



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας
εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων**

**Ζαχαρία Ναταλία
Α.Μ. 71345224**

**Επιβλέποντες Καθηγητές: Βογιατζής Ιωάννης, Καθηγητής
Καμπούρης Χρήστος, Συνεργάτης**

Αθήνα, Μάιος 2022



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF ENGINEERING
Department of Informatics and Computer Engineering

DIPLOMA THESIS

**Automatic, rotary – foldable mechatronic arm with capability
of movement and face detection controlled via microcontroller**

Zacharia Natalia
I.D. 71345224

Supervisors: Voyiatzis Ioannis, Professor
Kabouris Chris, Adjunct

Athens, May 2022



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας
εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων**

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

A/a	ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
	Δρ. Βογιατζής Ιωάννης	Καθηγητής	
	Καμπούρης Χρήστος	Συνεργάτης	
	Ματιάτος Π. Σπυρίδων	Λέκτορας Εφαρμογών	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Ζαχαρία Ναταλία του Ιωάννη, με αριθμό μητρώου 71345224 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Υπολογιστών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Η Δηλούσα

Ζαχαρία Ναταλία



Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την αρωγή τους στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Καμπούρη Χρήστο για το άμεσο ενδιαφέρον του στην ιδέα μου, την προτροπή του για την εκτέλεση της και το χρόνο που διέθεσε.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς τον συμφοιτητή και συνεργάτη μου Τερζόγλου Χρήστο που δέχτηκε αδιαμαρτύρητα και με χαρά να φέρει εις πέρας το δεύτερο βασικό κομμάτι της διπλωματικής που αφορά το σύστημα αναγνώρισης και εντοπισμού προσώπων, διαθέτοντας και δίνοντας μεγάλη υπομονή και προσοχή στα ζητούμενα μου.

Έπειτα, θα ήθελα να εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ και την ευγνωμοσύνη μου στον καθηγητή Γεωργαρά Ιωάννη της σχολής Εφαρμοσμένων Τεχνών ΑΚΤΟ που χωρίς τη συμβολή του δεν θα είχε τυπωθεί και βαφτεί με τα σωστά υλικά, ώστε να διατηρηθεί, ο βραχίονας.

Τέλος, δε θα μπορούσα να παραλείψω τον συμφοιτητή και φίλο μου Μορφωνιό Ιωάννη που ήταν δίπλα μου σε κάθε βήμα και άκουγε τους προβληματισμούς μου και με συμβούλευε.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ανήκει στη κατηγορία «Έξυπνο σπίτι» και δημιουργήθηκε με σκοπό τον έλεγχο και την παρακολούθηση ενός δωματίου, καθώς και την προστασία του από επίδοξους ληστές.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το ρομπότ χωρίζεται, για την πλήρη και σωστή λειτουργία και κατανόηση του, σε δύο διπλωματικές: α) Αυτόματος περιστροφικός – αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων και β) Ανάπτυξη λογισμικού αναγνώρισης και παρακολούθησης προσώπων μέσω κάμερας τοποθετημένης σε περιστροφικό – αναδιπλούμενο βραχίονα ελεγχόμενο από μικροϋπολογιστή του συμφοιτητή και συνεργάτη Τερζόγλου Χρήστου.

Ο σχεδιασμός του ρομποτικού βραχίονα, πραγματοποιήθηκε και μοιράστηκε στο διαδίκτυο από έναν Ολλανδό Μηχανολόγο Μηχανικό ονόματι Yvo de Haas στο πλαίσιο ενός διαγωνισμού για φωτιστικά. Βασίστηκε σε ένα φανταστικό χαρακτήρα, από το παιχνίδι «Portal 2», ονόματι GLaDOS (Genetic Lifeform and Disk Operating System), το οποίο έχει τον απόλυτο έλεγχο ενός κέντρου επιστημονικής έρευνας.

Ο βραχίονας είναι 4 περιστροφικών βαθμών ελευθερίας (DOF), διαθέτοντας 4 κινητήρες που το φέρνουν στη ζωή. Ο κεντρικός κινητήρας βρίσκεται στη βάση της και τον περιστρέφει 360° δίνοντας του ολοκληρωμένη ορατότητα σε ένα χώρο. Διαθέτει τρεις μικρούς σερβοκινητήρες 120° στην πλάτη, στο λαιμό και στο κεφάλι που προσθέτουν επιπρόσθετες κινήσεις και εμβέλεια στη κάμερα που βρίσκεται τοποθετημένη στο κεφάλι της. Στη βάση του, εξωτερικά, υπάρχουν 4 αισθητήρες κίνησης (PIR sensors), οι οποίοι στέλνουν σήμα, αν αντιληφθούν κίνηση, στον μικροελεγκτή που κουνάει τον κεντρικό κινητήρα δεξιά - αριστερά προς την κατεύθυνση του αισθητήρα που δήλωσε κίνηση και ενεργοποιούν την κάμερα. Στην περίπτωση που η κάμερα εντοπίσει κάποιο πρόσωπο, αναλαμβάνει τον έλεγχο του αυτόματου και καθοδηγεί τους κινητήρες, ώστε να έχει πάντα στο κέντρο της αυτό το πρόσωπο. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, η κάμερα καταγράφει βίντεο αν το πρόσωπο δεν έχει αναγνωριστεί, αλλιώς απλά ακολουθεί το πρόσωπο μέσα στο χώρο μέχρις ότου να εξαφανιστεί από το πεδίο της κάμερας και να ξαναπάρουν τον έλεγχο οι αισθητήρες. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι για την καλύτερη οπτική εμβέλεια του ρομπότ μπορεί να τοποθετηθεί στη μέση του δωματίου αντικαθιστώντας το υπάρχων φωτιστικό, διαθέτοντας κυκλικά στη βάση 8 δυνατούς λαμπτήρες που φωτίζουν επαρκώς το χώρο και μπορούν να ελεγχθούν από κουμπί. Επιπλέον το ρομπότ είναι ικανό να λειτουργεί σε απόλυτο σκοτάδι. Με το που υπάρξει κίνηση και η φωτοαντίσταση αντιληφθεί σκοτάδι, στέλνεται σήμα στα φώτα να ανοίξουν ώστε να συνεχίσει η κάμερα την αναγνώριση ή την παρακολούθηση προσώπου. Τέλος, όλες οι παραπάνω διαδικασίες γίνονται πράξη μέσω ενός Arduino Pro Micro, που χειρίζεται όλα τα

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

ηλεκτρονικά εξαρτήματα του βραχίονα, συνδεδεμένο σειριακά σε ένα Raspberry Pi 4, που διαχειρίζεται όλες τις λειτουργίες της κάμερας.

Λέξεις Κλειδιά: Ρομποτικός Βραχίονας, Arduino, 4DOF, PIR sensors, GLaDOS, Φωτιστικό

ABSTRACT

This thesis belongs to the category of technology "Smart home" and was created with the goal of controlling and monitoring a room, as well as protect it from aspiring robbers.

It is important to mention that the robot is divided, for its complete and correct function and understanding, into two thesis: a) Automatic rotary - folded 4DOF robotic arm for motion detection and face recognition and b) Development of software for face recognition and tracking via camera onto a rotary - folded robotic arm controlled by microcomputer of classmate and collaborator Terzoglou Christos.

The design of the robotic arm was carried out and shared on the internet by a Dutch Mechanical Engineer named Yvo de Haas as part of a competition for lighting fixtures. It was based on a fictional character from the game "Portal 2", called GLaDOS (Genetic Lifeform and Disk Operating System), which has complete control over a scientific research center.

The robotic arm is 4 rotary degrees of freedom (DOF), with 4 motors that bring it to life. The main motor is located at its base and rotates it 360° giving it complete visibility of a space. It has three small 120° servomotors on its back, neck and on its head that add extra movement and range to the camera mounted on its head. At its base, externally, there are 4 motion sensors (PIR sensors) that if they perceive motion send a signal to the microcontroller that moves the main motor right or left in the direction of the motion sensor that was triggered and they activate the camera. In case the camera catches the face of a person, it takes control of the automata and guides the motors so that it always has that face in the center. During this process if the person has not been identified the camera records a video, otherwise it simply follows the person into the room until the face disappears from the camera's view and the sensors regain control. It is noteworthy that for the best visual range of the robot, it can be placed in the middle of the room replacing the existing lamp, having in its base 8 powerful leds that adequately illuminate the space and can be controlled by a button. In addition, the robot can operate in complete darkness. As soon as there is movement and the photoresistor detects darkness, it sends a signal to the lights to turn on so that the camera can continue the face recognition or the tracking. Finally, all the above procedures are performed via an Arduino Pro Micro, which handles all the electronic components of the robotic arm, serially connected to a Raspberry Pi 4, which manages all the functions of the camera.

Keywords: Robotic Arm, Arduino, 4DOF, PIR sensors, GLaDOS, Lamp

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	1
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ABSTRACT.....	6
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	9
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	11
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	13
1.1 Σκοπός Διπλωματικής Εργασίας	13
1.2 Ανάλυση Λειτουργιών	13
1.3 Κόστος Υλοποίησης	16
Κεφάλαιο 2: Μηχανικό Σχέδιο και Κατασκευή	19
2.1 Τι είναι η GLaDOS	19
2.2 Αρχικό Σχέδιο.....	20
2.3 Σχεδίαση σε περιβάλλον CAD.....	20
2.4 Παραμετροποιήσεις	22
2.5 Υλοποίηση.....	24
2.5.1 3D Εκτύπωση	25
2.5.2 Συναρμολόγηση.....	27
Κεφάλαιο 3: Μαθηματική Ανάλυση	31
3.1 Ορθή κινηματική ρομποτικού βραχίονα.....	31
3.2 Μέθοδος Denavit-Hartenberg.....	31
3.3 Παράδειγμα	34
Κεφάλαιο 4: Υλικός εξοπλισμός	35
4.1 Arduino Pro Micro (Leornado)	35
4.2 Κινητήρες	37
4.2.1 Σερβοκινητήρας 9g FS90.....	38
4.2.2 Σερβοκινητήρας Συνεχόμενης Περιστροφής 360° DS04-NFC	39
4.3 Περιστροφικός Κωδικοποιητής.....	41
4.4 Αισθητήρες Κίνησης PIR.....	44
4.5 Λειτουργία Φωτιστικού.....	47
4.5.1 Λαμπτήρες	48

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

4.5.2 Φωτοαντίσταση LDR 5mm.....	48
4.5.3 Ρελέ (Relay)	49
4.6 Τροφοδοσία.....	51
4.6.1 Τροφοδοτικό.....	52
4.6.2 Step-down Μετατροπέας (Buck converter)	52
4.6.3 Πλακέτα Τροφοδοσίας.....	53
4.7 Συνδεσμολογία.....	53
Κεφάλαιο 5: Λογισμικό	57
5.1 Κώδικας Arduino.....	57
5.1.1 Arduino Ide.....	57
5.1.2 Ανάλυση Κώδικα	58
5.2 Προσθήκη Raspberry Pi.....	62
5.2.1 Raspberry Pi, Κάμερα και Σειριακή Επικοινωνία	63
5.2.2 Ανάλυση Κώδικα	65
Κεφάλαιο 6: Προβλήματα και Μελλοντικές Επεκτάσεις.....	67
6.1 SWOT Ανάλυση.....	67
6.2 Προβλήματα και Λύσεις.....	68
Βιβλιογραφία	70

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Διάγραμμα ροής όλων των λειτουργιών της GLaDOS.....	15
Εικόνα 2.1: Η GLaDOS όπως εμφανίζεται στο παιχνίδι Portal.....	19
Εικόνα 2.2: Η GLaDOS από διαφορετικές οπτικές γωνίες σε assembly μορφή στο Solidworks.....	22
Εικόνα 2.3: Μηχανολογικό σχέδιο του couple κομματιού.....	23
Εικόνα 2.4: Τελικό σχέδιο του couple στο περιβάλλον Solidworks.....	23
Εικόνα 2.5: Μηχανολογικό σχέδιο του gear holder κομματιού.....	24
Εικόνα 2.6: Τελικό σχέδιο του gear holder στο περιβάλλον Solidworks.....	24
Εικόνα 2.7: Οι εκτυπωτές Prusa i3 Hephestos 2 και Moai Laser SLA Printer.....	25
Εικόνα 2.8: Όλα τα κομμάτια με PLA του ρομπότ πριν τη συναρμολόγηση.....	26
Εικόνα 2.9: Τα κομμάτια Couple και Gear_holder εκτυπωμένα από ρητίνη.....	27
Εικόνα 2.10: Ολοκληρωμένη συναρμολόγηση της βάσης του ρομπότ.....	28
Εικόνα 2.11: Οι 3 περιστροφικοί άξονες στη βάση.....	28
Εικόνα 2.12: Βάση με Mounting plates.....	29
Εικόνα 2.13: Ολοκληρωμένη συναρμολόγηση του σώματος του ρομπότ.....	29
Εικόνα 2.14: Ένωση βάσης και σώματος της GLaDOS.....	30
Εικόνα 3.1: Συστήματα συντεταγμένων της GLaDOS.....	32
Εικόνα 4.1: Το Arduino Pro Micro και οι ακροδέκτες του.....	36
Εικόνα 4.2: Τα μέρη ενός σερβοκινητήρα συνεχόμενου ρεύματος (DC).....	37
Εικόνα 4.3: Ο Σερβοκινητήρας 9g FS90 και τα χαρακτηριστικά του.....	38
Εικόνα 4.4: Ο Σερβοκινητήρας Συνεχόμενης Περιστροφής 360° DS04-NFC και τα χαρακτηριστικά του.....	39
Εικόνα 4.5: Διαφορά εμβέλειας σερβοκινητήρων.....	39
Εικόνα 4.6: Παλμικά σήματα των κινητήρων συνεχόμενης περιστροφής.....	40
Εικόνα 4.7: Θέσεις κινητήρων στο αυτόματο.....	41
Εικόνα 4.8: Τύποι περιστροφικών κωδικοποιητών.....	42
Εικόνα 4.9: Ο περιστροφικός κωδικοποιητής KY-040 και τα χαρακτηριστικά του.....	42
Εικόνα 4.10: Ο δίσκος του κωδικοποιητή και οι ακίδες του.....	43
Εικόνα 4.11: Τετραγωνικοί παλμοί των σημάτων εξόδου.....	43
Εικόνα 4.12: Ο κωδικοποιητής και ο άξονας περιστροφής του.....	44
Εικόνα 4.13: Ο HC-SR501 PIR και τα εξαρτήματά του.....	44
Εικόνα 4.14: Τρόπος λειτουργίας των PIR αισθητήρων.....	45
Εικόνα 4.15: Ενεργοποίηση λαμπτήρων περιμετρικά της βάσης.....	47
Εικόνα 4.16: Οι λαμπτήρες και τα χαρακτηριστικά τους.....	48
Εικόνα 4.17: Η φωτοαντίσταση και τα χαρακτηριστικά της.....	48

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

Εικόνα 4.18: Το ρελέ και τα χαρακτηριστικά του.....	49
Εικόνα 4.19: Τα εξαρτήματα και το κύκλωμα ενός ρελέ.....	50
Εικόνα 4.20: Κύκλωμα όλων των βημάτων μετατροπής 230V(AC) σε 5V(DC).....	51
Εικόνα 4.21: Το τροφοδοτικό και τα χαρακτηριστικά του.....	52
Εικόνα 4.22: Ο step-down μετατροπέας και τα χαρακτηριστικά του.....	52
Εικόνα 4.23: Πλακέτα τροφοδοσίας.....	53
Εικόνα 4.24: Σχηματικό διάγραμμα κυκλωμάτων της GLaDOS.....	54
Εικόνα 5.1: Επιλογή πλακέτας Arduino στο IDE.....	57
Εικόνα 5.2: Δομή προγραμμάτων Arduino.....	58
Εικόνα 5.3: Δήλωση ακροδεκτών των στοιχείων.....	59
Εικόνα 5.4: Συνάρτηση ελέγχου λαμπτήρων.....	60
Εικόνα 5.5: Κώδικας λειτουργίας κωδικοποιητή.....	60
Εικόνα 5.6: Θέσεις PIRs στην βάση του ρομπότ και τιμές κωδικοποιητή.....	61
Εικόνα 5.7: Παλμοί κίνησης του κινητήρα.....	61
Εικόνα 5.8: Αλγόριθμος περιστροφής κινητήρα.....	62
Εικόνα 5.9: Raspberry Pi 4 Model B.....	63
Εικόνα 5.10: Η κάμερα και τα χαρακτηριστικά της.....	64
Εικόνα 5.11: Σειριακή επικοινωνία μεταξύ Raspberry Pi και Arduino.....	64
Εικόνα 5.12: Ανταλλαγή δεδομένων.....	65
Εικόνα 5.13: Αλγόριθμος λειτουργίας κινητήρων σε συνεργασία με τη κάμερα.....	66
Εικόνα 6.1: SWOT Ανάλυση της GLaDOS.....	67

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1: Λειτουργίες ρομποτικού βραχίονα και κάμερας.....	13
Πίνακας 1.2: Συνολικό κόστος κατασκευής του ρομποτικού βραχίονα.....	16
Πίνακας 2.1: Περιγραφή εξαρτημάτων της 3D εκτυπωμένης GLaDOS.....	20
Πίνακας 3.1: Πίνακας παραμέτρων D-H.....	32
Πίνακας 4.1: Σύγκριση Arduino Uno με Arduino Pro Micro.....	35
Πίνακας 4.2: Χαρακτηριστικά του αισθητήρα κίνησης PIR.....	45

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Σκοπός Διπλωματικής Εργασίας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η δημιουργία ενός αυτόνομου ρομποτικού συστήματος για τον έλεγχο και την παρακολούθηση ενός χώρου. Η ιδέα ενός τέτοιου συστήματος γεννήθηκε από την συνεχόμενα αυξανόμενη εγκληματικότητα της χώρας μας, καθώς και για την ανάπτυξη νέων, έξυπνων, τεχνολογιών για την διαχείριση ενός οποιοδήποτε δωματίου χωρίς την συμβολή ανθρώπινου παράγοντα. Επίσης σημαντική είναι η υλοποίηση ενός τέτοιου πολύπλοκου συστήματος μέσα σε λογικά οικονομικά πλαίσια ώστε να μπορεί να είναι διαθέσιμο σε όλους.

1.2 Ανάλυση Λειτουργιών

Οι βασικές λειτουργίες χωρίζονται βάσει των δύο εγκεφάλων που ελέγχουν το ρομποτικό βραχίονα. Το Arduino και το Raspberry Pi, συνδεδεμένα με σειριακή επικοινωνία, συνεργάζονται μεταξύ τους ώστε να επιτυγχάνουν τους στόχους τους. Σαφώς το καθένα διαθέτει τις δικές του αποκλειστικές λειτουργίες οι οποίες είναι οι εξής:

Πίνακας 1.1: Λειτουργίες ρομποτικού βραχίονα και κάμερας

Ρομποτικός Βραχίονας (Arduino)	Φωτιστικό με ελεγχόμενους λαμπτήρες
	Ανίχνευση κίνησης
Κάμερα (Raspberry Pi)	Ανίχνευση προσώπου
	Αναγνώριση προσώπου

Πιο αναλυτικά η GLaDOS ακολουθεί μια συγκεκριμένη σειρά ενεργειών από την αρχή που θα εισέλθει ένα πρόσωπο, γνωστό ή άγνωστο, μέσα στο χώρο που βρίσκεται τοποθετημένο το ρομπότ, μέχρι και ωσότου βγει.

1. Ενεργοποίηση Αισθητήρων Κίνησης (PIR sensors)

Η GLaDOS τροφοδοτείται συνεχόμενα ασχέτου αν υπάρχει κάποια κίνηση στο χώρο ή όχι. Οι κινήσεις της όμως ξεκινάνε με το που ένας από τους τέσσερις αισθητήρες κίνησης αντιληφθεί ότι κάτι κινείται εντός της εμβέλειάς του. Σε αυτή τη περίπτωση το Arduino στέλνει σήμα στο Raspberry Pi.

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

2. Ενεργοποίηση Κάμερας και Κινητήρων

Με το που λάβει το σήμα το Raspberry Pi, ενεργοποιεί την κάμερα και ταυτόχρονα το Arduino θέτει τους τέσσερις κινητήρες του σε λειτουργία. Το ρομπότ γυρνάει με κατεύθυνσή τον αισθητήρα που χτύπησε πρώτος μέχρις ότου να βρει το αντικείμενο ενδιαφέροντος η κάμερα.

3. Φώτα

Η GLaDOS διαθέτει 8 δυνατούς λαμπτήρες οι οποίοι δίνουν την ικανότητα στο ρομπότ να δουλεύει και σαν φωτιστικό δωματίου με τη χρήση ενός απλού on/off κουμπιού. Παρ' όλ' αυτά, τα φώτα επίσης ανοίγουν στην περίπτωση που, τα PIRs δώσουν σήμα για κίνηση, ανοίξει η κάμερα και το ρομπότ, μέσω μίας φωτοαντίστασης, αντιληφθεί ότι ο χώρος δεν είναι καθόλου ή αρκετά φωτεινός έτσι ώστε να διεξαχθούν οι λειτουργίες της κάμερας.

4. Έλεγχος αν το αντικείμενο ενδιαφέροντος είναι στο κεντρικό πλαίσιο της Κάμερας

Η κάμερα διαθέτει 9 πλαίσια τα οποία καθορίζουν σε ποιο σημείο της εμβέλειας της κάμερας βρίσκεται το αντικείμενο ενδιαφέροντος. Από τη στιγμή που βρεθεί σε ένα από αυτά τα πλαίσια, ο έλεγχος του ρομποτικού βραχίονα πραγματοποιείται εξολοκλήρου από την κάμερα. Δηλαδή το Raspberry Pi, στέλνει πώς να κινηθούν οι 4 κινητήρες με σκοπό το αντικείμενο ενδιαφέροντος να βρίσκεται πάντα στο κεντρικό πλαίσιο της κάμερας. Εάν η κάμερα δεν βρει πρόσωπο, ψάχνει να βρει πάνω κομμάτι σώματος, αλλιώς αναζητάει για ολόκληρο το σώμα, διαφορετικά ψάχνει για οποιαδήποτε κίνηση. Αν δε βρει τίποτα από όλα αυτά, επιστρέφει στο πρώτο βήμα.

5. Έλεγχος αν το πρόσωπο είναι γνωστό ή άγνωστο

Κατά την διάρκεια λειτουργίας της κάμερας αν εντοπιστεί πρόσωπο συγκρίνεται με τα υπάρχοντα αποθηκευμένα πρόσωπα που υπάρχουν στο αρχείο εκπαίδευσης. Αν βρεθεί αντιστοίχιση τότε με βάση το αναγνωριστικό (ID) του προσώπου, εξάγεται το όνομα από την βάση δεδομένων και αναγράφεται πάνω από το παραλληλόγραμμο που περιβάλλει το πρόσωπο.

6. Βίντεο

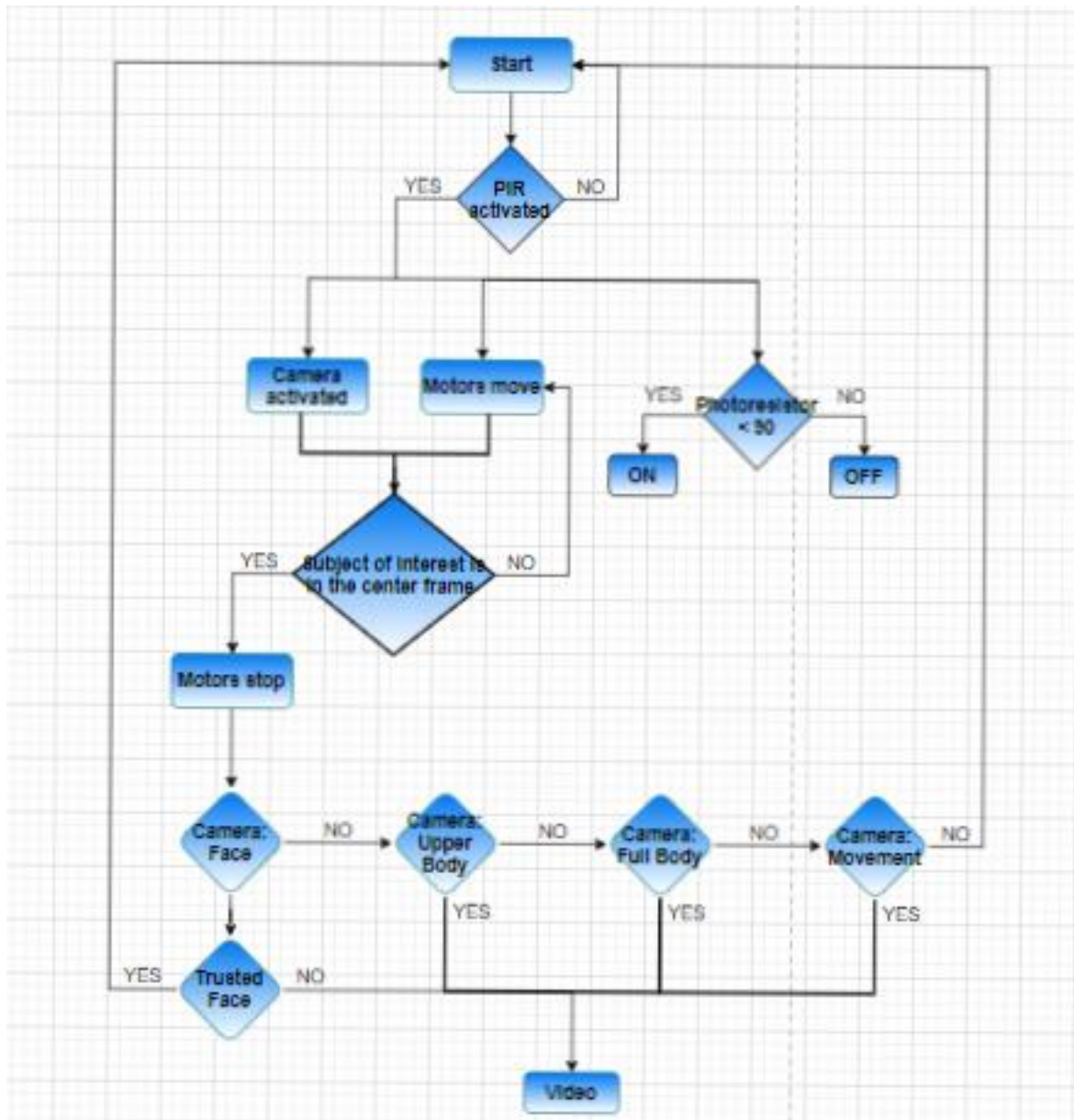
Αν δεν βρεθεί αντίστοιχο πρόσωπο τότε αναγράφεται η λέξη «UNKNOWN» (άγνωστο) και ξεκινάει η καταγραφή του βίντεο. Η εγγραφή συνεχίζεται μέχρι ένα χρονικό διάστημα 5 δευτερολέπτων μετά την εξαφάνιση του αγνώστου προσώπου. Αν το ίδιο η κάποιο άλλο πρόσωπο επιστρέψει τότε η καταγραφή συνεχίζεται. Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση που βρεθεί πάνω κομμάτι σώματος, ολόκληρο το σώμα ή οποιαδήποτε κίνηση μπροστά στη κάμερα.

7. Τερματισμός Διαδικασίας

Αν η κάμερα δεν αντιληφθεί κάτι από τα παραπάνω και οι αισθητήρες κινήσεις δεν δώσουν κάποιο άλλο σήμα, τότε έχουμε το τερματισμό των διαδικασιών και την αναμονή επόμενου συμβάντος.

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

Παρακάτω ακολουθεί ένα αναλυτικό διάγραμμα ροής των λειτουργιών του ρομπότ από την αρχή ως το τέλος:



Εικόνα 1.1: Διάγραμμα ροής όλων των λειτουργιών της GLaDOS

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

1.3 Κόστος Υλοποίησης

Παρακάτω ακολουθεί ο πίνακας ανάλυσης του κόστους υλοποίησης του ρομποτικού βραχίονα. Το κόστος του συγκεκριμένου συστήματος, επηρεάζεται από αρκετούς παράγοντες οι οποίοι θα αναλυθούν στη συνέχεια.

Πίνακας 1.2: Συνολικό κόστος κατασκευής του ρομποτικού βραχίονα

Κομμάτι	Τιμή
Arduino Pro Micro	4.00
Καλώδιο micro usb (Arduino)	4.90
4 * PIR Αισθητήρας Κίνησης HC-SR501	7.08
Σερβοκινητήρας Συνεχόμενης Περιστροφής 360 DS04-NFC	4.76
3 * FEETECH FS90 Σερβοκινητήρας	10.86
1 Κανάλι Ρελέ	1.50
1W Δυνατοί Λαμπτήρες + Heatsink	0.15
Περιστροφικός Κωδικοποιητής	2.00
Φωτοαντιστάτης LDR	0.20
Step-down Μετατροπέας	8.00
Πλακέτα Διάτρητη 20x80mm	0.50
8 * Screw Terminal 3P	5.70
Μικρό κουμπί	0.50
Καλώδια συνδεσμολογίας	3.99
Primer και Σπρέι για το Βάψιμο	15.40
Βίδες, Παξιμάδια, Ράβδος, Ροδέλες	20.50
4* Ρουλεμάν	4.00
3D Εκτύπωση	120.00
Σύνολο	207.86 €

Παρατηρείται ότι το πιο ακριβό κομμάτι του συστήματος είναι η 3D εκτύπωση. Γενικά η 3D εκτύπωση ενός μικρού κομματιού μπορεί να κοστίσει παραπάνω από όλο το ρομπότ, ανάλογα τον προμηθευτή που διαλέγεται. Το κόστος αυτό θα είχε αποφευχθεί αν υπήρχε στην κατοχή μας ένα μηχάνημα 3D εκτύπωσης, καθώς και το κόστος για το βάψιμο σε κάποια κομμάτια, άμα είχαν χρησιμοποιηθεί δύο διαφορετικών χρωμάτων PLA (άσπρο και μαύρο). Σε αυτή τη περίπτωση το κόστος του βραχίονα κατεβαίνει σχεδόν στα 80€.

Είναι σημαντικό σε αυτό το σημείο να αναφερθεί ότι, το συνολικό κόστος του συστήματος, χωρίς την εκτύπωση, ανέρχεται περίπου στα 150€ συμπεριλαμβανομένου της κάμερα, του Raspberry

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

ρ_i 4 και των περιφερειακών του. Η τιμή αυτή, για ένα ρομποτικό βραχίονα 4 βαθμών ελευθερίας, είναι εξαιρετικά χαμηλή και καθιστά την τεχνολογία προσιτή για όλους.

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

Κεφάλαιο 2: Μηχανικό Σχέδιο και Κατασκευή

2.1 Τι είναι η GLaDOS

Η GLaDOS (Genetic Lifeform and Disk Operating System) [1] είναι ένας φανταστικός χαρακτήρας που δημιουργήθηκε για το παιχνίδι Portal της εταιρίας Valve. Το παιχνίδι διαδραματίζεται μέσα σε ένα ινστιτούτο τεχνολογίας το 2010 σε ένα κόσμο όπου έχει καταληφθεί από εξωγήινους. Το ινστιτούτο, ονόματι «Aperture Science», φαίνεται να διεξήγε παράνομα και απάνθρωπα πειράματα πάνω σε ανθρώπους με σκοπό πάντα την εξέλιξη της τεχνολογίας τους. Κάποια στιγμή, δημιούργησαν την απόλυτη τεχνητή νοημοσύνη στη μορφή ενός ρομπότ με φωνή θηλυκού γένους. Η GLaDOS ήταν υπεύθυνη για τον έλεγχο, την καθοδήγηση και την επίβλεψη όλου του ινστιτούτου έχοντας την ικανότητα να μετατοπίσει και να μετακινήσει εγκαταστάσεις και διάφορους θαλάμους.

Ο χαρακτήρας της είναι άκρως αλαζονικός, ειρωνικός και σαδιστικός, καθώς απολαμβάνει τόσο να κοροϊδεύει και να τρομάζει τα πειραματόζωα της, όσο και να υπονομεύει συνέχεια την αυτοεκτίμησή του εκάστοτε ανθρώπου που ολοκληρώνει επιτυχώς τις δοκιμασίες της. Γενικά όμως, φαίνεται να παρακινείται από ένα ειλικρινές πάθος για την επιστήμη, το οποίο θεωρεί ως θεμελιώδη στόχο της ζωής της. Παρόλο τον κακό της ρόλο και τα εμπόδια που βάζει στους παίχτες, η GLaDOS αποτελεί το πιο αγαπημένο χαρακτήρα όλων όσων είναι φαν των παιχνιδιών λόγω του ιδιαίτερου βιτριολικού της χιούμορ, έχοντας πολλά δικά της τραγούδια και αξέχαστες ατάκες όπως την χαρακτηριστική της “The cake is a lie”.



Εικόνα 2.1: Η GLaDOS όπως εμφανίζεται στο παιχνίδι Portal

2.2 Αρχικό Σχέδιο

Η GLaDOS, όντας όπως αναφέρθηκε προηγουμένως ένα ρομπότ με ιδιαίτερο σχεδιασμό και χαρακτήρα, προσέλκυσε το ενδιαφέρον ενός Ολλανδού Μηχανολόγου Μηχανικού. Ο Yvo de Haas θέλησε να δημιουργήσει μια ρεπλίκα του ρομπότ στο πλαίσιο ενός διαγωνισμού για φωτιστικά που διεξήγαγε η ιστοσελίδα «Instructables» [2]. Σκοπός του δικού του μοντέλου ήταν να φωτίζει έναν χώρο και οι κινητήρες του να λειτουργούν με τη βοήθεια ποτενσιόμετρων τοποθετημένων σε μια μικρότερη εκδοχή του ρομπότ. Αφότου κέρδισε το διαγωνισμό, μοίρασε στο site όλα τα αρχεία CAD, καθώς και το τρόπο συναρμολόγησης του ρομπότ για να είναι λειτουργικό. Από τη στιγμή που η κατασκευή έγινε open source και ως προς υλικό και ως προς λογισμικό, έχει ήδη υιοθετηθεί από διάφορους μηχανικούς και μη που ο καθένας την προσαρμόζει στις ανάγκες του.

Παρόλο που η παρούσα διπλωματική ακολουθεί πιστά το σχέδιο, υπάρχουν παραμετροποιήσεις σε κάποια κομμάτια καθώς και δημιουργία νέων κομματιών για την υποστήριξη του ηλεκτρονικού κυκλώματος που διαφέρει τελείως από το αρχικό σχέδιο. Αυτές οι παραμετροποιήσεις θα εξηγηθούν αναλυτικότερα σε παρακάτω ενότητες.

2.3 Σχεδίαση σε περιβάλλον CAD

Ο ρομποτικός βραχίονας που σχεδιάστηκε από τον Yvo de Haas, αποτελείται από 29 κομμάτια, σχεδιασμένα στο σχεδιαστικό πρόγραμμα SolidWorks [3].

Πίνακας 2.1: Περιγραφή εξαρτημάτων της 3D εκτυπωμένης GLaDOS

Όνομα Κομματιού	Λειτουργία
Base Ring Fan in	Βρίσκονται τριγύρω από τη βάση, διαθέτουν θέση για έναν δυνατό λαμπτήρα και ανεμιστήρα.
Base Ring Fan out	Βρίσκονται τριγύρω από τη βάση, διαθέτουν θέση για έναν δυνατό λαμπτήρα και ανεμιστήρα.
Base Ring open	Βρίσκονται τριγύρω από τη βάση, διαθέτουν θέση για έναν δυνατό λαμπτήρα.
Base	Η βάση του ρομπότ όπου βρίσκεται ο κεντρικός κινητήρας 360° και όλα τα κυκλώματα.
Gearbrace V1.1	Κρατάει τους άξονες σταθερούς και βρίσκεται μέσα στη βάση.
Head V1.1	Το κεφάλι της GLaDOS, εκεί βρίσκεται η κάμερα πάνω στο υποτιθέμενο μάτι της.
Main pivot Back	Το εξωτερικό κομμάτι της πλάτης του ρομπότ.
Main pivot Internals	Το εσωτερικό κομμάτι της πλάτης του ρομπότ.

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

Main pivot tube	Ενώνει τη βάση με το εξωτερικό κομμάτι της πλάτης του ρομπότ και αποτελεί μέρος του κεντρικού άξονα.
Mounting plate wires	Βιδώνεται στο ταβάνι για να εγκατασταθεί το ρομπότ.
Mounting plate	Κλείνει σαν καπάκι τη βάση και βιδώνεται με το Mounting plate wires κομμάτι.
Moving arm V1.1	Εν συνεχεία του Main pivot Internals κομματιού περιέχει δύο κινητήρες που ελέγχουν τη GLaDOS.
Pushrod large	Ενώνει την άκρη του κινητήρα, που κουνάει πάνω-κάτω το Moving arm V1.1, με το Main pivot Internals.
Rotation Junction box V1.1	Καπάκι που υπάρχει αποκλειστικά για την καλύτερη εμφάνιση του ρομπότ.
Rotation V1.1	Αποτελεί το λαιμό της GLaDOS, ενωμένο με τον κινητήρα στο Moving arm V1.1 που κάνει τη δεξιά-αριστερά κίνηση του λαιμού. Επιπλέον περιέχει τον τελευταίο κινητήρα του ρομπότ.
Servoclamp	Κρατάει τον 2 ^ο κινητήρα βιδωμένο στη θέση του.
Wireblock Large 1	Είναι κομμάτι της εμφάνισης, δεν χρησιμοποιήθηκε.
Wireblock Large 2	Είναι κομμάτι της εμφάνισης, δεν χρησιμοποιήθηκε.
Wireblock small 1	Είναι κομμάτι της εμφάνισης, δεν χρησιμοποιήθηκε.
Wireblock small 2	Είναι κομμάτι της εμφάνισης, δεν χρησιμοποιήθηκε.
Wireblock Top left	Είναι κομμάτι της εμφάνισης, δεν χρησιμοποιήθηκε.
Wireblock Top right	Είναι κομμάτι της εμφάνισης, δεν χρησιμοποιήθηκε.
Pushrod head	Ενώνει την άκρη του τελευταίου κινητήρα με το κεφάλι και το κουνάει πάνω-κάτω.
SPUR gear 2M 16T driven	Γρανάζι που γυρνάει τον κεντρικό άξονα μέσα στη βάση.
SPUR gear 2M 16T driver	Γρανάζι που το γυρνάει ο κεντρικός κινητήρας 360° και αυτό με τη σειρά του γυρνάει το κεντρικό γρανάζι.
Top cover ring fan in	Το αντίστοιχο καπάκι του Base Ring Fan in κομματιού.
Top cover ring fan out	Το αντίστοιχο καπάκι του Base Ring Fan out κομματιού.
Top cover ring open	Το αντίστοιχο καπάκι του Base Ring open κομματιού.

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων



Εικόνα 2.2: Η GLaDOS από διαφορετικές οπτικές γωνίες σε assembly μορφή στο Solidworks

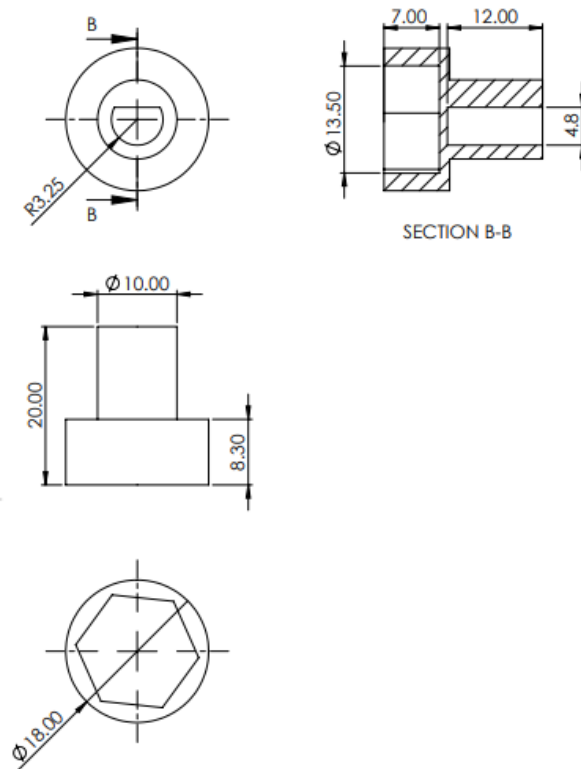
2.4 Παραμετροποιήσεις

Κατά την υλοποίηση του μηχανολογικού τμήματος της εργασίας, προκύπτει η ανάγκη να δημιουργηθούν δύο επιπρόσθετα κομμάτια. Πιο συγκεκριμένα, εμφανίζεται η ανάγκη να χρησιμοποιηθεί ένας κωδικοποιητής, ο οποίος σε συνεργασία με το λογισμικό που αναπτύχθηκε αναλαμβάνει την καταγραφή της θέσης του κεντρικού κινητήρα συνεχόμενης περιστροφής. Κατά αυτό τον τρόπο η θέση του ρομπότ παραμένει πάντα γνωστή, ακόμα και σε περιπτώσεις απώλειας ρεύματος.

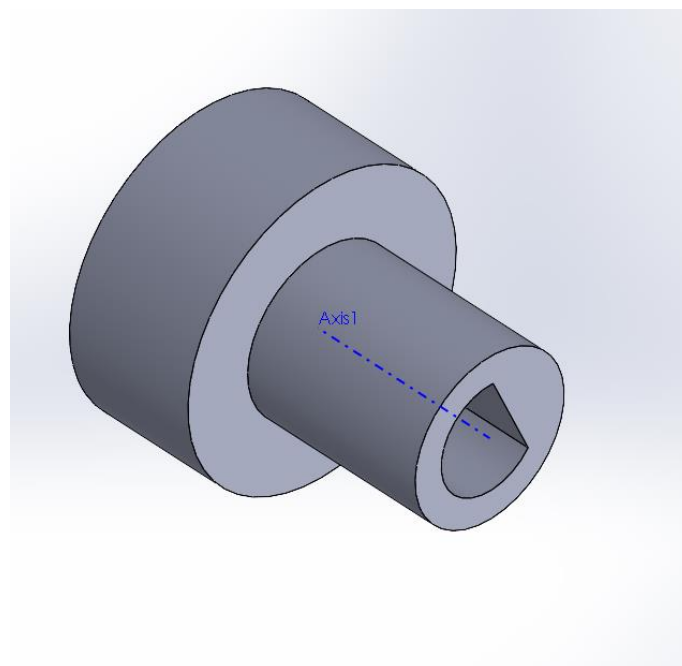
Η αρχική υλοποίηση του ρομπότ από τον Ολλανδό Μηχανολόγο Μηχανικό διαθέτει δύο περιστροφικούς άξονες, 1) τον άξονα που μεταφέρει τη κίνηση στο ρομπότ και 2) τον άξονα που παρέχει τον πρώτο βαθμό ελευθέριας. Σε αυτό το πλαίσιο, δημιουργείται και ένας τρίτος άξονας που ενώνεται με τους άλλους δύο. Πάνω στο τρίτο άξονα τοποθετείται ο κωδικοποιητής, χρησιμοποιώντας τα δύο επιπλέον κομμάτια (couple, gear holder) που είναι σχεδιασμένα εξίσου στο σχεδιαστικό περιβάλλον του Solidworks.

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

Το coupler κομμάτι έχει δύο άκρα, το ένα εφαρμόζεται σαν θήκη για την περιστροφική λαβή του κωδικοποιητή και το άλλο δένει με ένα παξιμάδι στον άξονα.



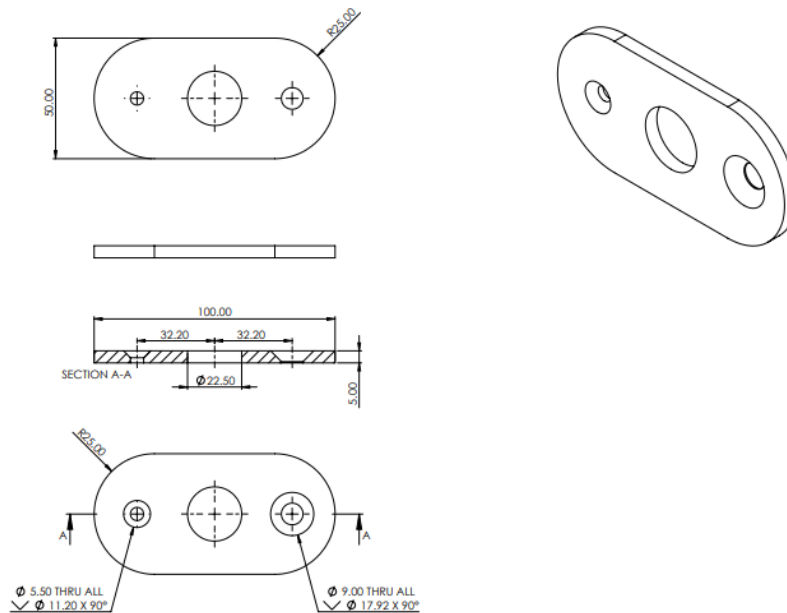
Εικόνα 2.3: Μηχανολογικό σχέδιο του coupler κομματιού



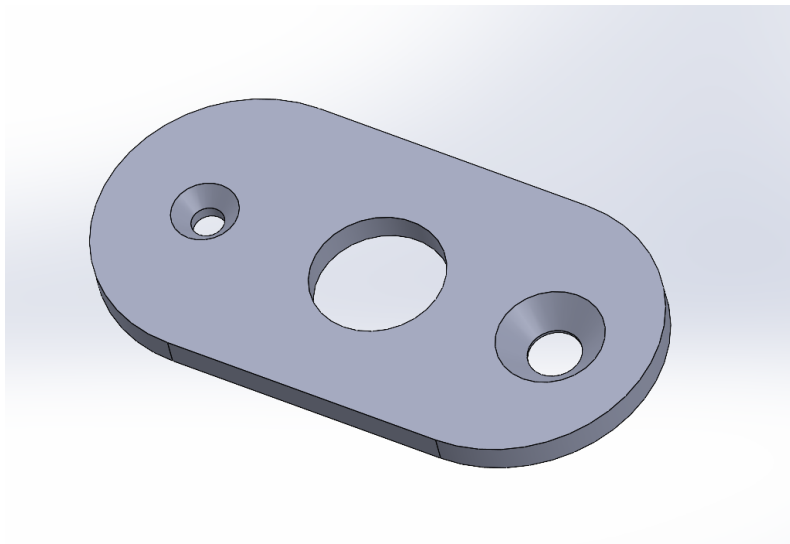
Εικόνα 2.4: Τελικό σχέδιο του coupler στο περιβάλλον Solidworks

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

Το gear holder κομμάτι δημιουργείται με σκοπό να αντικαταστήσει το ήδη υπάρχον Gearbrace V1.1 κομμάτι που κρατάει σταθερούς τους κάθετους άξονες μέσα στη βάση. Στην πραγματικότητα, γίνεται μια επέκταση του κομματιού για να μπορεί να υποστηρίξει 3 άξονες αντί για 2.



Εικόνα 2.5: Μηχανολογικό σχέδιο του gear holder κομματιού



Εικόνα 2.6: Τελικό σχέδιο του gear holder στο περιβάλλον Solidworks

2.5 Υλοποίηση

Για να υλοποιηθούν όλα τα παραπάνω σχέδια, αξιοποιείται μία τεχνολογία αιχμής που τα τελευταία χρόνια έχει εξελίξει τις ικανότητες του μηχανολογικού κλάδου και αυτή είναι η 3D

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

εκτύπωση. Αποτελεί μέθοδο προσθετικής κατασκευής και έχει προκύψει κυρίως από τον χώρο της μηχανολογίας για τη ρεαλιστική κατασκευή πρωτότυπων μοντέλων. Το βασικό χαρακτηριστικό της 3D εκτύπωσης είναι η τοποθέτηση στρώσεων (layers), από το επιθυμητό υλικό, όπως διάφορα είδη μετάλλου, πλαστικού, ρητίνης, ξύλου κ.λπ., για τη διαμόρφωση του τελικού αντικειμένου. Για τις ανάγκες της διπλωματικής χρησιμοποιούνται δύο 3D εκτυπωτές, διαφορετικών υλικών. Στη συνέχεια τα κομμάτια, αφού περαστούν από μία επεξεργασία λείανσης και βαφτούν στα χρώματα της GLaDOS, συνδέονται μεταξύ τους με βίδες, παξιμάδια και ροδέλες.

2.5.1 3D Εκτύπωση

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, για τη δημιουργία των κομματιών γίνεται χρήση δυο διαφορετικών 3D εκτυπωτών. Ο ένας λέγεται Prusa i3 Hephestos 2 και ανήκει στην κατηγορία εκτυπωτών πλαστικού και ο άλλος λέγεται Moai Laser SLA Printer και είναι εκτυπωτής ρητίνης.

Οι εκτυπωτές πλαστικού είναι οι κύριοι εκπρόσωποι της τεχνολογίας FDM (Fused Deposition Modelling) και η αρχή λειτουργίας τους είναι η διαδοχική εναπόθεση μιας ίνας πλαστικού σε επίπεδα (layers) μέχρι να διαμορφωθεί το επιθυμητό αντικείμενο. Η υψηλή σχέση απόδοσης/τιμής είναι αυτό που ξεχωρίζει αυτή την τεχνολογία από τις άλλες μεθόδους ταχείας πρωτοτυποποίησης ή συμβατικής παραγωγής. Τα παραγόμενα αντικείμενα είναι ανθεκτικά και συνήθως είναι έτοιμα χωρίς να απαιτείται κάποια πρόσθετη επεξεργασία για χρήση.

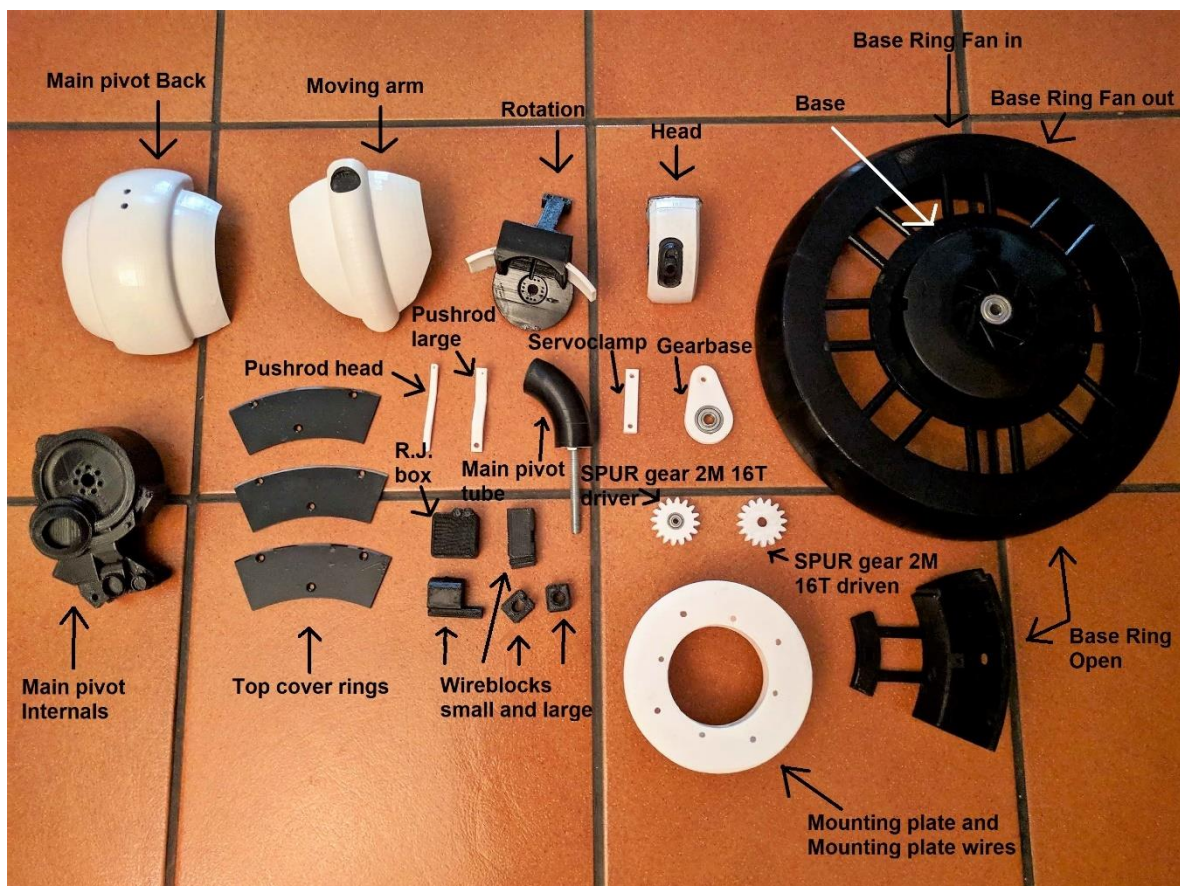
Οι εκτυπωτές ρητίνης ανήκουν στη κατηγορία εκτυπωτών υψηλής ανάλυσης SLA (stereolithography). Χρησιμοποιούν φωτοευαίσθητη ρητίνη και laser ή DLP προβολείς για να την σκληρύνουν επιλεκτικά ώστε να επιτευχθεί η εκτύπωση. Οι εκτυπώσεις αυτής της τεχνολογίας είναι θεαματικά λεπτομερείς, με εξαιρετική υφή στην εξωτερική τους επιφάνεια καθώς υποστηρίζουν αναλύσεις 10-100 microns και το αναλώσιμό τους είναι σε υγρή μορφή.



Εικόνα 2.7: Οι εκτυπωτές Prusa i3 Hephestos 2 και Moai Laser SLA Printer

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

Ιδιαίτερου ενδιαφέροντος είναι τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε κάθε εκτυπωτή για να δημιουργηθούν όλα τα κομμάτια του ρομποτικού βραχίονα. Τα περισσότερα κομμάτια έχουν κατασκευαστεί από τον εκτυπωτή πλαστικού, Prusa i3 Hephestos 2 [4] της εταιρίας 3DHUB με τη χρήση του υλικού PLA. Το PLA (Polylactic Acid) είναι ένα δημοφιλές γενικής χρήσης νήμα 3D εκτύπωσης [5]. Παράγεται από ανανεώσιμες πηγές όπως καλαμπόκι, ζαχαρότευτλα, σόγια, κ.λπ., και είναι άκρως οικολογικό και ασφαλές. Χρησιμοποιείται σε κάθε είδους μοντέλα και λόγω πολύ μικρού συντελεστή συρρίκνωσης εμφανίζει μηδαμινή στρέβλωση ακόμα και σε μεγάλα αντικείμενα. Λόγω χαμηλής θερμοκρασίας εκτύπωσης και εύκολης ψύξης, έχει πλεονέκτημα σε μοντέλα με μικρολεπτομέρειες και αιχμηρές άκρες. Η επιφάνειά του είναι σχετικά γυαλιστερή και μπορεί να δεχτεί κανονικά εξωτερική επεξεργασία. Είναι πιο σκληρό από το ABS και δεν ενδείκνυται για μοντέλα που θα εκτεθούν σε εξωτερικές συνθήκες και ζέστη. Στην εικόνα που ακολουθεί βρίσκονται όλα τα κομμάτια της GLaDOS που έχουν εκτυπωθεί με PLA.

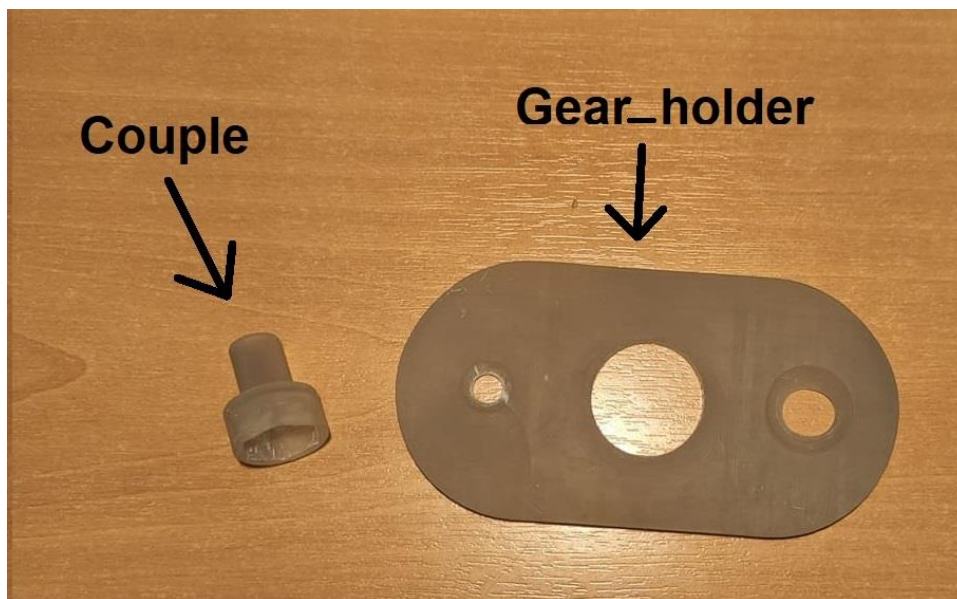


Εικόνα 2.8: Όλα τα κομμάτια με PLA του ρομπότ πριν τη συναρμολόγηση

Αντίθετα για την δημιουργία των δύο επιπρόσθετων κομματιών που αναφέρθηκαν παραπάνω, έχει χρησιμοποιηθεί ο εκτυπωτής ρητίνης Moai Laser SLA Printer [6] της εταιρίας PEOPOLY. Η ρητίνη (ή ρετσίνη), είναι μια έκκριση υδρογονανθράκων πολλών φυτών, κυρίως των κωνοφόρων δένδρων [7]. Στην περίπτωση της στερεολιθογραφίας, η ρητίνη χύνεται σε δοχείο με γυάλινο

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

πυθμένα, το οποίο βυθίζεται σε μία πλατφόρμα κατασκευής. Ένα υπεριώδες λέιζερ ή ένας DLP προβολέας εκθέτει τη ρητίνη σε υπεριώδες φως για να τη σκληρύνει επιλεκτικά σε ένα οριζόντιο στρώμα των δεδομένων CAD. Η πλατφόρμα έρχεται στη συνέχεια έξω από το δοχείο, αφήνοντας τη μη σκληρυσμένη ρητίνη. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι να σχηματιστεί ένα πλήρες αντικείμενο, όπως παρατηρείται στη παρακάτω εικόνα. Σε αντίθεση με το PLA, τα σχέδια που δημιουργούνται από ρητίνη δεν είναι τόσο ανθεκτικά και έχουν την τάση να σπάνε ακόμα και σε μικρές πιέσεις. Επιπλέον η ρητίνη είναι εύφλεκτη, έχει δυσάρεστη οσμή και περιορισμένη διάρκεια ζωής για αυτό προτιμάται η εκτύπωση πλαστικού και το PLA για το συγκεκριμένο ρομπότ.



Εικόνα 2.9: Τα κομμάτια Couple και Gear_holder εκτυπωμένα από ρητίνης

2.5.2 Συναρμολόγηση

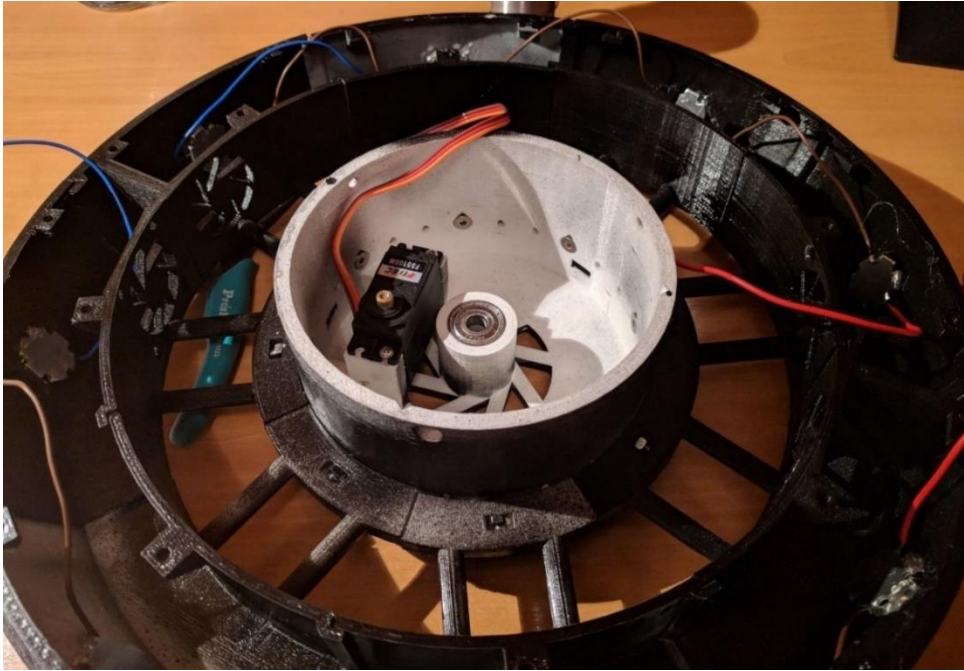
Αφού εκτυπώθηκαν όλα τα κομμάτια και αφαιρέθηκαν τα στηρίγματα της εκτύπωσης, πέρασαν από κάποιες διαδικασίες τελειοποίησης. Λόγω κάποιων μικρών προβλημάτων των εκτυπωτών, όπως η αλλαγή θερμοκρασίας στο θάλαμο ή η λανθασμένη μετατόπιση του στομίου που βγάζει το υλικό, σε κάποια κομμάτια υπήρχαν ρωγμές που έπρεπε να διορθωθούν. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε:

- Σιδηρόστοκος: για τις μεγάλες ρωγμές προστέθηκε κάλυμμα σιδηρόστοκου για 30-40 δευτερόλεπτα και μετά γινόταν αφαίρεση με κοπίδι.
- Ακρυλικό: για τις μικρές ρωγμές εφαρμόστηκε ένα στρώμα ακρυλικού και αφέθηκε να στεγνώσει για 2-3 ώρες.

Στη συνέχεια έγινε τρίψιμο με γυαλόχαρτο για να λειανθούν τα κομμάτια. Τέλος, όλα τα κομμάτια περάστηκαν από primer για πλαστικά και βάφτηκαν με σπρέι στα χρώματα της GLaDOS.

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

Η συναρμολόγηση του ρομπότ χωρίστηκε σε δύο κομμάτια, τη βάση και το σώμα της GLaDOS. Το πρώτο σχέδιο που κατασκευάστηκε είναι η βάση με τους 3 άξονες. Στην εικόνα που ακολουθεί διακρίνονται και οι θέσεις των 8 λαμπτήρων, καθώς και η θέση του κινητήρα που περιστρέφει όλο το ρομποτικό βραχίονα. Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι ο κεντρικός περιστροφικός άξονας περιέχει δυο ρουλεμάν για τη στήριξη του και την ελάττωση της τριβής.



Εικόνα 2.10: Ολοκληρωμένη συναρμολόγηση της βάσης του ρομπότ

Στην πορεία της εργασίας, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα, παρουσιάστηκε η ανάγκη για έναν τρίτο άξονα ο οποίος θα περιστρέφει τον κωδικοποιητή ανάλογα με τον κινητήρα ώστε να είναι πάντα γνώστη η θέση και η φορά του ρομπότ. Με αυτό το σκοπό στη βάση δημιουργήθηκαν δύο τρύπες για τη σταθεροποίηση του κωδικοποιητή. Τα γρανάζια που γυρνούν τους άξονες είναι 1:1, όντας ίδιων αναλογιών, και άρα δεν υπάρχουν απώλειες.



Εικόνα 2.11: Οι 3 περιστροφικοί άξονες στη βάση

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

Ακολουθεί εικόνα της βάσης με τοποθετημένα τα κομμάτια Mounting plates που με τη βοήθεια τους ο βραχίονας μπορεί να εγκατασταθεί στο ταβάνι. Παρατηρείται ότι υπάρχει αρκετός χώρος για το τροφοδοτικό που τροφοδοτεί το σύστημα εκτός της βάσης.



Εικόνα 2.12: Βάση με Mounting plates

Επόμενο βήμα αποτέλεσε το σώμα της GLaDOS όπου βρίσκονται οι υπόλοιποι 3 βαθμοί ελευθερίας και ακολουθήθηκε ακριβώς η ίδια διαδικασία συναρμολόγησης με τον Ολλανδό Μηχανολόγο Μηχανικό, Υνο de Haas.



Εικόνα 2.13: Ολοκληρωμένη συναρμολόγηση του σώματος του ρομπότ

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

Τέλος, ενώθηκαν τα δύο κομμάτια, βάση και σώμα, για να δημιουργηθεί το τελικό σχέδιο της GLaDOS.



Εικόνα 2.14: Ένωση βάσης και σώματος της GLaDOS

Κεφάλαιο 3: Μαθηματική Ανάλυση

3.1 Ορθή κινηματική ρομποτικού βραχίονα

Κινηματική είναι η επιστήμη που μελετά την κίνηση χωρίς να λαμβάνει υπόψη τις δυνάμεις που την προκαλούν. Η κινηματική ενδιαφέρεται για τη θέση, την ταχύτητα, την επιτάχυνση και όλες τις παραγώγους των μεταβλητών που περιγράφουν τη θέση ως συνάρτησης του χρόνου ή άλλης μεταβλητής. Έτσι, η εφαρμογή της κινηματικής σε ένα ρομποτικό βραχίονα έχει να κάνει αφενός με τις γεωμετρικές, αφετέρου με όλες τις χρονικά εξαρτώμενες ιδιότητες της κίνησης του.

Οι ρομποτικοί βραχίονες αποτελούνται από σχεδόν άκαμπτα στοιχεία, που καλούνται μέλη και συνδέονται με αρθρώσεις. Οι αρθρώσεις, επιτρέπουν στα γειτονικά μέλη να κινούνται σχετικά το ένα ως προς το άλλο. Οι αρθρώσεις που κινούνται περιστροφικά καλούνται περιστροφικές αρθρώσεις (rotary). Η κίνηση τους μετρείται με βάση τη γωνία που σχηματίζουν τα δύο κινούμενα μέλη και ονομάζεται γωνία άρθρωσης (joint angle). Αντίθετα υπάρχουν αρθρώσεις ολίσθησης που ονομάζονται πρισματικές (prismatic) και η μετρούμενη διαφορά στη θέση δύο μελών σε αυτή τη περίπτωση καλείται απλά μετατόπιση (joint offset). Όσον αφορά την παρούσα διπλωματική θα ακολουθήσει η κινηματική ενός βραχίονα 4 περιστροφικών αρθρώσεων καθώς και ένα παράδειγμα επίλυσης του συστήματος για συγκεκριμένες γωνίες.

3.2 Μέθοδος Denavit-Hartenberg

Ένας βραχίονας αποτελείται από συνδέσμους και αρθρώσεις οι οποίοι είναι τοποθετημένοι από τη βάση του μέχρι το εργαλείο τελικής δράσης. Προκειμένου να εφαρμοστεί το ευθύ κινηματικό πρόβλημα, πρέπει να γνωρίζουμε το κατάλληλο κινηματικό μοντέλο του βραχίονα. Για την επίλυση του προβλήματος αυτού, εκτελούμε τη μέθοδο Denavit – Hartenberg.

Στη μέθοδο Denavit – Hartenberg μελετάμε το ευθύ κινηματικό πρόβλημα ενός ρομποτικού βραχίονα ώστε να προσδιορίσουμε το εργαλείο τελικής δράσης ως προς το χώρο εργασίας του, γνωρίζοντας τις μεταβλητές των αρθρώσεων του βραχίονα. Για να συνεχίσουμε πρέπει να ορίσουμε κατάλληλα την κάθε άρθρωση. Για να επιτευχθεί αυτό ακολουθούμε την παρακάτω διαδικασία.

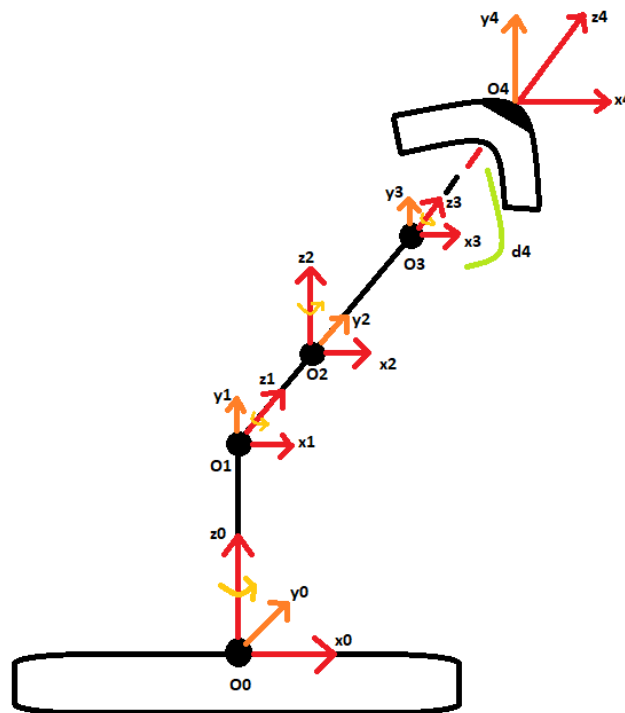
- Αρίθμηση όλων των αρθρώσεων από το 0-n, ξεκινώντας από τη βάση και καταλήγοντας στο τελικό σημείο δράσης.
- Προσδιορισμός του δεξιόστροφου ορθοκανονικού συστήματος συντεταγμένων βάσης (x_0, y_0, z_0) με αρχή στη βάση του χειριστή και τον άξονα z_0 παράλληλα στον άξονα κίνησης της άρθρωσης.
- Προσάρτηση πλαισίων σε καθένα από τους συνδέσμους.
- Υπολογισμός των παραμέτρων D-H των συνδέσμων.

Οι παράμετροι της μεθόδου Denavit-Hartenberg αποτελούνται από:

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

- θ_i : η γωνία άρθρωσης από τον άξονα x_{i-1} στον x_i , μετρημένη περί του άξονα z_1 .
- d_i : η απόσταση από τον άξονα x_{i-1} στον x_i , μετρημένη επί του άξονα z_1 .
- α_i : η γωνία από τον άξονα z_{i-1} στον z_i , μετρημένη περί του άξονα x_1 .
- a_i : η απόσταση από τον άξονα z_{i-1} στον z_i , μετρημένη επί του άξονα x_1 .

Από τα παραπάνω προκύπτει τα παρακάτω συστήματα συντεταγμένων βασισμένο στο ρομποτικό βραχίονα της διπλωματικής, GLaDOS.



Εικόνα 3.1: Συστήματα συντεταγμένων της GLaDOS

Στη συνέχεια προκύπτει ο πίνακας παραμέτρων D-H των 4 βαθμών ελευθερίας και ως αποτέλεσμα να υπολογιστούν οι πίνακες A_{i-1}^i ομογενούς μετασχηματισμού από το αρχικό σύστημα συντεταγμένων $O_0(x_0, y_0, z_0)$ μέχρι το $O_4(x_4, y_4, z_4)$.

Πίνακας 3.1: Πίνακας παραμέτρων D-H

Άρθρωση (i)	θ_i	d_i	α_{i-1}	a_{i-1}
1	θ_1	0	0	-90°
2	θ_2	0	0	90°
3	θ_3	0	0	-90°
4	θ_4	d_4	0	0

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

Αφού υπολογίστηκε αυτό, μπορούν να βρεθούν οι πίνακες ομογενούς μετασχηματισμού για κάθε πλαίσιο: $A^1_0, A^2_1, A^3_2, A^4_3$.

Γενικά ο τύπος του A είναι:

$$A = \begin{bmatrix} c\theta & -s\theta ca & s\theta sa & a c\theta \\ s\theta & c\theta ca & -c\theta sa & a s\theta \\ 0 & sa & ca & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Όπου $c\theta = \cos\theta$ (συνθ) και $s\theta = \sin\theta$ (ημθ).

Άρα οι πίνακες $A^1_0, A^2_1, A^3_2, A^4_3$ με αντικατάσταση από τον πίνακα D-H είναι οι εξής:

$$A^1_0 = \begin{bmatrix} c\theta_1 & -s\theta_1 ca_1 & s\theta_1 sa_1 & \alpha_1 c\theta_1 \\ s\theta_1 & c\theta_1 ca_1 & -c\theta_1 sa_1 & \alpha_1 s\theta_1 \\ 0 & sa_1 & ca_1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c\theta_1 & 0 & -s\theta_1 & 0 \\ s\theta_1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A^2_1 = \begin{bmatrix} c\theta_2 & -s\theta_2 ca_2 & s\theta_2 sa_2 & \alpha_2 c\theta_2 \\ s\theta_2 & c\theta_2 ca_2 & -c\theta_2 sa_2 & \alpha_2 s\theta_2 \\ 0 & sa_2 & ca_2 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c\theta_2 & 0 & s\theta_2 & 0 \\ s\theta_2 & 0 & -c\theta_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A^3_2 = \begin{bmatrix} c\theta_3 & -s\theta_3 ca_3 & s\theta_3 sa_3 & \alpha_3 c\theta_3 \\ s\theta_3 & c\theta_3 ca_3 & -c\theta_3 sa_3 & \alpha_3 s\theta_3 \\ 0 & sa_3 & ca_3 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c\theta_3 & 0 & -s\theta_3 & 0 \\ s\theta_3 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A^4_3 = \begin{bmatrix} c\theta_4 & -s\theta_4 ca_4 & s\theta_4 sa_4 & \alpha_4 c\theta_4 \\ s\theta_4 & c\theta_4 ca_4 & -c\theta_4 sa_4 & \alpha_4 s\theta_4 \\ 0 & sa_4 & ca_4 & d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c\theta_4 & -s\theta_4 & 0 & 0 \\ s\theta_4 & c\theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 8 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Το σύστημα αξόνων του ρομποτικού βραχίονα καθώς όλοι οι άξονες δουλεύουν ταυτόχρονα είναι:

$$A^4_0 = A^1_0 \cdot A^2_1 \cdot A^3_2 \cdot A^4_3 =$$

$$\begin{bmatrix} c\theta_1 c\theta_2 c\theta_3 c\theta_4 - s\theta_1 s\theta_3 c\theta_4 - c\theta_1 s\theta_2 s\theta_4 & -c\theta_1 c\theta_2 c\theta_3 s\theta_4 + s\theta_1 s\theta_3 s\theta_4 - c\theta_1 s\theta_2 c\theta_4 & -c\theta_1 c\theta_2 s\theta_3 - s\theta_1 & -8s\theta_1 \\ s\theta_1 c\theta_2 c\theta_3 c\theta_4 + s\theta_3 c\theta_4 - s\theta_1 s\theta_2 c\theta_4 & -s\theta_1 c\theta_2 c\theta_3 s\theta_4 - s\theta_3 s\theta_4 - s\theta_1 s\theta_2 c\theta_4 & -c\theta_1 c\theta_2 s\theta_3 + 1 & 8 \\ -s\theta_2 c\theta_3 c\theta_4 - c\theta_2 s\theta_4 & s\theta_2 c\theta_3 s\theta_4 - c\theta_2 c\theta_4 & s\theta_2 s\theta_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ο πίνακας A^4_0 αποτελεί το πορτρέτο της GLaDOS από πλευράς κινηματικής. Υποδεικνύουν τον τρόπο υπολογισμού θέσης και του προσανατολισμού του πλαισίου 4 ως προς το πλαίσιο 0.

3.3 Παράδειγμα

Στο πίνακα D-H, οι γωνίες $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ και θ_4 μεταβάλλονται καθώς ο ρομποτικός βραχίονας περιστρέφεται γιατί οι αρθρώσεις είναι περιστροφικού βαθμού. Έστω ότι $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = \theta_4 = 0^\circ$, οι πίνακες ομογενούς μετασχηματισμού για κάθε πλαίσιο θα μετατραπούν ως εξής:

$$A_0^1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_1^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_2^3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_3^4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 8 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Το σύστημα αξόνων του ρομποτικού βραχίονα καθώς όλοι οι άξονες δουλεύουν ταυτόχρονα είναι:

$$A_0^4 = A_0^1 \cdot A_1^2 \cdot A_2^3 \cdot A_3^4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 8 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Αντίστοιχα μπορούν να βρεθούν οι πίνακες ομογενούς μετασχηματισμού για όλες τις πιθανές τιμές των γωνιών που μπορεί να έχει ο βραχίονας. Γενικά σε σύγχρονα προβλήματα ρομποτικής, η ορθή κινηματική χρησιμοποιείται στη περίπτωση που είναι γνωστές οι μοίρες των κινητήρων ενός συστήματος και είναι επιθυμητή η θέση στην οποία θα καταλήξει ο αποληκτήριο επενεργητής (end-effector) μέσα στο χώρο. Αντίθετα, αν είναι γνώστη η θέση του αποληκτήριου επενεργητή, πραγματοποιείται η μέθοδος της αντιστροφής κινηματικής για να καθοριστούν οι μοίρες που πρέπει να περιστραφεί κάθε κινητήρας για να βρεθεί άμεσα σε αυτή τη θέση.

Κεφάλαιο 4: Υλικός εξοπλισμός

4.1 Arduino Pro Micro (Leornado)

Για τον πλήρη έλεγχο του ρομποτικού συστήματος επιλέχθηκε ο, ιδανικά μικρός σε μέγεθος και ελαφρύς μικροελεγκτής, Arduino Pro Micro (Leornado) με τον ATmega32U4 μικροεπεξεργαστή [8]. Το συγκεκριμένο Arduino διαθέτει, ανάλογα την τάση λειτουργίας του, δύο εκδοχές (3,3V 8MHz και 5V 16MHz). Για τα δεδομένα της παρούσας διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο των 5V για να παρέχει την κατάλληλη τάση σε όλα τα υπόλοιπα στοιχεία.

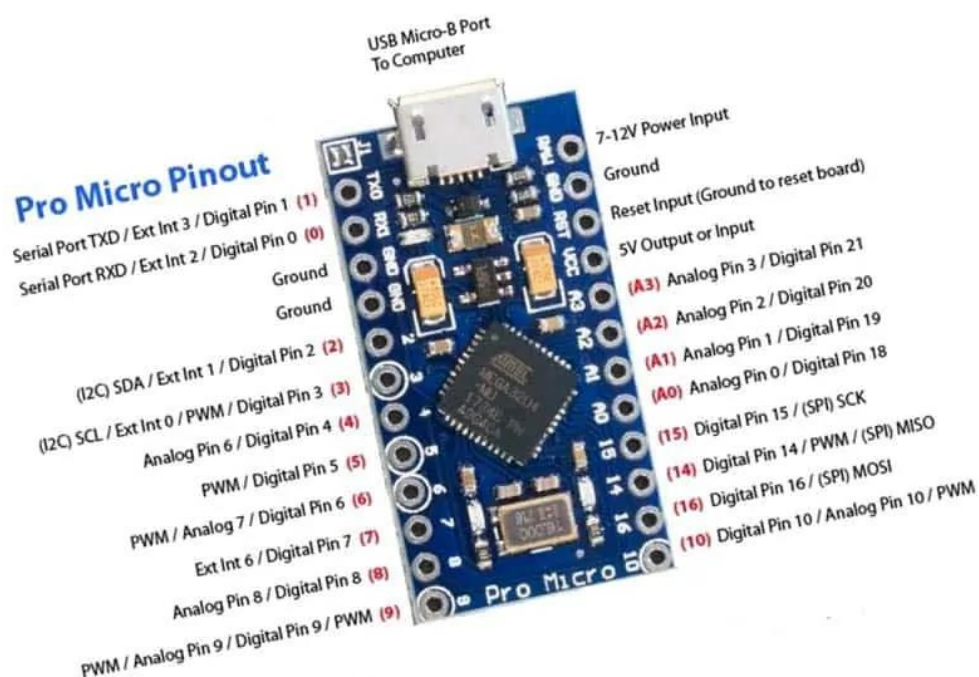
Η επιλογή του έγινε γιατί υπήρχε ανάγκη ενός χαμηλού κόστους συστήματος το οποίο θα πρόσφερε αρκετούς I/O ακροδέκτες για τη λειτουργία όλων των περιφερειακών εξαρτημάτων της GLaDOS, χωρίς να υστερεί σε ταχύτητα επεξεργασίας ή μνήμη Flash σε σχέση με το Arduino Uno. Σημαντικό επίσης ήταν ότι το Arduino αποτελεί πλατφόρμα ανοιχτού υλικολογισμικού και αυτό το καθιστά εύκολα διαχειρίσιμο στη λειτουργία του με αρκετές έτοιμες βιβλιοθήκες για το χειρισμό διαφορών αισθητήρων, κινητήρων, κτλ. Ακολουθεί πίνακας που συγκρίνει τα χαρακτηριστικά μεταξύ Arduino Uno και Arduino Pro Micro.

Πίνακας 4.1: Σύγκριση Arduino Uno με Arduino Pro Micro

Χαρακτηριστικά	Arduino Uno	Arduino Pro Micro
Μικροεπεξεργαστής	ATmega328P	ATmega32U4
Τάση Λειτουργίας	5V	5V
Τάση Εισόδου (Συνιστάμενη)	7-12V	7-12V
Τάση Εισόδου (Όριο)	6-20V	6-20V
Ψηφιακοί I/O Ακροδέκτες	14 (από τα οποία τα 6 παρέχουν PWM έξοδο)	18 (από τα οποία τα 5 παρέχουν PWM έξοδο)
Αναλογικοί Ακροδέκτες	6	9
DC ρεύμα ανά I/O Pins	20 mA	20 mA
Μνήμη Flash	32 KB (ATmega328P) από τα οποία 0.5 KB χρησιμοποιούνται από τον bootloader	32 KB (ATmega32U4) από τα οποία 4 KB χρησιμοποιούνται από τον bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)	2.5 KB (ATmega32U4)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)	1 KB (ATmega32U4)
Ταχύτητα Ρολογιού	16 MHz	16 MHz
USB Θύρα	USB 2.0 Cable Type A/B	USB Cable Type A to

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

		Micro Type B
Μήκος	68.6 mm	33.2 mm
Πλάτος	53.4 mm	17.8 mm
Βάρος	25 g	4.13 g
Τιμή	6.00€	4.00€



Εικόνα 4.1: Το Arduino Pro Micro και οι ακροδέκτες του [9]

Οι ακροδέκτες του Arduino Pro Micro, όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα, θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν και ως πολυτάλαντοι καθώς όλοι διαθέτουν περισσότερες λειτουργίες από μια. Αναλυτικότερα:

- Οι 18 από τους ακροδέκτες του μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ψηφιακοί (digital) είσοδος ή έξοδος. Στο Arduino IDE, οι ακροδέκτες αναφέρονται μέσω μιας ακεραίας τιμής μεταξύ 0-16. Οι ακροδέκτες A0-A3 μπορούν να αναφέρονται είτε με το ψηφιακό αριθμό τους είτε με τον αναλογικό (analog) αριθμό τους.
- Οι 9 από τους 18 ακροδέκτες διαθέτουν ψηφιακούς σε αναλογικούς μετατροπείς και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αναλογικές είσοδοι.
- Υπάρχουν 5 ακροδέκτες με λειτουργία PWM, οι οποίοι υποδεικνύονται στη πλακέτα του Arduino με ένα χαραγμένο λευκό κύκλο γύρω τους.
- Επιπλέον υπάρχουν ακροδέκτες για UART(σειριακή), I2C και SPI που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για σύνδεση ψηφιακών συσκευών όπως οθόνες LCD, XBees, IMU και άλλους σειριακούς αισθητήρες.

Όσον αφορά τη τροφοδοσία, το Arduino Pro Micro συνήθως τροφοδοτείται από το micro USB που διαθέτει, το οποίο μπορεί να συνδεθεί σε έναν οποιοδήποτε υπολογιστή, tablet, ή ακόμα και σε κινητό με την κατάλληλη θύρα. Αν η κατασκευή απαιτούσε αυτόνομη λειτουργία, τότε ο μικροελεγκτής μπορούσε να τροφοδοτηθεί από μια μπαταρία 6V-12V (πρέπει πάντα να είναι 1V παραπάνω από την τροφοδοσία τάσης του Arduino) συνδεδεμένη στον ακροδέκτη RAW.

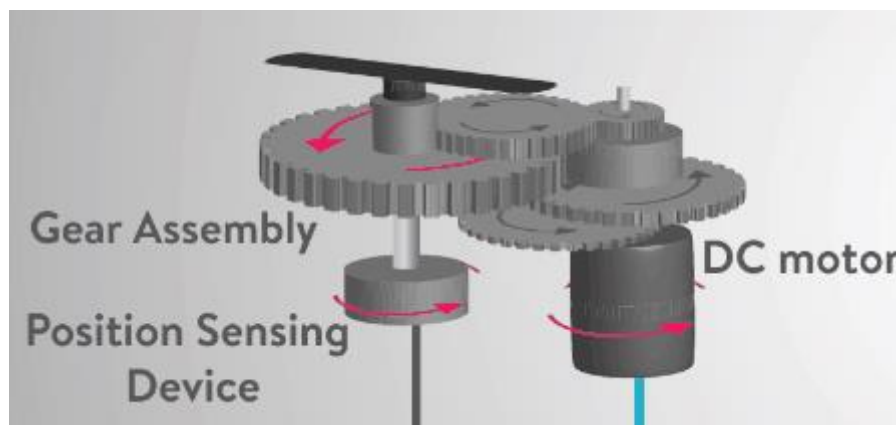
Στην περίπτωση της GLaDOS, το Arduino Pro Micro τροφοδοτείται επαρκώς από ένα Raspberry Pi 4 Model B 4GB, μέσω της υπάρχουσας σειριακής τους επικοινωνία που θα εξηγηθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

4.2 Κινητήρες

Η GLaDOS για όλες τις κινήσεις της βασίζεται σε 4 σερβοκινητήρες που διαχειρίζονται το βάρος της και της παρέχουν τους 4 βαθμούς ελευθερίας της για την άμεση λειτουργικότητα της. Προτού αναλυθούν τα τρία μοντέλα κινητήρων που τοποθετήθηκαν στον ρομποτικό βραχίονα, θα ήταν σημαντικό να οριστεί τι είναι ένας σερβοκινητήρας και από ποια κομμάτια αποτελείται.

Οι σερβοκινητήρες [10] αποτελούν μέρος ενός συστήματος κλειστού βρόχου και αποτελούνται από πολλά διαφορετικά μέρη. Συγκεκριμένα: ένα κύκλωμα ελέγχου, κινητήρα (συνεχόμενου ή εναλλασσόμενου ρεύματός), περιστροφικό άξονα, ποτενσιόμετρο, γρανάζια μετάδοσης κίνησης, ενισχυτή και ενίοτε είτε έναν κωδικοποιητή ή είτε έναν αναλυτή.

Όπως διακρίνεται στην παρακάτω εικόνα, ο σερβοκινητήρας χρησιμοποιεί έναν κινητήρα συνεχόμενου ρεύματος και τον συνδυάζει με έναν αισθητήρα για ανάδραση θέσης. Είναι μια αυτόνομη ηλεκτρική συσκευή, που περιστρέφει μέρη μιας μηχανής με υψηλή απόδοση και με μεγάλη ακρίβεια καθώς ο άξονας εξόδου αυτού του κινητήρα μπορεί να μετακινηθεί σε μια συγκεκριμένη γωνία, θέση και ταχύτητα που δεν έχει ένας κανονικός κινητήρας. Ο κινητήρας ελέγχεται με ένα ηλεκτρικό σήμα, είτε αναλογικό είτε ψηφιακό, το οποίο καθορίζει το μέγεθος της κίνησης που αντιπροσωπεύει την τελική θέση εντολής για τον άξονα.



Εικόνα 4.2: Τα μέρη ενός σερβοκινητήρα συνεχόμενου ρεύματος (DC)

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

Στη περίπτωση της GLaDOS, όλοι οι σερβοκινητήρες είναι συνεχόμενου ρεύματος (DC). Η επιθυμητή ταχύτητα του κινητήρα συνεχούς ρεύματος βασίζεται στην τάση που εφαρμόζεται και προκειμένου να ελεγχθεί, συνήθως, ένα ποτενσιόμετρο παράγει μια τάση που εφαρμόζεται ως μία από τις εισόδους στον ενισχυτή σφάλματος. Σε ορισμένα κυκλώματα όπως και της παρούσας διπλωματικής, χρησιμοποιείται ένας παλμός ελέγχου για την παραγωγή τάσης αναφοράς DC που αντιστοιχεί στην επιθυμητή θέση ή ταχύτητα του κινητήρα και εφαρμόζεται σε έναν μετατροπέα τάσης πλάτους παλμού. Το μήκος του παλμού καθορίζει την τάση που εφαρμόζεται στον ενισχυτή σφάλματος ως επιθυμητή τάση για να παράγει την επιθυμητή ταχύτητα ή θέση.

4.2.1 Σερβοκινητήρας 9g FS90

Ο μικρός, ελαφρύς και οικονομικός σερβοκινητήρας FS90 της εταιρίας FEETECH, είναι τοποθετημένος σε τρία σημεία του ρομποτικού βραχίονα και ελέγχει τα κομμάτια Head, Rotation V1.1 και Moving Arm V1.1 της GLaDOS. Μπορεί να περιστρέφεται 120° και αντέχει 1.5 Kg.cm βάρος, αν και το συνολικό βάρος των κομματιών δεν ξεπερνάει το 1 Kg.

Ο κινητήρας ανήκει στην κατηγορία σερβοκινητήρων “positional rotation” οι οποίοι περιέχουν κάποια μηχανικά στοπ στα γρανάζια μετάδοσης κίνησης για την προστασία του άξονα περιστροφής από το να ξεπεράσει τα όρια του. Επιπλέον, το σύστημα ελέγχου του είναι αναλογικό και αυτό σημαίνει ότι λειτουργεί βάσει των σημάτων τάσης που έρχονται μέσω της διαμόρφωσης πλάτους παλμού (PWM).



Χαρακτηριστικά	
Ταχύτητα Λειτουργίας	0.12 sec/60° (4.8V)
	0.10 sec/60° (6V)
Ροπή Στασιμότητας	1,3 kg.cm (4,8V)
	1,5 kg.cm (6V)
Τάση Λειτουργίας	4,8V~6V
Γωνία Λειτουργίας	120°
Τύπος Γρاناζιού	Πλαστικό
Τύπος Κινητήρα	Μεταλλικό
Διαστάσεις	23.2 × 12.5 × 22 mm

Εικόνα 4.3: Ο Σερβοκινητήρας 9g FS90 και τα χαρακτηριστικά του

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

4.2.2 Σερβοκινητήρας Συνεχόμενης Περιστροφής 360° DS04-NFC

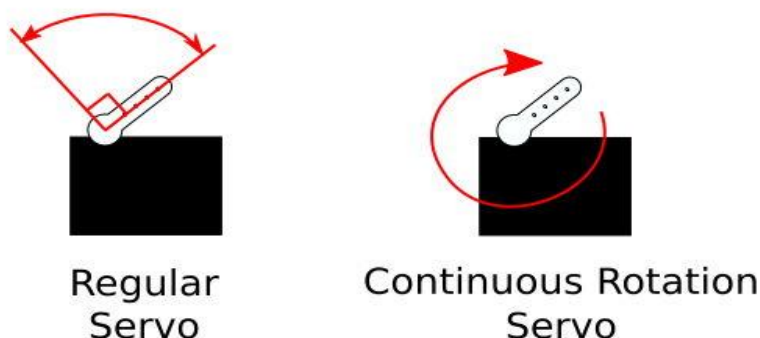
Ο δεύτερος και πιο σημαντικός κινητήρας που χρησιμοποιήθηκε είναι στερεωμένος στη βάση του ρομπότ και αποτελεί τον άξονα που μεταφέρει την περιστροφική κίνηση σε όλο το ρομποτικό σύστημα έτσι ώστε η κάμερα να μπορεί να επιβλέπει σφαιρικά το χώρο στον οποίο βρίσκεται. Για το λόγο αυτό, απαιτούνταν ένας κινητήρας 360°, με μεγάλη ροπή για να αντέχει το βάρος του βραχίονα και ελεγχόμενη ομαλή ταχύτητα, και κατά συνέπεια επιλέχθηκε ο σερβοκινητήρας συνεχόμενης περιστροφής (continuous rotation) DS04-NFC.



Χαρακτηριστικά	
Ταχύτητα Λειτουργίας	0.22 sec/60° (4.8V)
Ροπή Στασιμότητας	5.5 kg.cm (at 4.8V)
Τάση Λειτουργίας	4,8V~6V
Ρεύμα	< 1000 mA
Γωνία Λειτουργίας	360°
Τύπος Γραναζιού	Πλαστικό
Τύπος Κινητήρα	Μεταλλικό
Βάρος	38g
Διαστάσεις	40.8 x 20 x 39.5 mm

Εικόνα 4.4: Ο Σερβοκινητήρας Συνεχόμενης Περιστροφής 360° DS04-NFC και τα χαρακτηριστικά του

Οι συνεχόμενης περιστροφής κινητήρες έχουν ένα άξονα που περιστρέφεται συνεχώς με έλεγχο της ταχύτητας και της κατεύθυνσης τους, σε αντίθεση με τους συνηθισμένους σερβοκινητήρες που περιστρέφονται μόνο σε μια στενή περιοχή, με ακριβή έλεγχο της θέσης.

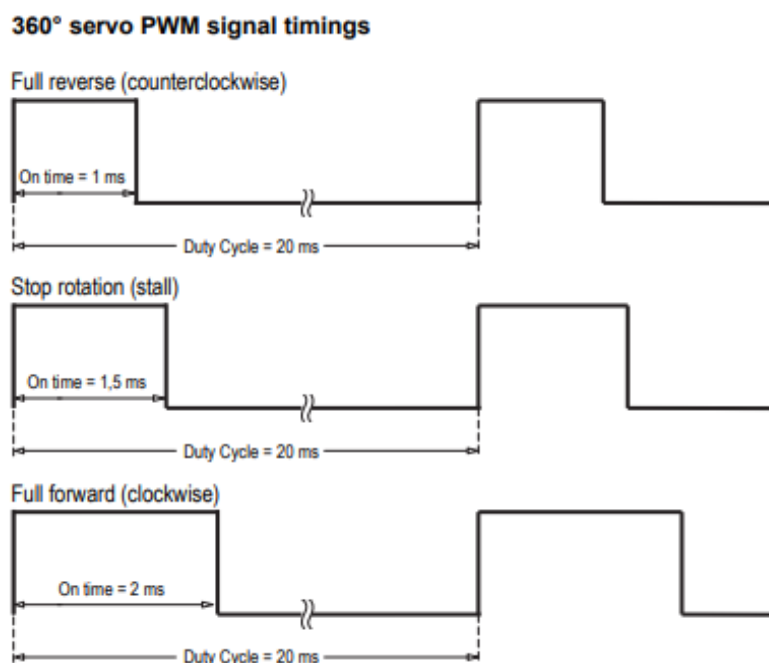


Εικόνα 4.5: Διαφορά εμβέλειας σερβοκινητήρων [11]

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

Οι συγκεκριμένοι κινητήρες είναι τυπικοί RC (Radio Control) επικοινωνίας σερβομηχανισμοί που έχουν τροποποιηθεί για να προσφέρουν έλεγχο ταχύτητας ανοιχτού βρόχου αντί του συνήθους ελέγχου θέσης κλειστού βρόχου. Αυτή η τροποποίηση τα μετατρέπει αποτελεσματικά σε κινητήρες με ενσωματωμένους οδηγούς σε μια συμπαγή, φθηνή συσκευασία.

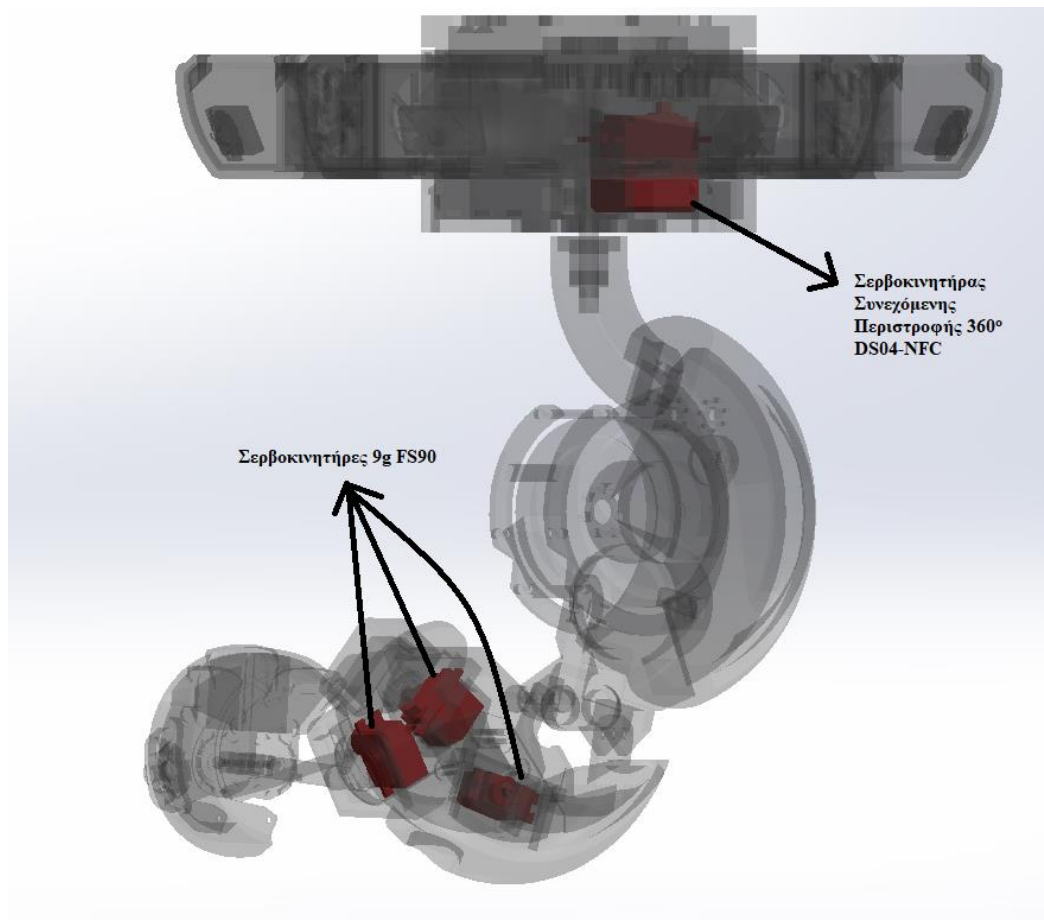
Ο έλεγχος εκτελείται χρησιμοποιώντας ένα παλμικό σήμα, συνήθως με παλμούς που ποικίλουν από 1 έως 2 ms, που αποστέλλονται κάθε 20 ms (50 Hz). Ένας παλμός 1 ms αντιστοιχεί σε κίνηση πλήρης ταχύτητας προς μία κατεύθυνση, ενώ ένας παλμός 2 ms είναι κίνηση πλήρης ταχύτητα προς την άλλη κατεύθυνση. Στα μισά μεταξύ αυτών των άκρων, ένας παλμός 1,5 ms θα πρέπει να κάνει τον κινητήρα να σταματήσει. Αυτοί οι παλμοί δημιουργούνται εύκολα χρησιμοποιώντας PWM σε έναν μικροελεγκτή.



Εικόνα 4.6: Παλμικά σήματα των κινητήρων συνεχόμενης περιστροφής

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι, αν και είναι εύκολος ο έλεγχος της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του ρομπότ, οι σερβοκινητήρες συνεχόμενης περιστροφής δεν προσφέρουν έλεγχο θέσης, κάτι που στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής είναι απαραίτητο για την άμεση αντίδραση της GLaDOS σε περίπτωση εισβολέα. Ως αποτέλεσμα, έγινε μείζον σημασίας η πρόσθεση ενός ακόμα εξαρτήματος που σε συνεργασία με τον κινητήρα θα γνωρίζει ανά πάσα στιγμή και με ακρίβεια τη θέση του έτσι ώστε να τον καθοδηγεί. Αυτό το ρόλο εκπλήρωσε ο περιστροφικός κωδικοποιητής που ακολουθεί.

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων



Εικόνα 4.7: Θέσεις κινητήρων στο αυτόματο

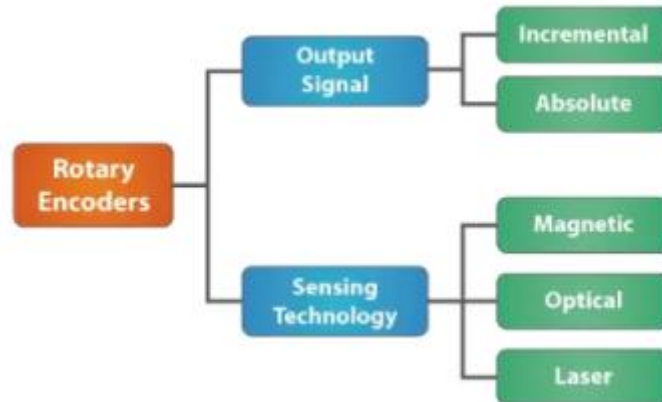
4.3 Περιστροφικός Κωδικοποιητής

Οι κωδικοποιητές (encoders) [12] αποτελούν συσκευές που παράγουν σήματα εξόδου ανάλογα τη γραμμική ή την περιστροφική τους κίνηση και σε πολλές βιομηχανίες χρησιμοποιούνται για την παροχή ανατροφοδότησης. Γενικά, ένας κωδικοποιητής ανεξάρτητα τον τύπο του, μπορεί να δίνει σχετική ή απόλυτη μέτρηση θέσης, ταχύτητας, επιτάχυνσης και ανίχνευσης κατεύθυνσης. Οι κωδικοποιητές χρησιμοποιούν την κίνηση και την μεταφράζουν σε ηλεκτρικό σήμα. Το σήμα στη συνέχεια αποστέλλεται πίσω σε μια συσκευή ελέγχου και ερμηνεύεται για να αντιπροσωπεύσει μια τιμή που χρησιμοποιείται στη συνέχεια εντός του προγράμματος.

Οι κωδικοποιητές χωρίζονται σε γραμμικούς (linear) και περιστροφικούς (rotary). Οι γραμμικοί κωδικοποιητές παράγουν ψηφιακούς παλμούς όταν το τμήμα, στο οποίο βρίσκονται τοποθετημένοι, έχει μια μεταφορική κίνηση προς συγκεκριμένη κατεύθυνση. Έτσι μετριοούνται οι σχετικές ή απόλυτες συντεταγμένες ενός συγκεκριμένου σημείου. Αντίθετα, οι περιστροφικοί κωδικοποιητές παράγουν ψηφιακούς παλμούς όταν ο άξονας, που είναι συνδεδεμένος ο κωδικοποιητής, περιστρέφεται. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η μέτρηση της σχετικής ή απόλυτης γωνίας περιστροφής του άξονα. Γενικά, οι περιστροφικοί κωδικοποιητές χρησιμοποιούνται πιο συχνά από τους γραμμικούς, όπως και στη περίπτωση της παρούσας διπλωματικής.

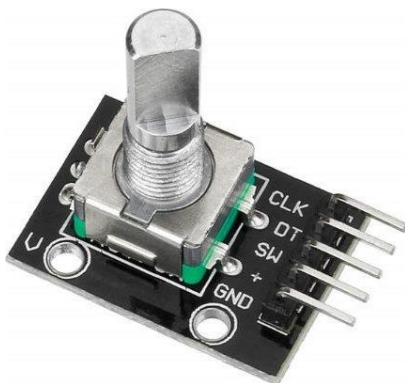
Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι περιστροφικών κωδικοποιητών που ταξινομούνται είτε με βάση το σήμα εξόδου είτε με την τεχνολογία ανίχνευσης τους.



Εικόνα 4.8: Τύποι περιστροφικών κωδικοποιητών.

Για να επιτευχθεί η ορθή λειτουργία του σερβοκινητήρα συνεχόμενης περιστροφής (continuous rotation) DS04-NFC στη βάση της GLaDOS, έγινε χρήση του incremental περιστροφικού κωδικοποιητή KY-040 που είναι ο πιο απλός αισθητήρας θέσης για τη μέτρηση της περιστροφής [13].

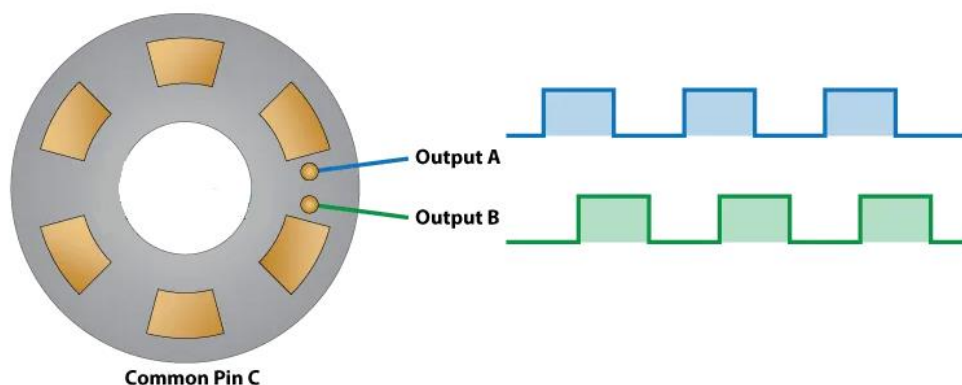


Χαρακτηριστικά	
Παλμοί/360° περιστροφή	20
Έξοδος	2-bit Gray Κώδικας
Τάση Λειτουργίας	5V
Γωνία Λειτουργίας	360° συνεχόμενο
Διαστάσεις	30 × 18 × 30 mm

Εικόνα 4.9: Ο περιστροφικός κωδικοποιητής KY-040 και τα χαρακτηριστικά του

Ο KY-040 κωδικοποιητής είναι μια περιστροφική συσκευή εισόδου που παρέχει μια ένδειξη για το πόσο έχει γυρίσει η λαβή και σε ποια κατεύθυνση περιστρέφεται. Ο κωδικοποιητής έχει έναν δίσκο με ζώνες επαφής ομοιόμορφα κατανεμημένες που συνδέονται με την κοινή ακίδα C (GND) και δύο άλλες ξεχωριστές ακίδες επαφής A (CLK) και B (DT), όπως φαίνεται και στην ακόλουθη εικόνα.

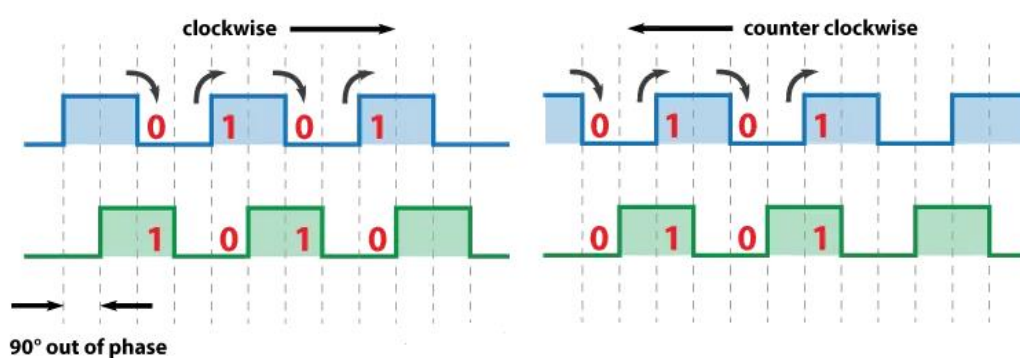
Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων



Εικόνα 4.10: Ο δίσκος του κωδικοποιητή και οι ακίδες του

Όταν ο δίσκος αρχίσει να περιστρέφεται βήμα προς βήμα, οι ακίδες A και B θα αρχίσουν να έρχονται σε επαφή με την κοινή ακίδα και δύο σήματα εξόδου τετραγωνικού κύματος θα δημιουργηθούν ανάλογα. Οποιαδήποτε από τις δύο εξόδους μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της θέσης περιστροφής εάν μετρηθούν απλώς οι παλμοί του σήματος. Ωστόσο, εάν χρειαστεί να προσδιοριστεί και η κατεύθυνση περιστροφής, πρέπει να ληφθούν υπόψη και τα δύο σήματα ταυτόχρονα.

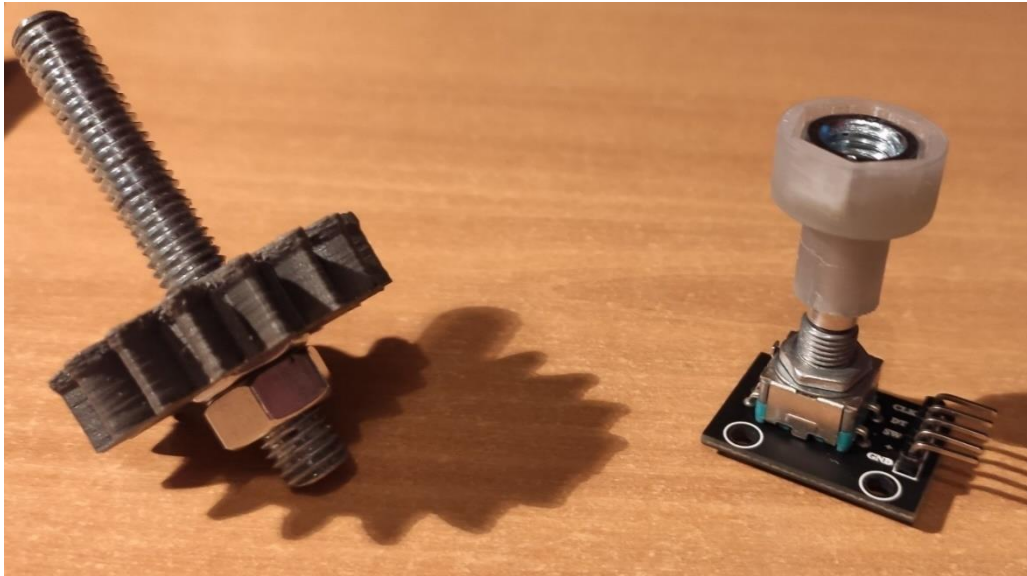
Παρατηρείται ότι τα δύο σήματα εξόδου μετατοπίζονται κατά 90 μοίρες εκτός φάσης το ένα από το άλλο. Εάν ο κωδικοποιητής περιστρέφεται δεξιόστροφα, η έξοδος A θα είναι μπροστά από την έξοδο B.



Εικόνα 4.11: Τετραγωνικοί παλμοί των σημάτων εξόδου

Μετρώντας τα βήματα κάθε φορά που αλλάζει το σήμα, από High σε Low ή από Low σε High, παρατηρείται ότι εκείνη τη στιγμή τα δύο σήματα εξόδου έχουν αντίθετες τιμές. Αντίστροφα, εάν ο κωδικοποιητής περιστρέφεται αριστερόστροφα, τα σήματα εξόδου έχουν ίσες τιμές. Και με αυτό το τρόπο, γίνεται εύκολος ο προγραμματισμός του ελεγκτή ώστε να διαβάσει τη θέση του κωδικοποιητή και την κατεύθυνση περιστροφής που λαμβάνει από το κινητήρα.

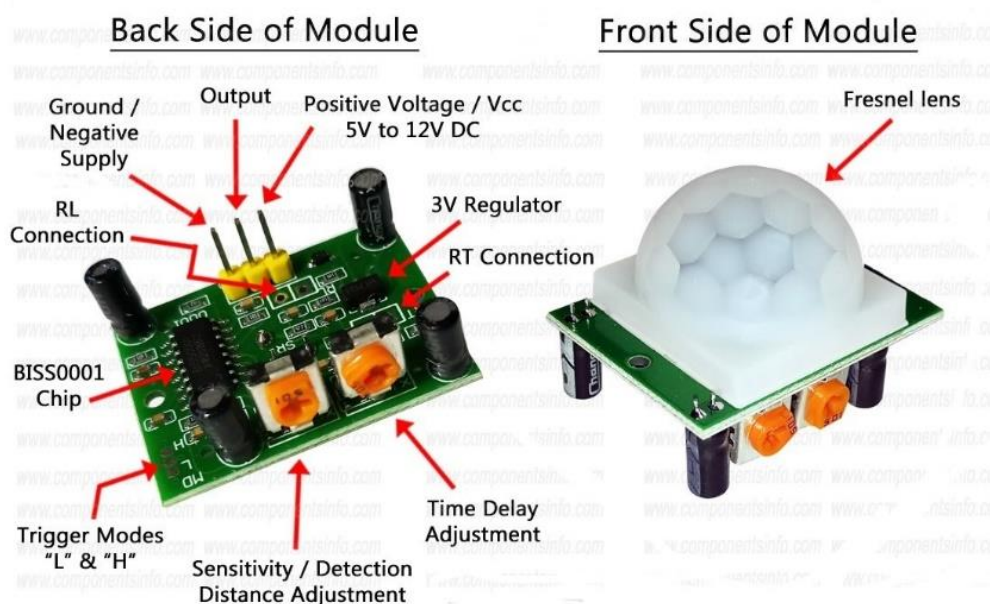
Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων



Εικόνα 4.12: Ο κωδικοποιητής και ο άξονας περιστροφής του

4.4 Αισθητήρες Κίνησης PIR

Σκοπός του ρομποτικού βραχίονα, όπως δηλώνεται και στο τίτλο του, είναι ο εντοπισμός κινήσεων στο χώρο τον οποίο επιβλέπει, έτσι ώστε η κάμερα με τη βοήθεια των κινητήρων του βραχίονα να πιάνει στο φακό της τους εισβολείς. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε ένας χαμηλού κόστους αισθητήρας κίνησης ικανός να αντιληφθεί κινήσεις από ανθρώπους ή ζώα, ο HC-SR501 PIR (Passive Infrared Sensor) [14] [15] . Ο ίδιος αισθητήρας μπορεί να βρεθεί σε πολλά σύγχρονα συστήματα ασφάλειας μιας και είναι αρκετά αξιόπιστος και εύκολος στη λειτουργία.

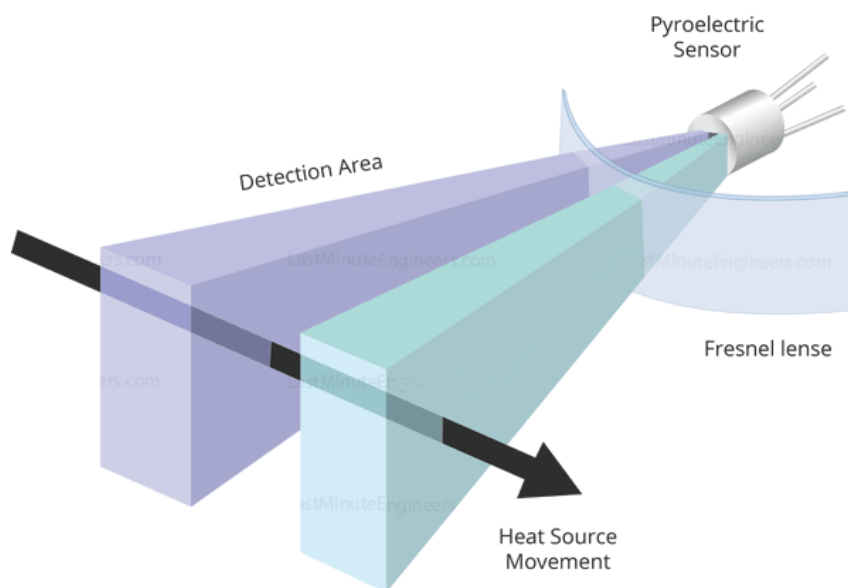


Εικόνα 4.13: Ο HC-SR501 PIR και τα εξαρτήματά του

Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά του αισθητήρα κίνησης PIR

Χαρακτηριστικά	
Τάση Λειτουργίας	5V – 20V
Ρεύμα	50 mA – 65 mA
Λογική έξοδος	3,3V / 0V
Εύρος Ανίχνευσης	<120°, εντός 7m
Χρόνος καθυστέρησης	0,3s – 200s, προσαρμοσμένο έως 10 λεπτά
Χρόνος κλειδώματος	2,5s. (προεπιλογή)
Θερμοκρασία	-15 ~ +70 °C
Διαστάσεις Φακού	23 mm
Διαστάσεις	32 × 24 mm

Γενικά, όλα τα αντικείμενα με θερμοκρασία πάνω από το Απόλυτο Μηδέν (0 Kelvin / -273,15 °C) εκπέμπουν μια θερμική ενέργεια στη μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας, συμπεριλαμβανομένων και των ανθρώπινων σωμάτων. Όσο πιο θερμό είναι ένα αντικείμενο, τόσο περισσότερη ακτινοβολία εκπέμπει. Ο αισθητήρας PIR είναι ειδικά σχεδιασμένος για να ανιχνεύει τέτοια επίπεδα υπέρυθρης ακτινοβολίας. Αποτελείται βασικά από δύο κύρια μέρη: έναν πυροηλεκτρικό αισθητήρα και έναν ειδικό λευκό φακό ονόματι Fresnel που εστιάζει τα υπέρυθρα σήματα στον πυροηλεκτρικό αισθητήρα, αυξάνοντας την αποδοτικότητα του αισθητήρα και ταυτόχρονα προστατεύοντας τον. Το πίσω μέρος του PCB είναι το κύκλωμα με το τσιπ και όλα τα εξαρτήματα που απαιτούνται για την επεξεργασία των πληροφοριών που λαμβάνονται από τον αισθητήρα.



Εικόνα 4.14: Τρόπος λειτουργίας των PIR αισθητήρων

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

Ένας πυροηλεκτρικός αισθητήρας έχει στην πραγματικότητα δύο ορθογώνιες υποδοχές από υλικό που επιτρέπει στην υπέρυθρη ακτινοβολία να περάσει. Πίσω από αυτά, υπάρχουν δύο ξεχωριστά ηλεκτρόδια αισθητήρα υπέρυθρων, το ένα υπεύθυνο για την παραγωγή θετικής εξόδου και το άλλο αρνητικής εξόδου. Αυτό συμβαίνει γιατί είναι επιθυμητή η αλλαγή στα επίπεδα IR και όχι στα επίπεδα υπέρυθρων περιβάλλοντος. Τα δύο ηλεκτρόδια είναι καλωδιωμένα έτσι ώστε να αλληλοεξουδετερώνονται. Εάν το ένα μισό δει περισσότερη ή λιγότερη ακτινοβολία υπέρυθρων από το άλλο, η έξοδος θα ταλαντευτεί ψηλά ή χαμηλά.

Όταν ο αισθητήρας είναι αδρανής, δηλαδή δεν υπάρχει κίνηση γύρω από τον αισθητήρα, και οι δύο υποδοχές ανιχνεύουν την ίδια ποσότητα υπέρυθρης ακτινοβολίας, τότε έχει ως αποτέλεσμα ένα σήμα μηδενικής εξόδου. Αλλά όταν περνάει ένα ζεστό σώμα όπως άνθρωπος ή ζώο, αρχικά παρεμποδίζει το μισό του αισθητήρα PIR, το οποίο προκαλεί μια θετική αλλαγή διαφοράς μεταξύ των δύο μισών. Όταν το θερμό σώμα φεύγει από την περιοχή αίσθησης, συμβαίνει το αντίστροφο, οπότε ο αισθητήρας δημιουργεί μια αρνητική αλλαγή διαφορικού. Ο αντίστοιχος παλμός σημάτων έχει ως αποτέλεσμα ο αισθητήρας να θέτει ψηλά τον ακροδέκτη εξόδου του.

Ο HC-SR501 PIR, πέρα από την λειτουργία που αναλύθηκε παραπάνω, προσφέρει ακόμα κάποιες επιπρόσθετες επιλογές στις ρυθμίσεις του, οι οποίες έχουν σχέση με:

- Ευαισθησία: Διαθέτει ποτενσιόμετρο που μπορεί να ελέγχει τη μέγιστη απόσταση που μπορεί να ανιχνεύσει ο αισθητήρας κίνησης. Κυμαίνεται από 3m έως περίπου 7m, και η τοπολογία του δωματίου που βρίσκεται ο αισθητήρας μπορεί να επηρεάσει το πραγματικό εύρος που επιτυγχάνεται.
- Χρόνος: Διαθέτει ποτενσιόμετρο που μπορεί να ελέγχει το πόσο καιρό θα παραμείνει η έξοδος HIGH μετά την ανίχνευση. Το ελάχιστο είναι 3s και το μέγιστο είναι 300s (5m).
- H-L λειτουργία: Η πλακέτα διαθέτει ένα βραχυκυκλωτήρα (jumper) ο οποίος έχει δύο ρυθμίσεις:

1. Στη λειτουργία Repeatable (H) η ακίδα εξόδου Dout θα πάει HIGH (3,3V) όταν ανιχνευτεί ένα άτομο εντός εμβέλειας και θα γίνει LOW μετά από ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (ο χρόνος ρυθμίζεται από το ποτενσιόμετρο του χρόνου). Σε αυτήν τη λειτουργία, η ακίδα εξόδου θα ανέβει ψηλά, ανεξάρτητα από το αν το άτομο εξακολουθεί να είναι εντός ή εκτός της περιοχής.

2. Στη λειτουργία Non-repeatable (L) η ακίδα εξόδου Dout θα πάει HIGH (3,3 V) όταν ένα άτομο εντοπιστεί εντός εμβέλειας και θα παραμείνει HIGH για όσο διάστημα παραμένει εντός του ορίου του εύρους των αισθητήρων. Μόλις το άτομο φύγει από την περιοχή, η ακίδα θα γίνει LOW μετά από μια συγκεκριμένη ώρα που μπορεί να ρυθμιστεί χρησιμοποιώντας το ποτενσιόμετρο χρόνου.

Στη περίπτωση της GLaDOS, έχουν τοποθετηθεί τέσσερις HC-SR501 PIR αισθητήρες κίνησης περιμετρικά στη κυκλική βάση της, ακτίνας 15cm, σε ίση απόσταση μεταξύ τους. Εκμεταλλευόμενοι την γωνία περιστροφής 360° του σερβοκινητήρα συνεχόμενης περιστροφής DS04-NFC, χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις αριθμημένοι αισθητήρες για τη πλήρη κάλυψη ενός δωματίου. Τα PIRs

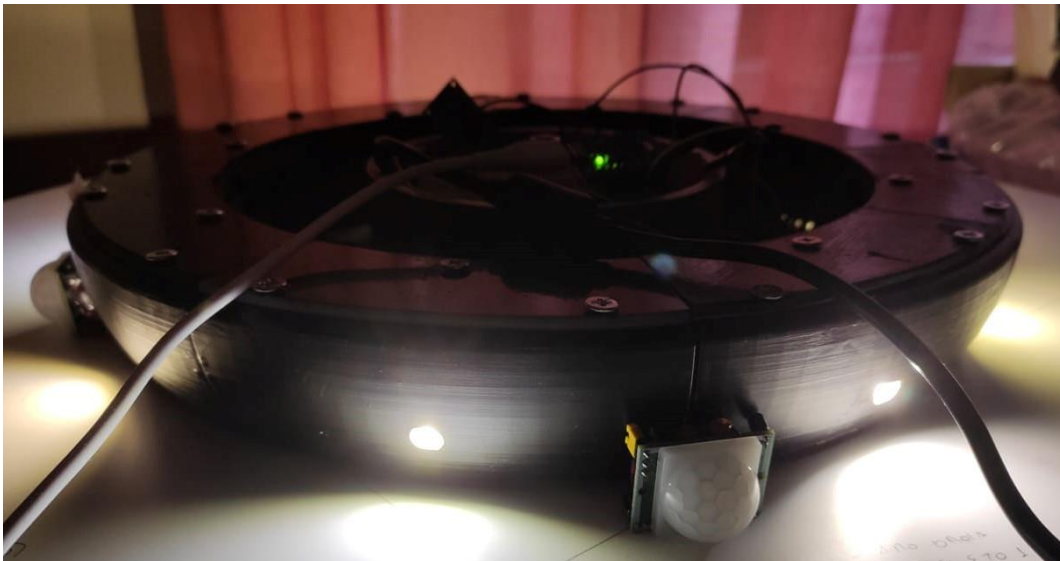
Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

είναι ρυθμισμένα σε ευαισθησία 3m και σε λειτουργία Non-repeatable (L) με χρόνο 3s για γρήγορες ενδείξεις. Στην ενότητα του κώδικα θα εξηγηθούν πλήρως τα σημεία όπου βρίσκονται οι αισθητήρες βάσει του περιστροφικού κωδικοποιητή, καθώς και τι γίνεται στη περίπτωση που γίνουν HIGH παραπάνω από ένας αισθητήρας.

4.5 Λειτουργία Φωτιστικού

Ο αρχικός σχεδιασμός της GLaDOS από τον Ολλανδό Μηχανολόγο Μηχανικό, έγινε για τα πλαίσια ενός διαγωνισμού για δημιουργία πρωτότυπων φωτιστικών. Για αυτό το λόγο, η βάση του ρομπότ διαθέτει 8 θέσεις για λαμπτήρες που μετατρέπουν τον βραχίονα σε ένα ιδιαίτερο φωτιστικό χώρου. Στη παρούσα διπλωματική, δημιουργήθηκε ένα παρόμοιο κύκλωμα λαμπτήρων, με σκοπό να μπορεί το ρομπότ να αντικαταστήσει το ήδη υπάρχον φωτιστικό, στη μέση ενός δωματίου.

Σε αντίθεση με τη τελική κατασκευή του Υνο de Haas που, λόγω κινητήρα μικρής γωνίας περιστροφής στη βάση, τοποθετήθηκε σε γωνιά δωματίου και οι λαμπτήρες απλά ανοιγόκλειναν, η GLaDOS που αναλύεται στη παρούσα διπλωματική έχει παραπάνω λειτουργίες που ενισχύουν την αυτονομία της. Αρχικά, μπορεί να λειτουργεί χειροκίνητα με το πάτημα ενός κουμπιού on/off για όσο χρόνο ο χρήστης επιλέξει. Το πιο σημαντικό είναι όμως ότι το ρομπότ είναι ικανό να δουλέψει σε συνθήκες πλήρης συσκότισης. Σε περίπτωση που επικρατεί σκοτάδι, αν οι αισθητήρες κίνησης PIR αντιληφθούν κάποια κίνηση, μία φωτοαντίσταση ελέγχει τη φωτεινότητα του χώρου και αν δεν κριθεί αρκετή για τη καλή λειτουργία της κάμερας, στέλνει σήμα σε ένα ρελέ να ενεργοποιήσει τα φώτα μέχρις ότου να ταυτοποιηθεί ο δράστης της κίνησης. Στη συνέχεια αν δεν υπάρχει περαιτέρω κίνηση, ένας χρονομετρητής, μέσω κώδικα, κλείνει τα φώτα κάνοντας το σύστημα απόλυτα αυτόνομο χωρίς την συμβολή ανθρώπινου παράγοντα.

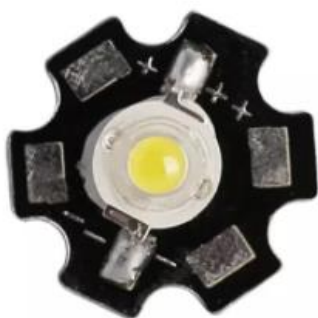


Εικόνα 4.15: Ενεργοποίηση λαμπτήρων περιμετρικά της βάσης

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

4.5.1 Λαμπτήρες

Για λαμπτήρες επιλέχθηκαν τα οικονομικά super leds 1W χρώματος κρύου λευκού και κολλήθηκαν πάνω σε heat sinks σχηματισμού αστεριού για να μην υπερθερμαίνονται. Το φως που βγάζουν είναι αρκετό για να λειτουργήσει η κάμερα αλλά ίσως όχι για να φωτιστεί επαρκώς ο χώρος στον οποίο βρίσκονται. Ανάλογα το μέγεθος του δωματίου και τη φωτεινότητα που επιθυμεί ο χρήστης, οι λαμπτήρες μπορούν εύκολα να αντικατασταθούν από τα 3W μοντέλα τους, χωρίς αλλαγές στη τροφοδοσία και το κύκλωμα. Συνιστάται να υπάρχει ένα heat sink κολλημένο πίσω από το καθένα για να τραβάνε τη θερμότητα που εκπέμπουν οι λαμπτήρες.

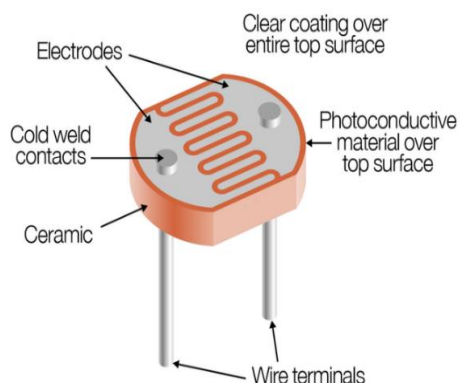


Χαρακτηριστικά	
Lumens	100 ~ 110 LM
Ρεύμα Λειτουργίας	300 ~ 350 mA
Τάση Λειτουργίας	Max 3,2V ~ 3,4V
Γωνία Λειτουργίας	120°
Θερμοκρασία	>20° <+60°
Διάρκεια Ζωής	>100.000 hours
Διαστάσεις Heat sink	20 mm

Εικόνα 4.16: Οι λαμπτήρες και τα χαρακτηριστικά τους

4.5.2 Φωτοαντίσταση LDR 5mm

Τα φωτοκύτταρα είναι αισθητήρες που επιτρέπουν την ανίχνευση φωτός. Είναι μικρά, φθηνά, χαμηλής ισχύος, εύρηστα και δεν φθείρονται. Για το λόγο αυτό εμφανίζονται συχνά σε παιχνίδια, gadget και συσκευές. Συχνά αναφέρονται ως CdS (Cadmium-Sulfide) κύτταρα (είναι κατασκευασμένα από θειούχο-κάδμιο), εξαρτώμενες από το φως αντιστάσεις (LDR) ή φωτοαντιστάσεις [16].



Χαρακτηριστικά	
Αντίσταση φωτός	0-20 KOhm
Αντοχή στο σκοτάδι	1 MOhm (Ελάχιστο)
Μέγιστη Τάση	150 V
Μέγιστη ισχύς	100 mW
Σήμα Εξόδου	Αναλογικό

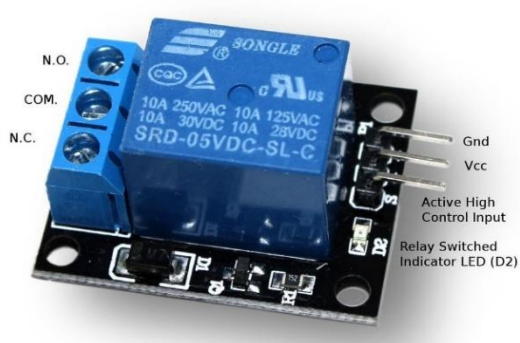
Εικόνα 3.17: Η φωτοαντίσταση και τα χαρακτηριστικά της

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

Βασικά το φωτοκύτταρο είναι μια αντίσταση που αλλάζει την τιμή της (σε ohms Ω) ανάλογα με το πόσο φως λάμπει στο στριμμένο πρόσωπο. Όταν είναι σκοτάδι, η αντίσταση μιας φωτοαντίστασης μπορεί να είναι τόσο υψηλή όσο μερικά M Ω . Ωστόσο όταν είναι φωτεινά, η αντίσταση μιας φωτοαντίστασης μπορεί να είναι τόσο χαμηλή όσο μερικές εκατοντάδες ohms. Γενικά, είναι πολύ χαμηλού κόστους, και βγαίνει σε πολλά μεγέθη και προδιαγραφές, αλλά είναι πολύ ανακριβή. Κάθε αισθητήρας φωτοκύτταρων θα λειτουργεί λίγο διαφορετικά από τον άλλο, ακόμα κι αν είναι από τον ίδιο κατασκευαστή. Για αυτόν τον λόγο, δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό ακριβών επιπέδων φωτός σε lux ή millicandela. Αντίθετα, είναι αρκετό για να προσδιοριστούν βασικές αλλαγές φωτός και άρα ικανό να ελέγξει τους λαμπτήρες της GLaDOS ανάλογα τη φωτεινότητα του δωματίου.

4.5.3 Ρελέ (Relay)

Οι 8 λαμπτήρες για να λειτουργήσουν δέχονται τάση από ένα τροφοδοτικό 12V με αποτέλεσμα το Arduino Pro Micro που λειτουργεί στα 5V να μη μπορεί να τα ελέγξει απευθείας. Το πρόβλημα αυτό έρχεται να λύσει το ρελέ ενός καναλιού [17] [18], το οποίο είναι σε θέση να ελέγξει το δίκτυο των λαμπτήρων ενώ το ίδιο τροφοδοτείται και ελέγχεται από το Arduino.



Χαρακτηριστικά	
Ρεύμα Λειτουργίας	1.5 mA - 1.9 mA
Τάση Λειτουργίας	3.75V - 6V
Μέγιστη τάση επαφής Ρελέ	AC 250 V ή DC 30 V
Μέγιστο ρεύμα επαφής Ρελέ	10 A
Διαστάσεις Heatsink	36 x 26 x 18 mm

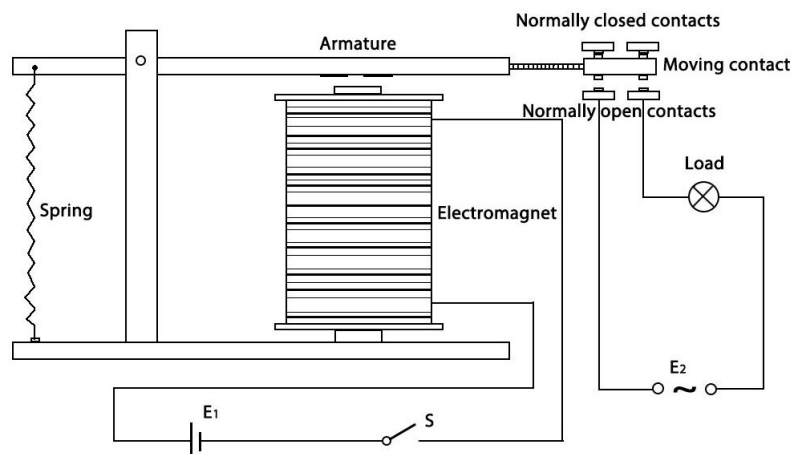
Εικόνα 4.18: Το ρελέ και τα χαρακτηριστικά του

Ένα ρελέ είναι ένας ηλεκτρομαγνητικός διακόπτης. Διαθέτει ένα σύστημα ελέγχου (ονομάζεται επίσης κύκλωμα εισόδου ή επαφή εισόδου) και ένα ελεγχόμενο σύστημα (ονομάζεται επίσης κύκλωμα εξόδου ή συντελεστής εξόδου). Χρησιμοποιείται συχνά σε αυτόματα κυκλώματα ελέγχου. Πιο απλά, είναι ένας αυτόματος διακόπτης για τον έλεγχο ενός κυκλώματος υψηλού ρεύματος με σήμα χαμηλού ρεύματος.

Τα πλεονεκτήματα ενός ρελέ έγκεινται στη χαμηλότερη αδράνεια κίνησης, τη σταθερότητα, τη μακροπρόθεσμη αξιοπιστία και τον μικρό όγκο. Σε γενικές γραμμές, ένα ρελέ περιέχει ένα τμήμα επαγωγής που μπορεί να αντανακλά μεταβλητή εισόδου όπως ρεύμα, τάση, συχνότητα, θερμοκρασία, κ.λπ. Περιέχει επίσης μια μονάδα ενεργοποιητή (έξοδο) που μπορεί να ενεργοποιήσει ή να απενεργοποιήσει τη σύνδεση ενός ελεγχόμενου κυκλώματος. Υπάρχει ένα ενδιάμεσο τμήμα μεταξύ

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

του τμήματος εισόδου και του τμήματος εξόδου που χρησιμοποιείται για τη σύζευξη και την απομόνωση του ρεύματος εισόδου, καθώς και για την ενεργοποίηση της εξόδου. Όταν η ονομαστική τιμή εισόδου (τάση, ρεύμα και θερμοκρασία κ.λπ.) είναι πάνω από την κρίσιμη τιμή, το ελεγχόμενο κύκλωμα εξόδου του ρελέ θα ενεργοποιηθεί ή θα απενεργοποιηθεί.



Εικόνα 4.19: Τα εξαρτήματα και το κύκλωμα ενός ρελέ

Κάθε ρελέ αποτελείται από 5 βασικά κομμάτια:

1. Ηλεκτρομαγνήτης (Electromagnet): Αποτελείται από έναν πυρήνα σιδήρου που περιτριγυρίζεται από ένα πηνίο συρμάτων. Όταν διέρχεται ηλεκτρισμός, γίνεται μαγνητικός.
2. Οπλισμός (Armature): Η κινητή μαγνητική λωρίδα είναι γνωστή ως οπλισμός. Όταν το ρεύμα ρέει μέσα από αυτά, το πηνίο ενεργοποιείται, παράγοντας έτσι ένα μαγνητικό πεδίο το οποίο χρησιμοποιείται για να δημιουργήσει ή να σπάσει τα κανονικά ανοιχτά (N/O) ή κανονικά κλειστά (N/C) σημεία. Και ο οπλισμός μπορεί να μετακινηθεί με συνεχόμενο ρεύμα (DC) καθώς και με εναλλασσόμενο ρεύμα (AC).
3. Ελατήριο (Spring): Όταν δεν ρέουν ρεύματα μέσα από το πηνίο στον ηλεκτρομαγνήτη, το ελατήριο απομακρύνει τον οπλισμό και έτσι το κύκλωμα δεν μπορεί να ολοκληρωθεί.
4. Σειτ ηλεκτρικών επαφών (Contacts): Υπάρχουν δύο σημεία επαφής:
 - Κανονικά ανοιχτό (Normally opened): Συνδέεται όταν το ρελέ είναι ενεργοποιημένο και αποσυνδέεται όταν είναι ανενεργό.
 - Κανονικά κλειστό (Normally closed): Δεν συνδέεται όταν το ρελέ είναι ενεργοποιημένο και συνδέεται όταν είναι ανενεργό.
5. Πλαστικό Πλαίσιο: Τα ρελέ καλύπτονται με πλαστικό για προστασία.

Με αυτά τα χαρακτηριστικά, το ρελέ σε συνεργασία με την φωτοαντίσταση και το κώδικα που αναπτύχθηκε στο Arduino Pro Micro, έχει το έλεγχο των λαμπτήρων στη περίπτωση κίνησης και έλλειψης φωτός.

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

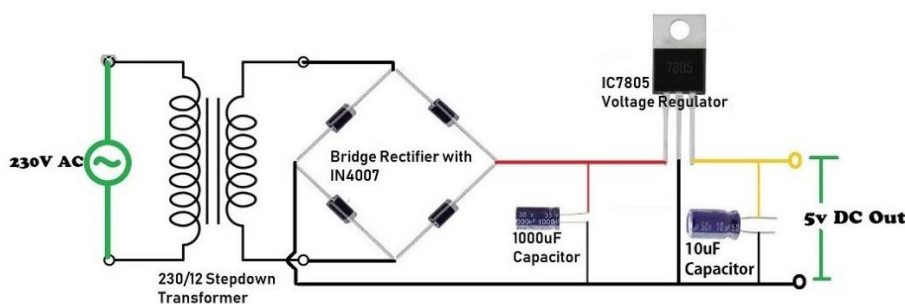
Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, κάποια από τα παραπάνω ηλεκτρονικά κυκλώματα δεν μπορούν να τροφοδοτηθούν αποκλειστικά από τη τάση και ρεύμα που παρέχει το Arduino Pro Micro. Για αυτό το λόγο, δημιουργήθηκε ένα ιδιαίτερο σύστημα τροφοδοσίας που καλύπτει τις ανάγκες όλων των υποσυστημάτων της GLaDOS και την προστατεύει από τις υψηλές τάσης.

4.6 Τροφοδοσία

Η τροφοδοσία του ρομποτικού βραχίονα αποδείχθηκε αρκετά απαιτητική γιατί χρειάστηκε να αναλυθούν δυο μοντέλα. Το ένα είναι για τη περίπτωση που θεωρηθεί ότι η GLaDOS εγκαθίσταται στη θέση του φωτιστικού και άρα τροφοδοτείται απευθείας από το ρεύμα του σπιτιού. Το δεύτερο είναι για τα πλαίσια της παρουσίας της καθώς δεν θα ήταν εύκολο να καταγραφούν οι αντιδράσεις της και να διορθωθούν τυχόν προβλήματα εάν ήταν ήδη τοποθετημένη σε ένα ταβάνι. Γενικά το ρομπότ αποτελείται από 12 στοιχεία που δουλεύουν με 5V τάση και 8 λαμπτήρες που το κύκλωμα τροφοδότησης τους απαιτεί 12V, οπότε η ελάχιστη τάση που πρέπει να παρέχεται στο σύστημα είναι της τάξης των 12V.

Αρχικά στη περίπτωση της άμεσης τροφοδότησης από τη τάση του σπιτιού, λόγω ότι λαμβάνονται 230V εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) πρέπει να ακολουθηθούν κάποια βήματα για να τη μετατροπή σε συνεχόμενο ρεύμα (DC). Τα βήματα είναι τα εξής:

- 1) Μείωση τη τάσης από 230V σε 12V με έναν step-down μετατροπέα.
- 2) Μετατροπή του AC σε DC με έναν ανορθωτή (rectifier).
- 3) Εξομάλυνση των κυματισμών που υπάρχουν στο DC με φίλτρο.
- 4) Τέλος μετατροπή των 12V σε 5V με ένα μετατροπέα τάσης ή έναν step-down μετατροπέα για τη διατήρηση του ρεύματος.



Εικόνα 4.20: Κύκλωμα όλων των βημάτων μετατροπής 230V(AC) σε 5V(DC) [19]

Για την παρουσίαση τα βήματα 1-3 παραλείπονται με τη χρήση ενός τροφοδοτικού 12V DC και προστίθεται αντί για έναν μετατροπέα τάσης, ένας step-down μετατροπέας για να αποκτηθούν τα 5V που χρειάζεται το σύστημα, με μία επιπρόσθετη μικρή αύξηση του ρεύματος.

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

4.6.1 Τροφοδοτικό

Το τροφοδοτικό που χρησιμοποιήθηκε για την τροφοδοσία του βραχίονα είναι ένα απλό, οικονομικό, πλαστικού περιβλήματος 12V 60W.

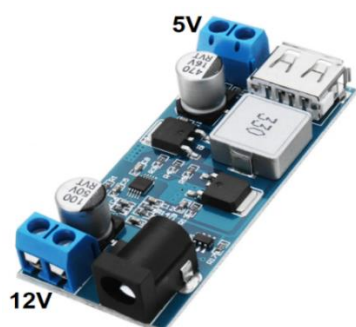


Χαρακτηριστικά	
Μέγιστο Φορτίο	60W 5A
Τάση Λειτουργίας	230V AC
Τάση Λειτουργίας Εξόδου	12V DC
Βαθμός Στεγανότητας (IP)	20
Διαστάσεις	124x58x32 mm

Εικόνα 4.21: Το τροφοδοτικό και τα χαρακτηριστικά του

4.6.2 Step-down Μετατροπέας (Buck converter)

Ο step-down μετατροπέας [20] ήταν το πιο σημαντικό κομμάτι του συστήματος τροφοδοσίας του ρομπότ γιατί ο σερβοκινητήρας Συνεχόμενης Περιστροφής DS04-NFC, λόγω μεγάλης ροπής, δεν μπορούσε να λειτουργήσει με λιγότερο από 1A. Ένας step-down μετατροπέας είναι ένας μετατροπέας ισχύος DC σε DC που μειώνει την τάση (ενώ αντλεί λιγότερο μέσο ρεύμα) από την είσοδο (τροφοδοσία) στην έξοδό του. Εν συνέχεια, βρέθηκε ο παρακάτω μετατροπέας που έχει την ικανότητα να δίνει 6A όταν η τάση που δέχεται είναι ανάμεσα 9V ~ 24V. Επιπλέον διαθέτει βύσμα DC που συνδέεται με το τροφοδοτικό και θύρα USB, με τσιπ γρήγορης αναγνώρισης φόρτισης συμβατό με Android και iPhone.



Χαρακτηριστικά	
Τάση Λειτουργίας	60W 5A
Τάση Λειτουργίας Εξόδου ανάλογα την Είσοδο	In 9V ~ 24V: Out 5.2V / 6A / 30W In 24V ~ 32V: Out 5.2V / 5A / 25W In 32V ~ 36V: Out 5.2V / 3.5A / 18W
Διαστάσεις	63 x 27 x 10 mm

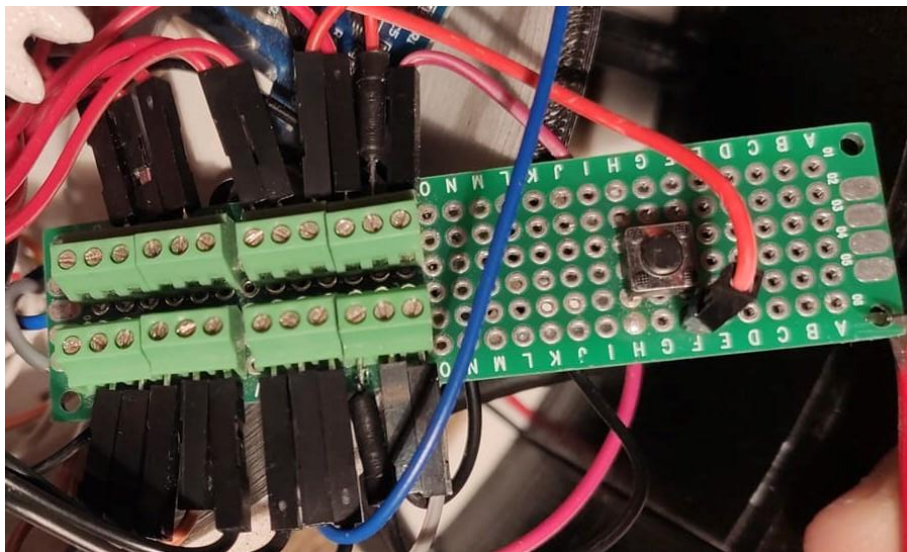
Εικόνα 4.22: Ο step-down μετατροπέας και τα χαρακτηριστικά του

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

4.6.3 Πλακέτα Τροφοδοσίας

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το ρομποτικό σύστημα αποτελείται από 12 στοιχεία τα οποία απαιτούν 5V τάση για να λειτουργήσουν. Το Arduino Pro Micro όμως, διαθέτει μόνο έναν ακροδέκτη που μπορεί να παρέχει τη συγκεκριμένη τάση. Το εν λόγω πρόβλημα είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας διάτρητης πλακέτας που παρέχει ακριβώς 12 θέσεις για 5V τροφοδοσία και άλλα τόσα εξίσου Ground (γείωση 0V). Η πλακέτα είναι απευθείας συνδεδεμένη με το step-down μετατροπέα και έχει προστεθεί επίσης ένα απλό κουμπί που χρησιμοποιείται, όπως ειπώθηκε στην ενότητα του φωτισμού, για να ανοιγοκλείνει χειροκίνητα τους λαμπτήρες.

Στην εικόνα 3.23 μπορεί να παρατηρηθεί ότι όλα τα στοιχεία είναι ήδη συνδεδεμένα με κλέμες στις τροφοδοσίες τους και στις γειώσεις τους σε παράλληλοι παράταξη το ένα με το άλλο, εκτός από τους λαμπτήρες που είναι συνδεδεμένοι απευθείας στον step-down μετατροπέα στα 12V. Βασικό στοιχείο για να λειτουργήσει η πλακέτα είναι να υπάρχει ένα καλώδιο από το Ground ακροδέκτη του Arduino Pro Micro σε ένα από τα Ground της πλακέτας, αλλιώς το κύκλωμα δεν είναι κλειστό και δεν δουλεύει κανένα στοιχείο.

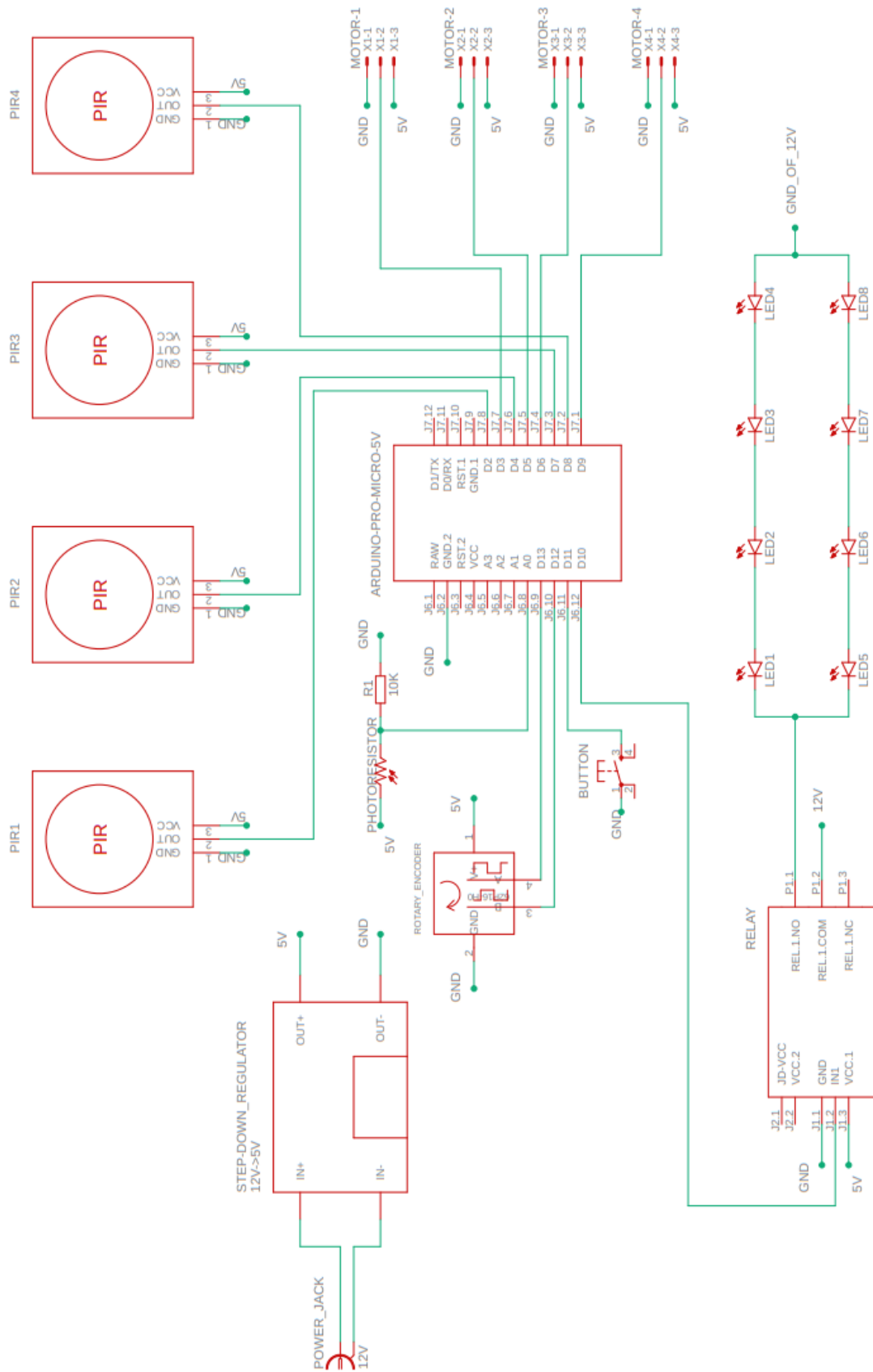


Εικόνα 3.23: Πλακέτα τροφοδοσίας

4.7 Συνδεσμολογία

Για τη πλήρη κατανόηση όλων των κυκλωμάτων της GLaDOS και των στοιχείων της, χρησιμοποιήθηκε το σχεδιαστικό πρόγραμμα Eagle. Το EAGLE είναι ένα λογισμικό αυτοματισμού ηλεκτρονικού σχεδιασμού (EDA) που επιτρέπει στους σχεδιαστές πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος (PCB) να συνδέουν διάφορα ηλεκτρονικά εξαρτήματα μέσω των κατάλληλων βιβλιοθηκών, να δημιουργούν σχηματικά διαγράμματα και να φτιάχνουν την δρομολόγηση PCB.

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων



Εικόνα 4.24: Σχηματικό διάγραμμα κυκλωμάτων της GLaDOS

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

Στο σχηματικό διάγραμμα είναι προφανές ότι το Arduino Pro Micro είναι ο εγκέφαλος όλων των κυκλωμάτων του ρομπότ, τα συστήματα που είναι συνδεδεμένα σε αυτόν είναι:

- ❖ PIR αισθητήρες: Έχουν τρεις ακροδέκτες, οι δύο είναι για την τροφοδοσία και τη γείωση και ο τρίτος πηγαίνει σε ένα οποιοδήποτε ψηφιακό ακροδέκτη του Arduino.
- ❖ Σερβοκινητήρες: Έχουν τρεις ακροδέκτες, οι δύο είναι για την τροφοδοσία και τη γείωση. Ο τρίτος ακροδέκτης που λαμβάνει το σήμα πρέπει, για να δουλέψουν οι κινητήρες σωστά, να συνδεθεί με ακροδέκτες PWM του μικροελεγκτή.
- ❖ Κουμπί: Το συγκεκριμένο στοιχείο απλά χρειάζεται γείωση και ένα ψηφιακό ακροδέκτη που θα καταλαβαίνει πότε πατιέται το κουμπί για να ανοιγοκλείσει τα φώτα
- ❖ Φωτοαντίσταση: Το στοιχείο συνδέεται, πέρα από την τροφοδοσία και τη γείωση, με μια αντίσταση pull-down 10K ως διαίρετης τάσης για προστασία καθώς η φωτοαντίσταση είναι στη πραγματικότητα μεταβλητή αντίσταση. Στη συνέχεια ενώνεται με έναν αναλογικό ακροδέκτη του Arduino ώστε να μπορούν να διαβαστούν οι τιμές της φωτοαντίστασης σε μορφή ακεραίου.
- ❖ Κωδικοποιητής: Έχει τέσσερις ακροδέκτες, 5V, Ground, CLK και DT που χρησιμοποιούνται. Το CLK, όπως εξηγήθηκε στην ενότητα 3.3, είναι η έξοδος A και το DT είναι η έξοδος B.
- ❖ Λαμπτήρες: Οι 8 λαμπτήρες έχουν φτιαχτεί σε σχηματισμό, 2 τετράδες σε σειρά και μεταξύ τους παράλληλα. Αυτό έγινε για να μην υπερβαίνουν συνολικά τα 12V, καθώς σε σειρά η τάση μοιράζεται στα στοιχεία, και όταν είναι παράλληλα παραμένει ίδια.
- ❖ Ρελέ: Αυτό το στοιχείο από τη μία μεριά συνδέεται με το Arduino όπου παίρνει και τις εντολές του. Από την άλλη μεριά, το ηλεκτρικό ρεύμα που χρειάζονται οι λαμπτήρες εισέρχεται στο ρελέ στο κοινό τερματικό (COM) μέσω του step-down μετατροπέα. Οι λαμπτήρες συνδέονται στο NO ακροδέκτη γιατί μια κανονικά ανοιχτή διαμόρφωση λειτουργεί με το ρελέ να είναι πάντα ανοιχτό μέχρι να σταλεί ένα σήμα από το Arduino στη μονάδα ρελέ για να κλείσει το κύκλωμα.
- ❖ Step-down Μετατροπέας: Αυτός είναι συνδεδεμένος στο τροφοδοτικό και το ρελέ στα 12V και με την διάτρητη πλακέτα τροφοδοσίας στα 5V.

Τέλος το Arduino Pro Micro είναι συνδεδεμένο σειριακά με ένα καλώδιο USB σε ένα Raspberry Pi 4 Model B 4GB, όπου από εκεί τροφοδοτείται και το Arduino. Ο λόγος αυτής της επικοινωνίας είναι γιατί η GLaDOS θέλει να επικοινωνεί και να ελέγχεται συχνά από την κάμερα που βρίσκεται τοποθετημένη στο Raspberry Pi. Η σειριακή επικοινωνία θα εξηγηθεί αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

Κεφάλαιο 5: Λογισμικό

5.1 Κώδικας Arduino

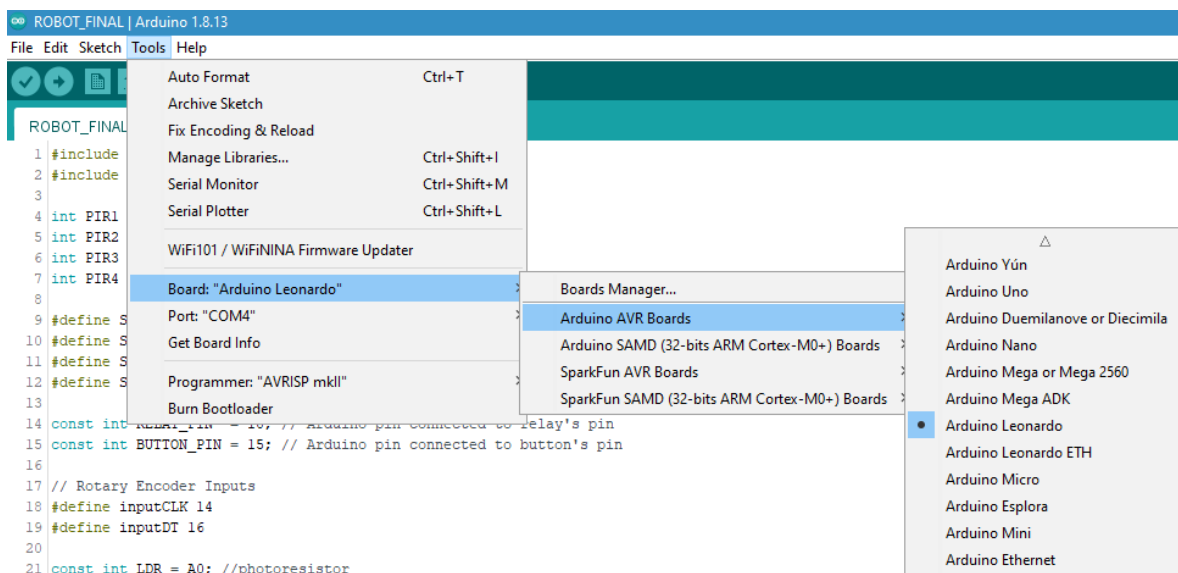
Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο κώδικα τον οποίο θέτει σε λειτουργία τη GLaDOS και τη δομή του, καθώς και το λογισμικό περιβάλλον του Arduino το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία του. Όσον αφορά το κώδικα, σε αυτό το κομμάτι θα αναλυθούν οι λειτουργίες του ρομποτικού βραχίονα που δεν απαιτούν τη συνεργασία Arduino – Raspberry Pi για να δουλέψουν.

5.1.1 Arduino Ide

Το λογισμικό περιβάλλον του Arduino είναι ένα πρόγραμμα ανοιχτού κώδικα που προορίζεται να χρησιμοποιείται από ειδικούς και ανειδίκευτους χρήστες, παρέχοντας τους ανοικτές βιβλιοθήκες και αμέτρητα παραδείγματα για να πειραματιστούν και να μάθουν. Το περιβάλλον αποτελείται από έναν επεξεργαστή κειμένου, ένα τερματικό, ένα μενού και μια γραμμή εργαλείων. Τα προγράμματά του είναι γνωστά ως σκίτσα (sketches) και είναι γραμμένα στο IDE (Integrated development environment) [21], ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης, το οποίο συνδέεται και επικοινωνεί με το Arduino εκτελώντας τον κώδικα.

Για να συνδεθεί το Arduino Pro Micro (Leonardo) με το IDE για να περαστεί ο κώδικας υπάρχουν δύο επιλογές:

- 1) Board > Arduino AVR Boards > Arduino Leonardo
- 2) Board > SparkFun AVR Boards > Arduino Pro Micro

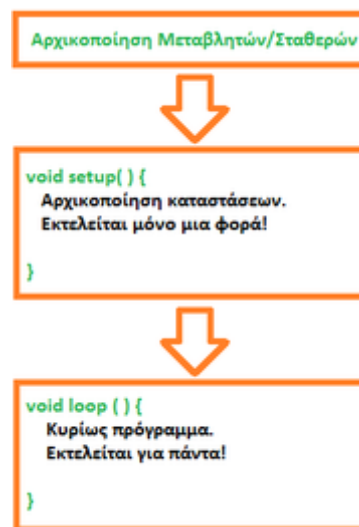


Εικόνα 5.1: Επιλογή πλακέτας Arduino στο IDE

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

Η γλώσσα προγραμματισμού του Arduino λέγεται Wiring και αποτελεί ένα συνδυασμό C/C++, γεγονός που κάνει τις κοινές λειτουργίες εισόδου/εξόδου πολύ πιο εύκολες. Όλα τα προγράμματα του IDE αποτελούνται πάντα από δύο βασικές συναρτήσεις:

- **Setup():** καλείται μία φορά όταν ένα πρόγραμμα ξεκινά μετά από ενεργοποίηση ή επαναφορά του Arduino. Χρησιμοποιείται για τη δήλωση μεταβλητών, τρόπων εισόδου και εξόδου ακροδεκτών και άλλων βιβλιοθηκών που απαιτούνται από το πρόγραμμά.
- **Loop():** αφού κλείσει (ολοκληρωθεί) η μέθοδος setup(), η συνάρτηση loop() καλείται συνεχώς στο κύριο πρόγραμμα. Είναι υπεύθυνη για την πλακέτα μέχρι να απενεργοποιηθεί ή να γίνει επαναφορά.



Εικόνα 5.2: Δομή προγραμμάτων Arduino

5.1.2 Ανάλυση Κώδικα

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή του κεφαλαίου, σε αυτό το κομμάτι θα αναλυθεί ο κώδικας που τρέχει ολοκληρωτικά στο Arduino χωρίς να χρειάζεται τη βοήθεια του Raspberry Pi. Οι λειτουργίες που έχει αναλάβει το Arduino είναι:

- ❖ Έλεγχος των λαμπτήρων με κουμπί ή ανάλογα τη φωτεινότητα.
- ❖ Έλεγχος του περιστροφικού κωδικοποιητή για την απόκτηση της θέσης.
- ❖ Έλεγχος του κεντρικού κινητήρα βάσει των τιμών των αισθητήρων κίνησης PIR.

Αρχικά, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.2, ένας οποιοσδήποτε κώδικας, ξεκινάει με την αρχικοποίηση/δήλωση μεταβλητών/σταθερών. Έτσι και στην εικόνα παρακάτω τοποθετούνται όλα τα στοιχεία στους αντίστοιχους ακροδέκτες τους ώστε να γνωστοποιείται στον κώδικας που πρέπει να στέλνει σήματα με τις εντολές του.

```
4 // Arduino pins for PIR sensors
5 #define PIR1 2
6 #define PIR2 4
7 #define PIR3 7
8 #define PIR4 8
9
10 // Arduino pwm pins for servos
11 #define SERVO_PIN 3
12 #define SERVOBACK_PIN 5
13 #define SERVONECK_PIN 6
14 #define SERVOHEAD_PIN 9
15
16 #define RELAY_PIN 10 // Arduino pin connected to relay's pin
17 #define BUTTON_PIN 15 // Arduino pin connected to button's pin
18
19 // Rotary Encoder Inputs
20 #define inputCLK 14
21 #define inputDT 16
22
23 #define LDR A0 // Analog pin for photoresistor
```

Εικόνα 5.3: Δήλωση ακροδεκτών των στοιχείων

Οι μεταβλητές/σταθερές που δηλώνονται με #define δεν καταλαμβάνουν χώρο μνήμης του προγράμματος στο τσιπ. Ο μεταγλωττιστής θα αντικαταστήσει τις αναφορές σε αυτές τις μεταβλητές/σταθερές με την καθορισμένη τιμή κατά το χρόνο μεταγλώττισης.

Εν συνεχεία, η πρώτη λειτουργία που θα εξεταστεί είναι η ικανότητα της GLaDOS να λειτουργεί και σαν φωτιστικό. Τα στοιχεία που αποτελούν αυτή τη διαδικασία είναι οι 8 λαμπτήρες, ένα κουμπί και ο φωτοαντιστάτης που ελέγχει τη φωτεινότητα του δωματίου. Δημιουργώντας μία συνάρτηση, το πρώτο πράγμα που ελέγχεται είναι οι αλλαγές στην κατάσταση του κουμπιού (“HIGH”, “LOW”). Σε περίπτωση που το κουμπί μεταβεί σε κατάσταση “HIGH”, στέλνετε σήμα στο ρελέ να ενεργοποιήσει τους λαμπτήρες ανεξάρτητα από τη τιμή που επιστρέφει ο φωτοαντιστάτης. Αντίθετα, αν το κουμπί βρίσκεται σε θέση “LOW”, τον έλεγχο των λαμπτήρων αναλαμβάνει ο φωτοαντιστάτης, ο οποίος ενεργοποιεί τους λαμπτήρες αν η φωτεινότητα βρίσκεται σε επίπεδα από 0 – 50. Με αυτό το τρόπο η κάμερα έχει επαρκή φωτισμό για να εκτελέσει όλες τις διαδικασίες της και εξασφαλίζεται η αυτόνομη λειτουργία του ρομπότ.

Αξίζει να σημειωθεί πως η συγκεκριμένη συνάρτηση εκτελείται σε ξεχωριστό ψευδό-νήμα (Protothread) από το κύριο ατέρμονο βρόγχο (loop), καθώς η χρονοκαθυστέρηση (delay) που προστέθηκε για την ορθή λειτουργία των λαμπτήρων και του κουμπιού, επηρεάζει αρνητικά την μέτρηση της τρέχουσας θέσης από τον κωδικοποιητή. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη ArduinoThread, η οποία δημιουργεί ψευδό-νήματα που τρέχουν σειριακά με την εντολή LEDThread.run(), λόγω της αδυναμίας του Arduino να υποστηρίξει παράλληλη επεξεργασία με τη χρήση νημάτων (threads).

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

```
void LEDActivation(){
    delay(20);
    bright = analogRead(LDR);
    lastButtonState = currentButtonState; // save the last state
    currentButtonState = digitalRead(BUTTON_PIN); // read new state

    if(lastButtonState == HIGH && currentButtonState == LOW) {
        buttonState = !buttonState;
        Serial.print(buttonState);
    }

    if (buttonState == HIGH) {
        digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);
    }
    else {
        if(bright <= 50) {
            digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);
        } else {
            digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);
        }
    }
}
}
```

Εικόνα 5.4: Συνάρτηση ελέγχου λαμπτήρων

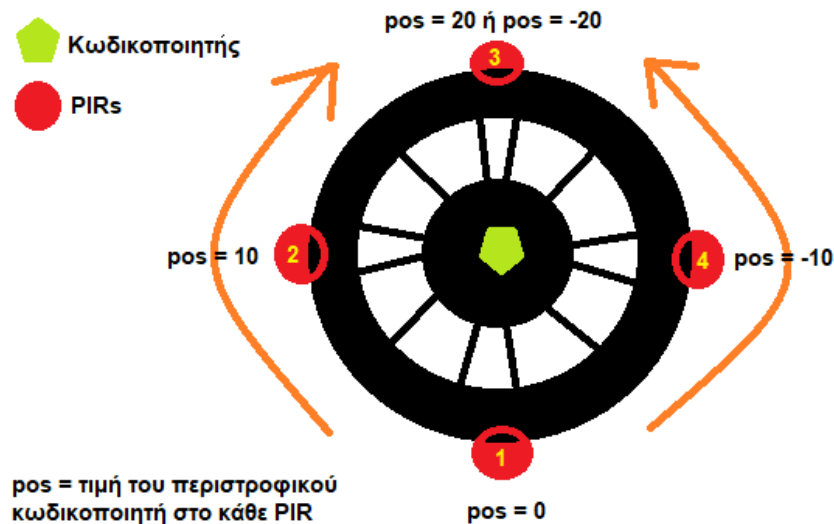
Η επόμενη διαδικασία που πρέπει να αναλυθεί είναι ο τρόπος λειτουργίας του περιστρεφόμενου κωδικοποιητή. Αρχικά, χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση `digitalRead`, διαβάζεται η θέση όπου βρίσκεται (όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3) η ακίδα A (CLK), η οποία συγκρίνεται με την προηγούμενη κατάσταση της. Εάν είναι διαφορετικές τότε συγκρίνεται με τη τιμή της ακίδας B (DT) και προσδιορίζεται η θέση του συστήματος, αυξομειώνοντας κατάλληλα την μεταβλητή `pos`. Με την εντολή `Serial.println(pos)` στέλνεται σειριακά στο Raspberry Pi η τωρινή θέση του κωδικοποιητή και κινητήρα ταυτόχρονα.

```
210 // Read the current state of inputCLK
211 currentStateCLK = digitalRead(inputCLK);
212 // If the previous and the current state of the inputCLK are different then a pulse has occurred
213 if (currentStateCLK != previousStateCLK) {
214     // If the inputDT state is different than the inputCLK state then the encoder is rotating counterclockwise
215     if (digitalRead(inputDT) != currentStateCLK) {
216         pos --;
217     } else {
218         // Encoder is rotating clockwise
219         pos ++;
220     }
221     Serial.println(pos);
222 }
223 // Update previousStateCLK with the current state
224 previousStateCLK = currentStateCLK;
225 }
```

Εικόνα 5.5: Κώδικας λειτουργίας κωδικοποιητή

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

Οι θέσεις pos (position) του περιστροφικού κωδικοποιητή κυμαίνονται από $-20 \leq pos \leq 20$ και περιορίζονται προγραμματιστικά σε αυτές τις τιμές λόγω της μικρής εμβέλειας περιστροφής των καλωδίων των κινητήρων.



Εικόνα 5.6: Θέσεις PIRs στην βάση του ρομπότ και τιμές κωδικοποιητή

Τέλος, ο σερβοκινητήρας συνεχόμενης περιστροφής (continuous rotation) DS04-NFC σε συνεργασία με τους αισθητήρες κίνησης PIR, ακολουθεί το στόχο που ενεργοποίησε τους αισθητήρες. Λόγω της ιδιαιτερότητας του συγκεκριμένου κινητήρα, πριν αρχίσει ο κώδικας πρέπει να οριστεί η ταχύτητα (παλμοί) στην οποία θα λειτουργεί ο κινητήρας. Για την κίνηση αριστερά, στέλνεται ένας παλμός 1,7 ms, για την κίνηση δεξιά στέλνεται ένας παλμός 1,2 ms και ένας παλμός 1,45 ms κρατάει το κινητήρα σταματημένο.

```
26 #define CW 1700
27 #define STOP 1450
28 #define CCW 1200
```

Εικόνα 5.7: Παλμοί κίνησης του κινητήρα

Ο κεντρικός κινητήρας της Glados κατευθύνεται με τη βοήθεια των 4 αισθητήρων κίνησης PIR με τον εξής αλγόριθμο:

1. Ελέγχεται αν έχει ενεργοποιηθεί κάποιος από τους αισθητήρες κίνησης και εάν ληφθεί το σήμα '0' από το Raspberry Pi.
2. Περιορίζεται η κίνηση μεταξύ 180° (20) και -180° (-20) στρογγυλοποιώντας τις τιμές που διαβάζονται από τον κωδικοποιητή και γίνεται αποθήκευση των τιμών στην μεταβλητή tmpPos. Έπειτα χρησιμοποιείται αυτή η μεταβλητή για την πραγματική κίνηση του κινητήρα.
3. Στη συνέχεια, σε κάθε έναν από τους αισθητήρες κίνησης έχει καταχωρηθεί μια μοναδική τιμή θέσης (pir1→0, pir2→10, pir3→20/-20, pir4→-10). Στην μεταβλητή targetPos αποθηκεύονται αυτές οι θέσεις.

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

4. Πραγματοποιείται σύγκριση της tmpPos με την targetPos, και κινείται ο κινητήρας προς την κατεύθυνση του αισθητήρα που ενεργοποιήθηκε.

```
if(pos_rec == true) {
  if((vall==1 || val2==1 || val3==1 || val4==1) && lastReceived=='0') {
    int tmpPos; // Rounded pos (current)
    if (pos > 20) tmpPos = 20;
    else if (pos < -20) tmpPos = -20;
    else tmpPos = round(pos/10)*10;

    int targetPos; // Pir's pos (target)
    if (vall == 1) targetPos = 0;
    else if (val2 == 1) targetPos = 10;
    else if (val4 == 1) targetPos = -10;
    else if (val3 == 1) {
      if (tmpPos < 0) targetPos = -20;
      else targetPos = 20;
    }

    if (targetPos > tmpPos) {
      myServo.writeMicroseconds(CW);// go right
    } else if (targetPos < tmpPos) {
      myServo.writeMicroseconds(CCW);// go left
    } else {
      if (targetPos > pos) {
        myServo.writeMicroseconds(CW);// go right
      } else if (targetPos < pos) {
        myServo.writeMicroseconds(CCW);// go left
      } else {
        myServo.writeMicroseconds(STOP);// stay
      }
    }
  }
}
```

Εικόνα 5.8: Αλγόριθμος περιστροφής κινητήρα

5.2 Προσθήκη Raspberry Pi

Στο πλαίσιο όσων έχουν αναφερθεί μέχρι στιγμής, παρατηρείται ότι υπάρχει ένας ρομποτικός βραχίονας ιδιαίτερου φανταστικού σχεδιασμού που όμως η μόνη του χρήση είναι να αντικαταστήσει το ήδη υπάρχον φωτιστικό και να περιστρέφεται προς τέσσερα σημεία. Αν και το σύστημα έχει τη δικιά του αυτονομία, καθιστώντας το πιο έξυπνο από ένα απλό φωτιστικό, ο στόχος της κατασκευής του είναι μελλοντικά να έχει τον πλήρη έλεγχο ενός δωματίου και να το προστατεύει από επίδοξους παρείσακτους. Για αυτό το λόγο πραγματοποιήθηκε, σε συνεργασία με τον φίλο και συμφοιτητή Χρήστο Τερζόγλου, μία επέκταση της τεχνολογίας του βραχίονα προσθέτοντας μία κάμερα στο κεφάλι της GLaDOS συνδεδεμένη με τον μικροϋπολογιστή Raspberry Pi 4 Model B.

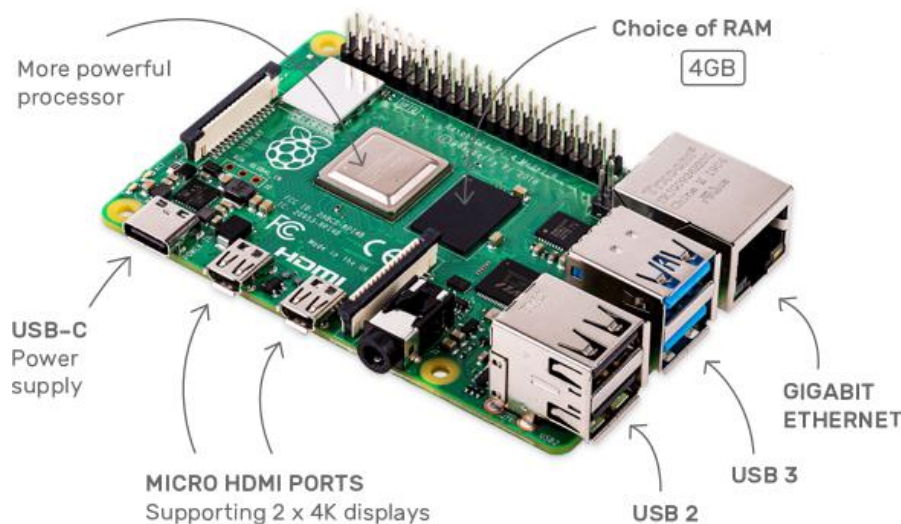
Η κάμερα επιτρέπει στο ρομπότ να παρακολουθεί έναν οποιοδήποτε στόχο και αν κατηγοριοποιηθεί ως άγνωστος, να καταγράφονται οι κινήσεις του μέσα στο χώρο. Η παραπάνω

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

παρακολούθηση, δεν θα μπορούσε να επιτευχθεί χωρίς την συμβολή και των τεσσάρων κινητήρων που βοηθάνε την κάμερα να έχει το στόχο πάντα στο κέντρο της εμβέλειάς της. Ως αποτέλεσμα το Raspberry Pi πρέπει να επικοινωνεί με το Arduino Pro Micro και να το ενημερώνει προς τα που κουνήθηκε το αντικείμενο ενδιαφέροντος, και αυτό γίνεται με μια απλή σειριακή επικοινωνία μεταξύ τους.

5.2.1 Raspberry Pi, Κάμερα και Σειριακή Επικοινωνία

Το Raspberry Pi [22] είναι ένας μικροϋπολογιστής στο μέγεθος μιας πιστωτικής κάρτας. Έχει τετραπύρηνο επεξεργαστή, διπύρηνη κάρτα γραφικών, 4GB RAM, τέσσερις θήρες USB (2 και 3), έξοδο HDMI, τροφοδοτείται μέσω USB-C, και 40 ακροδέκτες γενικής χρήσης για σύνδεση με άλλα ηλεκτρονικά και περιφερειακά. Επίσης διαθέτει το δικό του λειτουργικό, το Rasbian (βασισμένο σε Linux) και όπως και το Arduino, το Raspberry Pi είναι μια πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα με ανοικτές βιβλιοθήκες και παραδείγματα για πειραματισμούς.



Εικόνα 5.9: Raspberry Pi 4 Model B

Από την παραπάνω εικόνα, παρατηρείται ότι στο αριστερό κομμάτι του Raspberry Pi υπάρχει μια θύρα (CSI port) για κάμερες. Αυτή ακριβώς τη θύρα έρχεται να αναπληρώσει η κάμερα Raspberry Pi Camera Module V2.1 η οποία κάνει και όλη την δουλειά της παρακολούθησης και αναγνώρισης προσώπων.

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων



Χαρακτηριστικά	
Ανάλυση Εικόνας	8 Megapixel, 3280x2464 pixel
Ανάλυση Βίντεο	640x480p90, 720p60, 1080p30
Διεπαφή	CSI Interface
Βάρος	3g
Διαστάσεις	25 x 23 x 9 mm

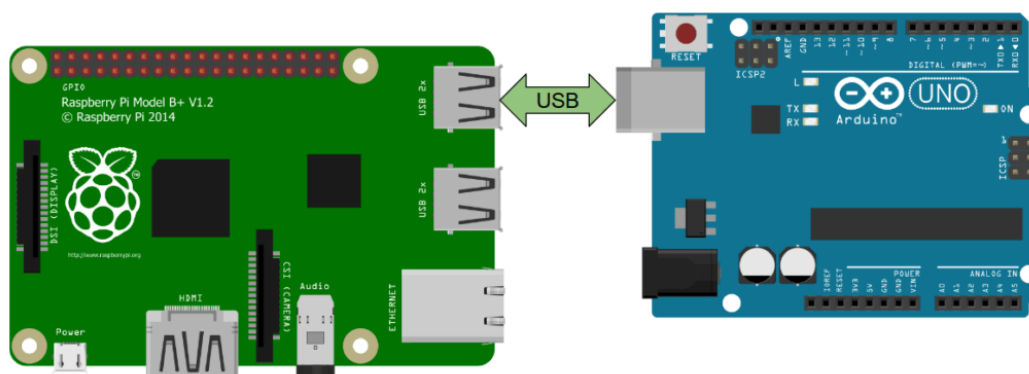
Εικόνα 5.10: Η κάμερα και τα χαρακτηριστικά της

Έχοντας όλα τα παραπάνω στοιχεία συνδεδεμένα μεταξύ τους, για να ολοκληρωθεί το κύκλωμα απαιτείται να πραγματοποιηθεί η σειριακή επικοινωνία ανάμεσα στο Raspberry Pi και το Arduino Pro Micro. Η σειριακή επικοινωνία είναι απλώς ένας τρόπος μεταφοράς δεδομένων. Τα δεδομένα θα αποστέλλονται διαδοχικά, ένα bit τη φορά ($1 \text{ byte} = 8 \text{ bit}$), σε αντίθεση με την παράλληλη επικοινωνία, όπου πολλά bit αποστέλλονται ταυτόχρονα.

Υπάρχουν δύο τρόποι σειριακής επικοινωνίας που είναι πιθανό να υλοποιηθούν μεταξύ των δύο αυτών πλατφορμών:

- ❖ Σειριακή μέσω USB θύρας.
- ❖ Σειριακή μέσω των GPIO ακροδεκτών του Raspberry Pi και των Tx, Rx ακροδεκτών του Arduino. Αυτή η τεχνική απαιτεί ένα επιπρόσθετο κομμάτι ονόματι 3.3V/5V voltage level-shifter για να λειτουργήσει σωστά.

Λόγω ευκολίας και μηδαμινού κόστους επιλέχθηκε η σειριακή επικοινωνία μέσω USB θύρας για τη μεταφορά δεδομένων.



Εικόνα 5.11: Σειριακή επικοινωνία μεταξύ Raspberry Pi και Arduino [23]

5.2.2 Ανάλυση Κώδικα

Στη μεταφορά δεδομένων μεταξύ Arduino και Raspberry Pi, οι πληροφορίες που εναλλάσσονται αφορούν την θέση του κωδικοποιητή και τον έλεγχο των κινητήρων από την κάμερα.



Εικόνα 5.12: Ανταλλαγή δεδομένων

Αρχικά το Arduino στέλνει συνεχόμενα στο Raspberry Pi την θέση του περιστροφικού κωδικοποιητή ώστε να καταγράφεται στον μικροϋπολογιστή σε ένα .txt αρχείο. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι γιατί ο περιστροφικός κωδικοποιητής σε αντίθεση με έναν απόλυτο κωδικοποιητή δεν κρατάει τη θέση όπου βρίσκεται, με αποτέλεσμα αν για κάποιο λόγο κλείσει η τροφοδοσία του συστήματος η θέση να χάνεται και να αρχίζει πάλι από το 0. Το Raspberry Pi καταγράφει όλες τις τιμές σε ένα αρχείο και στέλνει πίσω στο Arduino την τελευταία τιμή που έχει σημειωθεί σε αυτό βοηθώντας το Arduino να ξέρει πάντα που βρίσκεται ώστε να περιστρέφεται ανάλογα και να μην χάνει τα τέσσερα σημεία αναφοράς του.

Το επόμενο δεδομένο που στέλνεται από το Raspberry Pi στο Arduino εξαρτάται από την κάμερα η οποία χωρίζεται σε εννιά πλαίσια. Σκοπός της κάμερας είναι να έχει το αντικείμενο ενδιαφέροντος πάντα στο κεντρικό της πλαίσιο και για να το καταφέρει αυτό έχουν δημιουργηθεί έξι περιπτώσεις (σήματα) που αποστέλλονται στους κινητήρες:

- **R (right):** Περιστρέφει το κεντρικό κινητήρα δεξιά.
- **L (left):** Περιστρέφει το κεντρικό κινητήρα αριστερά.
- **C (stop):** Σταματάει το κεντρικό κινητήρα καθώς ο στόχος βρίσκεται στο κέντρο.
- **U (up):** Αρχικά ανεβάζει σταθερά το κινητήρα που βρίσκεται στο κεφάλι του ρομπότ. Αν αυτό φτάσει στο όριο του και ο στόχος δεν βρίσκεται στο κεντρικό πλαίσιο της κάμερας, αλλά στο πάνω πλαίσιο, τότε ανεβάζει τον κινητήρα που βρίσκεται στην πλάτης της προσθέτοντας στο ρομπότ μια παραπάνω εμβέλεια.
- **D (down):** Αντίστοιχα κατεβάζει σταθερά το κινητήρα που βρίσκεται στο κεφάλι του ρομπότ. Αν αυτό φτάσει στο όριο του και ο στόχος δεν βρίσκεται στο κεντρικό πλαίσιο της κάμερας, αλλά

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

στο πάνω πλαίσιο, τότε κατεβάζει τον κινητήρα που βρίσκεται στην πλάτης της προσθέτοντας στο ρομπότ μια παραπάνω εμβέλεια.

➤ **O (blank):** Δεν υπάρχει περιοχή ενδιαφέροντος στο πεδίο της κάμερας.

```
131 // Raspberry Pi communication
132 if (Serial.available() > 0) {
133   if(LEDThread.shouldRun()) LEDThread.run();
134
135   data = Serial.readStringUntil('\n');
136   if(pos_rec == false) { //we check if we recieved the position
137     Serial.println("K");
138     pos=data.toInt(); // string to int, initial position
139     pos_rec = true;
140   }
141
142   lastReceived = data[0]; // for the pirs
143
144   switch (data[0]) {
145     case 'R':
146       myServo.writeMicroseconds(CW);
147       break;
148     case 'L':
149       myServo.writeMicroseconds(CCW);
150       break;
151     case 'C':
152       myServo.writeMicroseconds(STOP);
153       break;
154     case 'U':
155       if(poshead<160) {
156         poshead+=5;
157         myServoHead.write(poshead);
158       } else {
159         if(posback>20) {
160           posback+=5;
161           myServoBack.write(posback);
162         }
163       }
164       break;
165     case 'D':
166       if(poshead>60) {
167         poshead-=5;
168         myServoHead.write(poshead);
169       } else {
170         if(posback<80) {
171           posback-=5;
172           myServoBack.write(posback);
173         }
174       }
175       break;
176   }
```

Εικόνα 5.13: Αλγόριθμος λειτουργίας κινητήρων σε συνεργασία με τη κάμερα

Κεφάλαιο 6: Προβλήματα και Μελλοντικές Επεκτάσεις

6.1 SWOT Ανάλυση

Η SWOT ανάλυση [25] είναι μια συλλογή των δυνατών σημείων (strengths), των αδυναμιών (weaknesses), των ευκαιριών (opportunities) και των απειλών (threats) ενός έργου ή ακόμα και μιας εταιρίας. Ο πρωταρχικός στόχος μιας ανάλυσης SWOT είναι να βοηθήσει τους οργανισμούς να αναπτύξουν πλήρη επίγνωση όλων των παραγόντων που εμπλέκονται στη λήψη μιας επιχειρηματικής απόφασης.

Για τις ανάγκες της εργασίας, πραγματοποιήθηκε SWOT ανάλυση με σκοπό την εύρεση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων το ρομποτικού βραχίονα, με στόχο την αναγνώριση και αποδοχή των επικείμενων ρίσκων και απειλών. Στην παρακάτω εικόνα, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε.

S STRENGTHS Δυνάμεις	W WEAKNESSES Αδυναμίες	O OPPORTUNITIES Ευκαιρίες	T THREATS Απειλές
<ul style="list-style-type: none">- Παρακολούθηση χώρου με εντοπισμό κινήσεων- Δυνατότητα περιστροφής 360 μοιρών- Λειτουργία φωτιστικού- Αυτόνομη λειτουργία στο σκοτάδι- Αναγνώριση προσώπων- Οικολογική κατασκευή- Χαμηλό κόστος	<ul style="list-style-type: none">- Κίνδυνος μπλεξίματος καλωδίων.- Μικρός χώρος βάσης για αποθήκευση κυκλωμάτων- Πιθανά προβλήματα λόγω υπολογιστικής ισχύος Raspberry Pi	<ul style="list-style-type: none">- Έλεγχος ρομποτικού βραχίονα μέσω φωνητικών εντολών- Έλεγχος όλων των ηλεκτρονικών συστημάτων μέσω του ρομποτικού βραχίονα	<ul style="list-style-type: none">- Καταστροφή από επίδοξο ληστή.- Διακοπή ρεύματος

Εικόνα 6.1: SWOT Ανάλυση της GLaDOS

6.2 Προβλήματα και Λύσεις

Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του αυτόνομου ρομποτικού συστήματος παρουσιάστηκαν κάποια προβλήματα, όπως αναφέρθηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια, τα οποία αφορούν τόσο το μηχανολογικό σχέδιο του Υνο de Haas, όσο και η σειριακή επικοινωνία με το Raspberry Pi. Τα προβλήματα ήταν τα εξής:

- Η βάση της GLaDOS δεν είναι αρκετά μεγάλη για να χωράει όλα τα κυκλώματα της, χωρίς να υπάρχει κίνδυνος να περιπλεχτούν τα καλώδια στα γρανάζια των τριών αξόνων περιστροφής.
- Δεν μπόρεσε να βρεθεί ο «τέλειος» κινητήρας βάσης, ο οποίος δεν θα χρειαζόταν περιστροφικό κωδικοποιητή για την καταγραφή της θέσης του ρομπότ. Για αυτό ευθύνεται πάλι το μηχανολογικό σχέδιο το οποίο έχει προκαθορισμένη θέση από τον σχεδιαστή που επιτρέπει να τοποθετηθεί μόνο ένας κινητήρας διαστάσεων 40.8 x 20 x 39.5 mm.
- Στην σειριακή επικοινωνία με το Raspberry Pi προέκυψε ότι ο μικροϋπολογιστής μπορεί να λαμβάνει ή να στέλνει, από και προς το Arduino, μόνο μια πληροφορία τη φορά. Στο πλαίσιο της διπλωματικής ήταν επιθυμητό το Arduino να στέλνει στο Raspberry Pi την τιμή του κωδικοποιητή. Το Raspberry Pi με τη σειρά του έπρεπε να στέλνει πίσω την τελευταία τιμή του κωδικοποιητή που καταχωρήθηκε, την φωτεινότητα της κάμερας και προς ποια κατεύθυνση να κουνηθούν οι κινητήρες. Παρατηρήθηκε ότι αν δηλώνονταν όλα αυτά τα δεδομένα, η κάμερα λειτουργούσε σε υπερβολικά αργούς ρυθμούς και το ρομπότ δεν ανταποκρινόταν έγκαιρα. Για αυτό το λόγο προστέθηκε η φωτοαντίσταση, ώστε το Arduino να μην εξαρτάται από το Raspberry Pi για την λειτουργία των λαμπτήρων.

Εκμεταλλευόμενοι το γεγονός ότι όλα τα κομμάτια της GLaDOS είναι ανοιχτά προς επεξεργασία και ως συνέπεια των παραπάνω προβλημάτων προέκυψε ότι το ρομπότ μπορεί να λάβει πληθώρα μελλοντικών βελτιώσεων και επεκτάσεων σε επόμενη έκδοση.

Αρχικά, όσον αφορά το μηχανολογικό κομμάτι οι αλλαγές που θα μπορούσαν να γίνουν, με τη βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος Solidworks, είναι:

- ❖ Να αυξηθεί η ακτίνα της βάσης έτσι ώστε να υπάρχει χώρος για όλα τα κυκλώματα. Επιπλέον, να δημιουργηθούν δυο τρύπες περιμετρικά της βάσης στα σημεία που περνάνε τα καλώδια των λαμπτήρων. Στη περίπτωση αυτού του βήματος, απαιτείται τροποποίηση επίσης των κομματιών Base Ring In/Out και Mounting Plates.
- ❖ Να δημιουργηθούν τέσσερις θήκες για τους αισθητήρες κίνησης PIR που θα τοποθετηθούν περιμετρικά του ρομπότ.
- ❖ Να τροποποιηθεί το μάτι του κεφαλιού ώστε να εφαρμόζεται μέσα η κάμερα, καθώς το τωρινό σχέδιο ήταν μόνο για τη χρήση ενός λαμπτήρα για να δημιουργεί το εφέ πραγματικού ματιού. Τέλος, όσον αφορά το ηλεκτρονικό κομμάτι οι αλλαγές που θα μπορούσαν να γίνουν είναι:
- ❖ Αλλαγή όλων των κινητήρων από πλαστικό τύπο γραναζιών σε μεταλλικό τύπο γραναζιών με σκοπό την αύξηση της ροπής και την ανοχή σε φθορά λόγω περιστροφών.

Αυτόματος περιστροφικός - αναδιπλούμενος 4DOF ρομποτικός βραχίονας εντοπισμού κινήσεων και αναγνώρισης προσώπων

- ❖ Αλλαγή του σερβοκινητήρα συνεχόμενης περιστροφής DS04-NFC με κάποιον άλλον με ενσωματωμένο κωδικοποιητή όπως ο σερβοκινητήρας Feetech FB5311M-360.
- ❖ Αλλαγή του μικροϋπολογιστή Raspberry Pi σε κάποιον πιο δυνατό μικροϋπολογιστή όπως το Nvidia Jetson Nano, ικανό να εκτελεί παράλληλα πολλά νευρωνικά δίκτυα ή για εφαρμογές όπως ταξινόμηση εικόνων, ανίχνευση αντικειμένων και επεξεργασία ομιλίας.
- ❖ Λειτουργία ομιλίας. Όπως αναφέρθηκε στο πρώτο κεφάλαιο, σκοπός της GLaDOS είναι ο έλεγχος και η παρακολούθηση ενός δωματίου από επίδοξους ληστές. Θέλοντας να επεκταθεί όμως η λειτουργικότητα και η πρακτικότητα της σε ένα δωμάτιο, μπορεί να προστεθεί η λειτουργία ομιλίας, η αναγνώριση φωνής του κατόχου της και ο έλεγχος της μέσω φωνητικών εντολών. Η φωνή του φανταστικού χαρακτήρα GLaDOS είναι διαθέσιμη στο διαδίκτυο και εύκολα μπορεί να περαστεί στο ρομπότ. Εν κατακλείδι, ιδανικά θα ήταν επιθυμητό η GLaDOS μέσω φωνητικών εντολών να ελέγχει από τα φώτα μέχρι και το πότε και αν θα ανοίξουν οι οποιοδήποτε ηλεκτρικές συσκευές στο δωμάτιο. Ίσως ενδεχομένως αναπτύσσοντας το δικό της AI, ελπίζοντας να μην δολοφονήσει βάνουσα τον χρήστη της όπως η χαρακτήρα της στο παιχνίδι.

Βιβλιογραφία

- [1] PORTAL Unficial wiki, "GLaDOS," [Online]. Available: <https://theportalwiki.com/wiki/GLaDOS>.
- [2] Y. d. Haas, "A Fully 3D Printable GlaDOS Robotic Ceiling Arm Lamp," 2014. [Online]. Available: <https://www.instructables.com/member/dragonator/>.
- [3] TYC, "GlaDOS lamp," [Online]. Available: <https://ytec3d.com/glados-lamp/>.
- [4] "RepRap | Prusa i3 Hephestos," 23 6 2019. [Online]. Available: https://reprap.org/wiki/Prusa_i3_Hephestos.
- [5] "Wikipedia | Polylactic acid," 5 2 2022. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Polylactic_acid.
- [6] MatterHackers, "MatterHackers | Peopoly Moai Laser SLA 3D Printer - Kit," [Online]. Available: <https://www.matterhackers.com/store/l/peopoly-moai-laser-sla-3d-printer-kit/sk/MP86LX2U>.
- [7] Rob, "SLA Printer Resins," [Online]. Available: <https://3dprintscape.com/sla-printer-resins/>.
- [8] J. Wilson, "INTRODUCTION TO ARDUINO PRO MICRO," 25 12 2020. [Online]. Available: <https://www.theengineeringprojects.com/2020/12/introduction-to-arduino-pro-micro.html>.
- [9] T. Hareendran, "Arduino Pro Micro Primer," 10 9 2020. [Online]. Available: <https://www.codrey.com/learn/arduino-pro-micro-primer/>.
- [10] ISL, "SERVO MOTOR FUNDAMENTALS," [Online]. Available: <https://islproducts.com/design-note/servo-motor-fundamentals/>.
- [11] Internet of Things Project, "Continuous Rotation Servo Motor," 1 1 2019. [Online]. Available: <https://docs.idew.org/internet-of-things-project/references-for-wiring-and-coding/continuous-rotation-servo-motor>.
- [12] djurk0wic, "Rotary Encoders Basics," 15 3 2020. [Online]. Available: <https://www.robotshop.com/community/tutorials/show/encoder-basics>.
- [13] "KY-040 Arduino Rotary Encoder User Manual," 17 8 2018. [Online]. Available: <https://www.epitran.it/ebayDrive/datasheet/25.pdf>.
- [14] Last Minute Engineers, "How HC-SR501 PIR Sensor Works & Interface It With Arduino," [Online]. Available: <https://lastminuteengineers.com/pir-sensor-arduino-tutorial/>.
- [15] 101, Components, "HC-SR501 PIR Sensor," 18 8 2021. [Online]. Available: <https://components101.com/sensors/hc-sr501-pir-sensor>.
- [16] adafruit, "Photo cell (CdS photoresistor)," [Online]. Available: <https://www.adafruit.com/product/161>.
- [17] Last Minute Engineers, "Interface One Channel Relay Module with Arduino," [Online]. Available: <https://lastminuteengineers.com/one-channel-relay-module-arduino-tutorial/>.

- [18] OSOYOO, "Arduino lesson – 1-Channel Relay Module," [Online]. Available: <https://osoyoo.com/2017/08/28/arduino-lesson-1-channel-relay-module/>.
- [19] WELLPCB, "LEDs in Parallel: 8 Things You Should Know," [Online]. Available: <https://www.wellpcb.com/leds-in-parallel.html>.
- [20] E. P. CUS, "Steps to Convert the 230V AC to 5V DC using Step Down Converter," [Online]. Available: <https://www.elprocus.com/steps-to-convert-the-230v-ac-to-5v-dc/>.
- [21] "Buck Converter – Circuit, Design, Operation and Examples," [Online]. Available: <https://www.electricaltechnology.org/2020/09/buck-converter.html>.
- [22] arduino, "To Arduino IDE - Εισαγωγή στην γλώσσα," [Online]. Available: <https://www.ardumotive.com/arduino-ide-gr.html>.
- [23] Raspberry Pi, "Raspberry Pi," [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/>.
- [24] The Robotics Back-End, "Raspberry Pi Arduino Serial Communication – Everything You Need To Know," [Online]. Available: <https://roboticsbackend.com/raspberry-pi-arduino-serial-communication/>.
- [25] W. KENTON, "Strength, Weakness, Opportunity, and Threat (SWOT) Analysis," 29 3 2021. [Online]. Available: <https://www.investopedia.com/terms/s/swot.asp>.
- [26] "Εισαγωγή στη Ρομποτική," [Online]. Available: <https://eclass.upatras.gr/modules/video/?course=EE662>.