόνα προγραμματισμού 2


```

Testrgb | Arduino 1.8.19
File Edit Sketch Tools Help
Testrgb $
91
92 if (i < pane){ //Εάν η τωρινή θέση είναι μικρότερη από την επιθυμητή
93 while (i < pane){ //Ξεκίνα
94 delay(25); //Με καθυστέρηση 0.025 του δευτερολέπτου
95 i++; //Πρόσθεσε 1 στην προηγούμενη θέση
96 Serial.print(Servo10.read()); //Ανέφερε το στην κονσόλα
97 Servo10.write(i); //Και πήγαινε
98 if (Servo10.read() == proigoumeni){ //Αλλά αν η τωρινή θέση είναι ίδια με την προηγούμενη
99 break; //Σταμάτα
100 }
101 proigoumeni = Servo10.read(); //Ανανέωσε την προηγούμενη
102 }
103 }
104 else if (i > pane){ //Εάν η τωρινή θέση είναι μεγαλύτερη από την επιθυμητή
105 while (i > pane){ //Ξεκίνα
106 delay(25); //Με καθυστέρηση 0.025 του δευτερολέπτου
107 i--; //Αφαίρεσε 1 στην προηγούμενη θέση
108 Serial.print(Servo10.read()); //Ανέφερε το στην κονσόλα
109 Servo10.write(i); //Και πήγαινε
110 if (Servo10.read() == proigoumeni){ //Αλλά αν η τωρινή θέση είναι ίδια με την προηγούμενη
111 break; //Σταμάτα
112 }
113 proigoumeni = Servo10.read(); //Ανανέωσε την προηγούμενη
114 }
115 }
116 }
117
118 void moter11(int pane){
119
120 int proigoumeni = Servo11.read(); //Αποθηκεύω την προηγούμενη θέση του μοτέρ ως αναφορά
121 int i = Servo11.read(); //Αποθηκεύω την αρχική θέση του μοτέρ για μετακίνηση
122
123 if (i < pane){ //Εάν η τωρινή θέση είναι μικρότερη από την επιθυμητή
124 while (i < pane){ //Ξεκίνα
125 delay(25); //Με καθυστέρηση 0.025 του δευτερολέπτου
126 i++; //Πρόσθεσε 1 στην προηγούμενη θέση
127 Serial.print(Servo11.read()); //Ανέφερε το στην κονσόλα
128 Servo11.write(i); //Και πήγαινε
129 if (Servo11.read() == proigoumeni){ //Αλλά αν η τωρινή θέση είναι ίδια με την προηγούμενη
130 break; //Σταμάτα
131 }
132 proigoumeni = Servo11.read(); //Ανανέωσε την προηγούμενη
133 }
134 }
135 else if (i > pane){ //Εάν η τωρινή θέση είναι μεγαλύτερη από την επιθυμητή

```

Εικόνα 46: Εικόνα προγραμματισμού 3

```

Testrgb | Arduino 1.8.19
File Edit Sketch Tools Help
Testrgb $
136 while (i > pane){ //Ξεκίνα
137     delay(25); //Με καθυστέρηση 0.025 του δευτερολέπτου
138     i--; //Αφαίρεσε 1 στην προηγούμενη θέση
139     Serial.print(Servol1.read()); //Ανέφερε το στην κονσόλα
140     Servol1.write(i); //Και πήγαινε
141     if (Servol1.read() == proigoumeni){ //Αλλά αν η τωρινή θέση είναι ίδια με την προηγούμενη
142         break; //Σταμάτα
143     }
144     proigoumeni = Servol1.read(); //Ανανέωσε την προηγούμενη
145 }
146 }
147 }
148
149 void moter12(int pane){
150
151 int proigoumeni = Servol2.read(); //Αποθηκεύω την προηγούμενη θέση του μοτέρ ως αναφορά
152 int i = Servol2.read(); //Αποθηκεύω την αρχική θέση του μοτέρ για μετακίνηση
153
154 if (i < pane){ //Εάν η τωρινή θέση είναι μικρότερη από την επιθυμητή
155     while (i < pane){ //Ξεκίνα
156         delay(25); //Με καθυστέρηση 0.025 του δευτερολέπτου
157         i++; //Πρόσθεσε 1 στην προηγούμενη θέση
158         Serial.print(Servol2.read()); //Ανέφερε το στην κονσόλα
159         Servol2.write(i); //Και πήγαινε
160         if (Servol2.read() == proigoumeni){ //Αλλά αν η τωρινή θέση είναι ίδια με την προηγούμενη
161             break; //Σταμάτα
162         }
163         proigoumeni = Servol2.read(); //Ανανέωσε την προηγούμενη
164     }
165 }
166 else if (i > pane){ //Εάν η τωρινή θέση είναι μεγαλύτερη από την επιθυμητή
167     while (i > pane){ //Ξεκίνα
168         delay(25); //Με καθυστέρηση 0.025 του δευτερολέπτου
169         i--; //Αφαίρεσε 1 στην προηγούμενη θέση
170         Serial.print(Servol2.read()); //Ανέφερε το στην κονσόλα
171         Servol2.write(i); //Και πήγαινε
172         if (Servol2.read() == proigoumeni){ //Αλλά αν η τωρινή θέση είναι ίδια με την προηγούμενη
173             break; //Σταμάτα
174         }
175         proigoumeni = Servol2.read(); //Ανανέωσε την προηγούμενη
176     }
177 }
178 }
179
180 void moter13(int pane){

```

Εικόνα 47: Εικόνα προγραμματισμού 4

```

Testrgb | Arduino 1.8.19
File Edit Sketch Tools Help
Testrgb $
181
182 int proigoumeni = Servo13.read(); //Αποθηκεύω την προηγούμενη θέση του μοτέρ ως αναφορά
183 int i = Servo13.read(); //Αποθηκεύω την αρχική θέση του μοτέρ για μετακίνηση
184
185 if (i < pane){ //Εάν η τωρινή θέση είναι μικρότερη από την επιθυμητή
186 while (i < pane){ //Ξεκίνα
187 delay(15); //Με καθυστέρηση 0.015 του δευτερολέπτου
188 i++; //Πρόσθεσε 1 στην προηγούμενη θέση
189 Serial.print(Servo13.read()); //Ανέφερε το στην κονσόλα
190 Servo13.write(i); //Και πήγαινε
191 if (Servo13.read() == proigoumeni){ //Αλλά αν η τωρινή θέση είναι ίδια με την προηγούμενη
192 break; //Σταμάτα
193 }
194 proigoumeni = Servo13.read(); //Ανανέωσε την προηγούμενη
195 }
196 }
197 else if (i > pane){ //Εάν η τωρινή θέση είναι μεγαλύτερη από την επιθυμητή
198 while (i > pane){ //Ξεκίνα
199 delay(15); //Με καθυστέρηση 0.015 του δευτερολέπτου
200 i--; //Αφαίρεσε 1 στην προηγούμενη θέση
201 Serial.print(Servo13.read()); //Ανέφερε το στην κονσόλα
202 Servo13.write(i); //Και πήγαινε
203 if (Servo13.read() == proigoumeni){ //Αλλά αν η τωρινή θέση είναι ίδια με την προηγούμενη
204 break; //Σταμάτα
205 }
206 proigoumeni = Servo13.read(); //Ανανέωσε την προηγούμενη
207 }
208 }
209 }
210
211 void arxi(){ // Δήλωση παραμέτρων της συνάρτησης arxi
212 moter10(95);
213 moter12(80);
214 moter11(120);
215 moter13(85);
216 }
217
218 void gotoRed(){ // Δήλωση της συνάρτησης κίνησης gotoRed
219 Serial.println("Red");
220 moter10(75);
221 moter13(20);
222 moter11(110);
223 moter12(110);
224 moter13(76);
225 moter12(90);

```

Εικόνα 48: Εικόνα προγραμματισμού 5

```
Testrgb | Arduino 1.8.19
File Edit Sketch Tools Help

Testrgb $
226   moter11(120);
227   moter10(25);
228   moter12(70);
229   moter11(100);
230   moter13(40);
231   moter11(110);
232   moter13(85);
233   arxi();
234 }
235
236 void gotoGreen() { // Δήλωση της συνάρτησης κίνησης gotoGreen
237
238   Serial.println("Green");
239   moter10(75);
240   moter11(110);
241   moter13(40);
242   moter12(110);
243   moter13(75);
244   moter12(100);
245   moter11(120);
246   moter10(160);
247   moter12(95);
248   moter11(110);
249   moter13(40);
250   moter11(120);
251   arxi();
252 }
253
254 void gotoBlue() { // Δήλωση της συνάρτησης κίνησης gotoBlue
255
256   Serial.println("OlaMple");
257   moter10(75);
258   moter11(110);
259   moter13(40);
260   moter12(110);
261   moter13(75);
262   moter12(80);
263   moter11(120);
264   moter10(125);
265   moter12(65);
266   moter11(90);
267   moter13(40);
268   moter11(110);
269   arxi();
270 }
```

Εικόνα 49: Εικόνα προγραμματισμού 6

```
Testrgb | Arduino 1.8.19
File Edit Sketch Tools Help
Testrgb $
241 moter13(40);
242 moter12(110);
243 moter13(75);
244 moter12(100);
245 moter11(120);
246 moter10(160);
247 moter12(95);
248 moter11(110);
249 moter13(40);
250 moter11(120);
251 arxi();
252 }
253
254 void gotoBlue() { // Δήλωση της συνάρτησης κίνησης gotoBlue
255
256 Serial.println("OlaMple");
257 moter10(75);
258 moter11(110);
259 moter13(40);
260 moter12(110);
261 moter13(75);
262 moter12(80);
263 moter11(120);
264 moter10(125);
265 moter12(65);
266 moter11(90);
267 moter13(40);
268 moter11(110);
269 arxi();
270 }
271
272 void GetColors() { // Δήλωση της συνάρτησης του αισθητήρα για το Getcolors
273
274 delay(500);
275 digitalWrite(s2, LOW);
276 digitalWrite(s3, LOW);
277 Red = pulseIn(out, digitalRead(out) == HIGH ? LOW : HIGH);
278 delay(20);
279 digitalWrite(s3, HIGH);
280 Blue = pulseIn(out, digitalRead(out) == HIGH ? LOW : HIGH);
281 delay(20);
282 digitalWrite(s2, HIGH);
283 Green = pulseIn(out, digitalRead(out) == HIGH ? LOW : HIGH);
284 delay(20);
285 }
```

Εικόνα 50: Εικόνα προγραμματισμού 7

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:Συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης

Γίνεται κατανοητό πως η αναβάθμιση της τεχνολογίας στον τομέα της γεωργίας έχει προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα και οδηγεί σε τεχνολογικές και παραγωγικές αλλαγές. Επιπλέον, προβλέπεται πως θα προσφέρει και λύσεις σε ζητήματα περιβαλλοντικής φύσεως (π.χ. έξυπνη άρδευση και κλιματική αλλαγή), συμβάλλοντας παράλληλα στη βελτίωση της παραγωγικότητας του αγροτικού τομέα (Αγγελάκης, 2020[7]). Η παρούσα εργασία είχε ως σκοπό την αξιοποίηση των τεχνολογικών ευρημάτων για την κατασκευή αυτοματοποιημένων μηχανών ώστε να εξυπηρετούν σε μεγαλύτερο βαθμό τις ανάγκες του τομέα της γεωργίας απασχολώντας όσο το δυνατόν λιγότερο ανθρώπινο δυναμικό.

Κατά την διάρκεια της κατασκευής του βραχίονα παρουσιάστηκαν αρκετές δυσκολίες και προβλήματα κυρίως στην συναρμολόγηση του βραχίονα. Τα περισσότερα αντιμετωπίστηκαν μέσω πειραματισμών και μελέτης. Υπάρχει το περιθώριο βελτίωσης και αναβάθμισης της κατασκευής όσον αφορά την λειτουργικότητα και την αποδοτικότητα της αλλά και ανάπτυξη του κώδικα της για μεγαλύτερη ακρίβεια. Αξίζει να σημειωθεί ως πρόταση βελτίωσης η αξιοποίηση κάμερας αντί για αισθητήρα(RGB) για την αναγνώριση χρωμάτων επειδή θα δώσει την δυνατότητα αναγνώρισης μεγαλύτερου εύρους χρωμάτων. Επιπλέον θα μπορούσε να προστεθεί ένας ακόμα σερβοκινητήρας μεταξύ του σημείου σύνδεσης της αρπάγης και του βραχίονα ώστε να δημιουργηθεί η περιστροφική κίνηση του καρπού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Βιβλιογραφία

[1] Balafoutis, A., Beck, B., Fountas, S., Vangeyte, J., van der Wal, T., Soto-Embodas, I., Gomez-Barbero, M., Barnes, A.P., Eory, V. (2017) “Precision agriculture technologies positively contributing to GHG emissions mitigation, farm productivity and economics”, Sustainability 9 (8), 1339.

[2] <https://blog.farmacon.gr/katigories/texniki-arthrografia/georgia-akriveias/item/2008-eksypni-georgia-simainei-aftomatopoiimeni-kai-syndedemeni-georgia?fbclid=IwAR1eU53z7oz5cdwaGocxyidoWs8iBbYmJarsafRO38Esy32nREU9loKleAo>

[3] <https://robotics.uom.gr/%CE%84%CE%B9-%CE%B5%CE%AF%CE%BD%CE%B1%CE%B9-%CE%AD%CE%BD%CE%B1-%CE%81%CE%BF%CE%BC%CF%80%CF%8C%CF%84/>

[4] Γέμτος, Θ.Α., Φουντάς, Σ., Μαρκινός, Α., και Blackmore, S. (2003) «Γεωργία ακριβείας: προοπτικές εφαρμογής στην Ελλάδα και στην νότια Ευρώπη», Συνέδριο ΕΓΜΕ, 2003, Αθήνα.

[5] Καλομοίρος, Ι., (2015). Εισαγωγή στους μικροελεγκτές PIC, Σημειώσεις για το μάθημα “Ενσωματωμένα συστήματα”. ΤΕΙ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε., Αθήνα. Ανακτήθηκε από http://teachers.cm.ihu.gr/kalomirois/Mtptx/e-books/Embedded_PIC_new.pdf

[6] <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B9%CE%BA%CF%81%CE%BF%CE%B5%CE%BB%CE%B5%CE%B3%CE%BA%CF%84%CE%AE%CF%82>

[7] Αγγελάκης Α. (2020), «Ψηφιακός μετασχηματισμός και γεωργική παραγωγή: κινητήριοι παράγοντες, επιδράσεις, προκλήσεις και προϋποθέσεις υιοθέτησης νέων τεχνολογικών συστημάτων», Ερευνητικά Κείμενα ΙΜΕ ΓΣΕΒΕΕ 17/2020, Αθήνα: ΙΜΕ ΓΣΕΒΕΕ. Ανακτήθηκε από https://imegsevee.gr/wp-content/uploads/2020/06/EK_N17_%CE%93%CE%B5%CF%89%CF%81%CE%B3%CE%AF%CE%B1-%CE%B1%CE%BA%CF%81%CE%B9%CE%B2%CE%B5%CE%AF%CE%B1%CF%82.pdf

