



ZAKLJUČNA NALOGA

KRMILJENJE ROBOTSKE ROKE Z MIKROKRMILNIKOM

Mentor: Robert Jamnik

Avtor: Jakob Beber

Ljubljana, 5. 2. 2020

KAZALO:

1. ZAHVALA.....	1
2. UPORABLJENI SIMBOLI.....	2
3. UPORABLJENE KRATICE.....	3
4. UVOD	4
4.1. Ideja	4
4.2. Robotske roke	5
4.3. Izbira komponent	7
5. ELEKTROTEHNIKA V IZDELKU	9
5.1. Mikrokrmilniki	9
5.2. Vezje Arduino Uno Rev3	10
5.3. Servomotorji	11
6. SNOVANJE IN IZDELAVA	12
6.1. Snovanje robotske roke	12
6.2. 3D-tiskanje.....	13
6.3. Sestava	15
6.4. Električni načrti	16
7. RAČUNALNIŠKO UPRAVLJANJE	17
7.1. Programiranje mikrokrmilnika	17
7.2. Računalniško programiranje.....	19
8. KOMENTAR	20
9. VIRI.....	21
10. PRILOGE	22

KAZALO SLIK:

Slika 1: Inspiracija in osnovna ideja robotske roke.....	4
Slika 2: Primeri in delitev prijemal na robotski roki	6
Slika 3: Vezje Arduino UNO Rev3	7
Slika 4: Servomotor SG90 9g.....	8
Slika 5: HC-05 Bluetooth modul.....	8
Slika 6: Čip Atmega 328 P.....	9
Slika 7: Sestava vezja Arduino Uno.....	10
Slika 8: Delavniška risba z merami servomotorja.....	11
Slika 9: Robotska roka narejena v CAD	12
Slika 10: 3D tiskanje na tiskalniku Prenta	13
Slika 11: 3D tiskanje na tiskalniku Prenta – pogled od zgoraj.....	14
Slika 12: Razporeditev vseh električnih komponent.....	15
Slika 13: Elektro shema.....	16
Slika 14: Začetni del programa za krmiljenje mikrokrmilnika	17
Slika 15: Del programa za začetni položaj roke.....	18
Slika 16: Del programa, ki preverja Bluetooth modul	18
Slika 17: Jaz ob programiranju mikrokrmilnika	19

1. ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju Robertu Jamniku za pomoč in vodenje pri opravljanju zaključne naloge.

Zahvaljujem se tudi Timoteju Hvali za ideje in pomoč pri modeliranju.

2. UPORABLJENI SIMBOLI

I	-	električni tok
R	-	upor
U	-	električna napetost
Hz	-	(herc) frekvenca
€	-	evro
W	-	moč
V	-	(volt) enota za merjenje električne napetosti
g	-	(gram) enota za merjenje mase

3. UPORABLJENE KRATICE

CAD - Computer Aided Design

SSKŠ - Srednja strojna in kemijska šola

ISO - International Organisation for Standardization

USB - Universal Serial Bus

itd.

4. UVOD

4.1. Ideja

Med mojim srednješolskim izobraževanjem so moja pozornost pritegnile robotske roke. Ob raziskovanju me je navdušila njihova vsestranska uporaba. Za delovanje robotske roke potrebujemo združiti veliko znanj in različno delujočih komponent.

Namen moje naloge je predstaviti postopek izdelave, tehnologijo vsake komponente ter njeno uporabo. Zaradi tega se mi je zdela izbira 3D natisnjene roke, krmiljene s strani mikrokrmilnika, idealna. Vse skupaj je cenovno ugodno, hkrati pa izredno zanimivo.

Žal ne bom mogel doseči natančnosti premikov, odzivnosti ali sil, ki so jih zmožne izpolniti industrijsko-profesionalne robotske roke.

Inspiracijo za načrtovanje in snovanje sem dobil na eni izmed spletnih strani:

<https://ardubotics.eu/en/robotic-arms-and-grippers/401-diy-4-axis-servos-control-palletizing-robot-arm-model-for-arduino-uno-mega2560.html>. Vsekakor bom projekt izdelal sam, vse vire pa beležil zraven.



Slika 1: Inspiracija in osnovna ideja robotske roke

4.2. Robotske roke

Ena izmed osnovnih definicij pravi, da gre za znanstveno panogo, ki črpa znanja iz številnih tehničnih in netehničnih ved ter tako na teh osnovah gradi novo znanje, ki je značilno le za robotske sisteme. Ker pa je področje robotike zelo razširjeno in zahtevno, se tudi pogledi na njeno osnovno definicijo zelo razlikujejo.

S tehničnega vidika pravimo, da je robot v splošnem nek sistem, ki vključuje tri glavne sklope oz. dele:

- mehanski del (segmenti, motorji, zavore),
- informacijski del (krmilnik, računalnik, umetna inteligenca),
- senzorji (sile, momenti, pospeški, hitrost, pomik, umetni vid).

Da stvar poimenujemo robot nujno potrebuje dva sklopa: mehanski in informacijski del. Senzorji so uporabljeni velikokrat, a ne vedno in nikakor niso obvezni del. V industriji so roboti brez senzorjev na določenih delih proizvodnje veliko bolj učinkoviti, kot pa če bi imeli dodane senzorje.

Robote delimo tudi v tri skupine načelne delitve:

- antropomorfni (človeku podobni roboti),
- neantropomorfni (po obliki spominjajo na stroje),
- lokomocijski (robot z elementi hoje).

Osnovne zgradbe robotov

Glede na način zgradbe robota se giba tudi njegov vrh. Pri uporabi treh translatorskih gibov se vrh robota giba po pravilih kartezijskega koordinatnega sistema. Podobno lahko sestavimo še cilindrično in sferično konfiguracijo. Industrijski roboti so pogosto kombinirane zgradbe. Posebna vrsta robotov, ki izstopa, pa je scara robot, ki ima dva ali tri paralelne rotacijske sklepe, kar omogoča veliko uporabnost v ravnini.

Neredundantni in redundantni roboti:

Velja: $n \leq 6$... neredundanten robot

$n \geq 7$... redundanten robot

(kjer je n =število prostostnih stopenj)

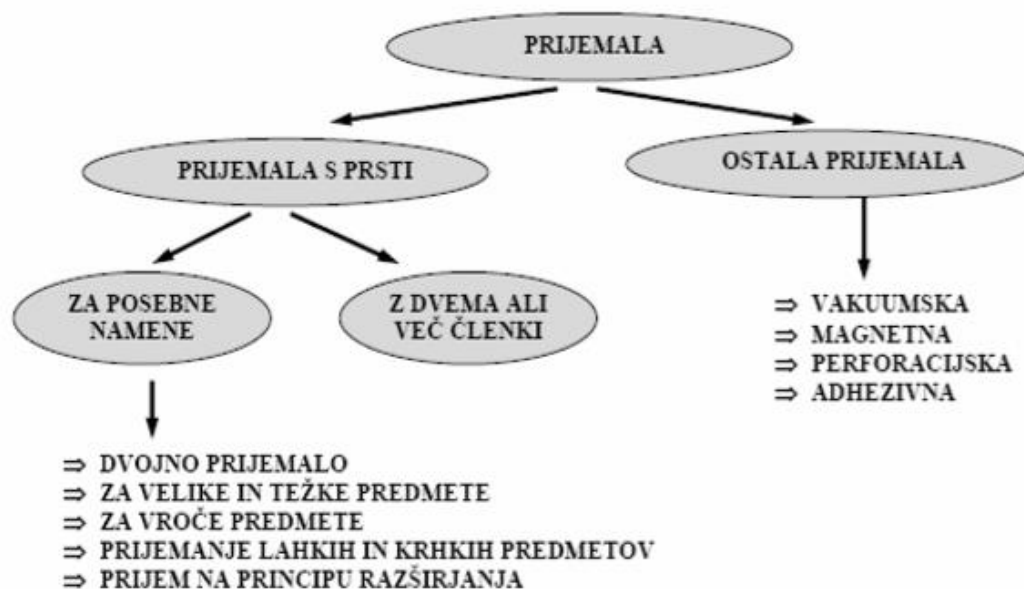
Število prostostnih stopenj robota oziroma vrha robota mora biti večje ali vsaj enako številu prostostnih stopenj naloge, ki jo želimo rešiti.

Da robot opravi zahtevano delo, ga moramo seveda naučiti, kako naj to delo izvede. V industriji gre največkrat za ciklično ponavljanje nekega dela. Obstajajo primeri, ko opravimo podobno operacijo na istem obdelovancu ali na različnih obdelovancih. V takih primerih je

robotu seveda potrebno določiti, kako in katero robotsko trajektorijo naj izvede. Določena operacija je lahko vezana na določeno izhodišče.

Industrijski robot je opremljen ali s prijemalom ali z orodjem. Med orodja štejemo tisti zadnji segment, s katerim robot lahko opravi neko delo, kamor ne spadajo prijem in spust ter premikanje obdelovanca.

Na robota nameščeno orodje so lahko varilne klešče, brusilniki, brizgalne šobe, optične kamere in drugo. Primeri in delitev prijemal pa so na spodnji sliki.



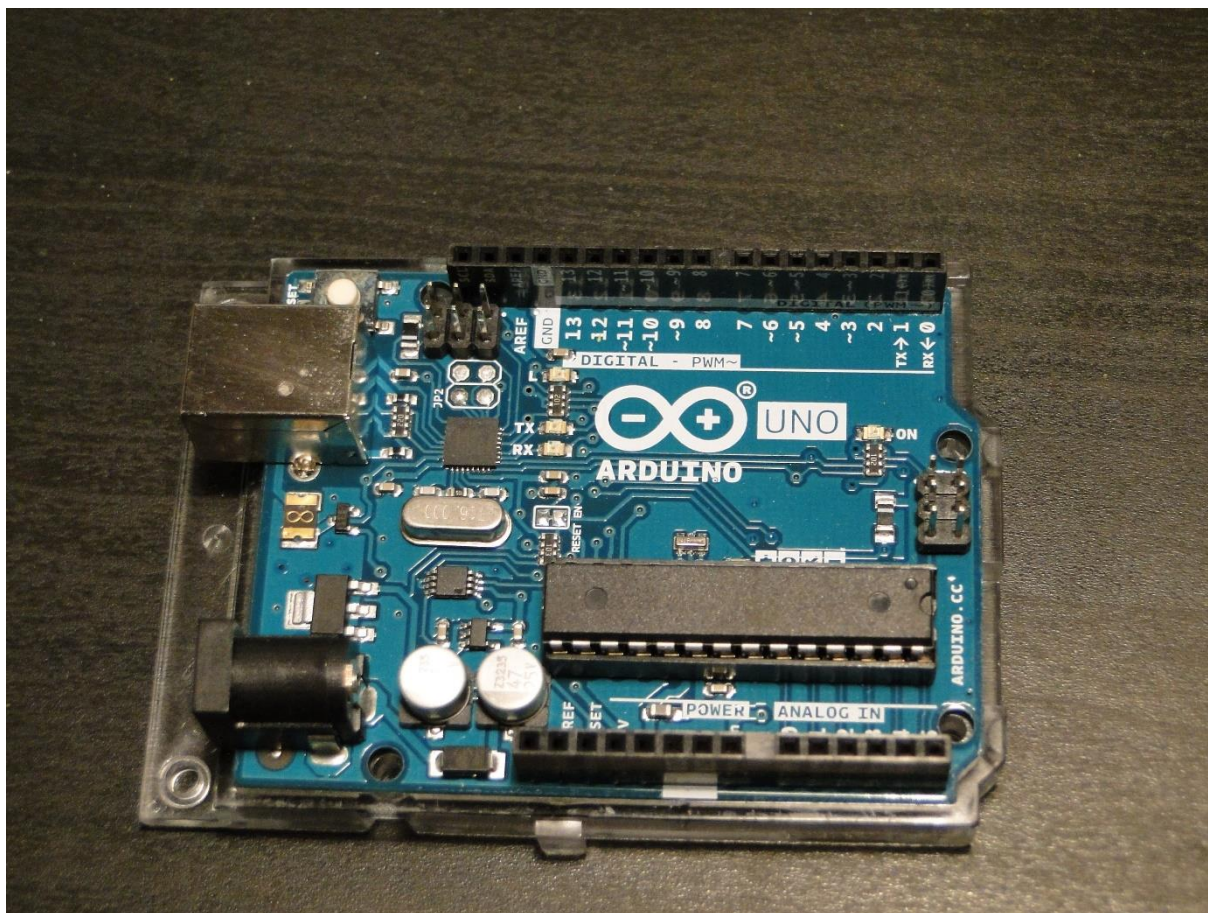
Slika 2: Primeri in delitev prijemal na robotski roki

4.3. Izbira komponent

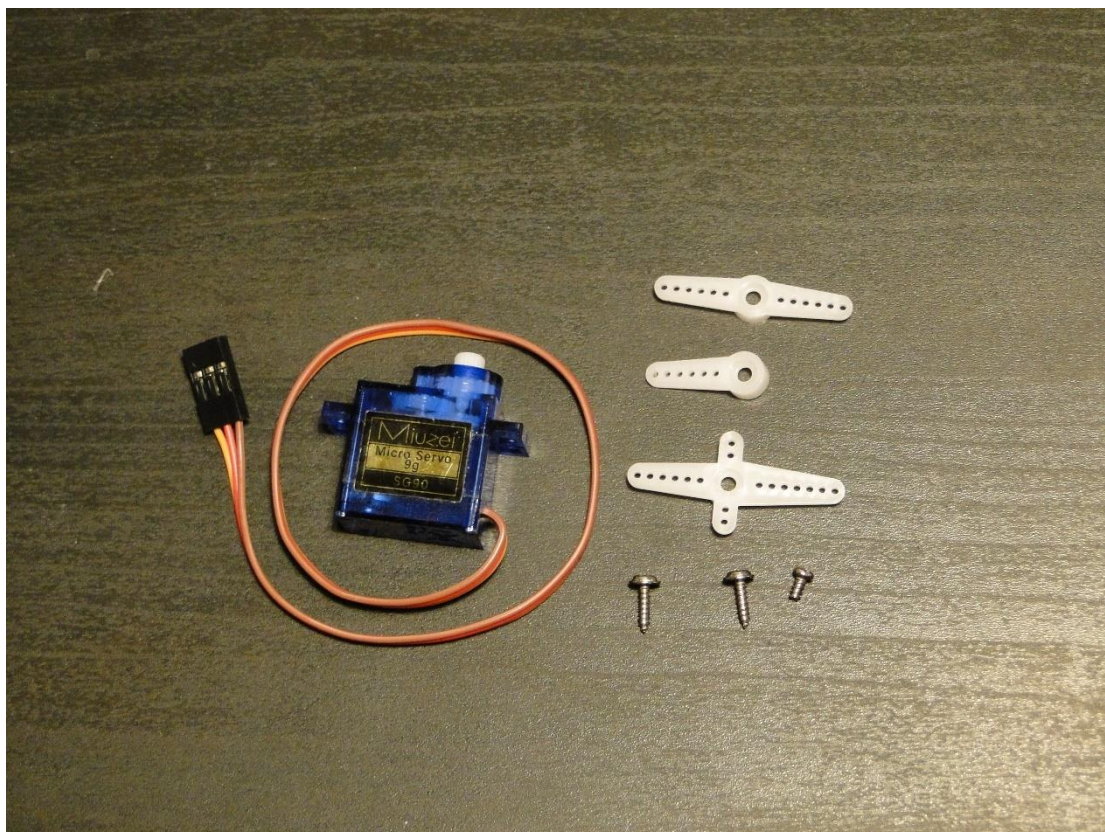
Najpomembnejši del robotske roke je njen krmilnik, v mojem primeru mikrokrmilnik. Izbira le-tega narekuje večino zmožnosti robotske roke. Moja izbira je bil mikrokrmilnik (oz. vezje) Arduino UNO rev3. Nudi preprosto programiranje, veliko vhodnih in izhodnih kanalov analognih in digitalnih tipov, je majhen in cenovno dostopen vsakomur.

Za premikanje členov na robotski roki uporabljamo posebne vrste elektro pogonov. To so servomotorji, v nekaterih primerih tudi koračni motorji. Med izbiranjem mikrokrmilnika sem hkrati opazoval tudi različne servomotorje. Za moj prototip robotske roke nisem potreboval izredno zmogljivih, zato sem izbral šibkejše a popularne: Miuzei Micro Servo 9g SG90. Omogočili so mi delovanje roke, hkrati pa enostavno vgradnjo.

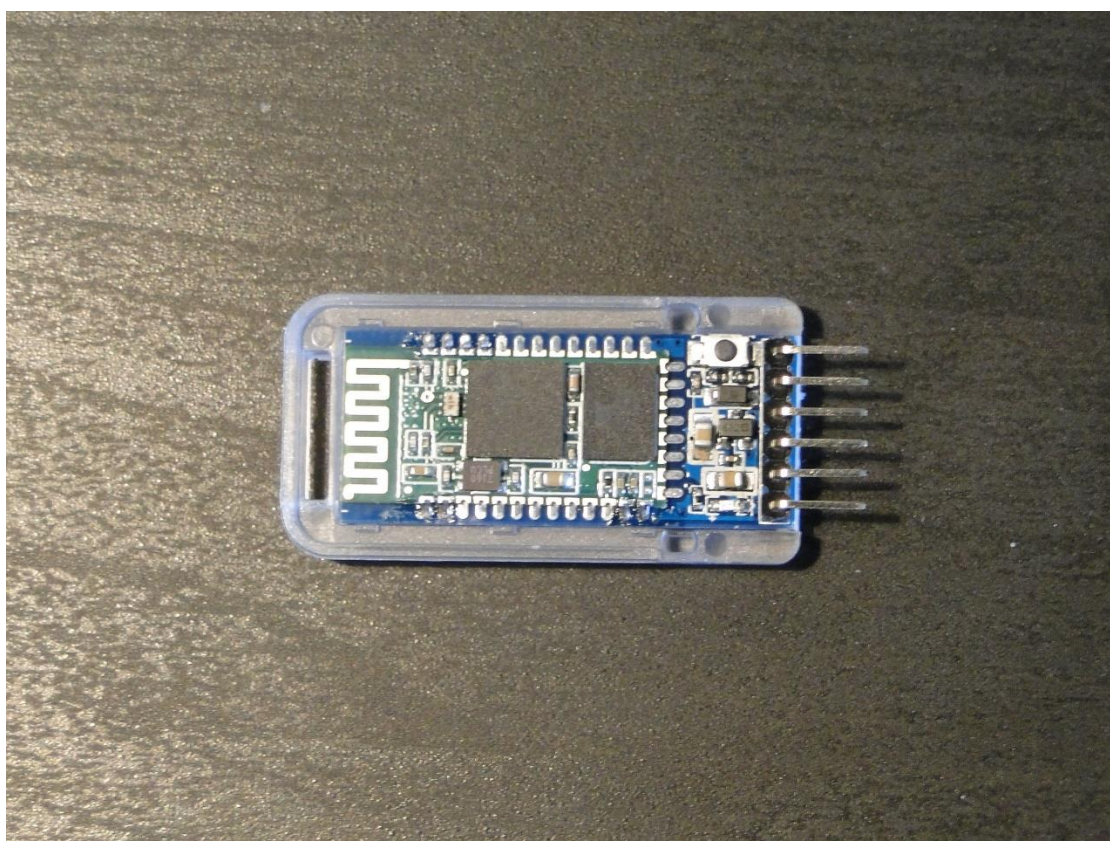
Celoten sistem sem želel krmiliti s pomočjo pametnega telefona, to pa mi je omogočila tehnologija Bluetooth. Prek spleta sem poiskal namenske Bluetooth module za povezavo z Arduino vezjem, saj tako prihaja do manj težav pri programiranju. Tako sem naročil HC-05 Bluetooth Module od podjetja DSD Tech.



Slika 3: Vezje Arduino UNO Rev3



Slika 4: Servomotor SG90 9g



Slika 5: HC-05 Bluetooth modul

5. ELEKTROTEHNIKA V IZDELKU

5.1. Mikrokrmilniki

Mikrokrmilnik ali mikrokontroler je čip, ki vsebuje veliko enot mikroračunalnika: procesor, notranji pomnilnik, vmesniki ipd. Zmožen je nadzirati in krmiliti izhodne enote s strani vhodnih enot, vse to pa lahko opravlja, ko nanj napišemo poljuben program. Mikrokontrolerji so zasnovani za vgrajene aplikacije. Uporabni so povsod, kjer je prisotna avtomatizacija sistemov. Mikrokrmilniki, ki vključujejo analogne komponente, potrebne za nadzor ne-digitalnih elektronskih sistemov, so dandanes zelo običajni. Z zmanjševanjem velikosti in stroškov (v primerjavi z ločenimi mikroprocesorji, pomnilniki) so mikrokrmilniki vse bolj popularni in se vgrajujejo v vse več naprav in procesov.

Nekateri mikrokrmilniki so lahko 4-bitni in delujejo na frekvencah 4 kHz, kar omogoča izredno majhno porabo elektrike. Najpogostejši pa je 8-bitni mikrokrmilnik, kakršen se nahaja tudi na vezju Arduino Uno Rev3.

Mikrokontrolerje so prvotno programirali samo v zbirnem jeziku. To je nizko stopenjski programski jezik druge generacije (prva generacija je strojna koda). Danes so tako razviti, da jih programiramo v visoko stopenjskih programih; C, Python ali JavaScript so le eni od pogostih primerov.

Na vezju Arduino Uno se nahaja mikrokrmilnik Atmega 328P, ki deluje na 8-bitih z maksimalno hitrostjo 20 MHz in ima 28 kontaktov. Posamezno ga lahko kupimo od proizvajalca za samo 1,10 €.



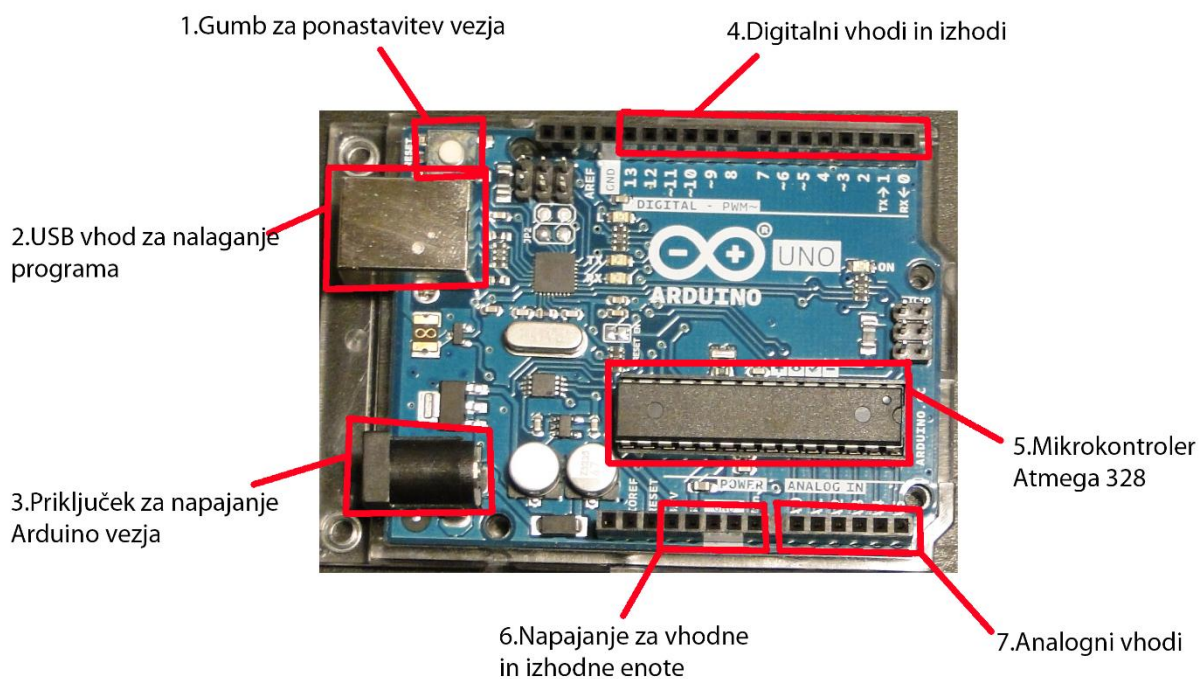
Slika 6: Čip Atmega 328 P

5.2. Vezje Arduino Uno Rev3

Je vezje, katerega patent je na voljo vsem. Je eno izmed najpopularnejših vezij med amaterji ter vsemi, ki ga uporabljajo za učenje in razumevanje.

Vezje je sestavljeno iz:

1. Gumba za ponastavitev
2. USB vhoda za nalaganje programa
3. Vhoda za priklop na elektriko
4. Digitalnih vhodov/izhodov
5. Mikrokontrolerja Atmega 328P
6. Napajanja za vhodne/izhodne komponente
7. Analognega vhoda



Slika 7: Sestava vezja Arduino Uno

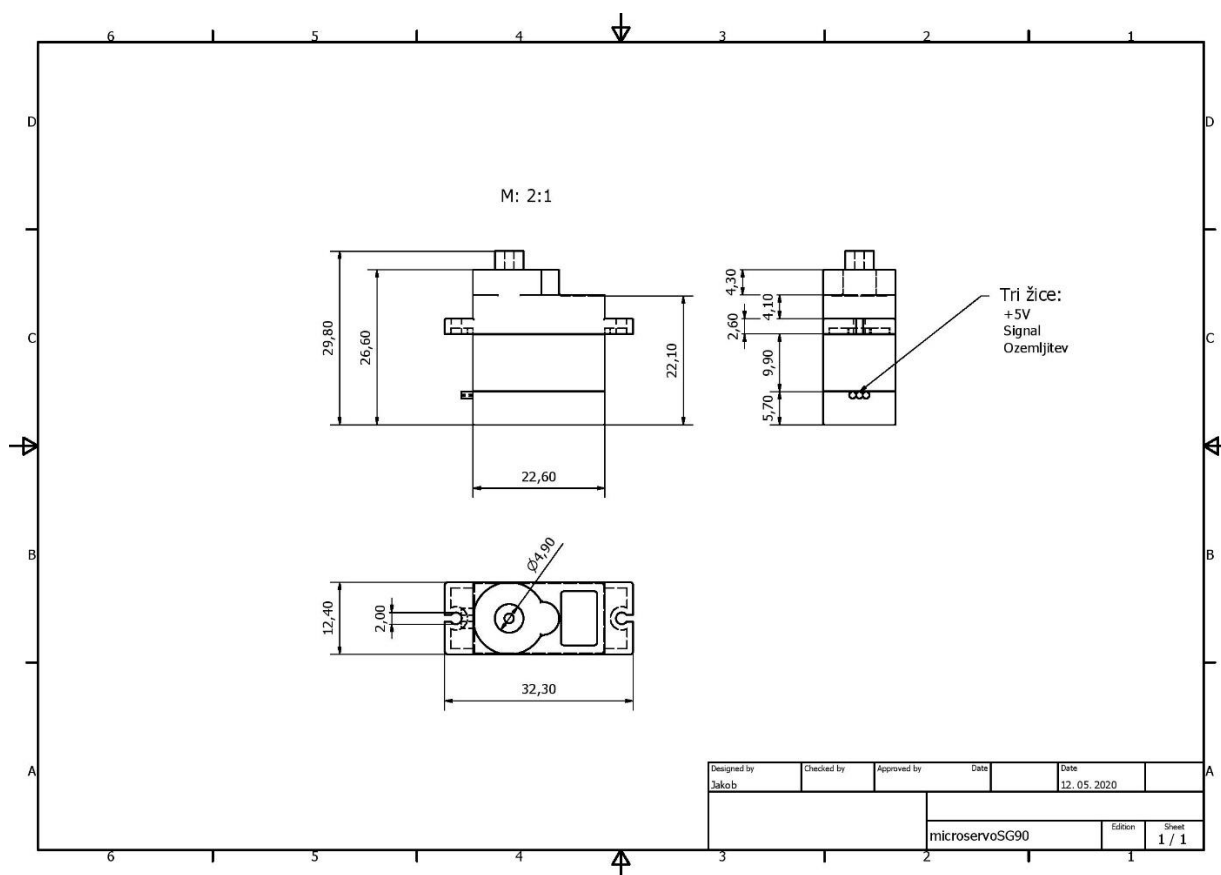
5.3. Servomotorji

Servomotorji so pomožni motorji in delujejo v navezi s servo pretvornikom. Prepoznavni so po krmilnih priključkih, zaradi načina oskrbe z energijo pa jih izdelujemo za moči do nekaj deset kW.

Servomotorji so pogonski aktuatorji. Odlikujejo se z veliko natančnostjo pozicioniranja, s širokim območjem vrtljajev (0,01 do 10000 obratov na minuto), točnostjo vrtljajev, mirnim tekom tudi pri majhnih vrtljajih, velikim navorom in visoko dinamiko dogodkov.

Uporabljamo jih v obdelovalni in robotski tehniki. Nadzorovano ustavljanje rotorja izvajamo z generatorskim delovanjem in elektromagnetno mehansko zavoro.

Servomotor SG90 9g je mikro servomotor, torej je precej manjši in manj zmogljiv od pravih industrijskih servomotorjev, ki so opisani zgoraj. Uporablja tudi menjalnik, da izboljša navor, ki znaša 2,5 kg/cm. Servomotor deluje na napetosti 4.8 – 6 V, tehta pa 14,7 g.



Slika 8: Delavniška risba z merami servomotorja

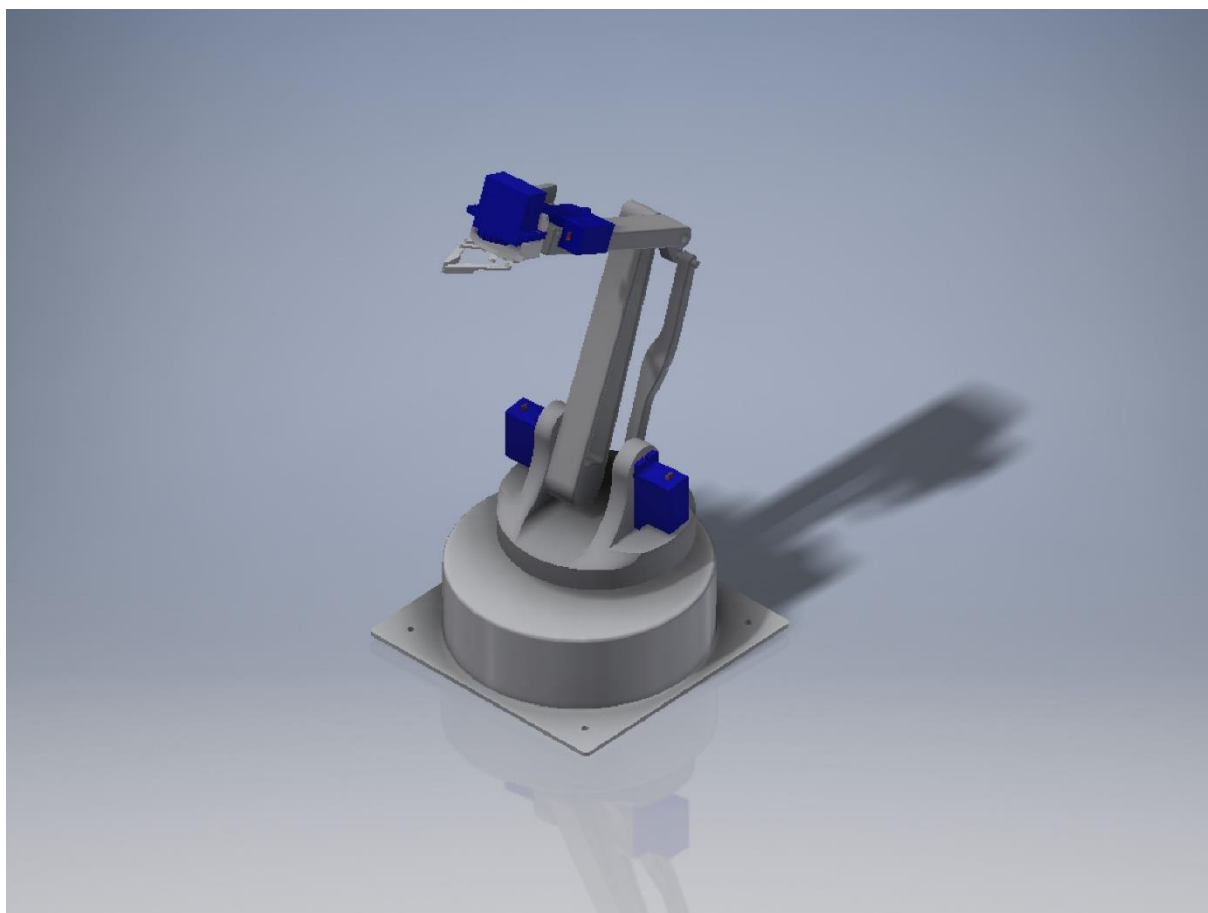
6. SNOVANJE IN IZDELAVA

6.1. Snovanje robotske roke

Robotsko roko sem konstruiral v CAD programu Autodesk Inventor. V program sem iz spletne strani grabcad.com uvozil servomotor SG90 9g, ki ga je nekdo že izdelal in je prost za uporabo vsem uporabnikom tega spletnega mesta. Po velikosti servomotorja sem tudi uspešno konstruiral celotno robotsko roko. Med konstruiranjem sem naletel na veliko problemov; glavni med njimi je bil, kako med sabo povezati člene roke, da bodo dovolj stabilni, hkrati pa ne pretežki za servomotorje. Rešitev sem sicer našel, kako dobra je, pa bi lahko videli šele po več testih različnih oblikovanj.

CAD konstruiranje je eno izmed težjih delov izdelave robotske roke. Tukaj potrebujemo dobre ideje, ki bodo delovale v resničnem svetu. Če robotska roka česa ne zmore, se vrnemo sem. Stresne preizkuse prav tako opravimo v programu.

Vseeno pa je resničnost nekoliko drugačna od digitalnega sveta, zato je za hitre prototipe ter teste zelo popularno 3D-tiskanje izdelkov. Jaz bom izdelek naredil, ko ga bom natisnil na tiskalnik, za mnoga podjetja pa je to šele začetek prave izdelave. Izdelek bom natisnil z materialom PVC plastika.



Slika 9: Robotska roka narejena v CAD

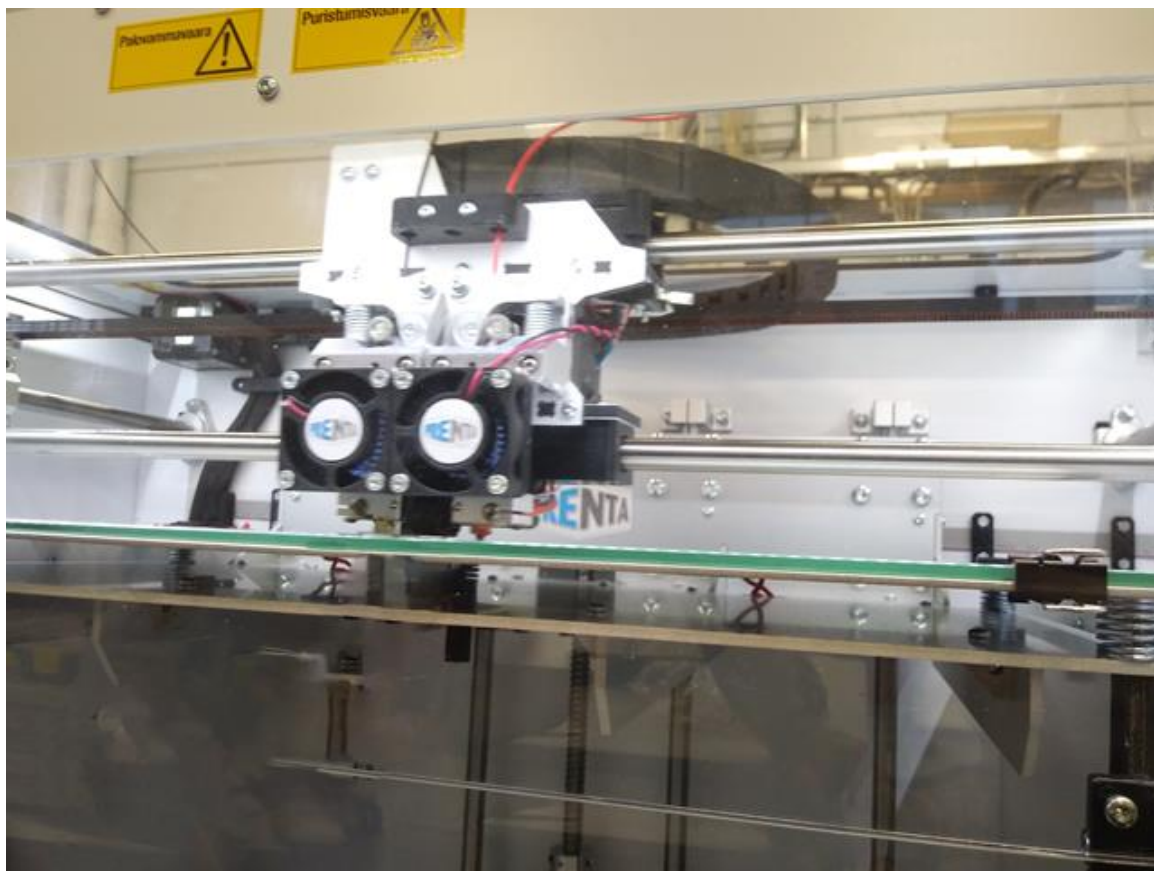
6.2. 3D-tiskanje

3D tiskanje ali proizvodnja z dodajanjem je postopek izdelave tridimenzionalnih predmetov iz prej narejene digitalne datoteke. Nastanek tridimenzionalnega natisnjenega izdelka je dosežen z dodajanjem materiala, ki prihaja iz šobe. V 3D tiskanju predmet nastane z zaporednim nanašanjem plasti materiala, dokler se ne ustvari celoten predmet. Najpogostejša modela 3D tiskalnikov sta delta model in kartezični model.

Vsi 3D tiskalniki ne uporabljajo enake tehnologije tiskanja, a v osnovi delujejo po enakem principu: dodajanju materiala. Razlikujejo se le po tem, kako je vsaka plast posebej nanešena na prejšnjo ter po debelini plasti. Nekatere metode uporabljajo taljenje ali mehčanje materiala za izdelavo plasti. Selektivno lasersko sintiranje in odlaganje taljenega materiala sta najpogostejši tehnologiji, ki uporabljata ta način tiskanja. Druga metoda tiskanja je strjevanje tekočega polimera plast za plastjo s pomočjo UV laserja ali kakšnega drugega podobnega vira svetlobe.

Cenovno najbolj dostopni postajajo kartezični modeli, ki uporabljajo tehnologijo vlivanja materiala. Take 3D tiskalnice proizvajajo podjetja kot so Ultimaker, MakerBot, Prenta in še mnogi drugi.

Sam sem imel izkušnjo 3D tiskanja na tiskalniku Prenta.



Slika 10: 3D tiskanje na tiskalniku Prenta



Slika 11: 3D tiskanje na tiskalniku Prenta – pogled od zgoraj

6.3. Sestava

Da bi komponente postale izdelek, bi se moral pravilno držati vseh sestavnih shem (tako konstrukcijske kot tudi elektro sheme). Servomotorje SG90 9g je potrebno ustrezno sestaviti; prejel sem še potrebne vijake, vključene v komplet. Natisnjeno konstrukcijo bi ustrezno razporedil in jo skupaj s servomotorji sestavil skupaj.

Pazil bi na žice servomotorjev in ustrezno razporedil tri žice, ki vodijo v servomotor. Ena žica je ozemljitev, druga napetost ($\sim 5\text{ V}$), tretja pa signal. Vse žice za signal gredo v priklone digitalne enote vezja Arduino Uno, ozemljitev pa na ozemljeno enoto v vezju Arduino. Ker vsak servomotor zahteva približno 2000 mA , je potrebno servomotorje priklopiti na zunanjo polnilno enoto.

Ko bi bilo vse sestavljeno, bi celotno robotsko roko pritrdil na mizo, ter sistem priklopil v električno omrežje. Servomotorji bi se vrnili v svoj prvoten položaj, določen tovarniško. Takrat bi lahko sistem priklopil na osebni računalnik in ga začel programirati.



Slika 12: Razporeditev vseh električnih komponent

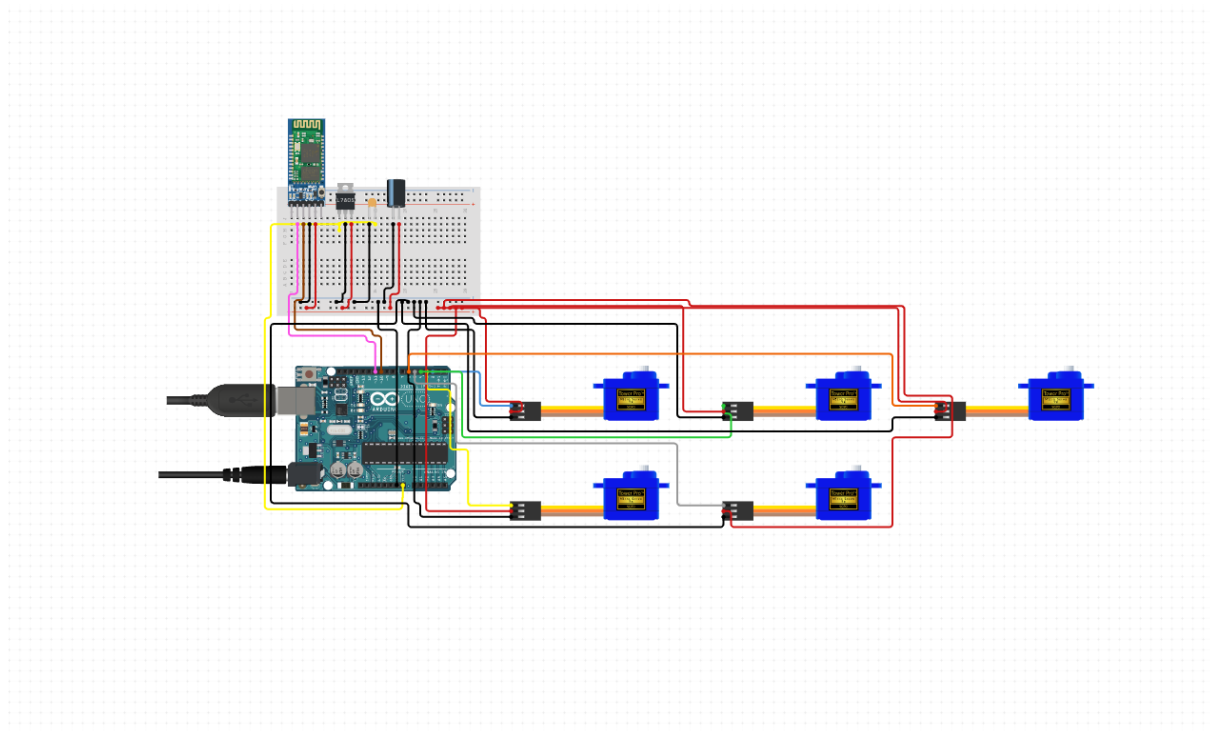
6.4. Električni načrti

Poznamo električne načrte za:

- Stanovanjsko in poslovno rabo,
- Industrijsko rabo (močnostna stikala in električni stroji, kot so generatorji, motorji, transformatorji, razsvetljava industrijskih hal, avtomatizacija in krmiljenje proizvodnje ...),
- Prenos električne energije po omrežjih, transformatorske postaje, elektrarne in distribucijska podjetja.

Zahteve električnih strojev ali sodobnih inštalacij narekujejo izbiro električne opreme. Večje so zahteve delovnega stroja, bolj obširni so načrti električne opreme in električnega vezja. Z električnim načrtom ponazorimo izbor in povezavo opreme. Tehnična dokumentacija industrijskega stroja obsega načrte mehanskih sestavnih delov, razporeditev električnih sestavnih delov in njihovo povezavo na osnovni plošči ter načrte električnega vezja.

Prav tako sem moral za delovanje robotske roke sestaviti električni načrt.



Slika 13: Elektro shema

7. RAČUNALNIŠKO UPRAVLJANJE

7.1. Programiranje mikrokrmilnika

Podjetje, ki izdeluje Arduino vezja, ima tudi vso potrebno programsko opremo, da vgrajen mikrokrmilnik deluje. V tem programu sem napisal kodo za vezje Arduino Uno, da sem lahko z aplikacijo na telefonu krmilil robotsko roko. Zaradi nepoznavanja tehnologije in okolja mi je bilo skozi celotno nalogo najtežje programiranje. Aplikacijo za telefon sem si sposodil od razvijalca, ki jo je na internet objavil v skupno rabo vsem, ki jo želijo.

Kodo sem z manjšo pomočjo spisal na računalnik. Pomagal sem si s spletnim portalom <https://github.com/>, v pomoč so mi bili nekateri že spisani programi; tako sem dobil tudi profesionalno pomoč za razumevanje programa kot celote. Tukaj je razloženih nekaj delov programa:

Najprej sem moral uvoziti knjižnico za pravilno programiranje Bluetootha in servomotorjev. Potem sem opredelil 5 servomotorjev in Bluetooth modul. Spisal sem tudi spremenljivke, ki shranjujejo trenutno pozicijo in vrsto za shranjevanje gibov, ki jih lahko uporabnik posname za avtomatsko gibanje.

```
#include<SoftwareSerial.h>
#include <Servo.h>

Servo servo01;
Servo servo02;
Servo servo03;
Servo servo04;
Servo servo05;

SoftwareSerial Bluetooth(3, 4); // Arduino(RX, TX) - HC-05 Bluetooth (TX, RX)
int servo1Pos, servo2Pos, servo3Pos, servo4Pos, servo5Pos;
int servo1PPos, servo2PPos, servo3PPos, servo4PPos, servo5PPos;
int servo01SP[50], servo02SP[50], servo03SP[50], servo04SP[50], servo05SP[50];
int speedDelay = 20;
int index = 0;
String dataIn = "";
```

Slika 14: Začetni del programa za krmiljenje mikrokrmilnika

Določiti sem moral, na kateri digitalni enoti na vezju se nahaja določen servomotor. Enako sem storil za Bluetooth modul (vse priklopne enote so se morale ujemati z elektro shemo). Robotski roki sem določil tudi začetni položaj, ki je skozi celoten program ostal enak. Začetni položaj robotske roke naj bi bil najbolj optimalen za nas.

```
void setup() {  
  servo01.attach(5);  
  servo02.attach(6);  
  servo03.attach(7);  
  servo04.attach(8);  
  servo05.attach(9);  
  Bluetooth.begin(38400); //osnoven "baud rate" za modul  
  Bluetooth.setTimeout(1);  
  delay(20);  
  // Začetni položaj robotske roke  
  servo1PPos = 90;  
  servo01.write(servo1PPos);  
  servo2PPos = 150;  
  servo02.write(servo2PPos);  
  servo3PPos = 35;  
  servo03.write(servo3PPos);  
  servo4PPos = 140;  
  servo04.write(servo4PPos);  
  servo5PPos = 85;  
  servo05.write(servo5PPos);  
}
```

Slika 15: Del programa za začetni položaj roke

V programu sledi zanka, ki konstantno preverja, ali Bluetooth modul prejema kakršne koli informacije iz telefona. Če jih prejema, se vklopi naslednja funkcija, ki shrani podatke v spremenljivke. Ob prihodu teh novih informacij mikrokontroler izvede potrebne premike.

```
if (Bluetooth.available() > 0) {  
  dataIn = Bluetooth.readString();  
}
```

Slika 16: Del programa, ki preverja Bluetooth modul

7.2. Računalniško programiranje

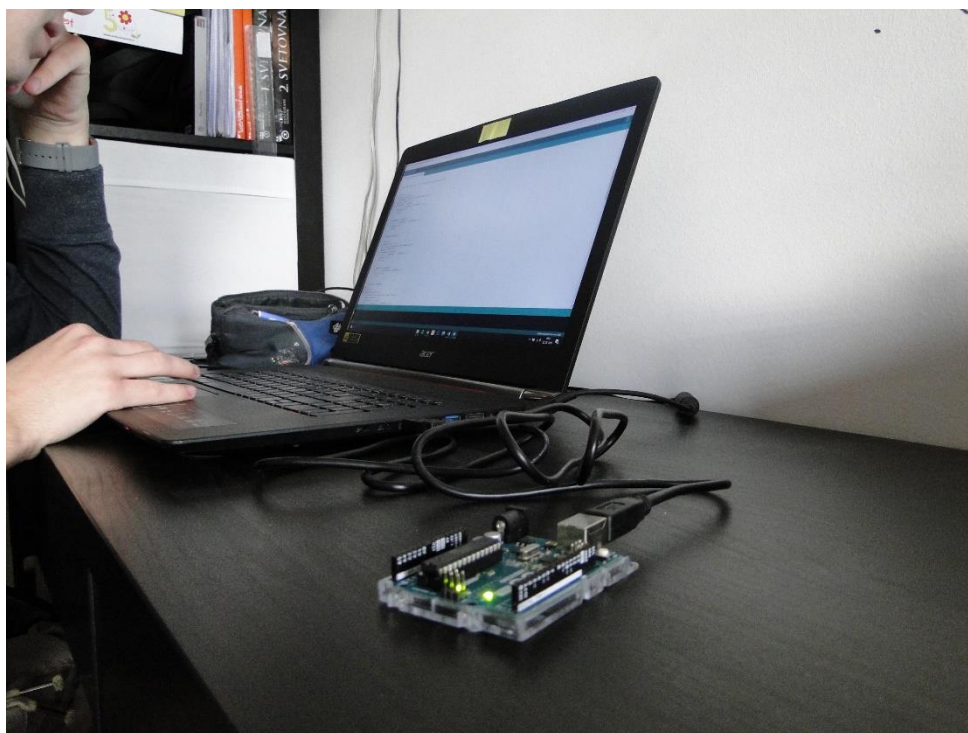
Računalniško programiranje je dejavnost, katere cilj je ustvarjanje novih računalniških programov ali njihovih sestavnih delov na temelju določenih pravil. Programiranje oziroma implementacija abstraktnega algoritma je le ena izmed faz procesa razvoja programske opreme. Beseda »kodiranje« se je za dejavnost računalniškega programiranja v današnjih časih precej uveljavila. Računalniški programi so napisani v izvorni kodi določenega programskega jezika, pri delu pa si programer lahko pomaga z ustreznimi razvojnimi orodji.

Programira se lahko v različnih programskih jezikih, ki so glede na svoj nivo kategorizirani od prve do pete generacije, npr. JavaScript, COBOL, paskal, zbirni jezik, prolog, C#, BASIC, C, C++, Python ipd.

Pri razvoju programske opreme poznamo faze razvoja, ki si morajo za uspešno delovanje slediti v sledečem vrstnem redu:

1. specifikacija oz. opis problema,
2. analiza problema,
3. načrtovanje algoritma,
4. pisanje oziroma implementacija programa,
5. preizkušanje in vzdrževanje programa.

Vsaka zaporedna faza mora biti uspešno opravljena pred naslednjo. Samo tako lahko dosežemo željene rezultate.



Slika 17: Jaz ob programiranju mikrokrmilnika

8. KOMENTAR

Naloga, ki sem si jo postavil, se mi je zdela izredno zanimiva, definitivno zaradi tako interdisciplinarnih ved, katerih poznavanje zahteva robotika. Skozi celotno nalogo sem se naučil veliko novega, konstantno sem reševal probleme, na katere sem naletel.

Popravki moje naloge bi lahko zajemali spremembe v snovanju same robotske roke, zamenjal bi lahko tudi servomotorje za nekoliko bolj zmogljive (vsaj na spodnjem delu robotske roke).

Opravljen nalogo vidim kot uspešno in jo z veseljem predstavljam kot mojo.

9. VIRI

Slika 1/17.3.2020/ <https://ardubotics.eu/en/robotic-arms-and-grippers/401-diy-4-axis-servos-control-palletizing-robot-arm-model-for-arduino-uno-mega2560.html>

Slika 2/11.5.2020/neznan avtor, zasebni članek o robotiki

Viri vseh preostalih slik: lasten

3d Tiskanje/17.3.2020// <http://mladiraziskovalci.scv.si/ogled?id=1551>

Servomotorji/učni list-ELEKTRIČNI POGONI(različni avtorji, Franc Štavs, Zdravko Žalar, Jamnik Robert)

Mikrokontrolniki/17.3.2020/ <https://en.wikipedia.org/wiki/Microcontroller>

Arduino Uno Rev3/10.9.2019/ <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>

Električne sheme/17.3.2020/ http://erid.tsckr.si/10/caddy_navodila/uvod.html

Rač. Programiranje/18.3.2020/ Uvod v programiranje in programski jezik C++ (Viljem Žumer, Janez Best)// https://www.ric.si/splosna_matura/predmeti/informatika/

Teorija robotike/11.5.2020/članek o robotiki 1.del

10. PRILOGE

