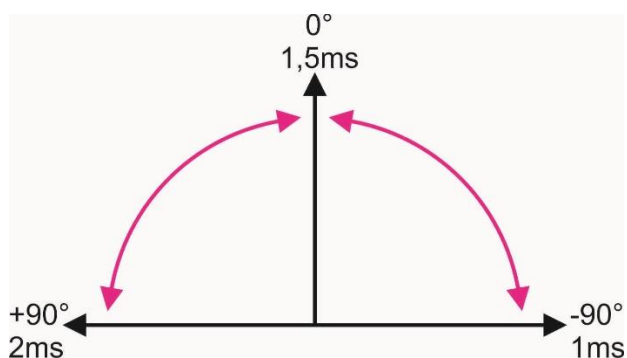


OŠ Loče
Šolska ulica 5
3215 Loče

ROBOTIKA IN MATEMATIKA

RAZISKOVALNA NALOGA



Avtorja:
Emanuel PINTAR,
Mark HLASTEC

Mentorji:
Ines POTOČNIK, prof. mat
Mladen PINTAR, elektrotehnik elektronike

Mestna občina Mladi za Celje
Celje, 2020

ROBOTIKA IN MATEMATIKA

raziskovalna naloga

Šifra: EPMH8

Razred: 8.

Področje: Mehatronika in robotika

3. 3. 2020

Kazalo vsebine

1	POVZETEK	3
2	UVOD	4
3	HIPOTEZE	4
4	TEORETIČNE OSNOVE.....	4
4.1	Ada Lovelace.....	4
4.2	Nikola Tesla	5
4.3	ROBOTSKA ROKA »uArm Swift Pro«.....	8
4.3.1	Podnožje	8
4.3.2	Priklopi.....	9
4.3.3	Nastavki	9
4.3.4	Vsebina in priključki.....	10
4.3.5	Obseg delovanja robotske roke.....	10
4.3.6	Izgled robotske roke »uArm Swift Pro«.....	11
4.3.7	Položaj višine robotske roke oziroma Z-os	12
5	POTEK DELA.....	12
5.1	KRMILJENJE RC-SERVO MOTORJA S POMOČJO ČASOVNIH IMPULZOV	13
5.1.1	SERVO MOTOR S CENTER POZICIJO 1,5ms (1,5 mili sekunde)	13
5.1.2	SERVO MOTOR S CENTER POZICIJO 1,8ms (1,8 mili sekunde)	15
5.1.3	Primeri računanja časa impulza za servo motor.....	16
5.1.4	IZRAVNAVA (ali AN. OFFSET) SERVO MOTORJA	17
5.2	KORAČNI MOTOR	19
5.3	RC-SERVO MOTOR V PRIMERJAVI S KORAČNIM MOTORJEM	20
5.4	PRIČETEK PROGRAMIRANJA ROBOTSKO ROKO »uArm Swift Pro«	22
5.4.1	PREDSTAVITEV PROGRAMA BLOCKLY IN NJEGOVIH UKAZOV.....	23
5.4.2	BLOCKLY PROGRAM ZLAGANJA KOCK Z ROBOTSKO ROKO »uArm Swift Pro«	24
5.4.3	BLOCKLY PROGRAM VSTAVLJANJA LED LEČE V DISTANČNIK	27
5.4.4	BLOCKLY PROGRAM ZAŠČITA ELEKTRONIKE	28
6	UGOTOVITVE	0
7	ZAKLJUČEK.....	0
8	LITERATURA.....	1

1 POVZETEK

V raziskovalni nalogi sva odkrivala povezavo med robotiko in matematiko. Kot zanimivost sva najprej raziskala, kam v zgodovino segajo prvi programi in kdo je bil prvi programer, saj je programiranje osnova robotike. Tukaj sva odkrila zanimivo osebnost »Ada Lovelace«, ki je že v začetku 19. stoletja povezovala matematiko in programiranje. Robotske roke so sestavljene iz mehanike in elektromotorjev, zato sva raziskala začetke elektromotorjev in njihovega krmiljenja in seveda naletela na nam že znano osebnost »Nikola Tesla«.

Po nekakšni kratki uvodni raziskavi po zgodovini sva se lotila spoznavanja robotske roke. S pomočjo znanja osnovnošolske matematike sva poizkusila dokazati, zakaj je robotska roka s koračnimi motorji natančnejša kot robotska roka z RC-servo motorji. Podrobneje sva predstavila robotsko roko in zanjo napisala osnovni program, kjer sva dobila osnove programiranja. Na koncu raziskovalne naloge sva napisala dva programa, in sicer zlaganje led leč v distančnike ter program za zaščito elektronike s plastično tekočino s pomočjo čopiča.

Ključne besede: Ada Lovelace, Nikola Tesla, robotska roka, servo motor, koračni motor, programiranje, Blockly.

2 UVOD

Na začetku raziskovalne naloge sva najprej postavila hipoteze. Najprej sva na kratko raziskala, kdo je bil prvi programer, kako daleč sega prvo programiranje in ali imajo prvi programerji kakšno povezavo z matematiko. K robotiki spadajo elektromotorji in njihovo krmilje, zato sva na kratko raziskala tudi, kdo je podal osnove elektromotorjev.

Eden izmed glavnih namenov raziskovalne naloge je bil, raziskati ali je robotska roka s koračnimi motorji natančnejša kot roka z RC-servo motorji in to matematično dokazati. Najprej sva morala raziskati natančno delovanje RC-servo motorjev in delovanje koračnih motorjev. Pri tem sva prišla do problema pretvorbe časa v kot na krožnici oziroma osi motorja. Pri raziskavi sva spoznala odstopanje pomika osi pri RC-servo motorjih in koračnih motorjih. Izkazalo se je, da je robotska roka s koračnimi motorji dosti bolj točna in zato smo nabavili robotsko roko s koračnimi motorji.

Naloga se je nadaljevala s spoznavanjem robotske roke in njenim priklopom. Sledil je praktični del, kjer sva napisala programe za robotsko roko - tu sva spoznala še nama neznano tretjo os, in sicer Z-os, ki nam pove tako imenovano višino določene točne v prostoru. Ponovno sva spoznala, da brez matematike ne gre. V tem praktičnem delu sva raziskala neomejene možnosti uporabe robotske roke in z njo neomejene možnosti nadaljnjih raziskav in tehnoloških rešitev. Kot prvi program sva napisala program zlaganja treh lesenih kock. Pri tem sva pridobila osnove programiranja.

Za zaključek naloge sva se lotila dveh konkretnih rešitev delovnih procesov s pomočjo robotske roke. Prvi je zlaganje Led leč v distančnike, s čimer sva rešila in poenostavila delovni proces. Drugi pa je prebarvanje elektronike z zaščitno snovjo iz plastike. Gre za nekakšno plastično prozorno barvo, ki se na zraku posuši in ščiti elektroniko pred vlago. Enega izmed teh programov bova tudi praktično prikazala na predstavitvi. Druga dva bosta na predstavitvi prikazana kot video na monitorju, zato da nam ne vzameta preveč časa.

3 HIPOTEZE

- Prvo programiranje strojev oziroma robotov sega nekaj desetletij nazaj, in sicer tja do 40 let nazaj, saj so se takrat pričeli izdelovati prvi mikroročunalniki.
- Z RC-servo motorji so krmiljeni vsi naši avtomobilčki na daljinsko upravljanje, zato predvidevava, da so enako natančni kot koračni motorji, saj lahko z avtomobilčkom zelo natančno vijugaš.
- Človeška roka je enako natančna kot robotska roka.
- Programiranje robotske roke je zelo komplicirano.

4 TEORETIČNE OSNOVE

4.1 Ada Lovelace

Raziskala sva, kam segajo prvi programi za stroje in odkrila na wikipedia.org nekaj neverjetnega. Prebrala sva članek o Adi Lovelace. Težko je razumeti, da je okoli leta 1843 živela matematičarka, ki je zapisala prve algoritme - nam bolj poznano kot programe za stroj. Neverjetno je, da so po njenih zapiskih naredili stroj šele leta 1940. Odkrila sva tudi, da prvi moderni računalnik sega v dobo tam okoli leta 1940, kar naju je zopet začudilo, saj

sva mislila, da sodobni računalniki obstajajo le nekaj desetletij. Spodaj je kratek zanimiv opis Ade Lovelace.

Ada Lovelace



Slika 1: Ada Lovelace

Augusta Ada King, grofica Lovelace, rojena Augusta Ada Byron 10. december 1815, danes znana kot Ada Lovelace, je angleška matematičarka in pisateljica, predvsem znana po opisu algoritmov za izračune iz načrtov za »analitični stroj«, ki si ga je zamislil Charles Babbage in velja za opis prvega računalnika na svetu. Zaradi tega se Ada Lovelace pogosto omenja kot prvo programerko na svetu.

Med letoma 1842 in 1843 je Ada Lovelace v angleščino prevedla članek italijanskega matematika Luigija Menabreea o mehanskem računanju, ki ga je dopolnila z lastnimi ugotovitvami. Prav v teh zapiskih je zbrano tisto, kar imajo nekateri za prvi računalniški program: algoritem, zakodiran za procesiranje s strojem.

Članek, ki ga je prevedla in dopolnila Ada Lovelace, je več kot trikrat daljši od prvotnega članka in vsebuje več zgodnjih 'računalniških programov' kot tudi izredno daljnosežna predvidevanja o možnostih uporabe stroja, vključno z manipulacijo simbolov in ustvarjanjem glasbe. Čeprav je Babbage z njegovimi pomočniki izoblikoval programe za njegov motor že prej, je Ada Lovelace naredila najbolj dodelane in celovite opise. Njeni zapisi so bili tudi prvi, ki so bili objavljeni. Zato Ada Lovelace pogosto imenujemo kot prvo računalniško programerko. Tudi Babbage sam je cenil njene matematične sposobnosti. Kot je dejal, je bila boljša kot kdorkoli drug, ki ga je poznal, zato jo je tudi pooblastil, da pripravi opise, povezane z njegovim računskim strojem. Članek z naslovom 'Skica analitičnega stroja z opombami prevajalke' je bil objavljen le nekaj let pred njeno smrtjo 27. november 1852.

Analitični stroj je ostal vizija, do leta 1940, ko so zapiski Ade Lovelace postali ključni dokumenti, ki so navdihnili Alana Turinga za prvi moderni računalnik.

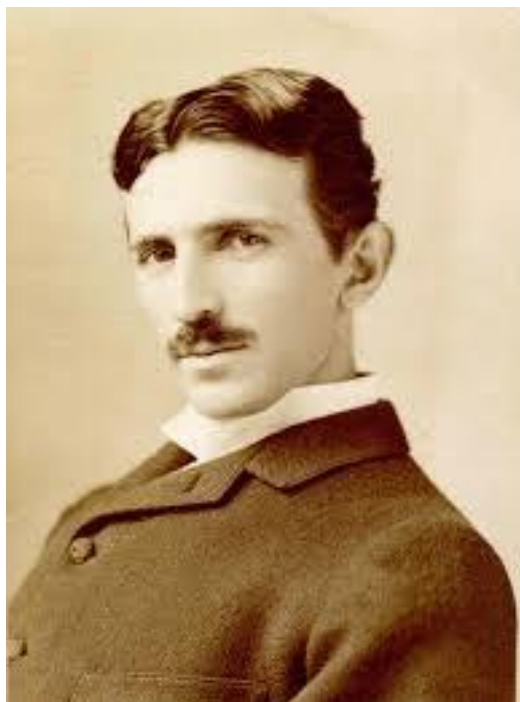
Ada Lovelace je zaradi svojega potenciala, njene strasti in vizionarstva za tehnologijo, postala simbol za sodobne ženske v tehnologiji.

4.2 Nikola Tesla

Na spletu sva poiskala podatke o Nikoli Tesli, saj sva že iz pripovedovanja v domačem krogu poznala, da je Nikola Tesla postavil temelje elektromotorjev, radia, daljinskega krmiljenja še mnogo drugega. Zanimivo je to, da ne bi bilo ne dronov, ne avtomobilčkov

na daljinsko, ne mobilnih telefonov, če ne bi bilo Nikole Tesle, ki je postavil temelje daljinskega vodenja, AC- ter BLDC-motorjev in še mnogo drugega.

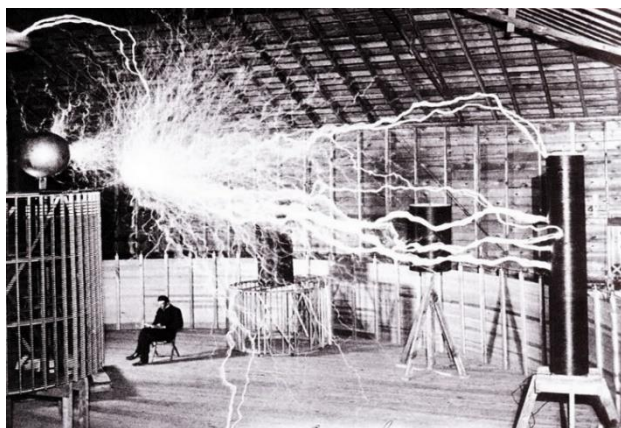
Nikola Tesla



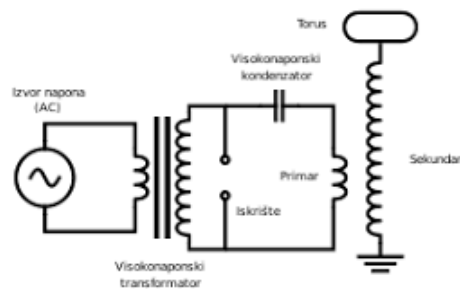
Slika 2: Nikola Tesla

Rojen in vzgojen v avstrijskem cesarstvu, je v sedemdesetih letih 19. stoletja pridobil višjo izobrazbo na področju inženirstva in fizike ter v osemdesetih letih 19. stoletja pridobil praktične izkušnje v telefoniji in pri Continental Edison v novi elektroenergetiki. 1884 se je odselil v ZDA, kjer je postal ameriški državljan. Kratek čas je delal pri podjetju Edison Machine Works v New Yorku, nato pa odšel na svoje. S pomočjo staršev, ki sta financirala njegove ideje, je Tesla po New Yorku postavil laboratorije in podjetja, da bi razvijal električne in mehanske izdelke. Njegov indukcijski motor z izmeničnim tokom (AC) in pripadajoči večfazni AC-patenti, ki jih je leta 1888 licenciral Westinghouse Electric, mu je prinesel veliko denarja in postal temelj večfaznega sistema, ki bi ga podjetje na koncu tržilo.

V svojem življenju je Tesla patentiral več kot 700 izumov. Mnogi njegovi izumi tvorijo osnovo sodobne uporabe električne energije. Najznamenitejši je večfazni indukcijski elektromotor, ki ga je izumil leta 1882 in kasneje izdelal. Teslov elektromotor deluje na njegovem načelu izmeničnega električnega toka. Čeprav večina njegovih patentov pokriva področje elektrike in magnetizma, pa je deloval tudi na mnogih drugih področjih. Teslova znamenita izuma sta tudi Teslovo navitje (Teslov transformator) in turbina brez lopatic. Njegov sistem izmeničnega toka je omogočil lažji in učinkovitejši prenos električne energije na daljavo. Po njegovih načrtih so izdelali prvo hidroelektrarno na Niagarskih slapovih.



Slika 3: Visokonapetostni transformator Nikola Tesla



- **Vojna tokov**

Leta 1880 sta Tesla in Edison postala nasprotnika, zaradi Edisonovega podpiranja enosmernega toka. Tesla in Edison sta bila v vojni zaradi tokov. Tesla je izumil visokonapetostni indukcijski motor, ki je naredil velik obrat v vojni tokov in tako porazil Edisona, ki je na koncu skoraj bankrotiral. Vojna je trajala kar 17 let, pri kateri je zmagal Tesla.

Po vojni tokov se je Tesla odločil za raziskovanje delčnega sevanja, kar je vodilo do osnovnih spoznanj o kozmičnih žarkih. Pri 41. je Tesla pridobil prvi patent s področja radijske tehnike. Leto kasneje je izdelal radijsko voden čoln, ki ga je nato pokazal vojski, ker je mislil, da bi hoteli imeti radijsko vodene torpede. Razvil je teleavtomatiko, ki je vrsta robotike. Ta čoln je pokazal javnosti leta 1898 med elektrotehniško razstavo v Madison Square Gardnu. V šestdesetih letih 20. stoletja je Nikola Tesla izumil električno prožilo – svečko za bencinske motorje z notranjim zgorevanjem.

- **Rentgen**

Izumil je prvo elektronko, ki so jo uporabljali za bliskavico na fotoaparatih (prva električna bliskavica). Bila je za enkratno uporabo. Napolnjena pa je bila z žlahtnimi plini.

- **Patenti izmeničnega toka**

Tudi Teslovi novi družabniki nisi kazali zanimanja in razumevanja za njegov novi motor, zato jih je leta 1886 zapustil in ustanovil svoje podjetje Tesla Electric Light & Manufacturing.

Med letoma 1886 in 1887 je Tesla za preživetje delal v New Yorku kot navaden delavec. Leta 1887 in v prvi polovici leta 1888 je prijavil 9 glavnih patentov o svojem večfaznem sistemu z ustreznim motorjem, generatorjem in transformatorjem. Uspelo mu je izdelati prvi električni motor na izmenični tok (brez ščetk – BLDC motor). Sredi leta 1888 je pred ameriškim inštitutom elektroinženirjev predaval o novem sistemu motorja in drugih večfaznih strojih. Po tem predavanju in še po kasnejših je svet izvedel za Teslove izume. Istega leta je Tesla razvil načela svojega transformatorja.

- **Teoretični izumi**

Tesla je začel raziskovati teoretična vprašanja o ukrivljanju oziroma o spreminjanju prostora in časa s pomočjo električnih in magnetnih pojavov, s katerimi bi se lahko učinkovito nadzorovalo te pojave. Ta poskus so imenovali poskus Filadelfija. Ta skrivnostni svetlobni zid bi omogočal poljubno spreminjanje prostora, časa in gravitacije snovi. Nekateri so tudi mnenja, da je pri opisovanju orožja napisal, da bi lahko na razdalji 200 milj zrušil jato 10000 sovražnih letal, dejansko je res imel v mislih ravno uporabo tega svetlobnega zida. Drugi Teslov teoretični izum je Teslova leteča naprava. Trdil je, da je bilo eno od njegovih življenjskih ciljev ustvariti zrakoplov, ki bi letal brez letalskega motorja, kril, krilc, letalskih vijakov ali goriva. Premišljeval je o letečem plovilu, ki bi letelo z električnim motorjem gnanim s postaj na površju.

- **Nagrade**

Teslo so imenovali za red Svetega Save 1. razreda, ker pa je imel ameriško državljanstvo, ga ni prejel in je prejel red Svetega Save 2. razreda .

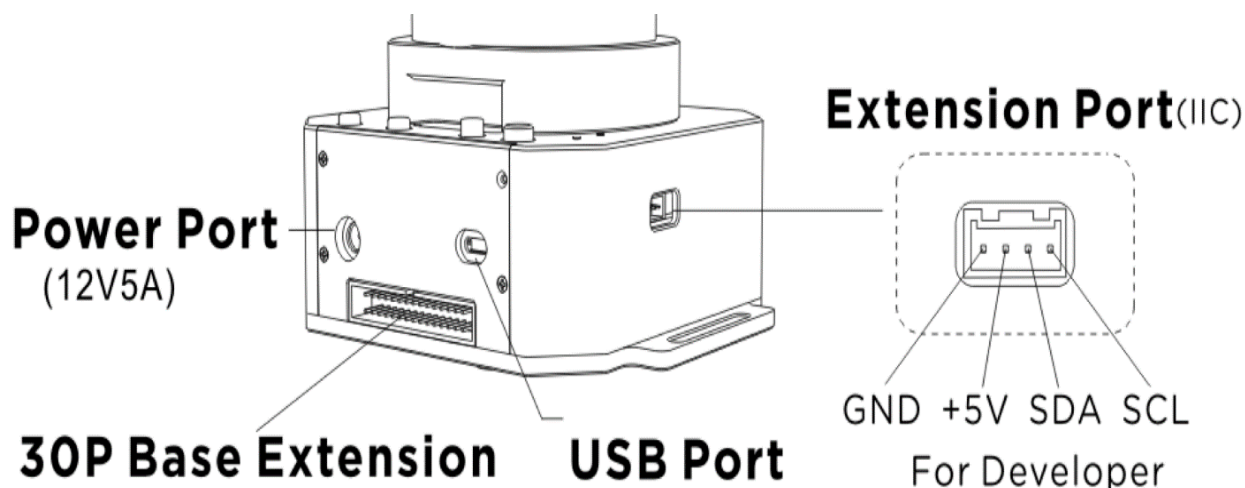
- **Smrt in zapuščina**

Tesla je umrl 7. januarja 1943 zaradi srčne kapi, sam v apartmaju 3327 v 33. nadstropju hotela New Yorker. Zadnje dni svojega življenja je še vedno delal, vendar je bil zelo slaboten in izčrpan. Zadnje dni sta ga obiskovala le nečaka Sava Kosanovič in Louis Adamič. Kmalu po njegovi smrti je FBI zasegel vso njegovo lastnino in dokumente.

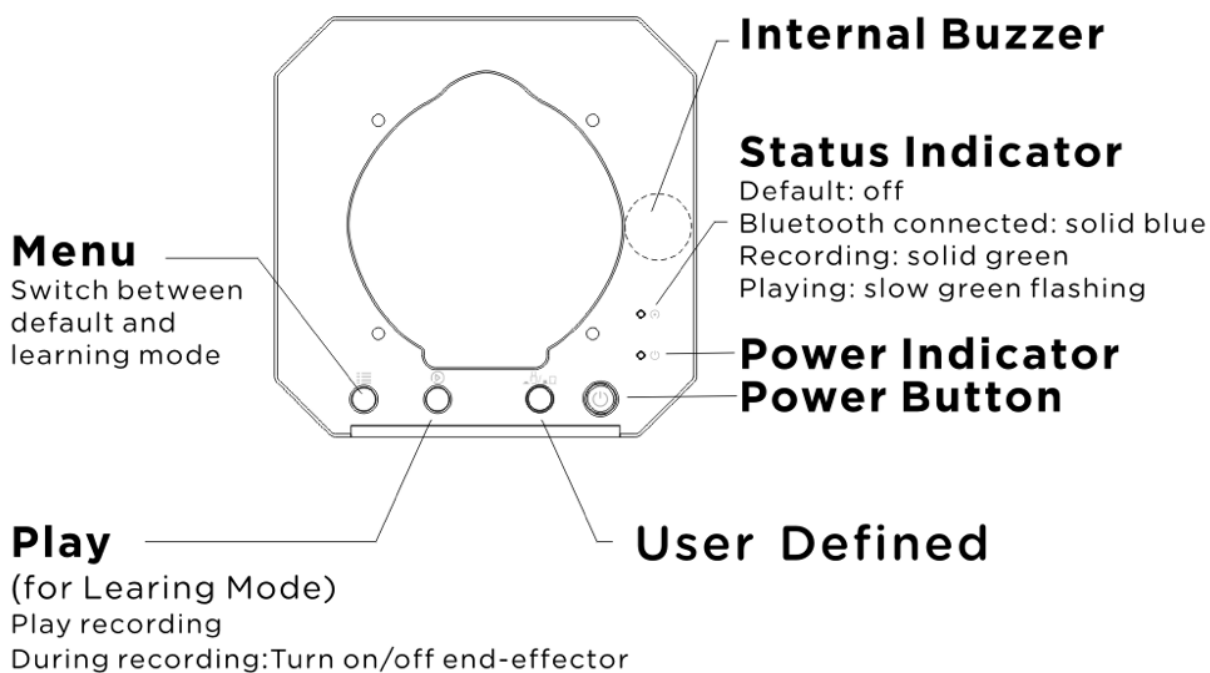
4.3 ROBOTSKA ROKA »uArm Swift Pro«

Pri opisu sestavnih delov »uArm Swift Pro« sva si pomagala z navodili za uporabo. Na koncu sva dodala še sliki robotske roke z vakuum prijemalom (prisesek) in prijemalom v obliki klešč.

4.3.1 Podnožje

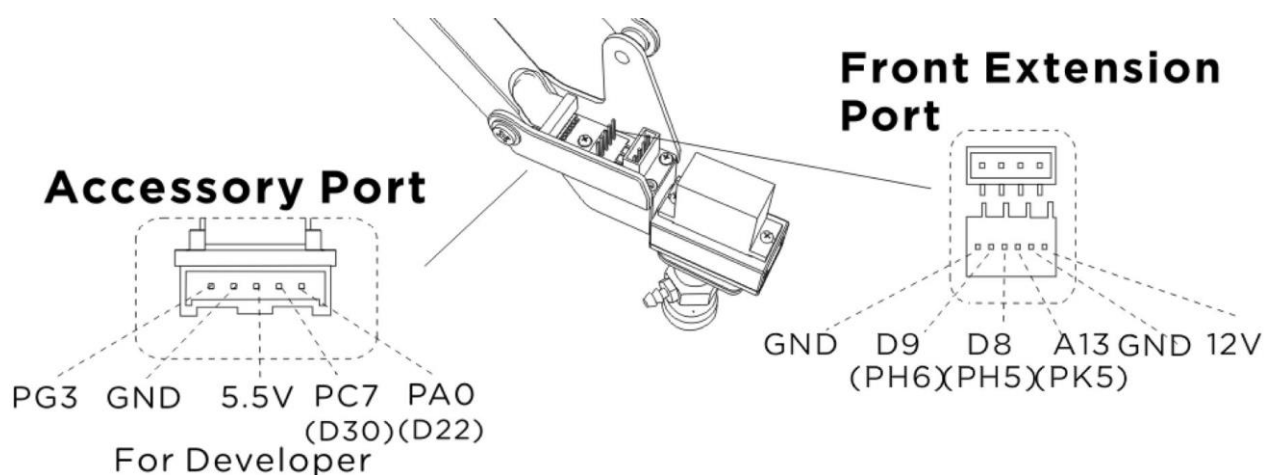


Slika 4: Podnožje robotske roke



Slika 5: Podnožje

4.3.2 Priklopi



Slika 6: Priklopi

4.3.3 Nastavki

Prisesek ali vakuumsko prijemalo

Prisesek se na ploščate predmete. Lahko dvigne do 500 g. Ima dodaten manjši nastavek (5 mm), normalni nastavek pa je velik (10 mm). Na priključek lahko priključiš kamero.

Kleščice

Kleščice lahko zgrabijo predmete, ki so široki 5 cm in težki do 300 g. Tudi na ta nastavek lahko priključiš kamero.

Nastavek za 3D-tiskanje

- Glava

Glava topi plastiko in jo brizga skozi majhno odprtino na koncu glave. Ima še ventilator, ki hladi glavo, da se ne bi pregrela.

- Motor

Motor napeljuje plastiko do glave 3D-tiskalnika. Vleče jo iz koluta plastike za 3D-tiskalnik. Plastiko napeljuje čez celo roko.

Laser

Laser ima ventilator za hlajenje. Laserski žarek je zelo tanek, kar omogoča zelo natančno graviranje oziroma rezanje (do 0,1 mm). Moč laserja je 0,5 W. Lahko prereže papir in gravira v les.

Nastavek za risanje

Nastavek za risanje se lahko oprime pisal do širine 1 cm. Pisalo je potrebno obtežiti za lažje risanje.

Kamera

Kamera se uporablja za opazovanje predmetov in z njo lahko ločimo predmete po velikosti ali barvi, prav tako pa lahko s kamero sledimo predmetom.

4.3.4 Vsebina in priključki

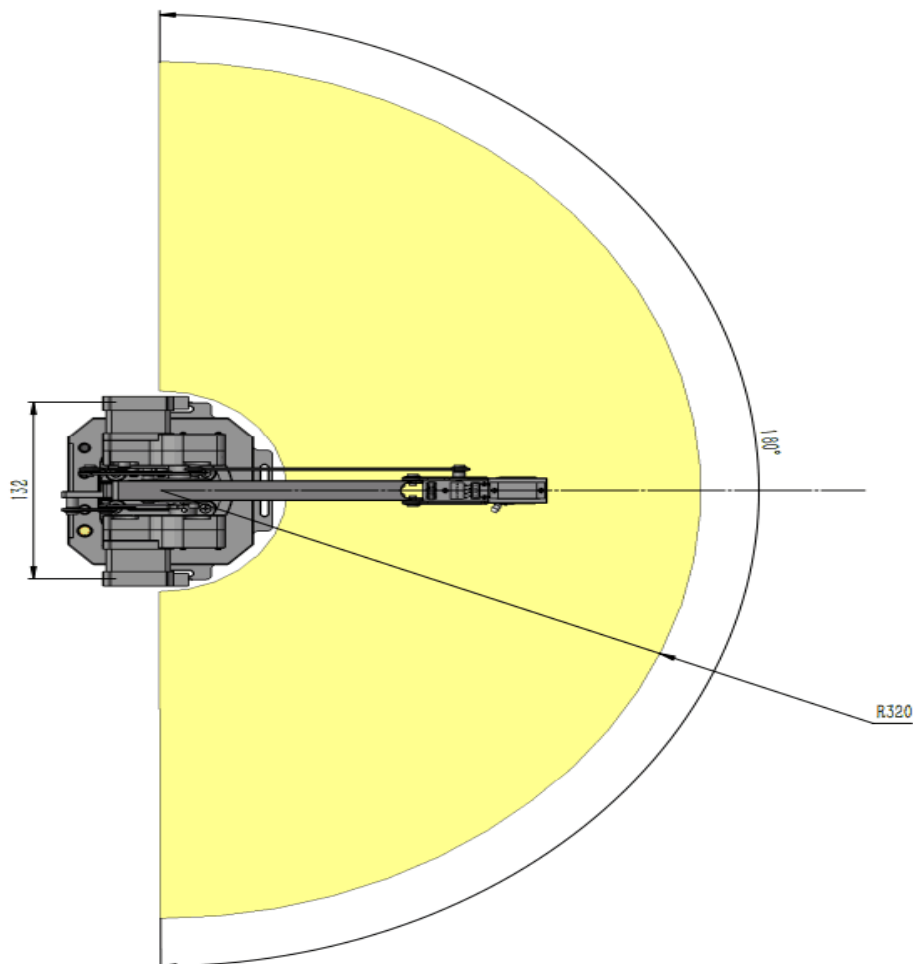
1. Tri barvne kocke
2. USB-C kabel (2)
3. Vision kamera
4. Navadni USB kabel
5. 30 P-priključek za robotsko roko
6. DC - tri v enem kabel
7. Uarm kamera krmilnik

- **Programi**

1. arduino IDE
2. OpenMv IDE

4.3.5 Obseg delovanja robotske roke

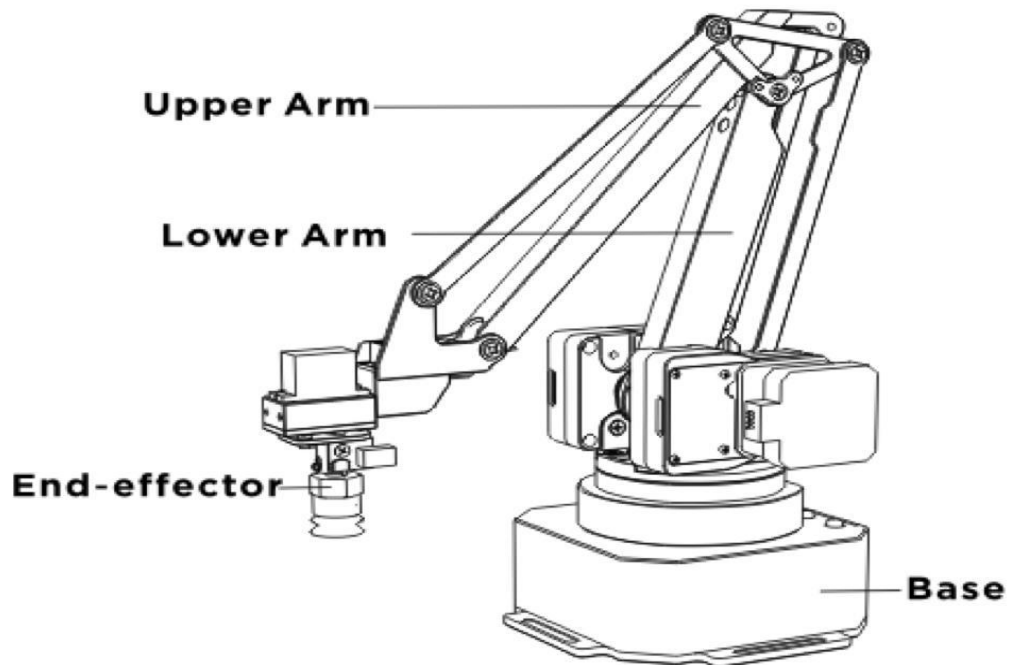
Obseg roke je v polmeru 320 mm in pol kroga oziroma 180° v krožnici (Slika 7).
261 mm = 500 g 318 mm = 400 g 346 mm = 300 g



Slika 7: Obseg delovanja robotske roke

4.3.6 Izgled robotske roke »uArm Swift Pro«

Na sliki 8 je izgled robotske roke prenesen iz navodil. Na sliki 9 in 10 pa fotografiji robotske roke. Na sliki 9 je roka z vakuumskim prijemalom, na sliki 10 pa roka s kleščami.



Slika 8: Robotska roka



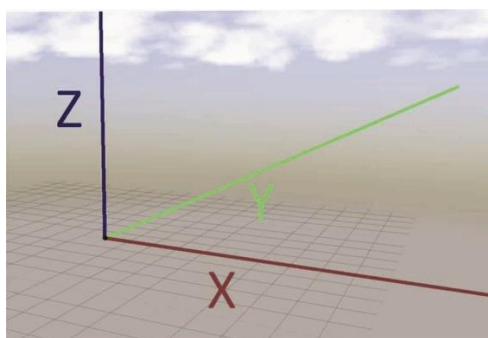
Slika 9: Roka z vakuumskim prijemalom



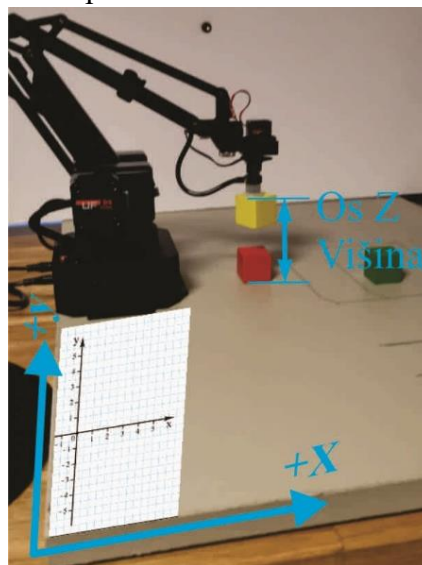
Slika 10: Roka s kleščami

4.3.7 Položaj višine robotske roke oziroma Z-os

Pri pregledu osnovnih ukazov za premikanje robotske roke sva prišla do nama še neznanе koordinate - osi Z. Os X in Y sva poznala iz pouka matematike in tehnike. Z osjo Z podamo točko v prostoru v višino. V najinem primeru Z-os pomeni odmik prijemala roke (v mm) od podloge do želene pozicije v višino. Spodaj na sliki 11 je prikazan koordinatni sistem vseh treh osi X, Y in Z. Na sliki 12 je prikazana Z-os pri naši robotski roki.



Slika 11: Koordinatni sistem v prostoru



Slika 12: Z-os pri robotski roki

5 POTEK DELA

Najprej sva, kot je omenjeno v teoretičnem delu, pogledala v zgodovino programiranja strojev, ki je bilo kasneje osnova za programiranje robotov oziroma v najinem primeru robotske roke. Spoznala sva, da je Nikola Tesla naredil prve daljinsko vodene naprave (Ladjo). Ko sva bila okvirno seznanjena z zgodovino, sva se lotila naše robotske roke.

Pri spoznavanju sestavnih delov robotske roke sva odkrila, da ima veliko še nama nepoznanih delov. Mentor naju je opogumil, naj se ne prestrašiva, saj bomo uporabljali enostaven program in kot nastavek robotske roke samo vakuum prijemalo in prijemalne klešče, če pa bo čas dopuščal, bomo poskusili tudi prijemalo pisala. Žal je naloga bila kar obsežna in nisva uspela uporabiti prijemala za pisalo in pisati z robotsko roko. Ostale nastavke, kot so glava za 3D-tiskanje, laser in kamera, pa nisva uporabila, saj je to namenjeno višji stopnji uporabe.

Pri sestavi robotske roke na podlago (v našem primeru plastično ploščo) sva lahko videla, da imamo tri osi X, Y in Z, kar je razvidno iz slike 12. Spoznala sva, da je robotska roka res podobna naši roki, saj ima ramo, ki se obrača levo, desno ter gor in dol, ima komolec ter dlan. Dlan lahko roka obrača na osnovi vrtenja, hkrati pa lahko na dlan vstavimo (privijačimo) vakuumsko prijemalo ali prijemalne klešče. Spoznala sva, da roka uporablja za premikanje tri koračne motorje ter za obračanje dlani RC-servo motor. V kolikor so vstavljene na dlan prijemalne klešče, uporablja še dodatni servo motor, ki skrbi za odpiranje in zapiranje klešč.

Pred nakupom robotske roke sva izvedela, da imamo na izbiro robotsko roko, ki uporablja za premikanje RC-servo motorje ali pa koračne motorje. Starši so se odločili za nakup robotske roke s koračnimi motorji, saj je natančnejša in posledično tudi dražja. Midva sva v nadaljevanju raziskala delovanje RC-servo motorja in matematično izračunala njegov pogrešek v odstopanju pri premikanju roke. Nato sva raziskala, kako deluje koračni motor in izračunala, kako natančno lahko premika roko ta motor. Pri tem sva se spoznala s pretvorbo časovnih

impulzov v kot na krožnici ter z delitvijo kroga na veliko število delčkov. Pri tem računanju in na koncu pri primerjavi obojih rezultatov sva prišla do spoznanja, da je koračni motor bistveno bolj točen od RC-servo motorja, kar sva tudi računsko oz. matematično potrdila. Na koncu naloge sva se spoznala z enostavnim programom za programiranje robotske roke ter njegovimi ukazi. Tako sva za začetek napisala program za zlaganje kock, nato pa sva se lotila programa za vstavljanje Led leč v distančnike ter programa za prebarvanje elektronike z zaščitno tekočino na osnovi plastike. Programiranje je res enostavno in prilagojeno naši starosti. Potrebno je le nekaj potrpljenja in na enostaven način lahko nastanejo na pogled še tako zahtevna opravila.

5.1 KRMILJENJE RC-SERVO MOTORJA S POMOČJO ČASOVNIH IMPULZOV

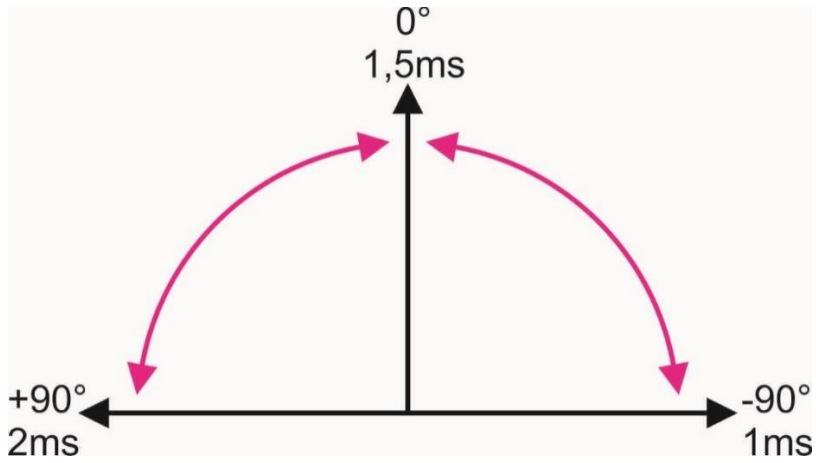


Slika 13: Servo motor

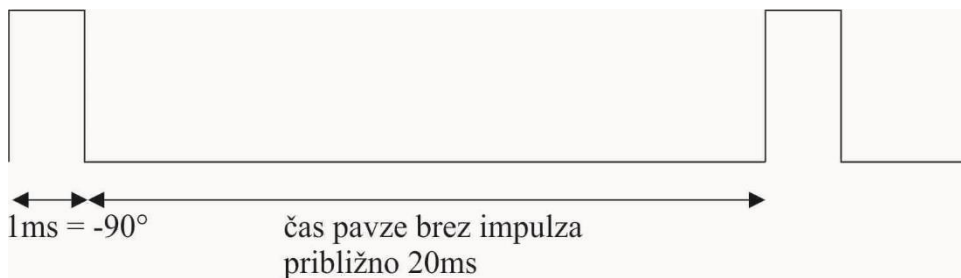
RC-servo motor dela s pomočjo časovnega krmiljenja (časovnih impulzov). Pri našem robotu se uporablja servo motor za obračanje končnega dela prijemala ali po domače dlani. Prav tako se servo motor uporablja pri roki prijemala (klešče). Poznamo več tipov časovnega krmiljenja servo motorja. Mi bomo opisali dva, in sicer s center pozicijo 1,5 ms in s center pozicijo 1,8 ms.

5.1.1 SERVO MOTOR S CENTER POZICIJO 1,5 ms (1,5 mili sekunde)

Servo motor s center pozicijo 1,5 ms ima nulto pozicijo ali tako imenovano srednjo pozicijo, ko dobiva impulze širine 1,5 ms. Impulz je pozitivna električna napetost, ki traja nek določen čas. To razumemo, kot da bi prekinjali žico (kontakt) na pozitivnem polu baterije. Pri čemer rečemo, da če je kontakt prekinjen, potem to pomeni, da ni signala oziroma je to logična 0. V primeru, ko pa je kontakt sklenjen, imamo signal in z njim napetost in s tem logično 1. Za koliko časa je naš kontakt sklenjen, pa je naš podatek za čas impulza. Ker pri koračnem motorju govorimo o ms (mili sekundah) oziroma $1/1000$ s (sekunde), teh impulzov ne moremo ročno generirati - za to poskrbi pametna oziroma tako imenovana mikroelektronika. Na spodnjih slikah je slikovni prikaz impulzov in premik motorja v stopinjah levo in desno.

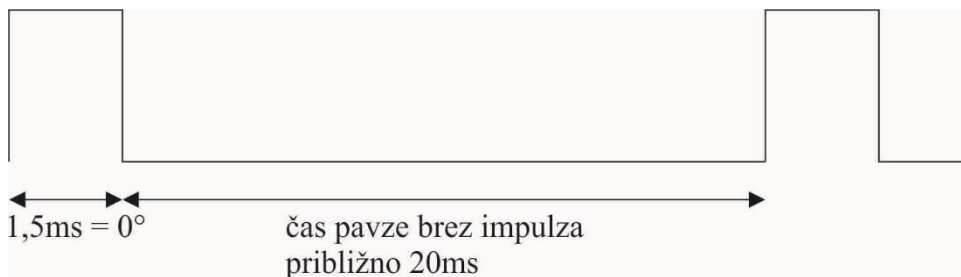


Slika 14: Prikaz impulzov in premika motorja



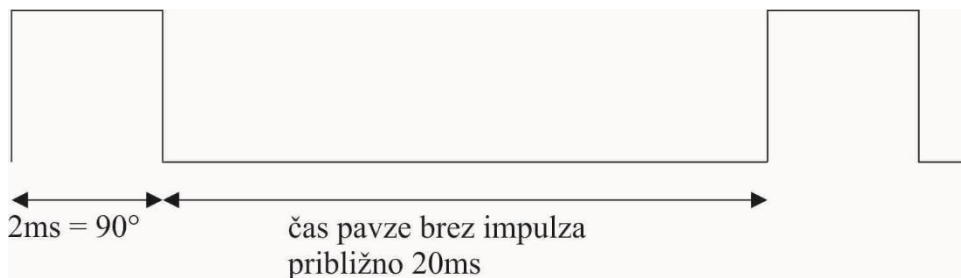
Slika 15: Impulz in premik motorja

(1ms impulz pomeni, da se servo motor obrne v desno za 90°, kar pomeni za -90°)



Slika 16: Impulz in premik motorja

(1,5ms impulz pomeni, da je servo motor v centru oziroma nuli, kar pomeni 0°)



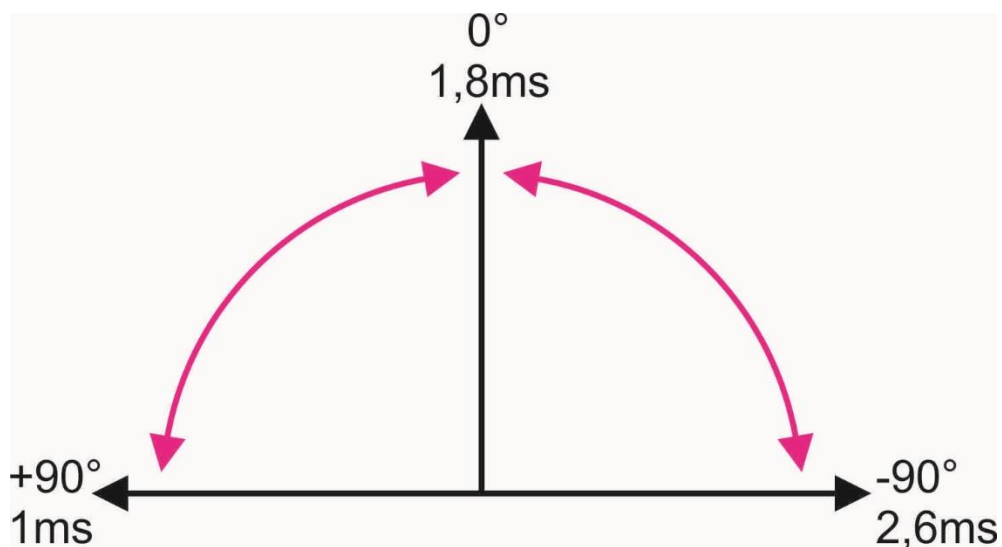
Slika 17: impulz in premik motorja

(2ms impulz pomeni, da se servo motor obrne v levo za 90°, kar pomeni za +90°)

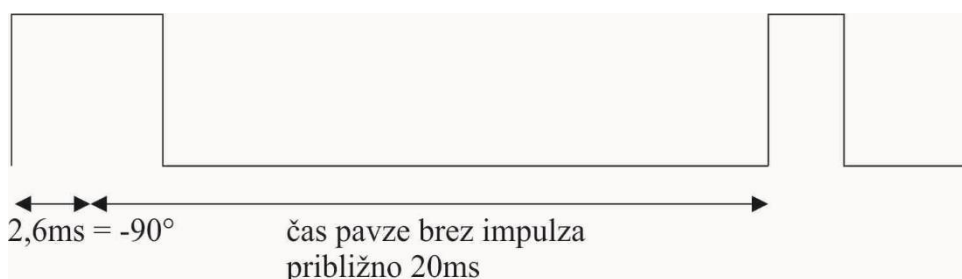
5.1.2 SERVO MOTOR S CENTER POZICIJO 1,8 ms (1,8 mili sekunde)

Servo motor s center pozicijo 1,8 ms je popolnoma enak motorju, ki je opisan v točki A, le da so drugačni časi impulzov, ki so predstavljeni na spodnji sliki. Paziti je treba, ali imamo servo motor, ki se zavrti v levo (pozitivni kot), ko mu povečujemo čas impulza, ali pa se ob večanju impulza obrača v desno.

OPOMBA: Spodnja slika prikazuje motor, ki se pri večanju časa impulza vrti v desno, se pravi v negativni kot.

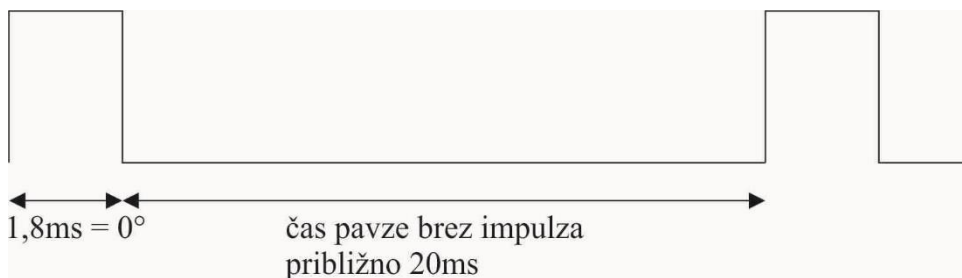


Slika 18: Center pozicija 1,8 ms



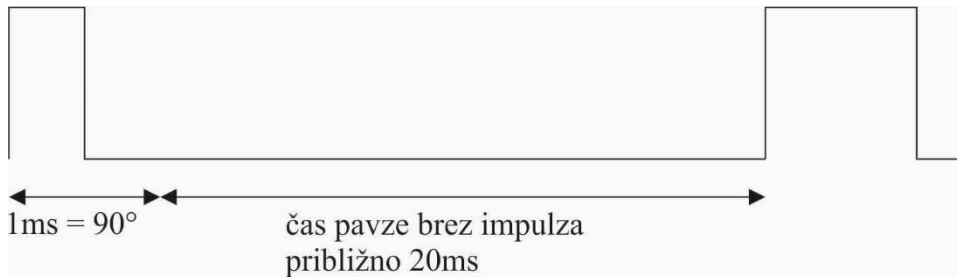
Slika 19: Impulz 2,6 ms in premik motorja

(2,6 ms impulz pomeni, da se servo motor obrne v desno za 90°, kar pomeni za -90°)



Slika 20: Impulz 1,8 ms in premik motorja

(1,8 ms impulz pomeni, da je servo motor v centru oziroma nuli, kar pomeni 0°)



Slika 21: Impulz 1 ms in premik motorja

(1 ms impulz pomeni, da se servo motor obrne v levo za 90°, kar pomeni za +90°)

5.1.3 Primeri računanja časa impulza za servo motor

Primer 1.

Imamo motor z 1,5 ms za center pozicijo. Kolikšen čas impulza je potreben za pomik +1°?

Za pomik od -90° do +90° ($90^\circ + 90^\circ = 180^\circ$) potreben čas 1ms torej: $1\text{ms}/180 = 5,556\mu\text{s}$

Za premik za 1° je potrebna sprememba časa za 5,556 μs, se pravi:

Če je motor v center (nulti) poziciji je impulz dolg 1,5 ms in če ga želimo prestavit za +1°, sledi:

$$1,5\text{ ms} + 5,556\ \mu\text{s} = 1500\ \mu\text{s} + 5,556\ \mu\text{s} = 1505,556\ \mu\text{s} = \underline{\underline{1,505556\text{ms}}}$$

Za pomik +1° je potrebno prištevati čas 5,556 μs. Za pomik na pozicijo +1° pa je potreben čas 1,505556 ms.

Primer 2.

Imamo motor z 1,5 ms za center pozicijo. Kolikšni časi so potrebni, če želimo servo motor postaviti na pozicijo -45°, -35°, +45° in +60°?

Zgoraj smo izračunali čas za pomik +1°, ki je 5,556 μs, torej lahko s pomočjo tega izračunamo:

$$\text{Za pozicijo } -45^\circ: -45^\circ \times 5,556\ \mu\text{s} = -250\ \mu\text{s}$$

Ker je za center pozicija oziroma 0° potreben čas 1,5 ms, sledi:

$$1,5\text{ ms} - 250\ \mu\text{s} = 1500\ \mu\text{s} - 250\ \mu\text{s} = 1250\ \mu\text{s} = \underline{\underline{1,25\text{ ms}}}$$

Da postavimo motor na pozicijo -45°, je potreben čas impulza 1,25 ms.

$$\text{Za pozicijo } -35^\circ: -35^\circ \times 5,556\ \mu\text{s} = -194,44\ \mu\text{s}$$

Ker je za center pozicija oziroma 0° potreben čas 1,5 ms, sledi:

$$1,5\text{ ms} - 194,44\ \mu\text{s} = 1500\ \mu\text{s} - 194,44\ \mu\text{s} = 1305,56\ \mu\text{s} = \underline{\underline{1,30556\text{ ms}}}$$

Da postavimo motor na pozicijo -35°, je potreben čas impulza 1,30556 ms.

Za pozicijo 45°: $45^\circ \times 5,556 \mu\text{s} = 250 \mu\text{s}$

Ker je za center pozicijo oziroma 0° potreben čas 1,5 ms, sledi:

$$1,5 \text{ ms} + 250 \mu\text{s} = 1500 \mu\text{s} + 250 \mu\text{s} = 1750 \mu\text{s} = \underline{\underline{1,75 \text{ ms}}}$$

Da postavimo motor na pozicijo 45°, je potreben čas impulza 1,750 ms.

Za pozicijo 60°: $60^\circ \times 5,556 \mu\text{s} = 333,33 \mu\text{s}$

Ker je za center pozicijo oziroma 0° potreben čas 1,5 ms, sledi:

$$1,5 \text{ ms} + 333,33 \mu\text{s} = 1500 \mu\text{s} + 333,33 \mu\text{s} = 1833,33 \mu\text{s} = \underline{\underline{1,83333 \text{ ms}}}$$

Da postavimo motor na pozicijo -35°, je potreben čas impulza 1,83333 ms.

5.1.4 IZRAVNAVA (ali AN. OFFSET) SERVO MOTORJA

Izravnava servo motorja pomeni nastavitvev motorja v nulto točko oz. v pravo pozicijo. Kot smo omenili, ima servo motor center pozicijo pri 1,5 ms dolgem impulzu oziroma pri 1,8 ms dolgem impulzu, odvisno od proizvajalca. Vendar je ta center pozicija le teoretična. Zaradi mehanske sestave je lahko zamik v eno ali drugo stran za nekaj stopinj. Se pravi, ko kupimo nov servo motor, ne vemo, ali je zamaknjen v eno ali drugo stran, zato ga moramo IZRAVNATI s pomočjo impulzov. IZRAVNAVA pomeni, da pri prvem priklopu servo motor postavimo v 0 točko s pomočjo daljšanja ali krajšanja impulza. Ko je motor v 0 točki, si elektronika zapomni, kolikšen čas smo prišteli oziroma odšteli, ter ga kasneje vedno prišteva oziroma odšteva.



Slika 22: Izravnava

Primer 1.

Kolikšen čas moramo prišteti oziroma odšteti, če je naš servo motor zamaknjen za $+10^{\circ}$?

Pri zamiku za $+10^{\circ}$ moramo odšteti $-55,56 \mu\text{s}$. Odšteti moramo zato, ker je motor zamaknjen v plus kot in moramo zaradi tega odšteti (zmanjšati) čas.

Izračunamo, kolikšen čas potrebujemo za zamik 1° kota.

$$0,5 \text{ ms} : 90 = 0,005556 \text{ ms}$$

Za $+10^{\circ}$ torej:

$$0,00555 \text{ ms} \times 10 = 0,05556 \text{ ms} = 55,56 \mu\text{s}$$

Primer 2.

Kolikšen čas moramo prišteti oziroma odšteti, če je naš servo motor zamaknjen za $-7,5^{\circ}$?

Pri zamiku za $-7,5^{\circ}$ moramo prišteti $41,67 \mu\text{s}$. Prišteti moramo zato, ker je motor zamaknjen v minus kot in moramo zaradi tega prišteti (povečati) čas.

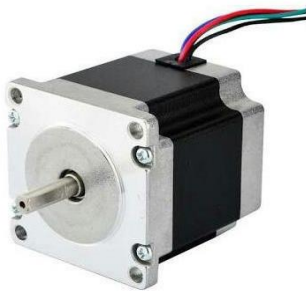
Izračunamo, kolikšen čas potrebujemo za zamik 1° kota.

$$0,5 \text{ ms} : 90 = 0,005556 \text{ ms}$$

Za $-7,5^{\circ}$ torej:

$$0,00555 \text{ ms} \times 7,5 = 0,041666 \text{ ms} = 41,67 \mu\text{s}$$

5.2 KORAČNI MOTOR



Slika 23: Koračni motor

Koračni motor ima 200 polnih korakov na obrat. Elektronika, ki krmili koračni motor, pa zna razdeliti korak na 16 ali 32 delov (naš primer). Temu se reče "micro step" ali mikro korak. Mikro koraki so lahko 4, 8, 12, 16, 20, 25, 32, 48 ali 64. Mi imamo krmilnik koračnega motorja, ki zna deliti polni korak na 16 oziroma 32 mikro korakov.

Želimo izračunati, kolikšen je en cel korak koračnega motorja in kolikšni so mikro koraki, če so ti 16 ali 32 mikro korakov.

Primer 1.

Kolikšen je 1 polni korak koračnega motorja?

Ker ima koračni motor 200 polnih korakov na obrat, sledi:

$$360^\circ : 200 = \underline{1,8^\circ}$$

En polni korak koračnega motorja znaša $1,8^\circ$.

Primer 2.

Kolikšen je eden mikro korak koračnega motorja, če ga krmilnik krmili s 16 mikro koraki?

Ker ima koračni motor 200 polnih korakov na obrat, ki jih krmilnik razdeli na 16 delov, sledi:

$$360^\circ : 200 = 1,8^\circ$$

$$1,8^\circ : 16 = \underline{0,1125^\circ}$$

En mikro korak, pri krmiljenju s 16 mikro koraki koračnega motorja znaša $0,1125^\circ$.

Primer 3.

Kolikšen je eden mikro korak koračnega motorja, če ga krmilnik krmili z 32 mikro koraki?

Ker ima koračni motor 200 polnih korakov na obrat, ki jih krmilnik razdeli na 32 delov sledi:

$$360^\circ : 200 = 1,8^\circ$$

$$1,8^\circ : 32 = \underline{0,05625^\circ}$$

En mikro korak, pri krmiljenju z 32 mikro koraki koračnega motorja znaša $0,05625^\circ$.

Primer 4.

Poizkusila sva narisati en mikro korak s kotomerom, vendar nama ni uspelo s prosto roko, pa naj sva poizkušala z $0,1125^\circ$ ali $0,05625^\circ$. Razdalja daljice je bila 10 cm.

5.3 RC-SERVO MOTOR V PRIMERJAVI S KORAČNIM MOTORJEM

RC-servo motor deluje s pomočjo dajanja časovnega impulza. Časovni impulz daje podatek motorju, na kateri poziciji naj bo os motorja. Točnost servo motorja glede na vhodni impulz je okoli 1% do 2%.

Glede na točnost lahko izračunamo odstopanje v kotih.

Kakšno je odstopanje v kotih, če je točnost 1% in kakšno pri 2%?

$$1\% = \frac{1}{100} \qquad 2\% = \frac{2}{100}$$

Ker se servo motor premika od -90° do $+90^\circ$, kar pomeni za 180° , je naša točnost pri 1% :

$$180^\circ \times \frac{1}{100} = 1,8^\circ$$

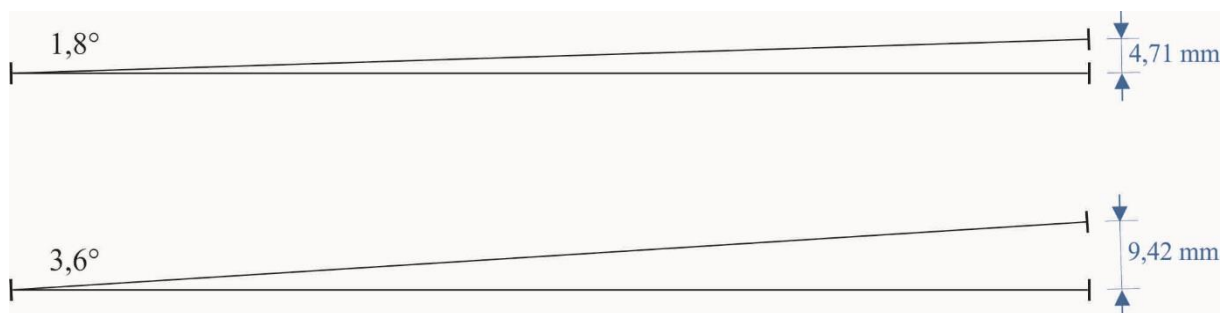
Odstopanje pri servo motorju z 1% odstopanjem je $1,8^\circ$.

Pri 2% odstopanju pa:

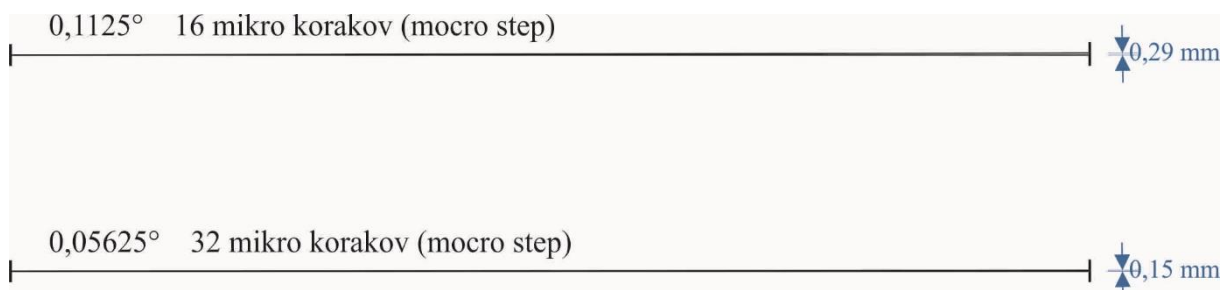
$$180^\circ \times \frac{2}{100} = 3,6^\circ$$

Odstopanje pri servo motorju z 2% odstopanjem je $3,6^\circ$.

Z ravnilom in kotomerom sva narisala odstopanje 1% in 2% pri dolžini daljic 15 cm. Na sliki spodaj je narisano s pomočjo programa CorelDraw.



Slika 24. Odstopanje pri servo motorju z 1% in 2% točnostjo



Slika 25: Pomik koračnega motorja po mikro korakih

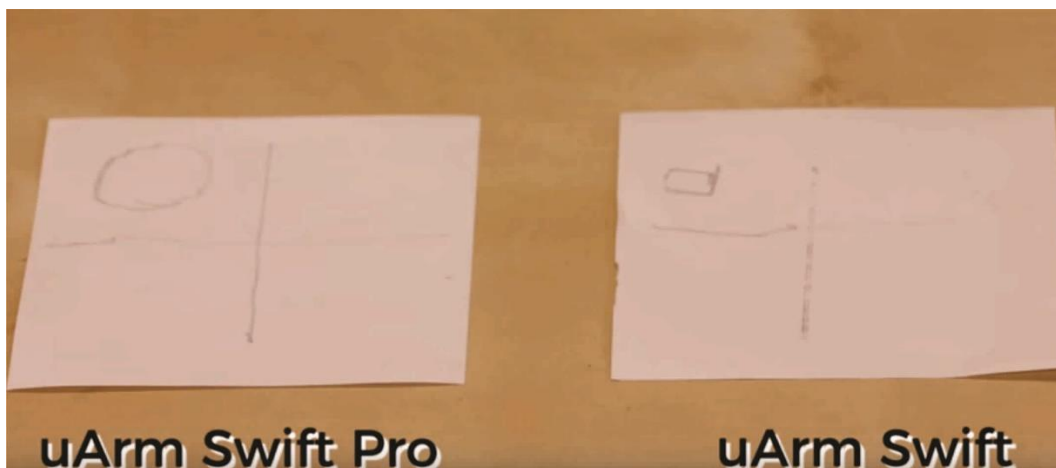
Primerjala sva RC-servo motor z 1% odstopanjem in koračni motor z 32 mikro koraki pri razdalji ročice 15 cm ter izračunala:

$4,71 \text{ mm} : 0,15 \text{ mm} = \underline{31,4}$, kar pomeni, da je koračni motor od servo motorja 31,4-krat bolj točen.

Koračni motor je približno 32-krat bolj točen od RC servo motorja. Zato smo se odločili za nakup robotske roke s koračnimi motorji.



Slika 26: Levo je roka s koračnimi motorji, desno pa z RC-servo motorji

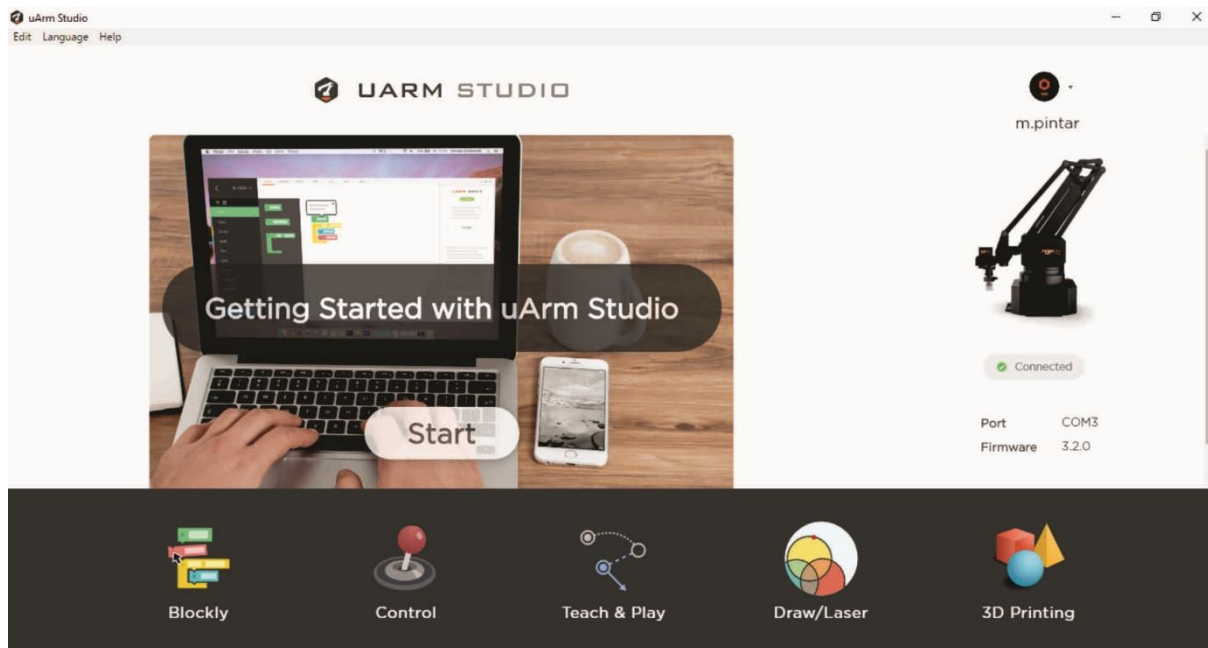


Slika 27: Levo R.R. s koračnimi motorji, desno R.R. z RC-servo motorji

Obe risbi na sliki 27 smo enako ročno naučili narisati krog in dve ravni črti.

5.4 PRIČETEK PROGRAMIRANJA ROBOTSKE ROKE »uArm Swift Pro«

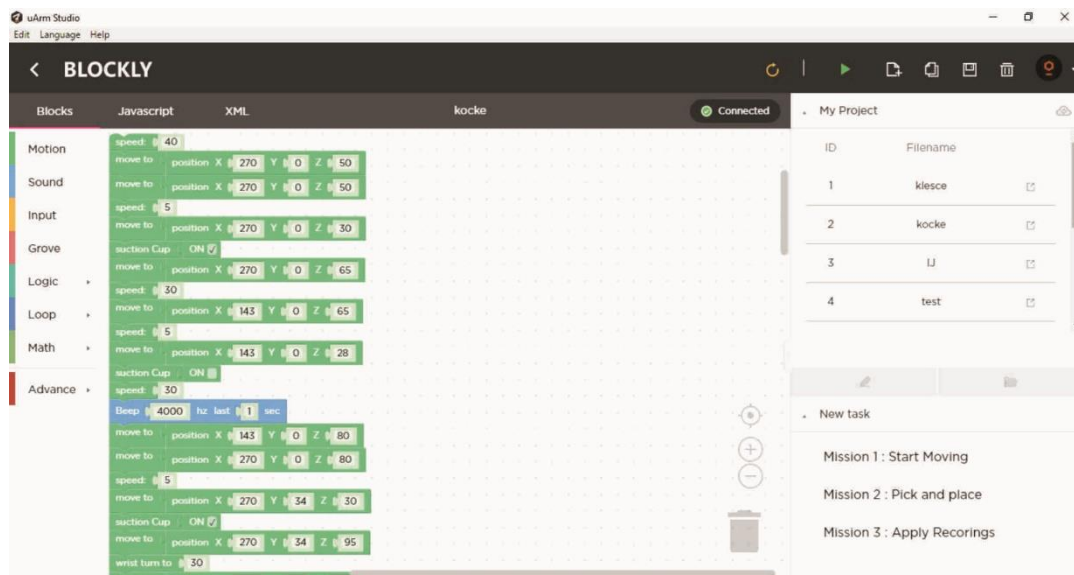
Najprej sva priključila robotsko roko na napajalnik in ta v napajalno omrežje 230Vac, vendar še nisva vključila robotske roke s stikalom za vklop le-te. Nato sva povezala robotsko roko s prenosnim računalnikom preko USB-kabla. Takrat sva vključila robotsko roko s stikalom za vklop na ohišju robotske roke ter nato zagnala program »uArm studio« na prenosnem računalniku. Slika spodaj prikazuje začetno stanje programa »uArm studio«. Program na računalniku zajema več programov za delo z robotsko roko, kot so »Blockly«, »Control«, »Teach & Play«, »Draw/Laser« ter »3D Printing«. Obstajajo še drugi tako imenovani strojni jeziki, ki so prezahtevni za najino starost. Izbrala sva program »Blockly«, ki je najbolj primeren najini starosti.



Slika 28: Program "uArm Studio"

5.4.1 PREDSTAVITEV PROGRAMA BLOCKLY IN NJEGOVIH UKAZOV

Ko zaženemo program Blockly v uArm studio, se nam odpre okno, ki je spodaj na sliki. Ob odprtju programa Blockly se nam odpre program za robotsko roko, ki smo ga pred tem napisali. Lahko pa si izberemo nov program ali pa že shranjene programe, ki jih vidimo v desnem meniju.



Slika 29: Program Blockly

KRATKA PREDSTAVITEV UKAZOV

Slika 30: Ukazi v programu Blockly



- »reset« pomeni postavitve roke v začetno pozicijo
- »Speed« pomeni hitrost roke
- »move to position X Y Z« premakni se na pozicijo X__ Y__ Z__ v mm
- »move forward« pojdi naprej
- »base turn to« obračanje celotne roke v stopinjah
- »wrist turn to« obračanje zapestja v stopinjah
- »suction Cup« vakuumsko prijemalo, ki je lahko vključeno ali izključeno
- »gripper« klešče (vključene ali izključene)

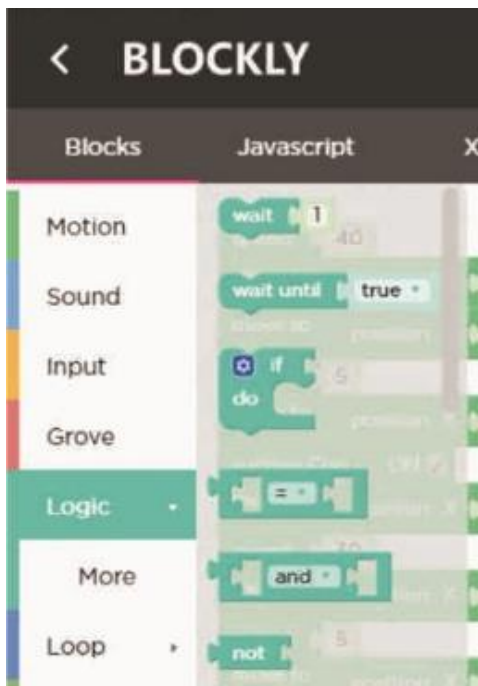


Slika 31: Ukazi v programu Blockly

»Beep 1000Hz last 0,1sek« frekvenca in čas trajanja zvoka

»Beep Note C3 Hz last Beat 1/4« zvok note in ritma

»Beep Note C3 Hz last 0,1 sek« trajanje note v sekundah



Slika 32: Ukazi v programu Blockly

»wait« čakaj (v sekundah)

»wait until true« čakaj tako dolgo, dokler ne bo prav (true)

»if če je pogoj izpolnjen potem do« naredi ...

»=« je enako

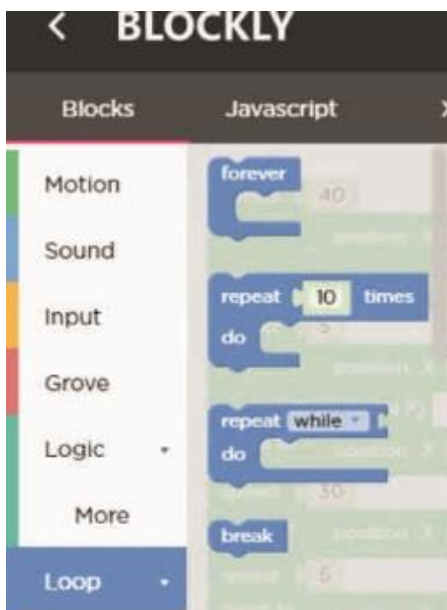
»>« je večje

»<« je manjše

»and« funkcija IN

»or« funkcija ALI

»not« ne naredi ničesar



Slika 33: Ukazi v programu Blockly

»forever« neskončno ponavlja

»repeat 10 times do« poljubno krat ponavlja funkcijo

»repeat while« ponavlja, dokler je pogoj

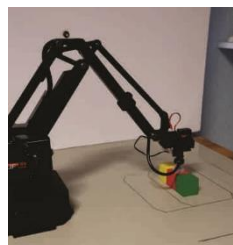
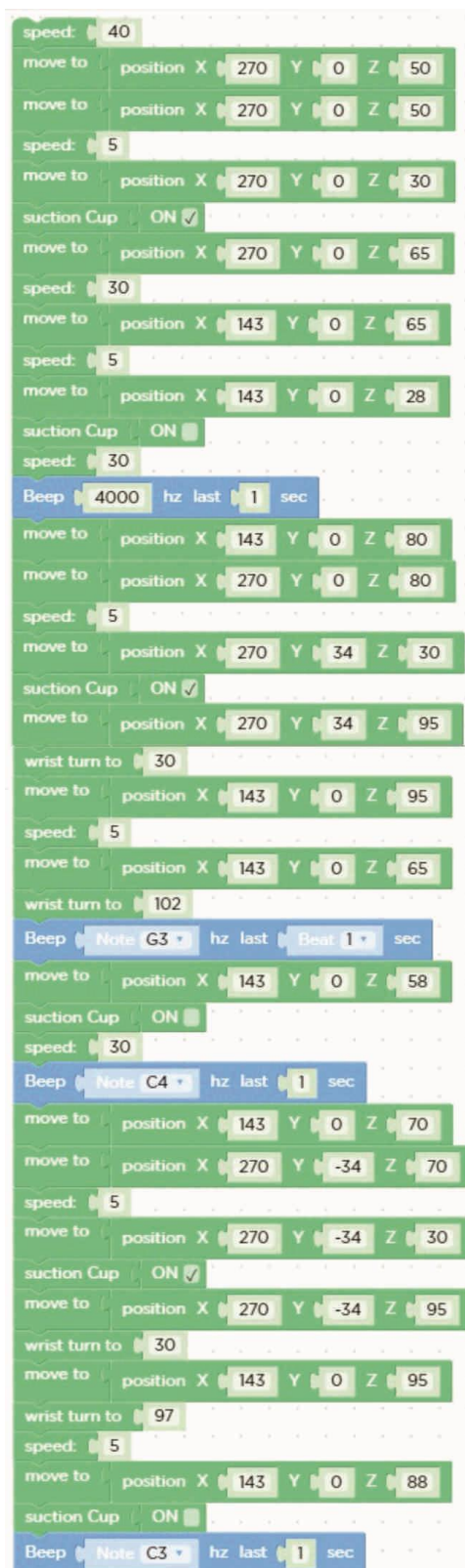
»break« prekini funkcijo

(npr. repeat ali forever)

5.4.2 BLOCKLY PROGRAM ZLAGANJA KOCK Z ROBOTSKO ROKO »uArm Swift Pro«

To je program, ki zlaga lesene kocke. Praktično se bo na predstavitvi videlo, kako deluje roka. Sedaj sva dodala le nekaj slik ob programu.

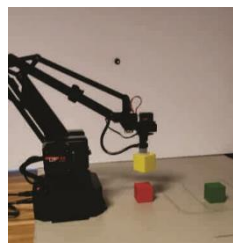
Slika 34: Blockly program za zlaganje kock



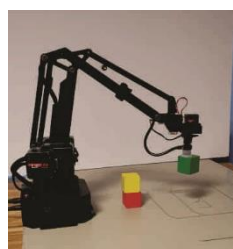
Slika 35: Zlaganje kock z r. roko (1)



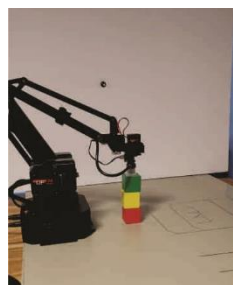
Slika 36: Zlaganje kock (2)



Slika 37: Zlaganje kock (3)



Slika 38: Zlaganje kock (4)



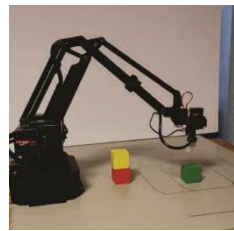
Slika 39: Zlaganje kock (5)

```

speed: 5
move to position X 143 Y 0 Z 65
move to position X 143 Y 0 Z 58
suction Cup ON ✓
move to position X 143 Y 0 Z 65
speed: 30
move to position X 270 Y 34 Z 65
speed: 5
wrist turn to 90
move to position X 270 Y 30 Z 28
suction Cup ON
speed: 30
move to position X 270 Y 34 Z 65
move to position X 143 Y 0 Z 65
speed: 5
move to position X 143 Y 0 Z 28
suction Cup ON ✓
move to position X 143 Y 0 Z 50
speed: 30
move to position X 270 Y 0 Z 50
speed: 5
move to position X 270 Y 0 Z 28
suction Cup ON
Beep Note C4 hz last 1 sec
move to position X 270 Y 0 Z 70
Beep Note F3 hz last Beat 1 sec
speed: 50
move to position X 143 Y 0 Z 150
move to position X 143 Y 70 Z 60
move to position X 143 Y -70 Z 60
move to position X 143 Y 0 Z 30
Beep Note D3 hz last 2 sec

```

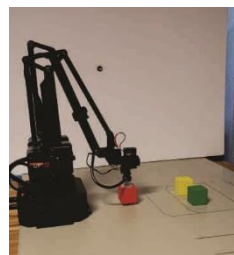
Slika 40: Program za zlaganje kock



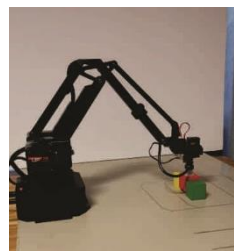
Slika 41: Zlaganje kock (6)



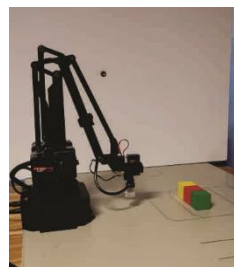
Slika 42: Zlaganje kock (7)



Slika 43: Zlaganje kock (8)



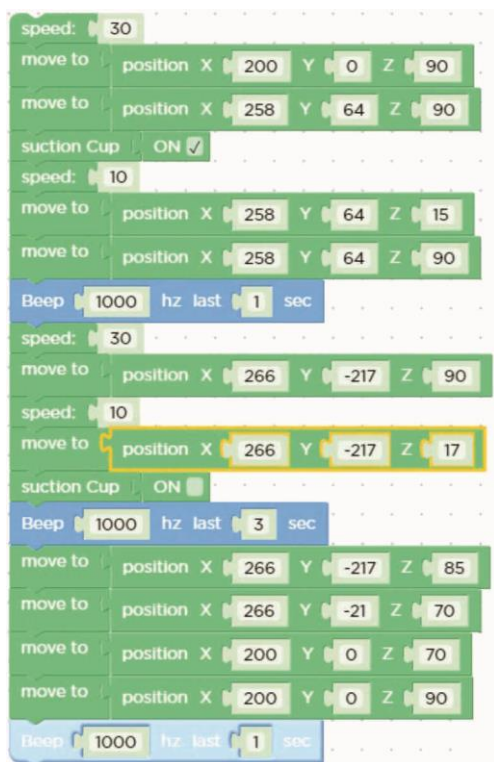
Slika 44: Zlaganje kock (9)



Slika 45: Zlaganje kock (10)

5.4.3 BLOCKLY PROGRAM VSTAVLJANJA LED LEČE V DISTANČNIK

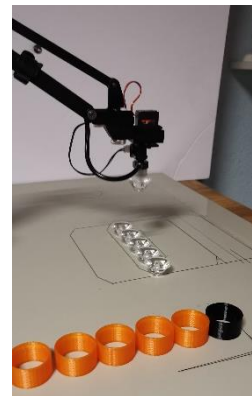
To je program, ki vzame led lečo s pomočjo vakuum prijemala in jo vstavi v plastični distančnik. Kasneje se ta distančnik z lečo vstavi v ohišje za RGB-led diodo. Ob programu je nekaj slik.



Slika 46: Blockly program vstavljanja led leče v distančnik



Slika 47: Vstavljanje leče(1)



Slika 48: Vstavljanje leče (2)



Slika 49: Vstavljanje leče (3)



Slika 50: Vstavljanje leče (4)

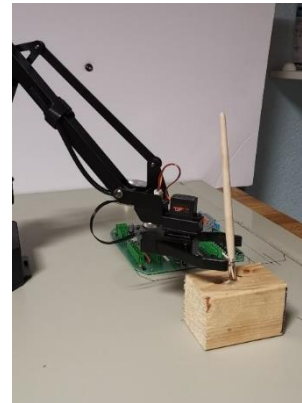
5.4.4 BLOCKLY PROGRAM ZAŠČITA ELEKTRONIKE

To je program, kjer uporabimo klešče kot prijemalo na robotski roki. Klešče najprej zgrabijo čopič ter ga vzamejo iz stojala. Nato čopič pomoči roka v zaščitno tekočino za elektroniko. Ta zaščitna tekočina je prozorna tekoča plastika, ki se na zraku posuši in daje elektroniki zaščito pred vlago. Nato roka vzame čopič iz tekočine in s kretnjami pobarva točno določen del elektronike. Tudi tukaj sva dodala nekaj slik ob programu. Lažje pa bo to videti v živo.

Slika 51: Program za zaščito elektronike



Slika 52: Klešče zgrabijo čopič

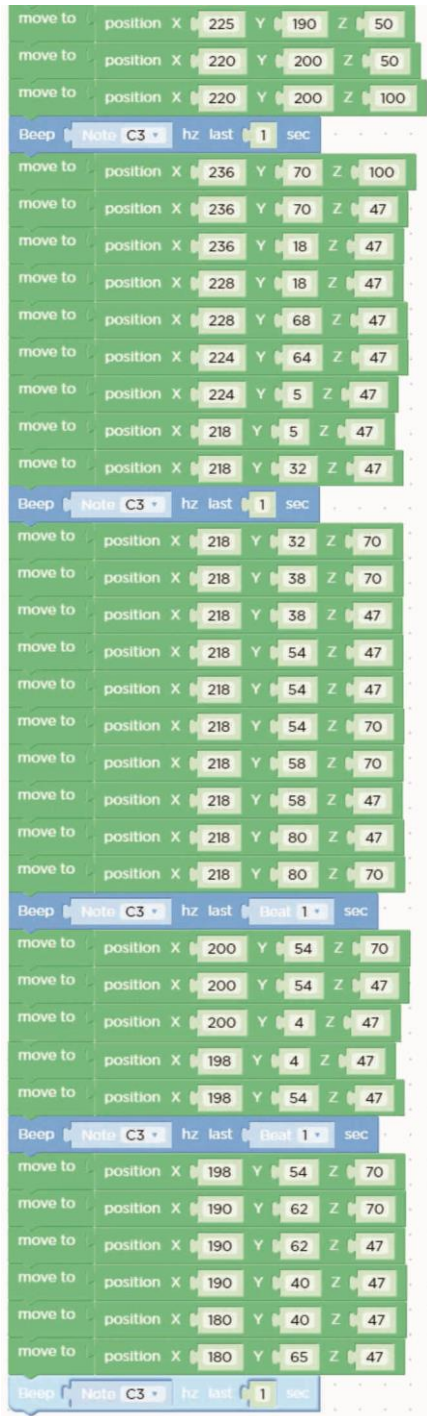


Slika 53: Klešče nesejo čopič



Slika 54: Čopič namočimo v zaščitno tekočino

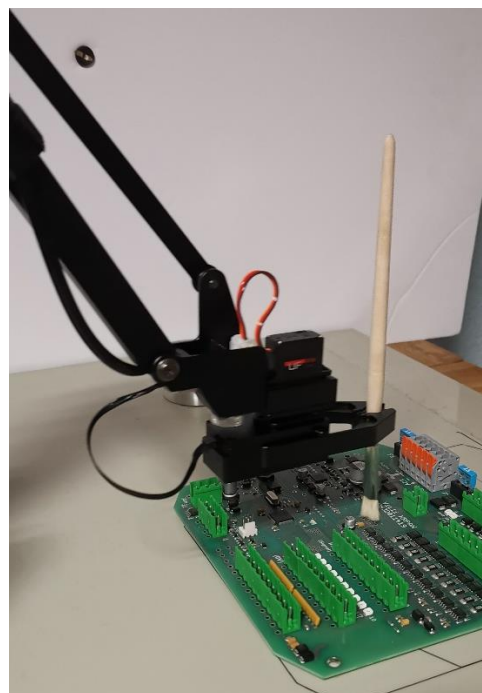




Slika 57: Blockly program za zaščito elektronike



Slika 55: Prenos premaza do elektronike



Slika 56: Mazanje

6 UGOTOVITVE

Prva najina ugotovitev je bila, da v robotiki brez matematike žal ne gre, kakor tudi ne v elektroniki, strojništvu in posledično tudi ne pri najini robotski roki. Čeprav obvladava le osnovnošolsko matematiko, sva lahko raziskala in dokazala s pomočjo matematike, da so koračni motorji dosti bolj zanesljivi in natančni od RC-servo motorjev. Ob raziskavi robotske roke sva se sprva ustrašila zahtevnosti delovanja, saj nisva vedela, da ima prilagojen program za osnovno programiranje, ki ga lahko obvlada tudi osnovnošolec. Na internetni strani proizvajalca sva odkrila, da je robotska roka narejena in razvita tako, da lahko z njo pričnemo osnovnošolci, nato pa lahko nadaljuješ po nivojih – vse tja do visokošolske izobrazbe. V raziskovalni nalogi sva želela potrditi ali zavreči štiri hipoteze.

Prva hipoteza: Ob kratki raziskavi kam sega prvo programiranje, sva napačno predvidela prvo hipotezo, zato je prva hipoteza ovržena. Še zmeraj se nama zdi neverjetno, da je ga. Ada zapisala prve algoritme že pred več kot 175 leti.

Druga hipoteza: Drugo hipotezo lahko popolnoma ovrževa, saj sva matematično dokazala, da so koračni motorji veliko bolj točni. Ko sva vozila avtomobilček na daljinsko upravljanje, ki ima RC-servo motorje, nisva pomislila, da v resnici z daljincem venomer popravljáš smer avtomobilčka.

Tretja hipoteza: To hipotezo lahko skoraj povsem ovržemo. Naša roka je sicer res natančna, le moramo se zbrati in skoncentrirat, vendar je naša ponovljivost točnosti zelo slaba v primerjavi z robotsko roko. Robotska roka lahko zelo natančno deluje in nam predmet prenese na točno določeno pozicijo in to neskončnokrat na popolnoma isto mesto, kar pa naša roka ne zmore.

Četrta hipoteza: To hipotezo lahko deloma ovržemo. Programiranje robotske roke s programom »Blockly« je res zelo enostavno, ko osvojiš osnove koordinatnega sistema in nekaj osnovnih ukazov. V programu »Blockly« te tudi sama roka uči koordinatni sistem, saj lahko robotsko roko s svojo roko postaviš na zeleno pozicijo in ti roka sama pove koordinate pozicije. Delno pa ovrževa to hipotezo zato, ker nisva raziskala vseh možnosti roke, kot so laser, 3D-tisk, risanje, kamera in njihovo programiranje, ki ni v programu »Blockly«.

7 ZAKLJUČEK

V raziskovalno nalogo sva vložila ogromno prostega časa, a se je izplačalo, saj sva prišla do neverjetnih odkritij, ki jih pred tem nisva poznala. Raziskovalna naloga nama je pokazala in dokazala, da sta matematika in robotika zelo tesno povezani. Lahko bi dejali, da je srce robotike matematika. Včasih se osnovnošolci sprašujemo, zakaj se učimo to in ono ter včasih rečemo »Tega pa nikoli ne bomo potrebovali.«, vendar sva ugotovila, da bomo matematiko še velikokrat potrebovali. Raziskovalna nama je odprla oči ne samo, da je matematika tesno povezana z robotiko, pač pa, da se bova morala naučiti še veliko matematike, da bova lahko uporabljala še več funkcij robotske roke oziroma programiranja le-te.

Ob raziskavi robotske roke sva ugotovila, da nam robotske roke lahko olajšajo marsikatero delo, pa naj gre to za zabavo ali popolnoma resno delo v proizvodnji. Z raziskovalno nalogo sva zadovoljna, saj sva prišla do zelenih ciljev in spoznanj. Kljub zaključku raziskovalne naloge se bova še naprej srečevala ter odkrivala nove in nove rešitve z robotsko roko. Programiranje robotske roke je postalo zanimivo in zabavno.

8 LITERATURA

- https://sl.wikipedia.org/wiki/Ada_Lovelace, dostop 16. 10. 2019
- https://sl.wikipedia.org/wiki/Nikola_Tesla, dostop 8. 11. 2019
- <https://www.jameco.com/jameco/workshop/howitworks/how-servo-motors-work.html>, dostop 6. 12. 2019
- <https://lastminuteengineers.com/servo-motor-arduino-tutorial/>, dostop 6. 12. 2019
- <https://www.motioncontrolonline.org/blog-article.cfm/Microstepping-Tutorial-A-Brief-Overview/47>, dostop 3. 1. 2020
- <https://www.ufactory.cc/#/en/uarmswift>, dostop 3. 1. 2020

9 KAZALO SLIK

Slika 1: Ada Lovelace	5	
Slika 2: Nikola Tesla	6	
Slika 3: Visokonapetostni transformator Nikola Tesla	6	
Slika 4: Podnožje robotske roke	8	
Slika 5: Podnožje.....	8	
Slika 6: Priklopi	9	
Slika 7: Obseg delovanja robotske roke	10	
Slika 8: Robotska roka	11	
Slika 9: Roka z vakuumskim prijemalom	Slika 10: Roka s kleščami.....	11
Slika 11: Koordinatni sistem v prostoru	Slika 12: Z-os pri robotski roki	12
Slika 13: Servo motor	13	
Slika 14: Prikaz impulzov in premika motorja	14	
Slika 15: Impulz in premik motorja.....	14	
Slika 16: Impulz in premik motorja.....	14	
Slika 17: impulz in premik motorja.....	14	
Slika 18: Center pozicija 1,8 ms	15	
Slika 19: Impulz 2,6 ms in premik motorja	15	
Slika 20: Impulz 1,8 ms in premik motorja	15	
Slika 21: Impulz 1 ms in premik motorja	16	
Slika 22: Izravnava	17	
Slika 23: Koračni motor	19	
Slika 24: Odstopanje pri servo motorju z 1% in 2 % točnostjo.....	20	
Slika 25: Pomik koračnega motorja po mikro korakih.....	20	
Slika 26: Levo je roka s koračnimi motorji, desno pa z RC-servo motorji.....	21	
Slika 27: Levo R.R. s koračnimi motorji, desno R.R. z RC-servo motorji	21	
Slika 28: Program "uArm Studio"	22	
Slika 29: Program Blockly	23	
Slika 30: Ukazi v programu Blockly	23	
Slika 31: Ukazi v programu Blockly	24	
Slika 32: Ukazi v programu Blockly	24	
Slika 33: Ukazi v programu Blockly	24	
Slika 34: Blockly program za zlaganje kock.....	25	
Slika 35: Zlaganje kock z r. roko (1)	25	
Slika 36: Zlaganje kock (2)	25	
Slika 37: Zlaganje kock (3)	25	
Slika 38: Zlaganje kock (4)	25	

Slika 39: Zlaganje kock (5)	25
Slika 40: Program za zlaganje kock.....	26
Slika 41: Zlaganje kock (6)	26
Slika 42: Zlaganje kock (7)	26
Slika 43: Zlaganje kock (8)	26
Slika 44: Zlaganje kock (9)	26
Slika 45: Zlaganje kock (10)	26
Slika 46: Blockly program vstavljanja led leče v distančnik	27
Slika 47: Vstavljanje leče(1) Slika 48: Vstavljanje leče (2).....	27
Slika 49: Vstavljanje leče (3) Slika 50: Vstavljanje leče (4).....	27
Slika 51: Program za zaščito elektronike	28
Slika 52: Klešče zgrabijo čopič	28
Slika 53: Klešče nesejo čopič	28
Slika 54: Čopič namočimo v zaščitno tekočino	28
Slika 55: Prenos premaza do elektronike	29
Slika 56: Mazanje.....	29
Slika 57: Blockly program za zaščito elektronike.....	29