



ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

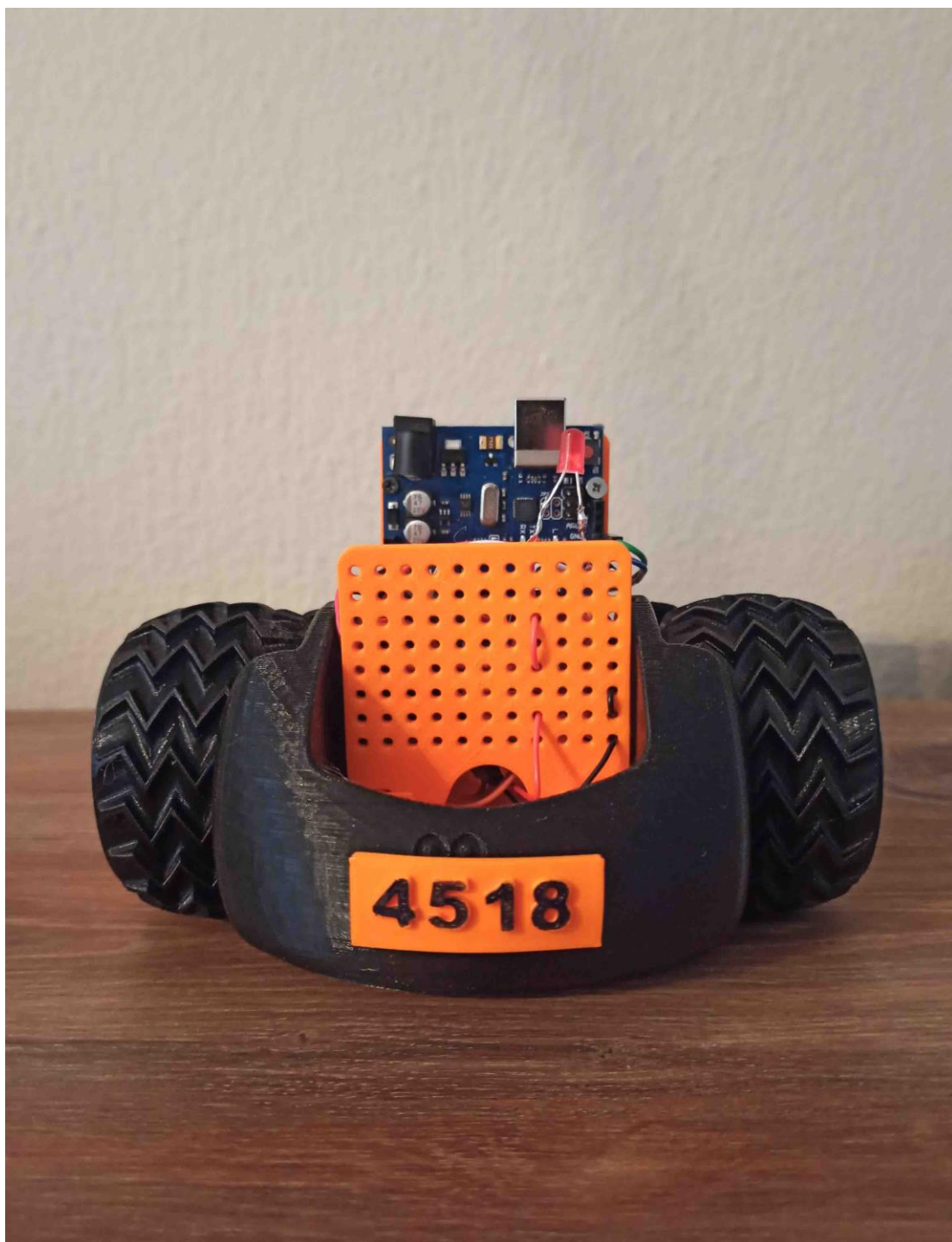
Μάθημα: «Κινούμενα Ρομπότ & Εφαρμογές»

Εργασία: «Κατασκευή κινούμενου ρομπότ που θα μπορεί να κινηθεί για να δημιουργήσει ένα κύκλο ακτίνας 50-150 cm.»

(4518) ΜΠΑΤΖΟΛΗΣ Ελευθέριος



Ο σφαιρικός τροχός είναι στο κάτω μέρος και δεν φαίνεται.



Ο σφαιρικός τροχός είναι στο κάτω μέρος και δεν φαίνεται.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η δημοφιλής εικόνα που έρχεται στο μυαλό πολλών ανθρώπων όταν σκεφτόμαστε την τεχνητή νοημοσύνη είναι συχνά ένα είδος ανθρωποειδούς ρομπότ, πιθανώς σε ένα λαμπερό και κομψό λευκό σώμα, παίζοντας σκάκι ή άλλα πράγματα. Σε πολλές διάσημες περιπτώσεις, οι ιστορίες επιστημονικής φαντασίας απεικονίζουν ένα ρομπότ να αλληλοεπιδρά με τον φυσικό κόσμο, να κινείται, να εκτελεί δράσεις και ούτω καθεξής. Και αυτό επίσης σημαίνει ότι το ρομπότ ξέρει να κινείται με επιδεξιότητα σαν άνθρωπος.

Σε αυτήν την εργασία, θα μιλήσω εν συντομία για το έργο στο οποίο έχω εργαστεί τους προηγούμενους μήνες: πώς να χρησιμοποιώ μαθηματικές εξισώσεις για να διδάξω ένα ρομπότ να κινείται, ακολουθώντας όσο το δυνατόν στενότερα μια επιθυμητή πορεία.

ΑΝΑΠΤΥΞΗ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΦΑΣΕΩΝ

Καθότι η εργασία αυτή είναι ατομική εργασία και λόγω των οικογενειακών υποχρεώσεων, υποχρεώσεων της δουλειάς αλλά και της κατάστασης του κορονοϊού εν υπήρχε πλάνο. Δούλευα σε διάφορα κομμάτια σε διάφορους περιόδους μέσα στο εξάμηνο. Για αυτό και αποφάσισα να μην τοποθετήσω διαγράμματα κατανάλωσης χρόνου στις φάσεις υλοποίησης όπως PERT και GANTT.

BOM(Bill of materials)

Η κατασκευή του πλαισίου και των μηχανισμών κίνησης του ρομπότ έγινε μέσω σχεδίασης στο fusion 360 και έπειτα η κατασκευή σε 3D εκτυπωτή. (Επειδή έγιναν πάρα πολλά πειράματα και σχεδιαγράμματα μέχρι το τελικό σχέδιο τα πλαστικά νήματα είχαν στην πλειοψηφία τους τελειώσει.)

<u>ΥΛΙΚΟ</u>	<u>Ποσότητα</u>	<u>Κόστος(σε €)</u>
Athena PLA + Silk Black	1kg	29.30
Athena PLA + Orange	1kg	22.00
	Σύνολο:	51.30

Το ρομπότ μας στηρίζετε σε ένα Arduino Uno για τους υπολογισμούς και η κίνηση στους τροχούς γίνεται μέσω σερβοκινητήρων. Για την επικοινωνία του ρομπότ με τον έξω κόσμο χρησιμοποίησα Bluetooth. Συγκεκριμένα:

<u>ΥΛΙΚΟ</u>	<u>Ποσότητα</u>	<u>Κόστος(σε €)</u>
Arduino Uno	1	12.60
Servomotors (Continuous Rotation , Feetech FS90R)	2	8.00
Bluetooth Module(hc-05)	1	6.80
Batteries (18560)	2	(recycled from old laptop battery) 0
	Σύνολο:	27.40

Όλα τα υλικά αγοράστηκαν μέσω του skroutz.gr.

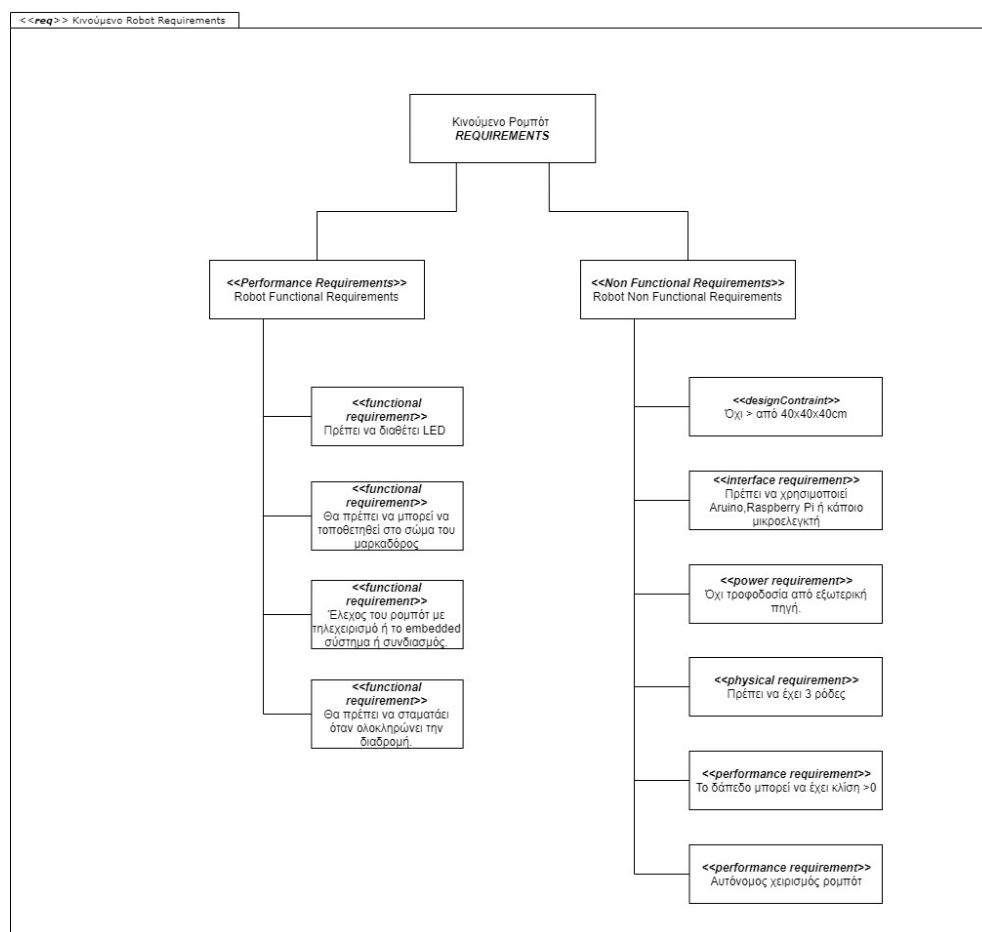
ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

Για να μοντελοποιήσω τις λειτουργίες, τις απαιτήσεις και τον κώδικα του ρομπότ μου, χρησιμοποιώ την Sysml. Η Γλώσσα Μοντελοποίησης Συστημάτων (SysML) είναι μια γλώσσα μοντελοποίησης γενικού σκοπού για εφαρμογές εφαρμοσμένης μηχανικής συστημάτων. Υποστηρίζει την προδιαγραφή, την ανάλυση, το σχεδιασμό, την επαλήθευση και την επικύρωση ενός ευρέος φάσματος συστημάτων. Η SysML αναπτύχθηκε αρχικά από ένα έργο προδιαγραφής ανοιχτού κώδικα και περιλαμβάνει μια άδεια ανοιχτού κώδικα για διανομή και χρήση και ορίζεται ως επέκταση ενός υποσυνόλου της Unified Modeling Language (UML) χρησιμοποιώντας το μηχανισμό προφίλ UML.

Τα τέσσερα σχεδιαγράμματα, γνωστά και ως τέσσερις πυλώνες της Sysml, που είναι απαραίτητα στην μοντελοποίηση του ρομπότ είναι:

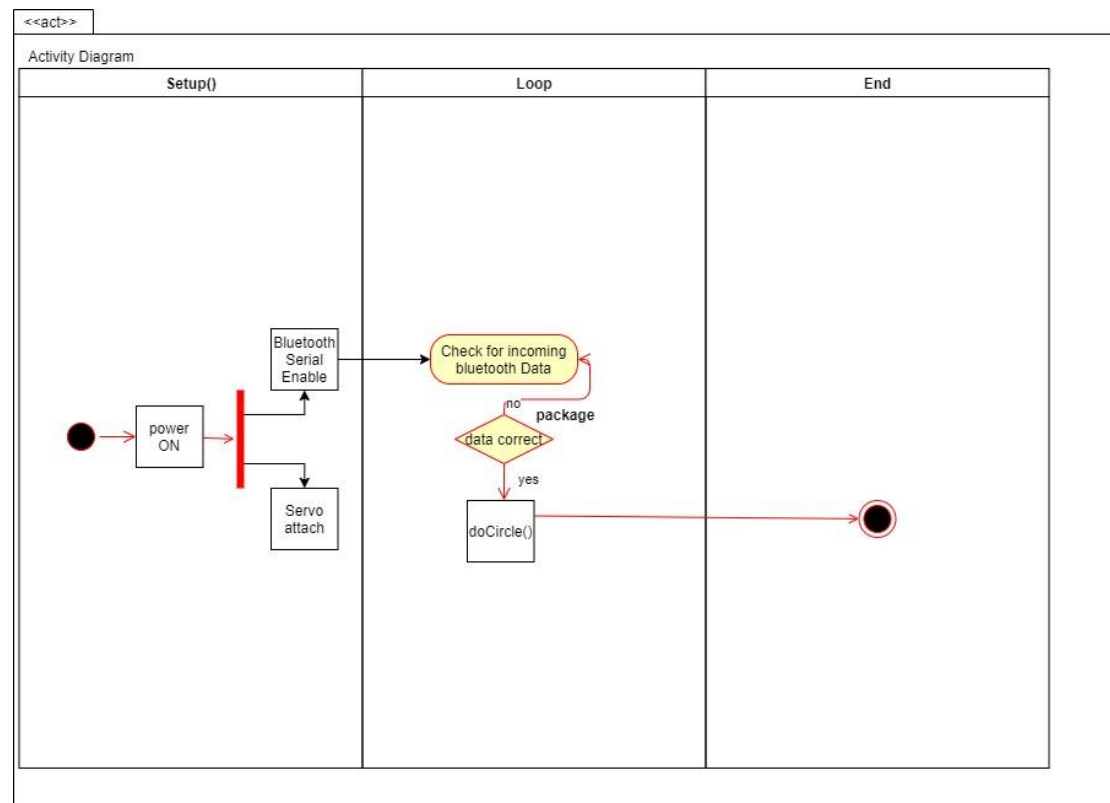
- Το σχεδιάγραμμα απαιτήσεων(Requirements).

Το διάγραμμα απαιτήσεων είναι ένα διάγραμμα που χρησιμοποιείται ειδικά στην SysML στο οποίο παρουσιάζονται οι απαιτήσεις και οι σχέσεις μεταξύ τους και η σχέση τους με άλλα στοιχεία του μοντέλου. Το διάγραμμα στην περίπτωση του ρομπότ μου είναι το εξής:



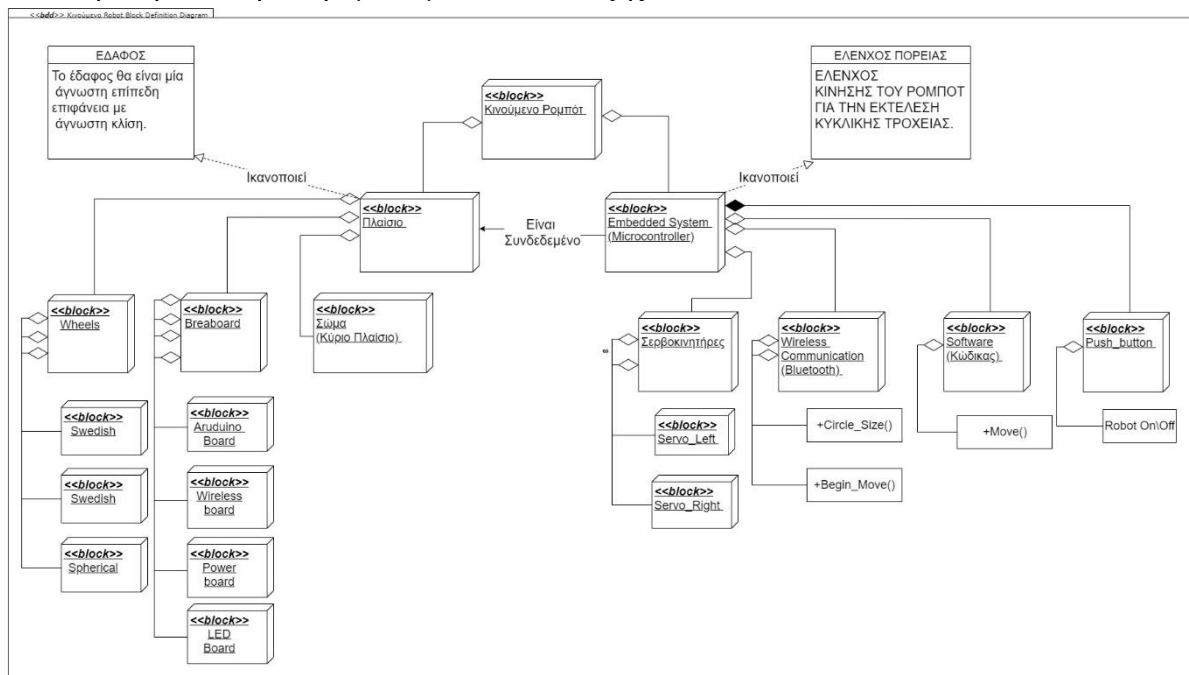
- Το σχεδιάγραμμα δραστηριότητας(Activity).

Τα διαγράμματα δραστηριότητας είναι γραφικές παραστάσεις ροών εργασίας σταδιακών δραστηριοτήτων και ενεργειών με υποστήριξη για επιλογή, επανάληψη. Στην ενοποιημένη γλώσσα μοντελοποίησης, τα διαγράμματα δραστηριότητας προορίζονται για τη μοντελοποίηση τόσο υπολογιστικών όσο και οργανωτικών διεργασιών (π.χ. Ροών εργασίας), καθώς και ροών δεδομένων που τέμνονται με τις σχετικές δραστηριότητες. Αν και τα διαγράμματα δραστηριότητας δείχνουν κυρίως τη συνολική ροή ελέγχου, μπορούν επίσης να περιλαμβάνουν στοιχεία που δείχνουν τη ροή δεδομένων μεταξύ δραστηριοτήτων μέσω ενός ή περισσότερων καταστημάτων δεδομένων. Το διάγραμμα στην περίπτωση του ρομπότ μου είναι το εξής:



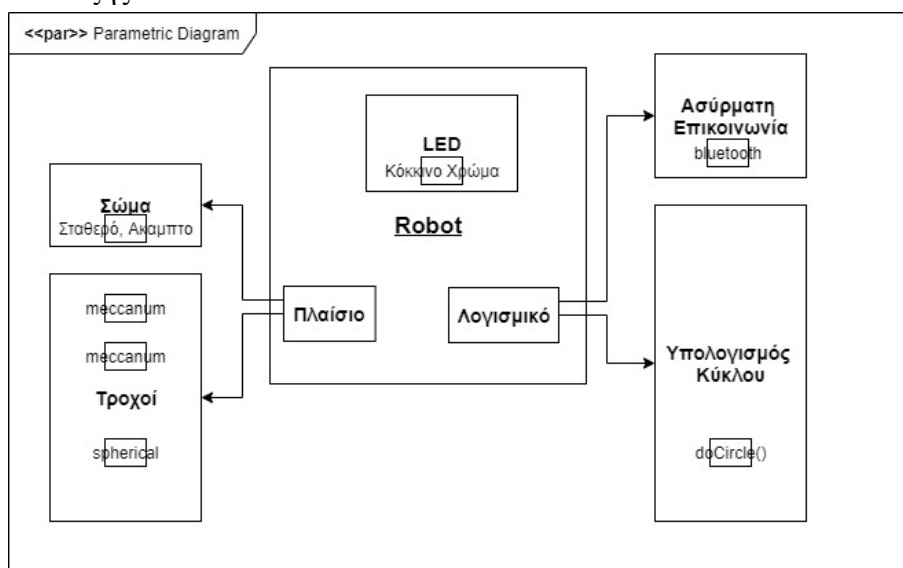
- Το μπλόκ (Block) σχεδιάγραμμα.

Το διάγραμμα μπλοκ ορισμού (bdd) χρησιμοποιείται για τον ορισμό των χαρακτηριστικών κάθε μπλοκ ως προς τα δομικά και συμπεριφορικά χαρακτηριστικά του και τις σχέσεις μεταξύ των μπλοκ, όπως ιεραρχικές σχέσεις. Τα μπλοκ έχουν προαιρετικά διαμερίσματα που περιγράφουν χαρακτηριστικά μπλοκ. Το διάγραμμα στην περίπτωση του ρομπότ μου είναι το εξής:



- Το παραμετρικό (Parametric) σχεδιάγραμμα.

Τα παραμετρικά διαγράμματα είναι εξειδικευμένα διαγράμματα εσωτερικού μπλοκ που μας βοηθούν να συνδυάσουμε μοντέλα συμπεριφοράς και δομών με μοντέλα ανάλυσης μηχανικής όπως επιδόσεις, αξιοπιστία και μοντέλα μαζικής ιδιοκτησίας. Τα παραμετρικά διαγράμματα SysML εξαρτώνται από τους ορισμούς μπλοκ που δημιουργούνται στο μοντέλο. Το διάγραμμα στην περίπτωση του ρομπότ μου είναι το εξής:



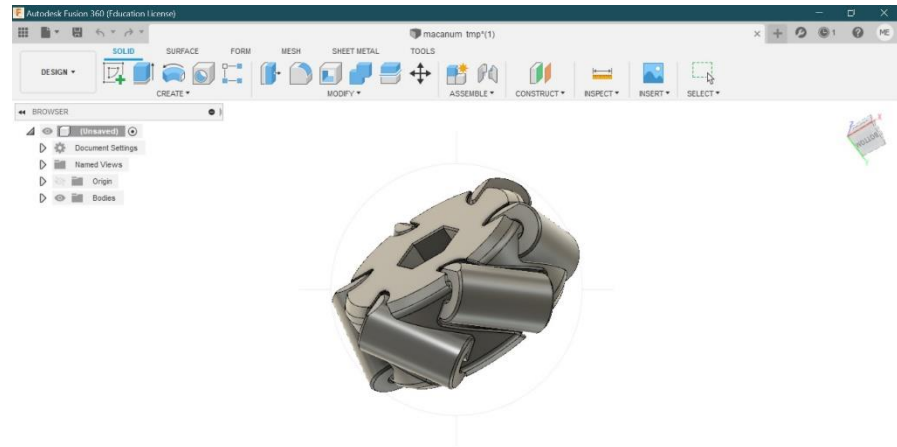
Η κατασκευή πλαισίων εννοιολογικά αποτελείται από την κατασκευή μερών που είναι τοποθετημένα και ενωμένα μαζί. Μια δομή που το κατασκευαστικό σύστημα είναι είτε από ύφασμα είτε από ξύλο είτε από μέταλλο και που δίνει σε ένα δομικό σκάφος, το μοντέλο, την αντοχή του και είναι ο σκελετός της κατασκευής. Πρέπει να είναι σχεδιασμένο να αντέχει κάθετες και πλευρικές δυνάμεις καθώς και το συνδυασμό αυτών.

Για την κατασκευή του πλαισίου ώστε να ικανοποιεί τα requirements της προηγούμενης ενότητας χρησιμοποίησα το 3D CAD πρόγραμμα Fusion 360 της Autodesk. Το πρόγραμμα αυτό μου επιτρέπει να σχεδιάσω με μεγάλη ακρίβεια οποιοδήποτε αντικείμενο έχω στην φαντασία μου με την παρακάτω τεχνική.



1. Δημιουργούμε ένα νέο κενό σχέδιο. Αυτός είναι ο κενός καμβάς για να δημιουργήσουμε οτιδήποτε θέλουμε με διάφορους τύπους γεωμετρίας.
2. Ξεκινάμε με το χώρο εργασίας του Μοντέλου. Χρησιμοποιούμε το χώρο εργασίας του Μοντέλου για να δημιουργήσουμε πρισματικά σχήματα με ίσια πρόσωπα και άκρα. Υπάρχουν βασικές εντολές σχήματος στο μενού Δημιουργία (πλαίσιο, κύλινδρος, σφαίρα και πηνίο).
3. Ξεκινάμε τη δημιουργία ενός πλαισίου. Επιλέγουμε το κάτω επίπεδο (XZ) και μετά επιλέξτε δύο σημεία για να ορίσετε τις γωνίες ενός ορθογωνίου. Καθορίζουμε ένα ύψος εισάγοντας μια τιμή στο πλαίσιο διαλόγου ή σύροντας το βέλος του χειριστή. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις τιμές που εμφανίζονται στο διάλογο ή να χρησιμοποιήσουμε τις δικές μας τιμές. Κάνουμε κλικ στο OK για να συμπληρώσουμε το πλαίσιο.
4. Οι εντολές στο μενού Δημιουργία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προσθήκη γεωμετρίας σε ένα σώμα. Χρησιμοποιήστε το Κύλινδρο για προσθήκη στο πλαίσιο που μόλις δημιουργήσαμε. Κάνουμε κλικ στην εντολή Κύλινδρος στο μενού Δημιουργία. Επιλέξαμε την επάνω όψη του κουτιού για να τοποθετήσουμε τον κύλινδρο. Μετακινούμε τον κέρσορα στο μεσαίο σημείο της άνω άκρης και κάνουμε κλικ για να καθορίσουμε το κέντρο του κυλίνδρου. Κάνουμε κλικ σε μία από τις γωνίες για να καθορίσουμε τη διάμετρο του κυλίνδρου.
5. Για να δώσουμε το σχήμα που θέλουμε χρησιμοποιούμε οργανικά σχήματα. Είναι επίσης πολύ εύκολο να δημιουργηθούν χρησιμοποιώντας το Fusion 360. Χρησιμοποιούμε το χώρο εργασίας Sculpt για να δημιουργήσουμε οργανικά σχήματα. Κάνουμε κλικ στο Δημιουργία φόρμας στο μενού Δημιουργία για να μπούμε στο χώρο εργασίας Sculpt.

6. Ο χώρος εργασίας Sculpt έχει τα ίδια απλά σχήματα που είδαμε στον χώρο εργασίας του Μοντέλου και μερικά ακόμη. Το Sculpt διαθέτει επίσης Extrude, Revolve, Sweep και Loft για τη δημιουργία αναχωμάτων χρησιμοποιώντας 2D σκίτσα.



Πρόκληση κατά των σχεδιασμό δεν ήταν τόσο το πλαίσιο\σώμα όσο η σχεδίαση των ροδών. Σύμφωνα με τις απαιτήσεις το ρομπότ\όχημα μας πρέπει να έχει τρεις (3) ρόδες. Διάλεξα με σκοπό να έχω ένα πανκατευθυντικό όχημα, τις οδηγούμενες ρόδες να είναι τύπου mecanum και η μη οδηγούμενη να είναι σφαιρικού τύπου.

Τελική φάση σχεδιασμού mecanum τροχού

Mecanum wheels

Το ρομπότ με Mecanum Wheels θα μπορεί να κινείται προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Αυτή η μοναδική κινητικότητα του ρομπότ επιτυγχάνεται με τη χρήση αυτού του ειδικού τύπου τροχών.

Στην πραγματικότητα σχεδίασα και εκτύπωσα 3D αυτούς τους τροχούς επειδή είναι (αρκετά) ακριβό να τις αγοράσω. Η τεχνική κατασκευής του τροχού είναι:

1. Σχεδιάζουμε τη χρήση του χαρακτηριστικού βάσης.
2. Το προφίλ άξονα έχει σχεδιαστεί ως γεμάτο στερεό.
3. Στη συνέχεια δημιουργείται ένας κύκλος και μετά από αυτό χρησιμοποιείται η δυνατότητα τσέπης για τη δημιουργία τρύπας για αφαίρεση υλικού.
4. Ο κύλινδρος περιστρέφεται υπό γωνία 45 μοιρών.
5. Μέσω της επανάληψης δημιουργείται κυκλικό μοτίβο που παράγει συνολικά 6 κυλίνδρους.
6. Σχεδιασμός του χαρακτηριστικού της οροφής.

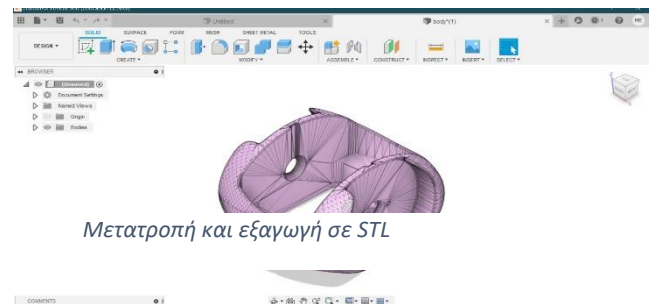
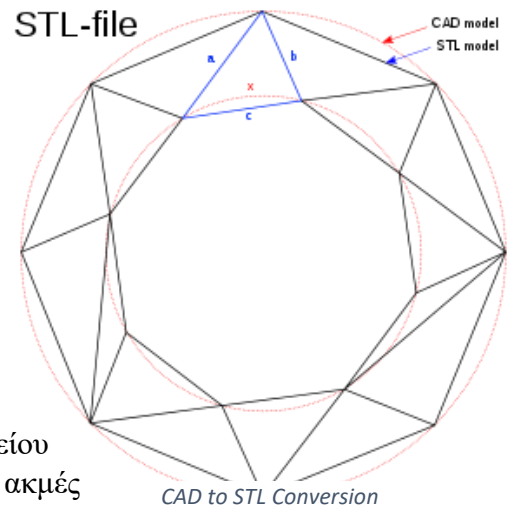


1st succesfull 3d printed mecanum wheel

Στην διπλανή εικόνα παρουσιάζω το πρώτο πετυχημένο δείγμα του τροχού. Έγιναν πάρα, πάρα πολλά δείγματα μέχρι να φτάσω σε αυτό το στάδιο.

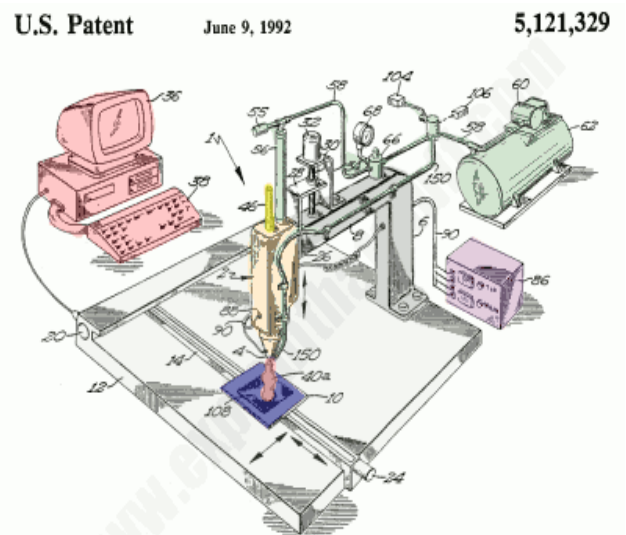
Εκτύπωση σχεδιαγραμμάτων.

Μετά τον σχεδιασμό γίνεται γίνεται εξαγωγή των σχεδιαγραμμάτων σε STL αρχεία. Τα αρχεία STL είναι μια μορφή αρχείου εγγενής στο λογισμικό στερεολιθογραφίας CAD που δημιουργήθηκε από τα 3D Systems. Το STL έχει πολλά akronyms όπως "Standard Triangle Language" και "Standard Tessellation Language". Αυτό που γίνεται από το Fusion 360 κατά την εξαγωγή των αρχείων σε STL μορφή είναι να μετατρέπει τα διανύσματα που χαρακτηρίζουν ένα σχεδιάγραμμα(τύπου fusion 360) σε μία μορφή αρχείου από αποτελείται από ένα «πλέγμα» με κορυφές και ακμές που σχηματίζουν τρίγωνα (vertexes) σε ένα καρτεσιανό χώρο συντεταγμένων x,y,z (τύπου STL). Τα αρχεία αυτά τα χρησιμοποιούμε για να εκτυπώσουμε τα σχεδιαγράμματα του πλαισίου.



Αφού εξαγάγουμε τα STL αρχεία προχωρούμε στην 3D εκτύπωση. Τι είναι όμως η 3D εκτύπωση, και πως δουλεύει ένας τέτοιος εκτυπωτής;

Για να καταλάβουμε την 3D εκτύπωση, ας φανταστούμε ότι έχουμε ένα μπλοκ από μασίφ ξύλο και πως χαράζουμε προς τα μέσα, σαν γλύπτης, αποκαλύπτοντας σταδιακά το αντικείμενο "κρυμμένο" μέσα. Ή αν θέλουμε να φτιάξουμε ένα μοντέλο αρχιτέκτονα ενός σπιτιού, θα το κατασκευάζαμε σαν ένα πραγματικό, προκατασκευασμένο σπίτι, πιθανώς κόβοντας μικρογραφίες από τους τοίχους από χαρτί και κολλώντας τους μαζί. Ένας τυπικός τρισδιάστατος εκτυπωτής μοιάζει πολύ με έναν εκτυπωτή inkjet που λειτουργεί από έναν υπολογιστή. Δημιουργεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο ένα στρώμα κάθε φορά, από κάτω προς τα πάνω, εκτυπώνοντας επανειλημμένα πάνω στην ίδια περιοχή με μια μέθοδο γνωστή ως fused depositional modeling (FDM). Λειτουργώντας εντελώς αυτόματα, ο εκτυπωτής δημιουργεί ένα μοντέλο για μια περίοδο ωρών μετατρέποντας ένα σχέδιο 3D CAD σε πολλά δισδιάστατα, διατομής στρώματα - διαχωρίζοντας αποτελεσματικά εκτυπώσεις 2D που τοποθετούνται το ένα πάνω στο άλλο, αλλά χωρίς το χαρτί μεταξύ τους. Αντί να χρησιμοποιεί μελάνι, το οποίο δεν θα μπορούσε ποτέ να ανεβάσει πολύ όγκο, ο εκτυπωτής εναποθέτει στρώματα λειωμένου πλαστικού ή σκόνης και τα συγχωνεύει μαζί (και στην υπάρχουσα δομή).

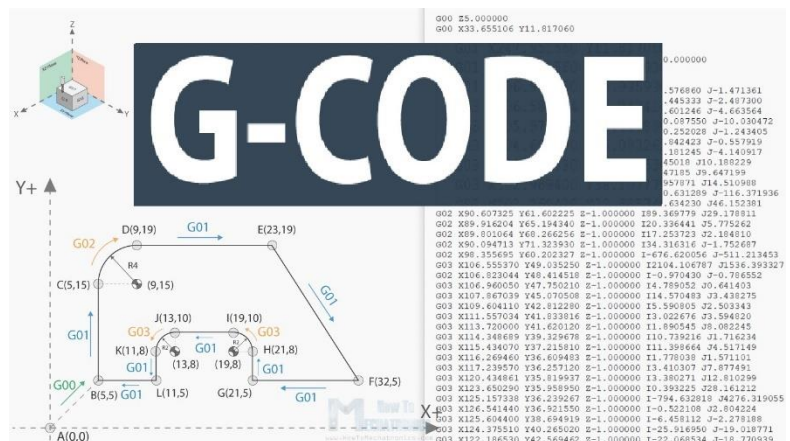


Us Patent for the 1st 3D printer

STL Slicing

Σχεδιάσουμε το αντικείμενο που θέλουμε να εκτυπώσουμε χρησιμοποιώντας λογισμικό CAD, δημιουργώντας το αντικείμενό μας σύμφωνα με τις προδιαγραφές που έχουν δοθεί. Πριν ξεκινήσουμε όμως την εκτύπωση πρέπει το σχέδιο μας πρώτα να τεμαχιστεί. Για αυτό, χρειαζόμαστε ένα ειδικό λογισμικό κοπής. Ο τεμαχισμός ενός σχεδίου 3D μεταφράζει αποτελεσματικά αυτό το σχέδιο 3D σε κάτι που μπορεί να κατανοήσει και να εκτυπώσει ένας εκτυπωτής 3D.

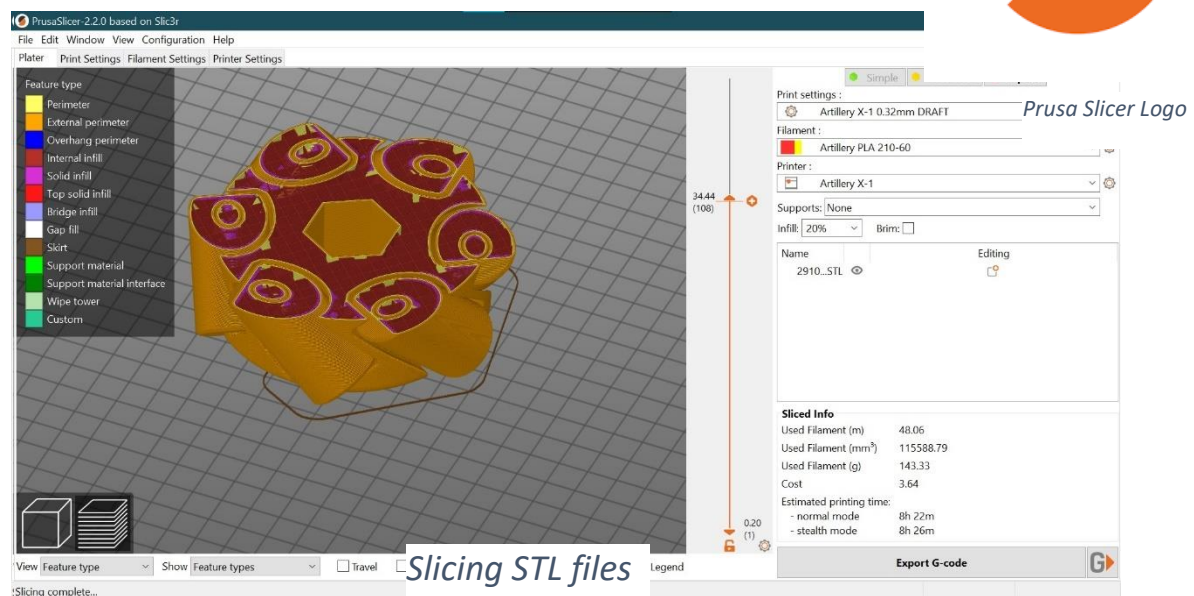
Η πιο τεχνική εξήγηση είναι ότι ο slicer(τεμαχιστής) μετατρέπει τα ψηφιακά μοντέλα 3D σε G-code (ένα γενικό όνομα για μια γλώσσα ελέγχου) που μπορεί να κατανοήσει ένας εκτυπωτής 3D. Είναι μια γλώσσα προγραμματισμού για μηχανές CNC (Computer Numerical Control). Ο κωδικός G σημαίνει "Γεωμετρικός κώδικας". Χρησιμοποιούμε αυτήν τη γλώσσα για να πούμε σε μια μηχανή τι να κάνει ή πώς να κάνει κάτι. Οι εντολές G-code δίνουν εντολή στο μηχάνημα να κινηθεί, πόσο γρήγορα να κινηθεί και ποια πορεία να ακολουθήσει.



Στην περίπτωση εργαλειομηχανών όπως τόννος ή μύλος, το εργαλείο κοπής οδηγείται από αυτές τις εντολές για να ακολουθήσει ένα συγκεκριμένο μονοπάτι εργαλείων, αποκόπτοντας υλικό για να πάρει το επιθυμητό σχήμα.

Ομοίως, στην περίπτωση κατασκευής πρόσθετων ή τρισδιάστατων εκτυπωτών, οι εντολές του κώδικα G δίνουν εντολή στο μηχάνημα να αποθέσει υλικό, στρώμα σε στρώμα, σχηματίζοντας ένα ακριβές γεωμετρικό σχήμα.

Στην αγορά υπάρχουν πάρα πολλά λογισμικά τεμαχισμού. Εγώ δουλεύω τα cura([link](#)) και slic3r prusa edition([link](#)). Με την εμπειρία μου στην 3D εκτύπωση ο slic3r έχει ποιο μεγάλο workflow αλλά δίνει τις περισσότερες επιλογές διαμόρφωσης των προς εκτύπωση σχεδιαγραμμάτων για αυτό και τον χρησιμοποίησα αποκλειστικά κατά την διάρκεια της εργασίας. Επειδή πιστεύω ότι οι ρυθμίσεις



του slic3r έχουν να κάνουν με το συγκεκριμένο εκτυπωτή που χρησιμοποιούμε αλλά και το είδος και την μάρκα του πλαστικού που χρησιμοποιεί ο καθένας μας δεν θα εμβαθύνω αναφέροντας τις επιλογές που έκανα καθώς αυτές αφορούν αποκλειστικά το δικό μου setup. Αντίθετα παραθέτω κάτωθι εικόνες από την διαδικασία του τεμαχισμού όπως αυτή έγινε.

Εκτύπωση

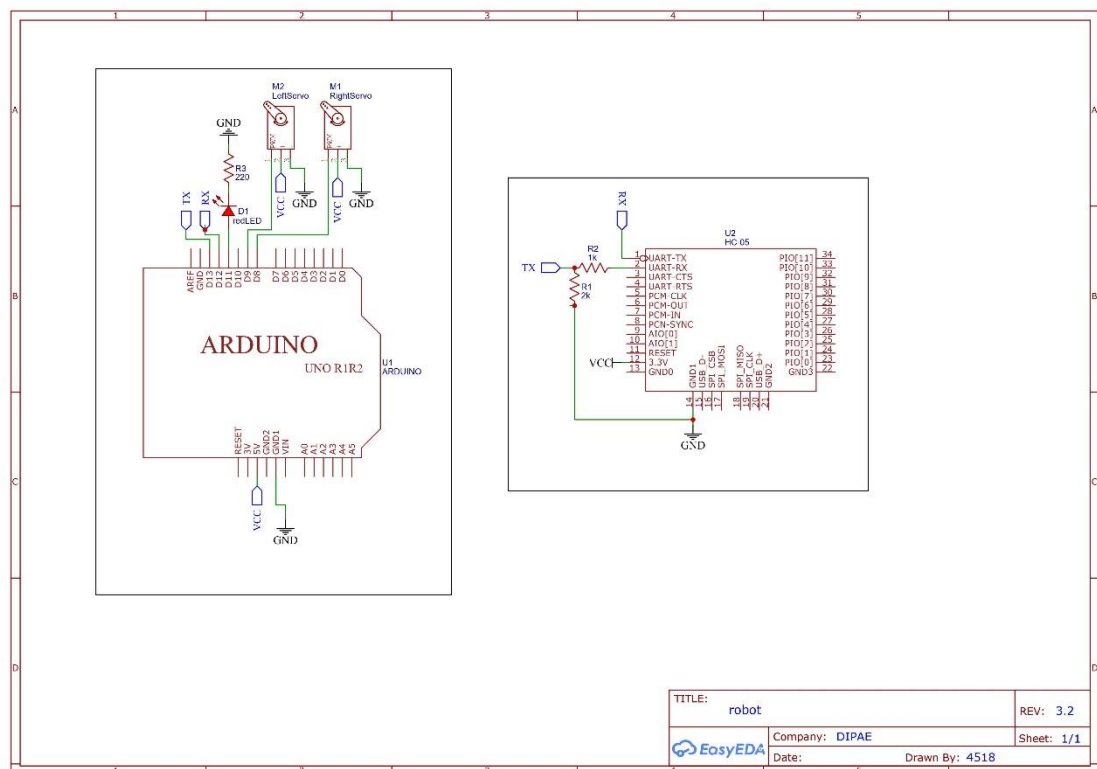
Η εκτύπωση έγινε σε ένα εκτυπωτή Sidewinder X1. Για νήμα πλαστικού διάλεξα PLA+ με αυξημένες μηχανικές ιδιότητες.



Ο εκτυπωτής μου

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ-ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ

Η κατασκευή στο κομμάτι των ηλεκτρονικών μετά από αρκετό πειραματισμό, υλοποιήθηκε όπως στο παρακάτω σχεδιάγραμμα:

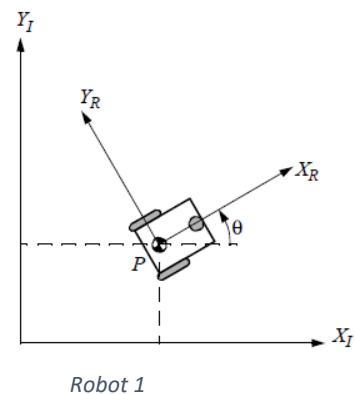


ΘΕΩΡΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΡΕΙΑΣ

Η κινηματική είναι η πιο βασική μελέτη για το πώς συμπεριφέρονται τα μηχανικά συστήματα. Στην κινητή ρομποτική, πρέπει να κατανοήσουμε τη μηχανική συμπεριφορά του ρομπότ τόσο για να σχεδιάσουμε κατάλληλα κινητά ρομπότ για εργασίες όσο και για να κατανοήσουμε τον τρόπο δημιουργίας λογισμικού ελέγχου για μια παρουσία υλικού κινητού ρομπότ. Φυσικά, τα κινητά ρομπότ δεν είναι τα πρώτα πολύπλοκα μηχανικά συστήματα που απαιτούν τέτοια ανάλυση.

Οι χειριστές ρομπότ αποτελούν αντικείμενο εντατικής μελέτης για περισσότερα από τριάντα χρόνια. Με κάποιους τρόπους, τα ρομπότ χειριστή ήταν πολύ πιο περίπλοκα από τα πρώτα κινητά ρομπότ: ένα τυπικό ρομπότ συγκόλλησης μπορεί να έχει πέντε ή περισσότερες αρθρώσεις, ενώ τα πρώτα κινητά ρομπότ ήταν απλά μηχανήματα διαφορικής κίνησης. Τα τελευταία χρόνια, η κοινότητα της ρομποτικής πέτυχε μια αρκετά πλήρη κατανόηση της κινηματικής και ακόμη και της δυναμικής (δηλαδή που σχετίζεται με τη δύναμη και τη μάζα) των χειριστών ρομπότ.

Η διαδικασία κατανόησης των κινήσεων ενός ρομπότ ξεκινά με τη διαδικασία περιγραφής της συμβολής που παρέχει κάθε τροχός στην κίνηση. Κάθε τροχός έχει ρόλο στην ενεργοποίηση ολόκληρου του ρομπότ. Με τον ίδιο τρόπο, κάθε τροχός επιβάλλει επίσης περιορισμούς στα ρομπότ κίνηση, για παράδειγμα άρνηση πλευρικής ολίσθησης. Παρακάτω, παρουσιάζω την έκφραση της κίνησης του ρομπότ σε ένα παγκόσμιο πλαίσιο αναφοράς, καθώς και το τοπικό πλαίσιο αναφοράς του ρομπότ. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας αυτήν τη σημειογραφία, επιδεικνύω την κατασκευή του απλού προς τα εμπρός κινηματικού μοντέλου κίνησης, που περιγράφει πώς το ρομπότ στο σύνολό του κινείται ως συνάρτηση της γεωμετρίας του και της ατομικής συμπεριφοράς των τροχών. Στη συνέχεια, περιγράφω τους κινηματικούς περιορισμούς των μεμονωμένων τροχών και στη συνέχεια συνδυάζω αυτούς τους κινηματικούς περιορισμούς ως έκφραση των κινηματικών περιορισμών ολόκληρου του ρομπότ. Με αυτά τα εργαλεία, μπορούμε να αξιολογήσουμε τις διαδρομές και τις τροχιές που καθορίζουν την ευελιξία του ρομπότ.



Κινηματικά μοντέλα

Η παραγωγή ενός μοντέλου για ολόκληρη την κίνηση του ρομπότ είναι μια διαδικασία από τη βάση προς τα πάνω. Κάθε μεμονωμένος τροχός συμβάλλει στην κίνηση του ρομπότ και, ταυτόχρονα, επιβάλλει περιορισμούς στην κίνηση του ρομπότ. Οι τροχοί συνδέονται μεταξύ τους με βάση τη γεωμετρία του πλαισίου ρομπότ, και επομένως οι περιορισμοί τους συνδυάζονται για να σχηματίσουν περιορισμούς στη συνολική κίνηση του πλαισίου ρομπότ. Ωστόσο, οι δυνάμεις και οι περιορισμοί κάθε τροχού πρέπει να εκφράζονται σε σχέση με ένα σαφές και συνεπές πλαίσιο αναφοράς. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στην ρομποτική λόγω της αυτοτελούς και κινητής φύσης του ρομπότ. Απαιτείται σαφής χαρτογράφηση μεταξύ παγκόσμιων και τοπικών πλαισίων αναφοράς. Ξεκινάμε ορίζοντας επίσημα αυτά τα πλαίσια αναφοράς και μετά χρησιμοποιούμε τις προκύψουσες εξισώσεις για να σχολιάσουμε την κινηματική μεμονωμένων τροχών και ολόκληρου του ρομπότ. Όλη αυτή τη διαδικασία την βασίζω εκτενώς στη σημειογραφία και την ορολογία που παρουσιάζονται στην θεωρία του μαθήματος.

Αναπαριστώντας την θέση του ρομπότ

Σε όλη αυτή την ανάλυση, μοντελοποιούμε το ρομπότ ως άκαμπτο σώμα σε τροχούς, που λειτουργεί σε οριζόντιο επίπεδο. Η συνολική διάσταση αυτού του

πλαίσιου ρομπότ στο επίπεδο είναι τρία, δύο για θέση στο επίπεδο και ένα για προσανατολισμό κατά μήκος του κατακόρυφου άξονα, ο οποίος είναι ορθογώνιος στο επίπεδο. Φυσικά, υπάρχουν επιπλέον βαθμοί ελευθερίας και ευελιξίας λόγω των αξόνων των τροχών, των συνδέσμων τιμονιού και των τροχών. Ωστόσο, με το πλαίσιο του ρομπότ αναφερόμαστε μόνο στο άκαμπτο σώμα του ρομπότ, αγνοώντας τις αρθρώσεις και τους βαθμούς ελευθερίας εσωτερικά του ρομπότ και των τροχών του. Για να προσδιορίσουμε τη θέση του ρομπότ στο πλάνο, δημιουργούμε μια σχέση μεταξύ του παγκόσμιου πλαισίου αναφοράς και του τοπικού πλαισίου αναφοράς του ρομπότ όπως στην ανωτέρω εικόνα robot 1. Οι άξονες ορίζουν μια αυθαίρετη αδρανειακή βάση στο επίπεδο ως το παγκόσμιο πλαίσιο αναφοράς από κάποια προέλευση $O(X_I, Y_I)$. Για να καθορίσουμε τη θέση του ρομπότ, επιλέγουμε ένα σημείο P στο πλαίσιο του ρομπότ ως σημείο αναφοράς της θέσης του. Η βάση (X_R, Y_R) καθορίζει δύο άξονες σε σχέση με το P στο πλαίσιο του ρομπότ και είναι, συνεπώς, το τοπικό πλαίσιο αναφοράς του ρομπότ.

Η θέση του καθολικού πλαισίου αναφοράς καθορίζεται από τις συντεταγμένες x και y και η γωνιακή διαφορά μεταξύ των καθολικών και τοπικών πλαισίων αναφοράς δίνεται από το θ . Μπορούμε να περιγράψουμε τη στάση του ρομπότ ως φορέα με αυτά τα τρία στοιχεία. Η χρήση του subscript I για να αποσαφηνίσουμε τη βάση αυτής της στάσης ως το παγκόσμιο πλαίσιο αναφοράς:

$$\xi_I = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix}$$

Για να περιγράψουμε την κίνηση του ρομπότ ως προς τις κινήσεις των συστατικών κινήσεων, θα είναι απαραίτητη η χαρτογράφηση της κίνησης κατά μήκος των αξόνων του παγκόσμιου πλαισίου αναφοράς σε κίνηση κατά μήκος των αξόνων του τοπικού πλαισίου αναφοράς του ρομπότ. Φυσικά, η χαρτογράφηση είναι συνάρτηση της τρέχουσας στάσης του ρομπότ. Αυτή η χαρτογράφηση πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας τον ορθογώνιο πίνακα περιστροφής:

$$R(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

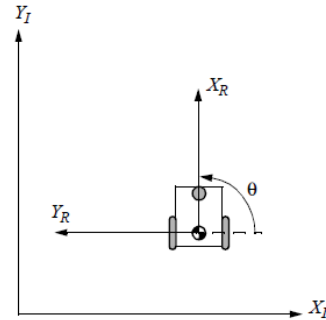
Αυτός ο πίνακας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την χαρτογράφηση της κίνησης στο καθολικό πλαίσιο αναφοράς (X_I, Y_I) σε κίνηση από την άποψη του τοπικού πλαισίου αναφοράς (X_R, Y_R) . Αυτή η λειτουργία υποδηλώνεται επειδή ο υπολογισμός αυτής της λειτουργίας εξαρτάται από την τιμή του θ :

$$\text{Εξ.1} \quad \dot{\xi}_R = R\left(\frac{\pi}{2}\right) \dot{\xi}_I$$

Π.χ. δεδομένης κάποιας ταχύτητας $(\dot{x}, \dot{y}, \dot{\theta})$ στο παγκόσμιο πλαίσιο αναφοράς μπορούμε να υπολογίσουμε τα στοιχεία κίνησης κατά μήκος των τοπικών αξόνων του ρομπότ X_R και Y_R . Σε αυτήν την περίπτωση, λόγω της συγκεκριμένης γωνίας του ρομπότ, η κίνηση κατά μήκος X_R είναι ίση X_R και η κίνηση κατά μήκος Y_R είναι $-\dot{x}$:

Εξ.2

$$\dot{\xi}_r = R\left(\frac{\pi}{2}\right) \dot{\xi}_l = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{y} \\ \dot{x} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{y} \\ -\dot{x} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix}$$



Κινηματικοί περιορισμοί ρομπότ

Λαμβάνοντας υπόψη ένα κινητό ρομπότ με τροχούς M , μπορούμε τώρα να υπολογίσουμε τους κινηματικούς περιορισμούς του πλαισίου του ρομπότ. Η βασική ιδέα είναι ότι κάθε τροχός επιβάλλει μηδενικούς ή περισσότερους περιορισμούς στην κίνηση του ρομπότ, και έτσι η διαδικασία είναι απλώς ένας από τους κατάλληλους συνδυασμούς όλων των κινηματικών περιορισμών που προκύπτουν από όλους τους τροχούς με βάση την τοποθέτηση αυτών των τροχών στο πλαίσιο του ρομπότ.

Έχουμε κατηγοριοποιήσει όλους τους τροχούς σε πέντε κατηγορίες: σταθερούς και κατευθυνόμενους τροχούς, mecanum τροχούς και σφαιρικούς τροχούς. Ωστόσο, από τους κινηματικούς περιορισμούς των τροχών στις ανωτέρω εξισώσεις καθώς ο τροχός, ο mecanum τροχός και ο σφαιρικός τροχός δεν επιβάλλουν κινηματικούς περιορισμούς στο πλαίσιο του ρομπότ, καθώς ξ_l μπορεί να κυμαίνεται ελεύθερα σε όλες αυτές τις περιπτώσεις λόγω των εσωτερικών γωνιών ελευθερίας.

Επομένως, μόνο σταθεροί τυπικοί τροχοί και σταθεροί τυποποιημένοι τροχοί έχουν αντίκτυπο στην κινηματική του πλαισίου ρομπότ και συνεπώς απαιτούν προσοχή κατά τον υπολογισμό των κινηματικών περιορισμών του ρομπότ. Ας υποθέσουμε ότι το ρομπότ έχει συνολικά N τυποποιημένους τροχούς, που περιλαμβάνουν N_f σταθερούς τυπικούς τροχούς και N_s τυποποιημένους οδηγούμενους τροχούς. Χρησιμοποιούμε $\beta_s(t)$ για να υποδηλώσουμε τις μεταβλητές γωνίες διεύθυνσης των N_s κατευθυνόμενων τυπικών τροχών. Αντίθετα, β_f αναφέρεται στον προσανατολισμό των N_f σταθερών τυπικών τροχών όπως απεικονίζεται στο σχέδιο robot 1. Στην περίπτωση περιστροφής των τροχών, τόσο οι σταθεροί όσο και οι διευθύνσιμοι τροχοί έχουν περιστροφικές θέσεις γύρω από τον οριζόντιο άξονα που ποικίλλουν ανάλογα με το χρόνο. Υποδηλώνουμε τις σταθερές και κατευθύνσιμες περιπτώσεις ξεχωριστά ως $\varphi_f(t)$ και $\varphi_s(t)$ και χρησιμοποιούμε $\varphi(t)$ ως αθροιστικό πίνακα που συνδυάζει και τις δύο τιμές:

Εξ. 3

$$\varphi(t) = \begin{bmatrix} \varphi_f(t) \\ \varphi_s(t) \end{bmatrix}$$

Οι περιορισμοί κύλισης όλων των τροχών μπορούν τώρα να συλλεχθούν σε μία μόνο έκφραση:

Εξ.4

$$J_1(\beta_s) = \begin{bmatrix} J_{1f} \\ J_{1s}(\beta_s) \end{bmatrix}$$

Το πανκατευθυντικό ρομπότ μου.

Το ρομπότ μου έχει δύο τροχούς mecanum και ένα τροχό σφαιρικό διατεταγμένους συμμετρικά ακτινικά, με τους κυλίνδρους κάθετους σε κάθε κύριο τροχό.

Πρώτα πρέπει να επιβάλουμε ένα συγκεκριμένο τοπικό πλαίσιο αναφοράς στο ρομπότ. Το κάνουμε επιλέγοντας το σημείο P στο κέντρο του ρομπότ και, στη συνέχεια, ευθυγραμμίζοντας το ρομπότ με το τοπικό πλαίσιο αναφοράς έτσι ώστε X_R να είναι γραμμικό με τον άξονα του τροχού 2. Η εικόνα Robot 1 δείχνει το ρομπότ και το τοπικό πλαίσιο αναφοράς του διατεταγμένο με αυτόν τον τρόπο .

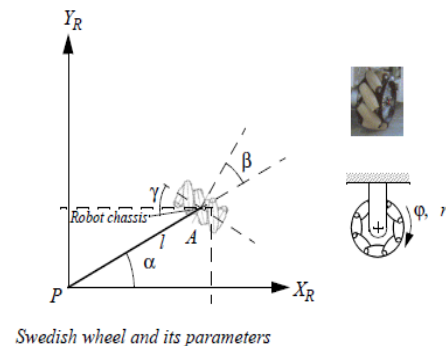
Υποθέτουμε ότι η απόσταση μεταξύ κάθε τροχού και P είναι l, και ότι και οι τρεις τροχοί έχουν την ίδια ακτίνα, r. Για άλλη μια φορά, η τιμή του ξ_I μπορεί να υπολογιστεί ως συνδυασμός των περιορισμών κύλισης των τριών πανκατευθυντικών τροχών του ρομπότ, όπως στην Εξίσωση 5. Όπως συμβαίνει με το ρομπότ διαφορικής κίνησης, δεδομένου ότι αυτό το ρομπότ δεν έχει οδηγούμενους τροχούς, τότε $J_{1s}(\beta_S)$ απλοποιείται σε J_{1f} : Εξ.5

$$\dot{\xi}_I = R(\theta)^{-1} J_{1f}^{-1} J_{2\phi}$$

Υπολογίζουμε J_{1f} χρησιμοποιώντας τα στοιχεία του πίνακα των περιορισμών κύλισης για τον mecanum τροχό, που δίδεται από την εξ 6. Αλλά για να χρησιμοποιήσουμε αυτές τις τιμές, πρέπει να καθορίσουμε τις τιμές α, β, γ για κάθε τροχό. Αναφερόμενος στην διπλανή εικόνα, μπορούμε να δούμε ότι $\gamma = 0$ για κάθε mecanum ρόδα. Σημειώστε ότι αυτό απλοποιεί αμέσως την Εξίσωση εξ 6 στην εξίσωση 6, τους περιορισμούς κύλισης ενός σταθερού τυπικού τροχού. Δεδομένης της συγκεκριμένης τοποθέτησης του τοπικού πλαισίου αναφοράς, η τιμή α για κάθε τροχό υπολογίζεται εύκολα: $(\alpha_1 = \frac{\pi}{3}), (\alpha_2 = \pi), (\alpha_3 = -\frac{\pi}{3})$. Επιπλέον $\beta=0$, για όλους τους τροχούς επειδή οι τροχοί είναι εφαπτόμενοι στο κυκλικό σώμα του ρομπότ. Η κατασκευή και η απλοποίηση του J_{1f} χρησιμοποιώντας την εξίσωση εξ.6 αποφέρει την εξ.7:

$$\text{Εξ.6} \quad [\sin(\alpha + \beta) \quad -\cos(\alpha + \beta) \quad (-l)\cos\beta] R(\theta) \dot{\xi}_I - r \dot{\phi} = 0$$

$$\text{Εξ.7} \quad J_{1f} =$$



$$\begin{bmatrix} \sin \frac{\pi}{3} & -\cos \frac{\pi}{3} & -l \\ 0 & -\cos \pi & -l \\ \sin -\frac{\pi}{3} & -\cos -\frac{\pi}{3} & -l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} & -l \\ 0 & 1 & -l \\ -\frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} & -l \end{bmatrix}$$

Για άλλη μια φορά, ο υπολογισμός της τιμής $\dot{\xi}_I$ απαιτεί τον υπολογισμό του αντίστροφου, J_{1f}^{-1} , όπως απαιτείται στην εξίσωση 5. Μία προσέγγιση θα ήταν να εφαρμοστούν οι μέθοδοι ρόδου για τον υπολογισμό του αντίστροφου ενός τετραγωνικού πίνακα 3x3. Μόλις ληφθεί το αντίστροφο, το $\dot{\xi}_I$ μπορεί να απομονωθεί ως εξής:

$$\text{Εξ. 8} \quad \dot{\xi}_I = R(\theta)^{-1} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & 0 & -\frac{1}{\sqrt{3}} \\ -\frac{1}{3} & \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} \\ -\frac{1}{3l} & -\frac{1}{3l} & -\frac{1}{3l} \end{bmatrix} J_{2\varphi}$$

Εξετάζουμε ένα πανκατευθυντικό πλαίσιο με $l = 1$ και $r = 1$ για όλους τους τροχούς. Το τοπικό πλαίσιο αναφοράς του ρομπότ και το παγκόσμιο πλαίσιο αναφοράς είναι ευθυγραμμισμένα, έτσι ώστε $\theta = 0$. Εάν οι τροχοί 1, 2 και 3 περιστρέφονται με ταχύτητες $(\varphi_1 = 4)$, $(\varphi_2 = 1)$, $(\varphi_3 = 2)$, ποια είναι η προκύπτουσα κίνηση ολόκληρου του ρομπότ;

Χρησιμοποιώντας την παραπάνω εξίσωση, η απάντηση μπορεί να υπολογιστεί εύκολα:

$$\text{Εξ. 9} \quad \dot{\xi} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & 0 & -\frac{1}{\sqrt{3}} \\ -\frac{1}{3} & \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} \\ -\frac{1}{3l} & -\frac{1}{3l} & -\frac{1}{3l} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 4 \\ 1 \\ 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{\sqrt{3}} \\ -\frac{4}{3} \\ -\frac{7}{3} \end{bmatrix}$$

Έτσι, αυτό το ρομπότ θα κινηθεί στιγμιαία κατά μήκος του άξονα x με θετική ταχύτητα και κατά μήκος του άξονα y με αρνητική ταχύτητα ενώ περιστρέφεται δεξιόστροφα. Μπορούμε να δούμε από τα παραπάνω παραδείγματα ότι η κίνηση ρομπότ μπορεί να προβλεφθεί συνδυάζοντας τους περιορισμούς κύλισης μεμονωμένων τροχών. Οι περιορισμοί ολίσθησης που περιλαμβάνονται στο $C_l(\beta_s)$ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προχωρήσουμε ακόμη περισσότερο, επιτρέποντάς μας να αξιολογήσουμε την ευελιξία και τον χώρο εργασίας του ρομπότ και όχι απλώς την προβλεπόμενη κίνησή του.

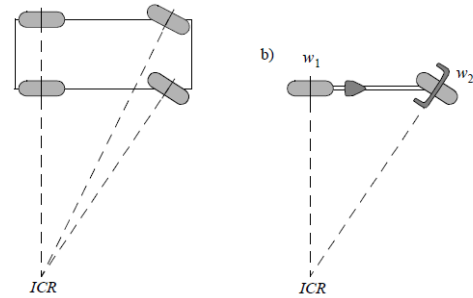
Βαθμοί κινητικότητας

Η εξίσωση 10 επιβάλλει τον περιορισμό ότι κάθε τροχός πρέπει να αποφεύγει οποιαδήποτε πλευρική ολίσθηση. Φυσικά, αυτό ισχύει χωριστά για κάθε τροχό, και έτσι είναι δυνατό να προσδιοριστεί αυτός ο περιορισμός ξεχωριστά για σταθερούς και κατευθυνόμενους τυπικούς τροχούς:

$$\text{Εξ. 10} \quad C_{lf} R(\theta) \dot{\xi}_I = 0$$

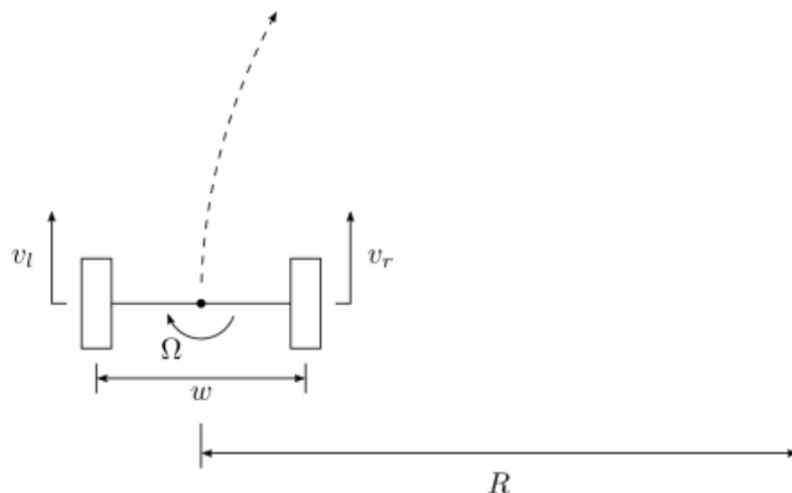
$$C_{ls}(\beta_s) R(\theta) \dot{\xi}_I = 0$$

Για να ικανοποιηθούν και οι δύο αυτοί περιορισμοί, ο φορέας κίνησης $R(\theta)\xi_I$ πρέπει να ανήκει στον μηδενικό χώρο του πίνακα προβολής $C_l(\beta_s)$, ο οποίος είναι απλώς ένας συνδυασμός C_{lf} και C_s . Μαθηματικά, ο μηδενικός χώρος $C_l(\beta_s)$, είναι ο χώρος N έτσι ώστε για οποιοδήποτε διάνυσμα n στο N . Εάν πρέπει να τηρηθούν οι κινηματικοί περιορισμοί, τότε η κίνηση του ρομπότ πρέπει πάντα να βρίσκεται εντός αυτού του χώρου N . Οι παραπάνω κινηματικοί περιορισμοί μπορούν επίσης να αποδειχθούν γεωμετρικά χρησιμοποιώντας την έννοια του Στιγμιαίου Κέντρου Περιστροφής του ρομπότ (ICR).



Εξετάζοντας έναν απλό τροχό αναγκάζομαστε από τον περιορισμό ολίσθησης να έχει μηδενική πλευρική κίνηση. Αυτό μπορεί να φανεί γεωμετρικά σχεδιάζοντας μια γραμμή μηδενικής κίνησης μέσω του οριζόντιου άξονά της, κάθετα προς το επίπεδο του τροχού. Σε οποιαδήποτε στιγμή, η κίνηση των τροχών κατά μήκος της γραμμής μηδενικής κίνησης πρέπει να είναι μηδενική. Με άλλα λόγια, ο τροχός πρέπει να κινείται ακαριαία κατά μήκος ενός κύκλου ακτίνας R έτσι ώστε το κέντρο αυτού του κύκλου να βρίσκεται στη γραμμή μηδενικής κίνησης. Αυτό το κεντρικό σημείο, που ονομάζεται Στιγμιαίο Κέντρο περιστροφής, μπορεί να βρίσκεται οπουδήποτε κατά μήκος της γραμμής μηδενικής κίνησης. Όταν το R είναι στο άπειρο, ο τροχός κινείται σε ευθεία γραμμή. Ένα ρομπότ όπως το όχημα Ackerman στο παραπάνω σχήμα μπορεί να έχει αρκετούς τροχούς, αλλά πρέπει πάντα να έχει ένα μόνο ICR. Επειδή όλες οι γραμμές μηδενικής κίνησης συναντώνται σε ένα μόνο σημείο, υπάρχει μια μοναδική λύση για κίνηση ρομπότ, τοποθετώντας το ICR σε αυτό το σημείο συνάντησης.

Πως υπολόγισα τον αλγόριθμο του ρομπότ βάση του ICR.



Εάν ο κύκλος που ταξιδεύετε είναι ακτίνα R και V είναι η ταχύτητα στόχος, τότε η ταχύτητα προς τα μπροστά είναι ίση με:

$$\text{Εξ.1} \quad v_f = \frac{v_r + v_l}{2}$$

Η γωνιακή ταχύτητα θα είναι ίση με :

$$\text{Εξ.2} \quad \Omega = \frac{v_f}{R}$$

Μπορεί όμως να γραφεί ως:

$$\text{Εξ.3} \quad \Omega = \frac{v_r + v_l}{2R}$$

Έχοντας υπόψιν μας τις εξισώσεις 1,2,3 και λύνοντας ως προς v_l έχουμε:

$$\text{Εξ.4} \quad v_l = \frac{1+w/2R}{1-w/2R} v_r$$

Έτσι, ο εξωτερικός τροχός πρέπει να πάει πιο γρήγορα από τον εσωτερικό τροχό σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση.

Εάν η γωνιακή ταχύτητα είναι w rads / s, τότε θα χρειαστώ $2 * \pi / w$ δευτερόλεπτα για να φτιάξω τον κύκλο. Οπότε αν χρειάζομαι $2 * \pi / w$ δευτερόλεπτα για να φτιάξω έναν κύκλο και η ταχύτητά προς τα εμπρός είναι v , τότε η περιφέρεια θα είναι ίση με $2 * \pi * v / w$. Η ακτίνα θα είναι τότε $2 * \pi * v / w = 2 * \pi * r$ ή $v / w = r$. Αυτό βρίσκεται στο κέντρο του μεταξόνιου, ώστε να μπορώ να υπολογίσω την περιφέρεια του κύκλου που σχεδιάζεται από κάθε τροχό με βάση το:

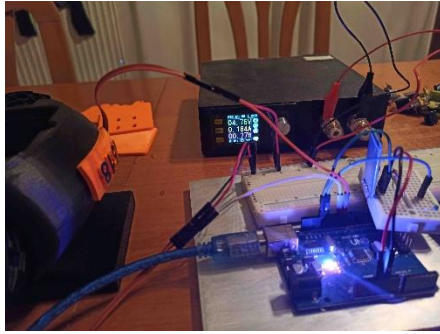
$$r + - \text{μεταξόνιο} / 2.$$

LESSONS LEARNED

Κατά την διάρκεια αυτής της εργασίας βρέθηκα να αντιμετωπίζω πολλά προβλήματα ειδικά κατά την μετάβαση μου από τον σχεδιασμό στην υλοποίηση της κατασκευής. Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα μου ήταν η έλλειψη σωστού εδάφους για το ρομπότ καθώς μέσα στο σπίτι έχω δύο ανήλικα παιδιά και μόλις έβλεπαν το ρομπότ ήθελαν να το καταστρέψουν(!) και εκτός οικίας έχω χωμάτινη αυλή όπου οι mecanum ρόδες δεν δουλεύαν. Για αυτό κατασκεύασα ένα δεύτερο σετ από κανονικές ρόδες για ρομπότ από το thingiverse. Ακόμα αντιμετώπισα πλειάδα προβλημάτων με κυριότερα τα εξής:

- Την τριβή ανάμεσα στα πλαστικά. Ειδικά στους τροχούς mecanum. Την λύση έφερε ένα lubricating spray σιλικόνης.
- τους σερβοκινητήρες (αναγκάστηκα να πάρω 3 διαφορετικά μοντέλα καθώς δεν υπήρχαν datasheet και οι πωλητές δεν ήξεραν αν ήταν continuous rotation).
- με τις ρόδες mecanum καθώς χρειάστηκαν να γίνουν πολλά πρωτότυπα.
- επίσης και με την σφαιρική ρόδα καθώς χρειάστηκαν να γίνουν πολλά πρωτότυπα, ειδικά για την σφαίρα.
- Με τις καθυστερήσεις των ταχυμεταφορών λόγω της εν γένει κατάστασης της πανδημίας του κορονοϊού. Τα περισσότερα ηλεκτρονικά τα πήρα από το aliexpress.com από την Κίνα και μέχρι το πέρας της εργασίας δεν έχουν φτάσει στα χέρια μου. Αναγκάστηκα να παραγγείλω τα πάντα από skroutz.gr .
- Είχα σκοπό να χρησιμοποιήσω ένα γυροσκόπιο για να υπολογίζω πότε το ρομπότ κάνει ένα πλήρη κύκλο αλλά λόγω των καθυστερήσεων από κίνα αλλά μετά και από Ελλάδα δεν έφτασε έγκαιρα. Η λύση δόθηκε στο λογισμικό μέσω αλγορίθμου υπολογισμού θέσης αλλά με πολλή μεγαλύτερα λάθη φυσικά.
- Το hc-05 που ενώ θέλει 5V για να δουλέψει στον RX,TX θέλει 3v. Την λύση έδωσα μέσω ενός διαιρέτη τάσης.
- Με την υλοποίηση των αλγορίθμων. Η λύση δόθηκε μέσω της προσπάθειας και πολλών δοκιμών.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα που αντιμετώπισα όμως ήταν ότι η συγκεκριμένη εργασία ήταν προσωπικό μου πόνημα καθότι δεν μπόρεσα να συμμετέχω σε ομάδα. Όλα έπρεπε να περάσουν από μένα. Αυτή βέβαια η διαδικασία με οδήγησε στο να μάθω πάρα πολλά και στο να μην γίνουν συμβιβασμοί κατά την διάρκεια κατασκευής του ρομπότ. Παραθέτω μερικές εικόνες από το troubleshooting.



ΚΩΔΙΚΑΣ

Ο Πηγαίος κώδικας, τα εκτελέσιμα και όλα τα σχεδιαγράμματα βρίσκονται στον προσωπικό μου github([link](#)).

- https://github.com/Lefteris-B/mechatronics_robot

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ

Δυστυχώς για την παρουσίαση δεν είχα κατάλληλο χώρο και έκανα ένα κύκλο σε μαρμαρίνη επιφάνεια που έκαναν το όχημα να γλιστράει περισσότερο και να εμφανίζει μεγαλύτερο λάθος στην τροχιά του. Ακολουθούν φωτογραφίες και βίντεο:

Βίντεο ανεβασμένο στο youtube: https://youtu.be/cZt7_77ABjc



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [DE 2354404](#), Ilon Bengt Erland, "Rad Fuer Ein Laufstabiles, Selbstfahrendes Fahrzeug", issued 1974-05-16
- [US 3876255](#), Ilon Bengt Erland, "Wheels for a Course Stable Selfpropelling Vehicle Movable in any Desired Direction on the Ground or Some Other Base", issued 1975-04-08
- ["Improved Mecanum Wheel Design for Omni-Directional Robots"](#) (PDF). Institute of Technology and Engineering, Massey University. November 2002. Retrieved 22 September 2011.
- Podnar, Gregg. [""Uranus""](#). [www.cs.cmu.edu](#).
- ["Electric Wheel Chair"](#). Planetary Engineering Group. Retrieved 2019-01-13.
- [Edmund Taylor Whittaker](#) (1904). [A Treatise on the Analytical Dynamics of Particles and Rigid Bodies](#). Cambridge University Press. Chapter 1. [ISBN 0-521-35883-3](#).
- Joseph Stiles Beggs (1983). [Kinematics](#). Taylor & Francis. p. 1. [ISBN 0-89116-355-7](#).
- Thomas Wallace Wright (1896). [Elements of Mechanics Including Kinematics, Kinetics and Statics](#). E and FN Spon. Chapter 1.
- Russell C. Hibbeler (2009). ["Kinematics and kinetics of a particle"](#). Engineering Mechanics: Dynamics (12th ed.). Prentice Hall. p. 298. [ISBN 978-0-13-607791-6](#).
- Ahmed A. Shabana (2003). ["Reference kinematics"](#). Dynamics of Multibody Systems (2nd ed.). Cambridge University Press. [ISBN 978-0-521-54411-5](#).
- P. P. Teodorescu (2007). ["Kinematics"](#). Mechanical Systems, Classical Models: Particle Mechanics. Springer. p. 287. [ISBN 978-1-4020-5441-9](#).
- A. Biewener (2003). [Animal Locomotion](#). Oxford University Press. [ISBN 019850022X](#).
- J. M. McCarthy and G. S. Soh, 2010, [Geometric Design of Linkages](#), Springer, New York.
- [Ampère, André-Marie](#) (1834). [Essai sur la Philosophie des Sciences](#). Chez Bachelier.
- Merz, John (1903). [A History of European Thought in the Nineteenth Century](#). Blackwood, London. pp. 5.
- R. Douglas Gregory (2006). [Chapter 16](#). Cambridge, England: Cambridge University. [ISBN 0-521-82678-0](#).
- William Thomson Kelvin & Peter Guthrie Tait (1894). [Elements of Natural Philosophy](#). Cambridge University Press. p. 4. [ISBN 1-57392-984-0](#).
- William Thomson Kelvin & Peter Guthrie Tait (1894). [Elements of Natural Philosophy](#). p. 296.
- M. Fogiel (1980). ["Problem 17-11"](#). The Mechanics Problem Solver. Research & Education Association. p. 613. [ISBN 0-87891-519-2](#).
- Irving Porter Church (1908). [Mechanics of Engineering](#). Wiley. p. 111. [ISBN 1-110-36527-6](#).
- Morris Kline (1990). [Mathematical Thought from Ancient to Modern Times](#). Oxford University Press. p. 472. [ISBN 0-19-506136-5](#).
- Phillips, Jack (2007). [Freedom in Machinery, Volumes 1–2](#)(reprint ed.). Cambridge University Press. [ISBN 978-0-521-67331-0](#).

- Tsai, Lung-Wen (2001). Mechanism design: enumeration of kinematic structures according to function (illustrated ed.). CRC Press. p. 121. [ISBN 978-0-8493-0901-4](#).
- O. Bottema & B. Roth (1990). Theoretical Kinematics. Dover Publications. preface, p. 5. [ISBN 0-486-66346-9](#).
- Harper, Douglas. "cinema". Online Etymology Dictionary.
- Crash course physics
- <https://www.youtube.com/watch?v=jLJLXka2wEM> Crash course physics integrals
- https://duckduckgo.com/?q=Area+of+a+rectangle&atb=v92-4_g&ia DuckDuckGo
- <https://www.mathsisfun.com/algebra/trig-area-triangle-without-right-angle.html> Area of Triangles Without Right Angles
- <https://www4.uwsp.edu/physisastr/kmenning/Phys203/eqs/kinematics.gif>
- Reuleaux, F.; Kennedy, Alex B. W. (1876), The Kinematics of Machinery: Outlines of a Theory of Machines, London: Macmillan
- Geometry: the study of properties of given elements that remain invariant under specified transformations. "Definition of geometry". Merriam-Webster on-line dictionary.
- Paul, Richard (1981). Robot manipulators: mathematics, programming, and control : the computer control of robot manipulators. MIT Press, Cambridge, MA. [ISBN 978-0-262-16082-7](#).