

# PROJEKTIRANJE EDUKACIJSKOG MOBILNOG ROBOTA S DIFERENCIJALNOM KONFIGURACIJOM POGONA

---

**Posavec, Nikola**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:474675>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-03**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

# PROJEKTIRANJE EDUKACIJSKOG MOBILNOG ROBOTA S DIFERENCIJALNOM KONFIGURACIJOM POGONA

---

**Posavec, Nikola**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:474675>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2023-02-15**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
*Stručni studij Mehatronike*

Nikola Posavec

**Projektiranje edukacijskog mobilnog  
robota s diferencijalnom konfiguracijom  
pogona**

**Design of an educational mobile robot  
with differential drive configuration**

Završni rad

Karlovac, 2020. godine.



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
*Stručni studij Mehatronike*

Nikola Posavec

**Projektiranje edukacijskog mobilnog  
robota s diferencijalnom konfiguracijom  
pogona**

**Design of an educational mobile robot  
with differential drive configuration**

Završni rad

mentor:

Denis Kotarski, mag.ing.mech.

Karlovac, 2020. Godine

## **PREDGOVOR**

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena u dosadašnjem dijelu studija te uz navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svojoj obitelji koja mi je omogućila školovanje te bila potpora kroz isto, prijateljima koji su mi pomagali i uljepšavali studijsko doba.

Posebno hvala profesoru i mentoru Denisu Kotarskom, na svim savjetima, prijedlozima i strpljenju u izradi ovog završnog rada.

Nikola Posavec

## Sadržaj:

Sažetak .....	II
Summary .....	II
Popis slika .....	III
1 Uvod.....	1
2 Programska okruženja.....	4
2.1 ARDUINO razvojno sučelje.....	4
2.2 SCRATCH.....	5
2.2.1 mBlock .....	6
3 Izvedba mobilnog robota .....	7
3.1 Robot s diferencijalnim pogonom .....	7
3.2 Komponente mobilnog robota .....	9
3.2.1 micro:bit .....	10
3.2.2 Elektromotorni servo pogon.....	11
3.2.3 Senzori mobilnog robota .....	13
4 Projektiranje zadatka i realizacija upravljanja .....	16
4.1 Bluetooth upravljanje - 2 micro:bita.....	16
4.2 Izbjegavanje prepreka .....	21
4.3 Praćenje linije .....	24
4.4 Kombinacija programa .....	26
5 ZAKLJUČAK .....	28
LITERATURA.....	29
Prilozi .....	31

## **Sažetak**

Roboti su sve većim dijelom prisutni na tržištu, bilo da se radi o robotima za razonodu, robotima za izvršavanje nekog rada ili o robotima namijenjenima edukaciji. U ovom završnom radu tema je edukacijski mobilni robot koji se sastoji od više komponenti. Jezgra robota je Microbit, malo programsko „računalo“ koje je namijenjeno edukaciji. Programira se u SCRATCHU, za kojeg ne treba nikakav program već je dostupan on-line. Potreban nam je samo micro:bit, računalo te internetska veza da bi mogli zakoračiti u svijet programiranja.

## **Summary**

Robots have already been on market for some time, whether they be recreational robots, robots to do some work, or robots intended for education. In this final paper I will deal with a multi-component educational robot. The core of the robot is micro:bit, a little programmed "computer" designed for education. It is programmed in SCRATCH, and it does not require any program, it is available online. All we need is micro:bit, a computer and an internet connection to get into the programming world.



## Popis slika

Slika 1: MIT Biomimetic Robotic Lab Cheetah v2 [15].....	2
Slika 2: Robot sa gusjenicama [15].....	2
Slika 3 : Edukacijski robot „mBot“.....	2
Slika 4: BBC Micro.....	3
Slika 5: BBC Micro:Bit.....	3
Slika 6: Programsko sučelje ARDUINO IDE [5] .....	5
Slika 7: Ikona scratch programa [6] .....	6
Slika 8: Programsko sučelje mBlock [12].....	6
Slika 9: Izvedbe mobilnog UGV robota [14] .....	7
Slika 10: Prikaz robota u kartezijevom koordinatnom sustavu [14] .....	8
Slika 11: Shematski prikaz robota [14].....	8
Slika 12: Kotač mobilnog robota [14].....	9
Slika 13: Razvojna pločica.....	10
Slika 14: Prednja strana Microbita.....	11
Slika 15: Zadnja strana Microbita.....	11
Slika 16: Priključna pločica.....	11
Slika 17: Servo motor FT90MR i njegove dimenzije [7].....	12
Slika 18: Princip rada ultrazvučnog senzora [8] .....	13
<b>Slika 19: Prednja i zadnja strana ultrazvučnog senzora HC-SR04.....</b>	<b>14</b>
Slika 20: Četiri slučaja položaja senzora.....	15
Slika 21: Prednja i zadnja strana senzora HW-006 v1.2 .....	15
Slika 22: Program upravljanja Bluetooth odašiljačem .....	18
Slika 23: Primjer komunikacije dva micro:bita kada robot(desni micro:bit) dobiva naredbu (lijevi micro:bit) .....	19
Slika 24: Definiranje naredbi - tablica 4 .....	19
<b>Slika 25: Program upravljanja Bluetooth primateljem (robotom) .....</b>	<b>20</b>
Slika 26: Testiranje prve verzije programa za izbjegavanje prepreka.....	21
Slika 27: Prikazuje prepreku udaljenu više od deset centimetara od senzora te je upaljena zelena LED-dioda.....	22

Slika 28: Prikazuje prepreku udaljenu između 5-10 centimetara od senzora i upaljena je žuta LED-dioda.....	22
Slika 29: Prikazuje upaljenu i žutu i crvenu LED-diodu pošto je prepreka na manje od 5 centimetara.....	23
Slika 30: Finalna verzija mobilnog robota za izbjegavanje prepreka.....	23
Slika 31: Kod programa za izbjegavanje prepreka.....	24
Slika 32: Testiranje senzora za praćenje linije .....	25
Slika 33: Testiranje programa za praćenje linije .....	25
Slika 34: Kod programa za praćenje linije .....	26
Slika 35: Robot spreman za testiranje programa.....	27
Slika 36: Kod upravljanja kombinacijom programa .....	27

## Popis tablica

Tabela 1: Specifikacije servo motora FT90MR	17
Tabela 2: Specifikacije senzora HC-SR04	19
Tabela 3: Specifikacije senzora HW-006 v1.2	20
Tabela 4: Upravljački signali i funkcije odašiljača	21

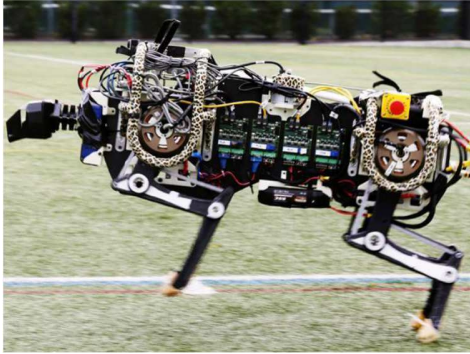
# 1 Uvod

Robotika je primijenjena tehnička znanost koja predstavlja spoj strojeva i računalne tehnike. Ona uključuje različita područja kao što su projektiranje strojeva, teoriju upravljanja i regulacije, računalno programiranje, mikroelektroniku. Drugim riječima, robotika je interdisciplinarna znanost koja pokriva područja mehanike, elektronike, informatike i automatizacije [1].

U daljnjem tekstu ukratko će biti opisani mobilni i edukacijski roboti te micro:bit pošto se ovaj rad zasniva na tome.

## 1.1 Mobilni roboti

Mobilni roboti su pokretani i manipulativni fizički sustavi sposobni za autonomno gibanje kroz nestrukturirani prostor ostvarujući pritom interakciju s okolinom. Postoji mnogo različitih vrsta mobilnih robota, a razlikuju se po građi sustava za pokretanje, navođenje... Pa tako imamo mobilne robote pokretane kotačima, nogama, gusjenicama, podvodne robote itd. Postoji i podjela na: autonomne mobilne robote i teleoperatorske mobilne robote. Autonomni mobilni roboti razlikuju se od teleoperatorskih mobilnih robota po razini sposobnosti samostalnog izvođenja zadatka. Radni zadaci mobilnih robota uvelike se razlikuju od radnih zadataka industrijskih robota [2]. U početku njihova razvoja te razlike se nisu toliko uočavale, ali razvojem industrijske robotike, razvijali su se i mobilni roboti. Od pedesetih do sredine osamdesetih godina ovog stoljeća, mobilna robotika se svrstavala u podskupinu industrijske robotike. Ali od sredine osamdesetih godina mobilna se robotika počinje izdvajati u samostalnu, prije svega znanstvenu disciplinu, koja se, za razliku od industrijske robotike, temelji na iskustvima bioloških istraživanja građe i ponašanja živih organizama. Svaki mobilni robot mora imati sustav za pokretanje, sustav za navođenje i upravljački sustav [3].



Slika 1: MIT Biomimetic Robotic Lab Cheetah v2 [15]



Slika 2: Robot sa gusjenicama [15]

## 1.2 Edukacijski roboti

Roboti koji spadaju u grupu mobilnih robota, no primjenjuju se samo u svrhu edukacije. Imaju jednostavno sučelje za programiranje, konstrukcija samog robota je jednostavna za sastavljanje.



Slika 3 : Edukacijski robot „mBot“

## 1.3 BBC Micro:bit

Osamdesetih godina prošlog stoljeća BBC Micro računalo je predstavljeno generaciji budućih programera, od kojih su mnogi, kasnije, stvorili uspješne karijere u toj industriji. BBC micro:bit je nova generacija „džepnog računala“. Iako je 17 puta manje i 617 puta lakše nego BBC Micro, računalo koje je predstavilo programiranje čitavoj generaciji mladih ljudi, BBC Micro Bit računalo je i 18 puta brže.



Slika 4: BBC Micro

Micro:bit je mnogo napredniji nego njegov stariji rođak, ali programiranje na njemu je dizajnirano da bude najlakše moguće. Računalo je kompatibilno s naprednim programskim jezicima poput Pythona i C++, a Microsoft donosi i dva dodatna programa – Microsoft TouchDevelop (tekstualno programiranje) i Microsoft Blocks (grafički programski jezik) – kako bi se olakšalo kodiranje [10].



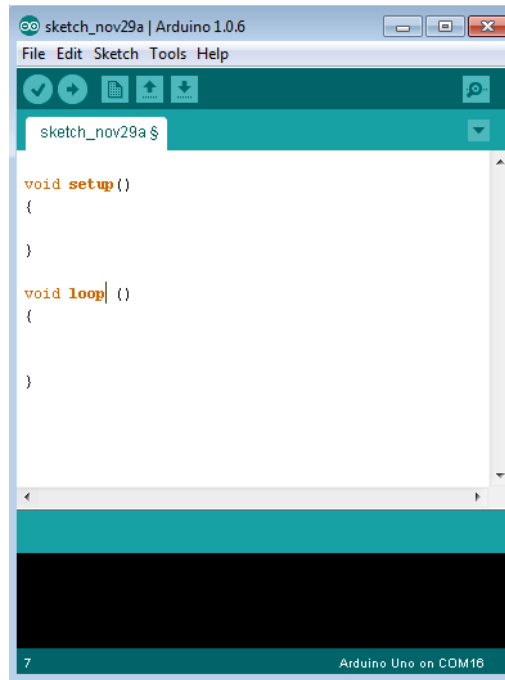
Slika 5: BBC Micro:Bit

## 2 Programska okruženja

Kod početka programiranja, suočavamo se sa problemom izbora takozvanog programskog okruženja. Pod programskim okruženjem podrazumijeva se skup softverskih alata pomoću kojih programer projektira i razvija programe. Programsko okruženje uvijek uključuje editor, kompajler (engl. *compiler*), biblioteku prethodno razvijenih programa (engl. *run tim environment*), dibager (engl. *debugger*). Osim ovoga, programeru mogu biti na raspolaganju i drugi softverski alati kao što su alati za analizu i projektiranje sistema (UML, na primjer) alati za grafički dizajn korisničkog sučelja itd [4].

### 2.1 ARDUINO razvojno sučelje

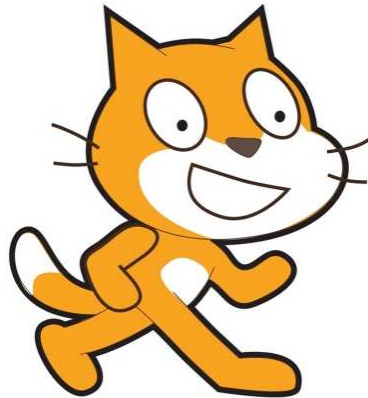
Arduino je ime za otvorenu računalnu i softversku platformu koja omogućava dizajnerima i konstruktorima stvaranje uređaja i naprava koje omogućuju spajanje računala s fizičkim svijetom. Ne postoji programski jezik koji je određen za Arduino, jer je krajnji izvršni program u binarnom strojnom jeziku i sav rad pretvaranja iz programskog jezika u binarni kod vrši program prevoditelj (engl. *compiler*). U praksi mnogi programeri rabe integrirano programsko okruženje IDE, razvijeno za Arduino, koje je dostupno za mnoge operacijske sustave. Ovaj IDE također posjeduje posebne prozorčice koji prikazuju razne statuse i naredbene tipke za mnoge zajedničke funkcije, te niz izbornika. Postoje i drugi IDE-ovi koji se mogu rabiti za razvijanje programa za Arduino i jedan od njih je i AVR Studio i Amtel Studio koji se može dobiti od proizvođača mikroprocesora koji se rabe u Arduinu. Mnogi Arduino programi napisani su inačicama programskog jezika C ili C++ koje rabe biblioteku rutina koje su razvili mnogi korisnici i koje je podržano od strane Arduino IDE-a. Važno je napomenuti da je ova platforma „open-source“, to jest da je besplatna za sve inačice i za sve operativne sustave (Windows, Linux, Mac). Koristi se sve više u nastavi, podloga je programu pod nazivom SCRATCH, u kojem se programira micro:bit ili mBot [5].



Slika 6: Programsko sučelje ARDUINO IDE [5]

## 2.2 SCRATCH

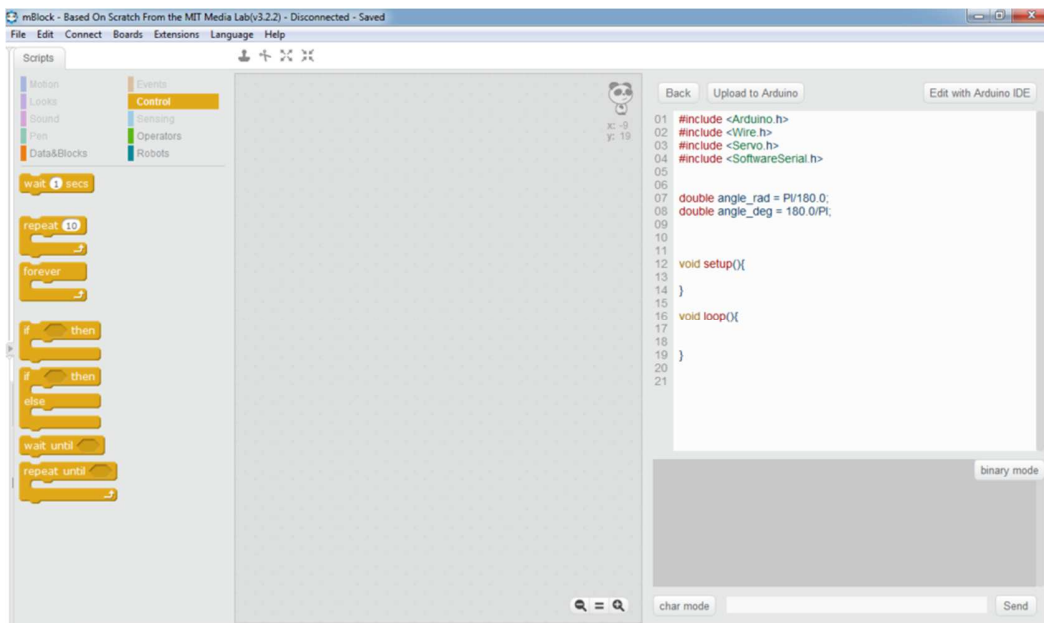
Besplatni programski jezik koji je poseban po svome vizualnom i dinamičnom sučelju. Svi blokovi nam se nalaze u knjižnicama podijeljeni u više grupa. Program je prvenstveno kreiran za djecu, zbog svoje jednostavnosti korištenja. Koristimo ga kod programiranja micro:bita te kod programiranja mBota. Scratch je izrađen posebno za dob od 8 do 16 godina, ali koriste ga ljudi svih dobnih skupina. Milijuni ljudi programiraju u Scratchu različitim sredinama, uključujući domove, škole, muzeje, knjižnice i društvene centre. Scratch se koristi u više od 150 zemalja i dostupan je na više od 40 jezika. Učenici uče Scratch programiranje na svim razinama (od osnovne škole do fakulteta) i u različitim disciplinama (poput matematike, informatike, jezika, društvenih studija). Učitelji razmjenjuju iskustva, resurse, postavljaju pitanja i pronalaze ljude na [ScratchEd](#) mrežnoj stranici [6].



Slika 7: Ikona scratch programa [6]

### 2.2.1 mBlock

mBlock program baziran na blokovima, a kreiran za STEM edukaciju, a platforma mu je Scratch 3.0. Dozvoljava korisniku da programira robote, micro:bite i arduino, koristeći princip „drag and drop“, to jest uzimajući i ispuštajući blok koji nam treba na „radnu površinu“ programa. Preko njega možemo programirati i u programskim jezicima C ili Python. mBlock ima i jako raširenu zajednicu, za korisnike i za učitelje. Na njihovim stranicama se mogu naći već gotovi programi koji se mogu besplatno skinuti i uređivati [12].



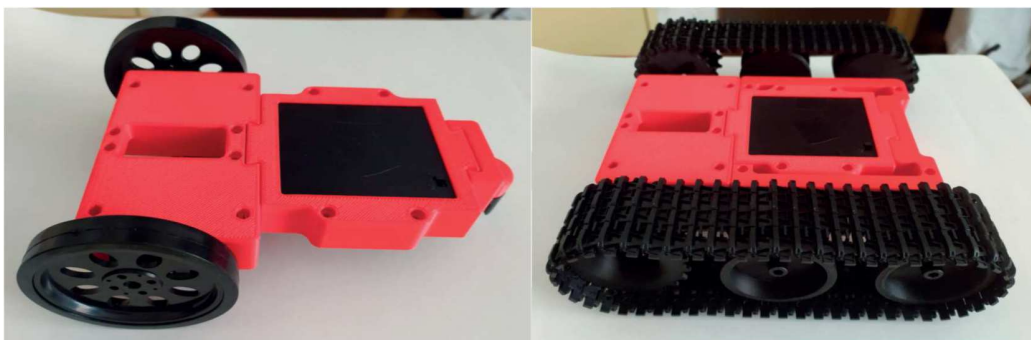
Slika 8: Programsko sučelje mBlock [12]



### 3 Izvedba mobilnog robota

#### 3.1 Robot s diferencijalnim pogonom

Izvedba robota s diferencijalnim pogonom sastoji se od 2 aktuatora (motora) te zbog svojih karakteristika i jednostavnosti predstavlja najčešću pogonsku konfiguraciju. Omogućena je rotacija u mjestu (bez translacije), kut zakreta robota (engl. *heading angle*) određen je razlikama brzina lijevog i desnog kotača.



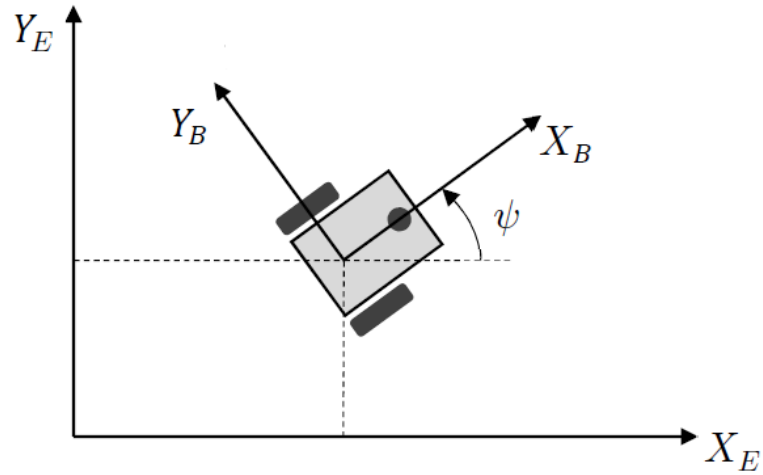
Slika 9: Izvedbe mobilnog UGV robota [14]

UGV roboti uglavnom egzistiraju u dvodimenzionalnom prostoru te imaju tri stupnja slobode gibanja (engl. *Degrees of Freedom - DOF*). Za opisivanje kinematike robota, potrebno je definirati dva Kartezijeva koordinatna sustava: inercijski koordinatni sustav ( $\mathcal{F}^E$ ) i koordinatni sustav mobilnog robota ( $\mathcal{F}^B$ ). Stupnjevi slobode predstavljeni su pozicijom ( $X, Y$ ) i orijentacijom ( $\psi$ ) robota koje definiraju stanje ( $\epsilon$ )

$$\epsilon = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ \psi \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Brzine robota u inercijskom koordinatnom sustavu definirane su sljedećom jednačbom

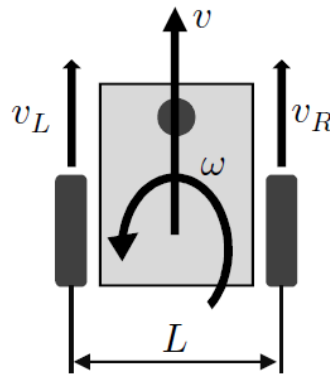
$$\begin{aligned} \dot{X} &= v \cos \psi, \\ \dot{Y} &= v \sin \psi, \\ \dot{\psi} &= \omega. \end{aligned} \quad (2)$$



Slika 10: Prikaz robota u kartezijskom koordinatnom sustavu [14]

Gibanje robota u 2D prostoru predstavljeno je translacijskom ( $v$ ) i rotacijskom ( $\omega$ ) brzinom koje su definirane u  $\mathcal{F}^B$ , a o kojima ovisi pozicija i orijentacija robota u  $\mathcal{F}^E$ . Translacijska i rotacijska brzina robota ovise o translacijskim brzinama lijevog i desnog kotača te o udaljenosti između kotača.

$$\begin{aligned} v &= \frac{v_R + v_L}{2}, \\ \omega &= \frac{v_R - v_L}{L}. \end{aligned} \quad (3)$$

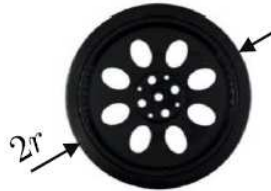


Slika 11: Shematski prikaz robota [14]

Translacijske brzine lijevog i desnog kotača ovise o kutnim (rotacijskim) brzinama kotača te o njihovom promjeru (radijusu).

$$\begin{aligned}v_R &= r\omega_R, \\v_L &= r\omega_L,\end{aligned}\tag{4}$$

gdje je  $r$  polumjer kotača robota.



Slika 12: Kotač mobilnog robota [14]

Konačne jednadžbe za translacijsku i rotacijsku brzinu robota

$$\begin{aligned}v &= \frac{r}{2}(\omega_R + \omega_L), \\ \omega &= \frac{r}{L}(\omega_R - \omega_L).\end{aligned}\tag{5}$$

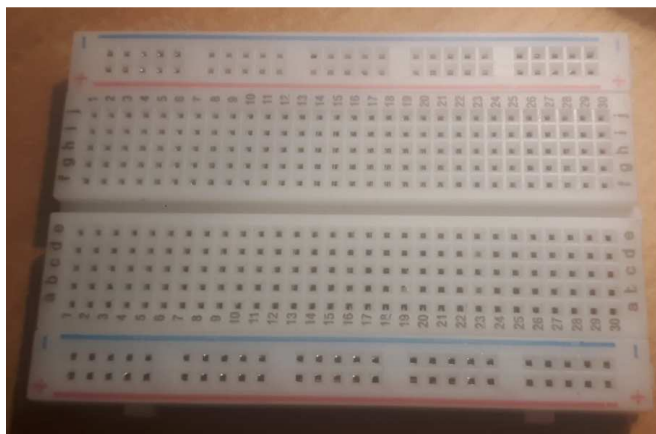
Rotacijske brzine kotača ovise o upravljačkom signalu, u slučaju elektromotornih servo aktuatora

$$\begin{aligned}\omega_R &= f(PWM_R), \\ \omega_L &= f(PWM_L).\end{aligned}\tag{6}$$

**Napomena:** s obzirom da su kod diferencijalne izvedbe pogona aktuatori postavljeni zrcalno, za isti upravljački signal će se rotirati u suprotnim smjerovima [14].

### 3.2 Komponente mobilnog robota

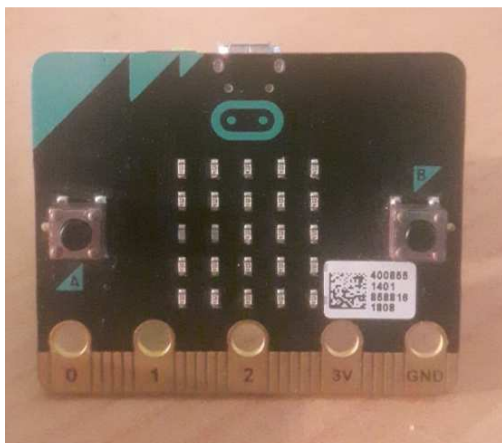
U komponente mobilnog robota možemo svrstati njegov pogon i razne senzore kojima je opremljen. Pogon robota izveden je preko servo motora sa kontinuirajućom rotacijom u jednom ili drugom smjeru (naprijed i nazad). Neki od senzora sa kojima robot može biti opremljen su: ultrazvučni senzor, senzor za praćenje linije, akcelerometar, magnetometar. Moramo naglasiti da sve komponente koje čine robot su kompatibilne sa microbitom. Spajaju se preko pinova na microbitu, a u slučaju većeg i zahtijevnijeg programa koristimo „breadboard“, odnosno razvojnu pločicu koja nam omogućava preglednije i jednostavnije povezivanje raznih vanjskih komponenti sa našom upravljačkom jedinicom (micro:bitom).



Slika 13: Razvojna pločica

### 3.2.1 micro:bit

Maleno računalo koje se može programirati, razvijeno u svrhu edukacije. Zamišljeno i oblikovano tako da nam učenje učini zabavnijim i jednostavnijim. Uređaj je veličine pola kreditne kartice. Senzori koji se nalaze na njemu su akcelerometar, žiroskop, kompas, magnetometar. Povezivanje je moguće preko USB kabla ili preko Bluetooth modula. Osim različitih senzora sastoji se i od 25 led dioda koje su smještene na prvoj strani, tri fizička gumba (dva sa prve strane za upravljanje programom i jedan za zadnje strane za reset) i utora za napajanje. Napajanje je moguće preko USB kabla ili preko dvije baterije (3v). Ulazi i izlazi micro:bita uključuju tri prstenasta konektora i dva dodatna za napajanje i uzemljenje, spajanje sa vanjskim elementima je moguće preko krokodilskih kopči ili banana čepova od 4mm. Uz prstenaste konektore sadrži i 25-pinski rubni priključak s dva ili tri izlaza za PWM (pulsno širinska modulacija), šest analognih ulaza i serijski input/output (ulaz/izlaz) [13]. Glavni dio završnog rada je upravo on.

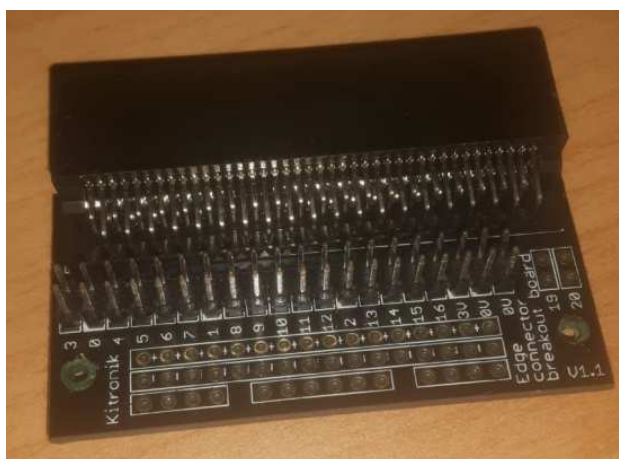


Slika 14: Prednja strana Microbita.



Slika 15: Zadnja strana Microbita.

Ako imamo zadatak programirati nešto kompleksnije (kao u ovom slučaju) tada nam nisu dovoljna samo tri izlaza kao što ima sam microbit. Kao nadogradnju za njega imamo pločicu koja na sebi ima mogućnost priključivanja svakog pina zasebno.

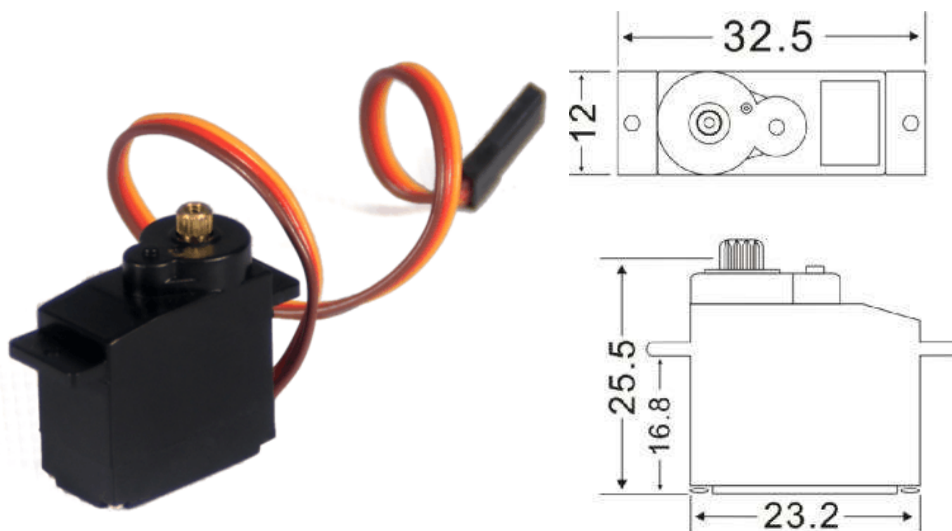


Slika 16: Priključna pločica

### 3.2.2 Elektromotorni servo pogon

Servomotor je elektromotor koji prema primljenom upravljačkom signalu zauzima određeni zakretni položaj (zakretni ili rotacijski servomotor) ili mjesto na nekoj putanji (pravocrtni ili linearni servomotor), odnosno razvija odgovarajući zakretni moment ili silu. Pokretanjem i zaustavljanjem servomotora upravlja se regulacijskim krugom, koji primljeni upravljački signal manje snage (električni, mehanički, pneumatski, hidraulički) pretvara u pomake, najčešće s većom izvršnom mehaničkom snagom (preko mehaničkog prijenosa - reduktora). Između regulacijskoga

dijela i servomotora obično se ugrađuje mjerni instrument (na primjer davač položaja ili enkoder), koji utvrđuje točan položaj (kut, pomak) izvršnoga dijela servomotora, te izmjereni položaj po potrebi popravljja (povratna veza). Servomotori se primjenjuju samostalno ili kao dijelovi servomehanizama u alatnim strojevima, strojevima za pakiranje, industrijskim robotima, kod upravljanja letjelicama, plovilima i drugom. Svaki servomotor ima 3 žice, najčešće smeđu (impuls), crvenu (plus), žutu (minus). Za pogon robota odabrani su servo motori kontinuirajućeg načina rada, oznake FT90MR. Njegove specifikacije su prikazane u tablici 1.



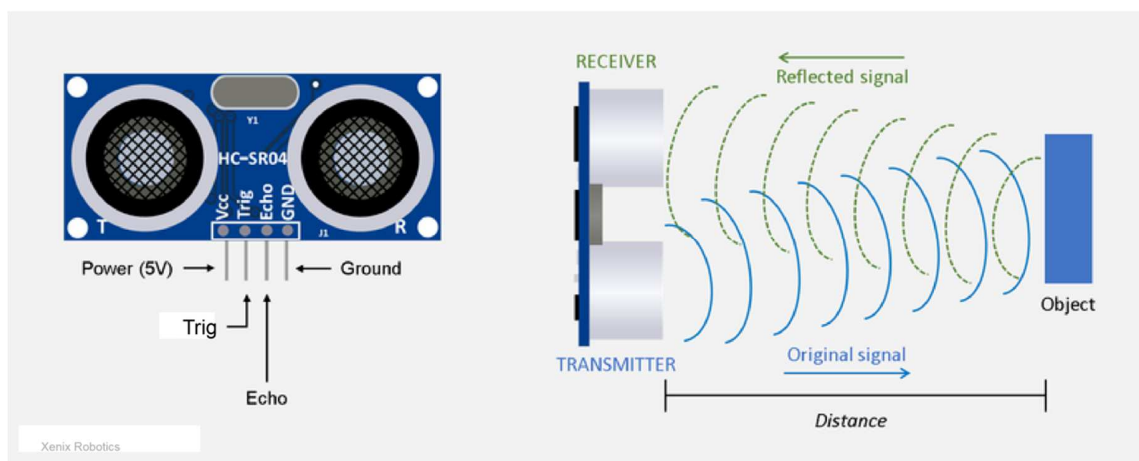
Slika 17: Servo motor FT90MR i njegove dimenzije [7]

Tabela 1: Specifikacije servo motora FT90MR

Radni napon	4.8 V – 6 V
Dimenzija	23.2 x 12.5 x 22.0 mm
Dužina žica	30cm
Brzina zakreta (4.8 V)	0.12sec/60°
Brzina zakreta (6 V)	0.10sec/60°
Zakretni moment (4,8 V)	1.5 kg /cm
Zakretni moment (6V)	1.8 kg/cm

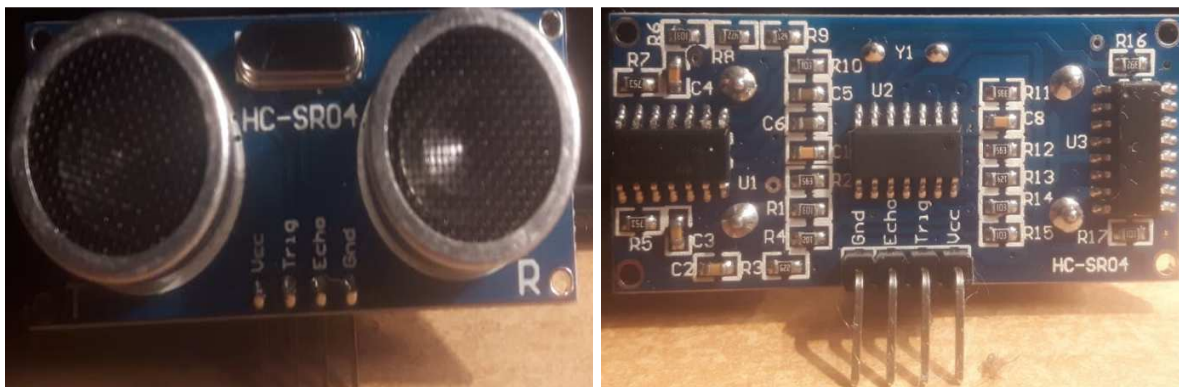
### 3.2.3 Senzori mobilnog robota

Ultrazvučni senzor se koristi za mjerenje udaljenosti između senzora i promatranog objekta. Način rada samog senzora je prilično jednostavan. Senzor emitira zvučne impulse visoke frekvencije (ultrazvuk) koji se prostiru do objekta koji se nalazi ispred samog senzora. Zvučni impulsi se odbijaju od objekta nazad prema senzoru. Mjerenjem vremena koje protekne od trenutka emitiranja vala iz samog senzora i trenutka kada se odbijeni val vrati do senzora uz poznatu brzinu prostiranja zvuka kroz zrak moguće je odrediti udaljenost objekta od senzora. Modul HC-SR04 koji se koristi za mjerenje udaljenosti korištenjem ultrazvuka je veoma praktičan i jednostavan za korištenje i primjenu u raznim projektima. Modul se povezuje sa razvojnom pločicom uz pomoć pinova koji su obilježeni na samom modulu. Dva pina su iskorištena za napajanje modula (Vcc i GND) a druga dva pina su nosioci signala za obradu (Trig i Echo). Rezolucija mjerenja je 0,3cm. Mjerni opseg je od 2cm do 500cm. Kut koji je pokriven prilikom mjerenja je 15 stupnjeva. Dva osnovna dijela modula na kojima se temelji princip rada su *trig* (prekidač) i *echo* (refleksija). Mikrokontrolerom (*microbitom*) se šalje 5V na *trig* pin modula u trajanju, minimalno, 10 mikrosekundi. Na taj način aktivira se ultrazvučni transduktor koji odašilje 8 impulsa od 40 kHz i čeka njihovu refleksiju. Kada senzor registrira reflektirani impuls šalje podatke natrag mikrokontroleru preko *echo* pina. Navedeni podaci su zapravo vrijeme trajanja reflektiranog pulsa, od 150 mikro do 25 milisekundi. Ako "jeka" traje duže od 35 milisekundi, senzor registrira da je predmet izvan dosega (Slika 18.) [8].



Slika 18: Princip rada ultrazvučnog senzora [8]





Slika 19: Prednja i zadnja strana ultrazvučnog senzora HC-SR04

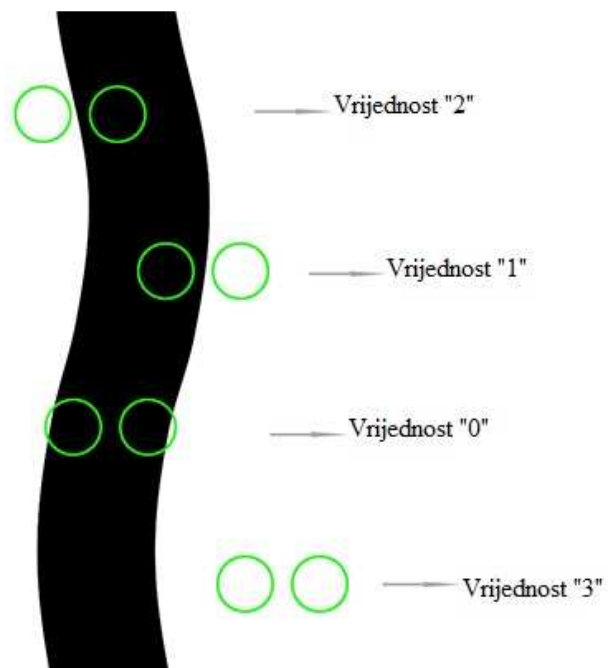
Tabela 2: Specifikacije senzora HC-SR04

Napon	5V
Struja	<2mA
Kut mjerenja	15 stupnjeva
Preciznost	3mm
Domet	2cm – 400cm

Senzor za praćenje linije ima IC (infracrveni odašiljač i prijemnik). Infracrveni odašiljač neprekidno emitira infracrvenu svjetlost kada se robot kreće. Infracrveno svjetlo se reflektira kada se robot susreće s bijelom ili nekom drugom svijetlom površinom i tada prijemnik prima infracrveni signal i upravljačkoj pločici šalje vrijednost 1. Ako se infracrveno svjetlo apsorbira ili se ne može reflektirati (na tamnijim površinama) prijemnik neće primiti infracrveni signal, ali šalje vrijednost 0 i pali crvenu LED diodu. Raspon detekcije je od par milimetara do 2cm [9]. Radi li se na programu koji treba pratiti liniju obavezna su nam dva senzora, pa uz to i četiri moguća slučaja koje senzor može poslati upravljačkoj pločici:

1. Oba senzora su na tamnoj podlozi (senzor1 = 0 i senzor2 = 0) – senzor šalje vrijednost 0
2. Prvi senzor je na tamnoj podlozi, a drugi na svijetloj (senzor1 = 0 i senzor2 = 1) – senzor šalje vrijednost 1
3. Prvi senzor je na svijetloj podlozi, a drugi na tamnoj (senzor1 = 1 i senzor2 = 0) – senzor šalje vrijednost 2
4. Oba senzora su na svijetloj podlozi (senzor1 = 1 i senzor2 = 1) – senzor šalje vrijednost 3





Slika 20: Četiri slučaja položaja senzora

Tabela 3: Specifikacije senzora HW-006 v1.2

Napon	3.3V~5V
Struja	<10mA
Preciznost	1~2cm
Veličina	10mm×28mm



Slika 21: Prednja i zadnja strana senzora HW-006 v1.2

## 4 Projektiranje zadatka i realizacija upravljanja

### 4.1 Bluetooth upravljanje - 2 micro:bita

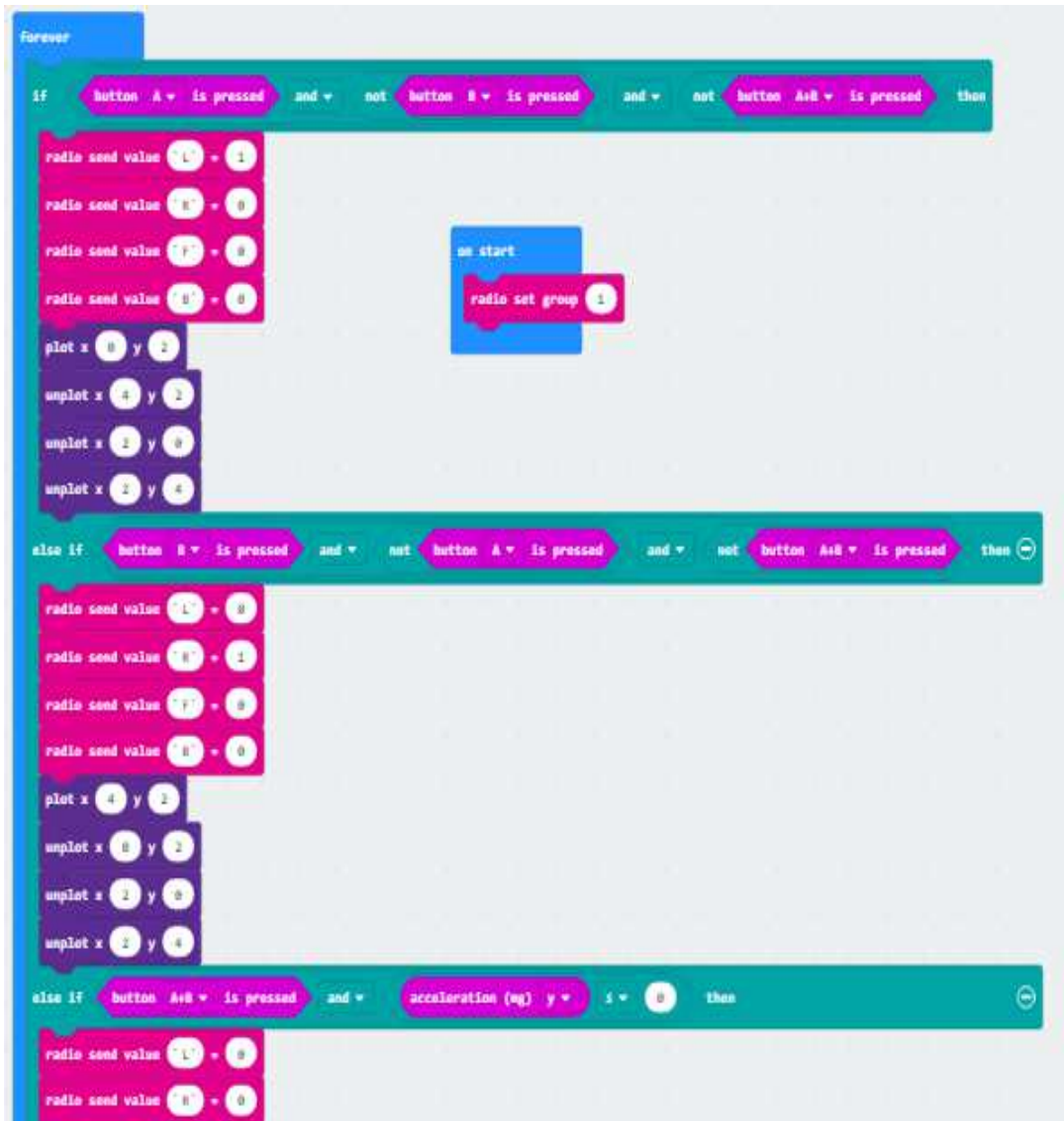
Micro:bit dolazi s bluetooth modulom čime je omogućena komunikacija s drugim uređajima preko bluetooth veze. Bluetooth veza može se koristiti za povezivanje micro:bita sa računalom, pametnim telefonom, tabletom ili drugim micro:bitom. Bluetooth veza može se koristiti i za međusobnu komunikaciju, odnosno slanje podataka između dva ili više micro:bitova. Korištenje ovog načina prijenosa podataka iznimno je jednostavno. Jedan micro:bit šalje podatak, a drugi ga prima (primaju). Pri ovome važno je napomenuti da je potrebno postaviti radio grupu kako bi uređaji prepoznali s „kim“ komuniciraju [11]. U slučaju ovog zadatka, bila su potrebna dva micro:bita, odašiljač i primatelj. Cilj zadatka je da pomoću jednog micro:bita (odašiljača) to jest daljinskog, upravljamo drugim (primateljem) to jest mobilnim robotom.

Program za upravljanje robota odnosno odašiljač biti će opisan u daljnjem tekstu. U scratch programu se postavio radio grupa koja je zajednička i odašiljaču i primatelju. Grupa služi za prepoznavanje dva micro:bita. Kreira se program u kojem robot poprima neku funkciju, u ovom slučaju vožnja naprijed, nazad, lijevo i desno. Program se skida na računalo, kopira se i zalijepi u mapu koja je određena za taj micro:bit. Program se prenosi preko USB-kabla. Upravljački signali i izlazne funkcije prikazani su u tablici.

Tabela 4: Upravljački signali i funkcije odašiljača

TIPKA A	LIJEVO ( <b>left</b> )
TIPKA B	DESNO ( <b>right</b> )
TIPKA A+B, AKCELERACIJA $\leq 0$	NAPRIJED ( <b>forward</b> )
TIPKA 1+B, AKCELERACIJA $> 0$	NAZAD ( <b>backward</b> )

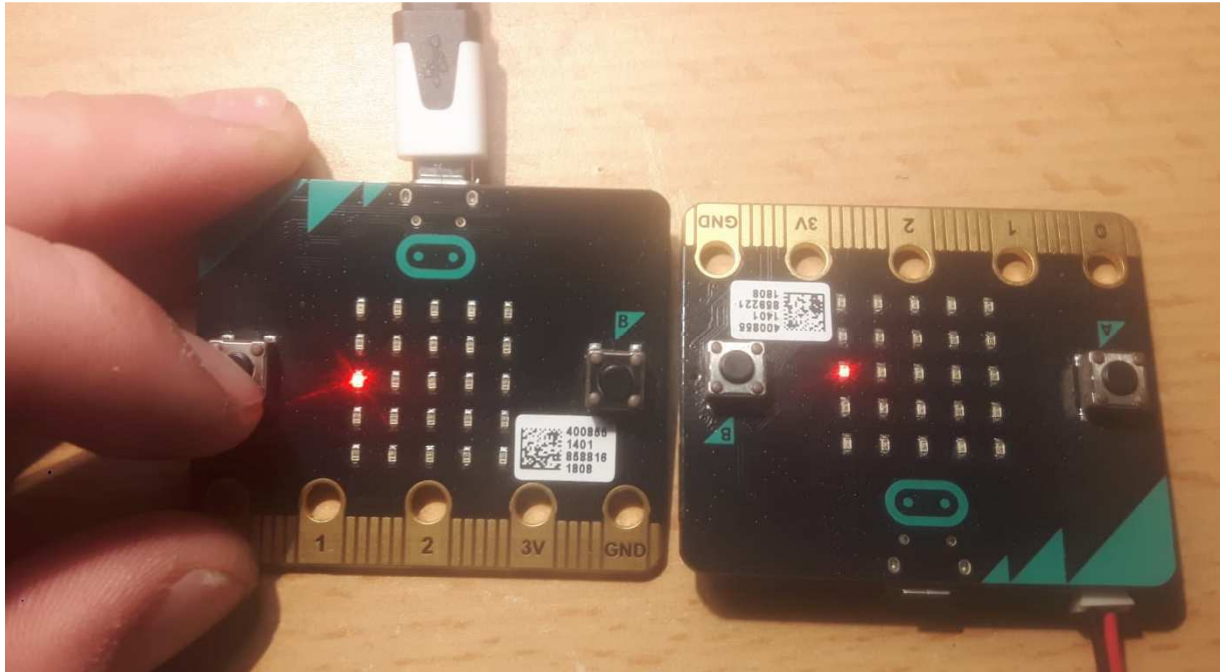
**Napomena:** zbog veličine, slika programa je podijelila na dva dijela.





Slika 22: Program upravljanja Bluetooth odašiljačem

Drugi dio zadatka sastoji se od micro:bit primatelja, to jest micro:bit je osnova preko kojeg se upravlja mobilni robot. U programu se dodaje ista radio grupa kao i kod odašiljača da bi se dva micro:bita mogla prepoznati te povezati. Dodaju se odgovarajući pinovi za servo motore to jest pogone te im se definira smjer i brzina okretaja. Zbog jednostavnijeg snalaženja ubacuju se svjetleće LED diode na prednjoj strani micro:bita kako bi se lakše razaznao smjer kretanja robota.



Slika 23: Primjer komunikacije dva micro:bita kada robot(desni micro:bit) dobiva naredbu (lijevi micro:bit)

```

on start
  radio set group 1

on radio received name value
  if name = "L" then
    set left to value
  +
  if name = "R" then
    set right to value
  +
  if name = "F" then
    set forward to value
  +
  if name = "B" then
    set backward to value
  +

```

Slika 24: Definiranje naredbi - tablica 4

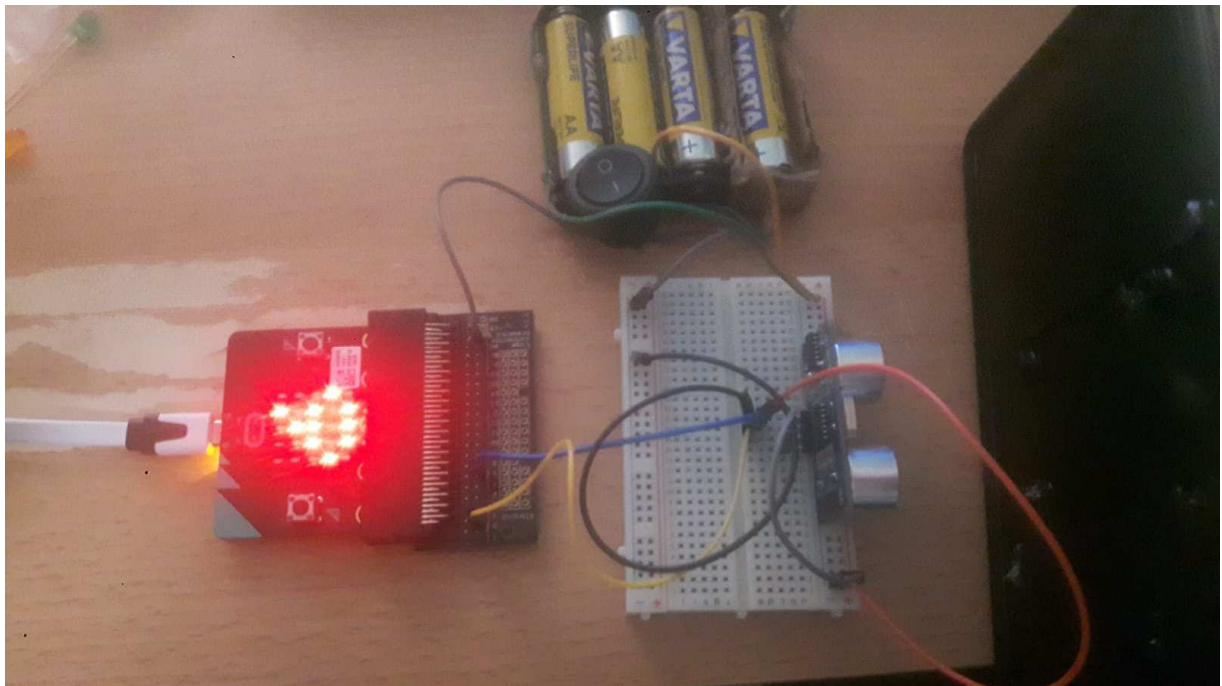
```
forever
  IF left == 1 and right == 0 and forward == 0 and backward == 0 then
    servo write pin P2 to 60
    servo write pin P1 to 60
    plot x 6 y 2
    unplot x 0 y 2
    unplot x 2 y 4
    unplot x 2 y 6
    unplot x 2 y 2
  ELSE IF left == 0 and right == 1 and forward == 0 and backward == 0 then
    servo write pin P2 to 120
    servo write pin P1 to 120
    plot x 6 y 2
    unplot x 4 y 2
    unplot x 2 y 4
    unplot x 2 y 6
    unplot x 2 y 2
  ELSE IF left == 0 and right == 0 and forward == 1 and backward == 0 then
    servo write pin P2 to 60
    servo write pin P1 to 120
    plot x 2 y 4
    unplot x 4 y 2
    unplot x 0 y 2
    unplot x 2 y 6
    unplot x 2 y 2
  ELSE
    servo write pin P2 to 50
    servo write pin P1 to 50
    plot x 2 y 2
    unplot x 4 y 2
    unplot x 0 y 2
    unplot x 2 y 4
    unplot x 2 y 6
```

Slika 25: Program upravljanja Bluetooth primateljem (robotom)



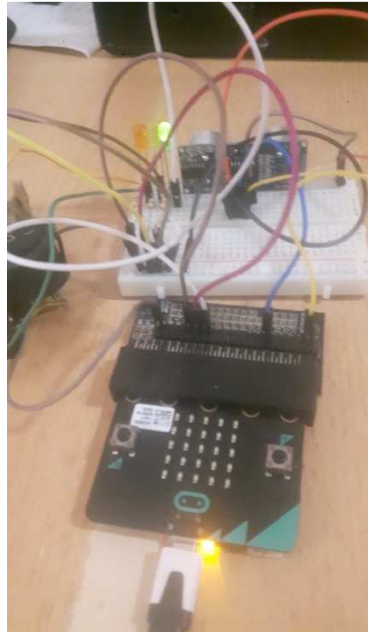
## 4.2 Izbjegavanje prepreka

Komponente robota koji ima za zadatak izbjegavanje prepreka su micro:bit, ultrazvučni senzor oznake HC-SR04, tri LED-diode i tri otpornika vrijednosti 47 ohma. LED- diode služe da bi robot mogao vizualno predstaviti udaljenost između sebe i predmeta koji mu se nalazi na putu. Zelena boja označava slobodno kretanje robota i nema prepreka na putu, žuta označava nailazak na prepreku to jest robot se nalazi 10 cm od prepreke a kada se približi manje od 5 cm pali se i žuta i crvena LED-dioda i robot se zaustavlja. Ultrazvučni senzor HC-SR04 koristi napajanje od najmanje 4.5V a pošto micro:bit opskrbljuje samo sa 3V dodaje mu se sekundarno napajanje od 6V. Prilikom spajanja ultrazvučnog senzora, njegov minus (GND) pin mora se spojiti sa minusom na micro:bit i sekundarnom napajanju. Slika 26. prikazuje testiranje prve verzije programa, sadržavala je očitavanje udaljenosti između robota i prepreke u centimetrima pomoću LED-dioda na prednjoj strani micro:bita, međutim u kasnijoj verziji je izbačena ta funkcija zbog premalog napajanja, a uvedene su LED-diode kao što je prije navedeno u tekstu.

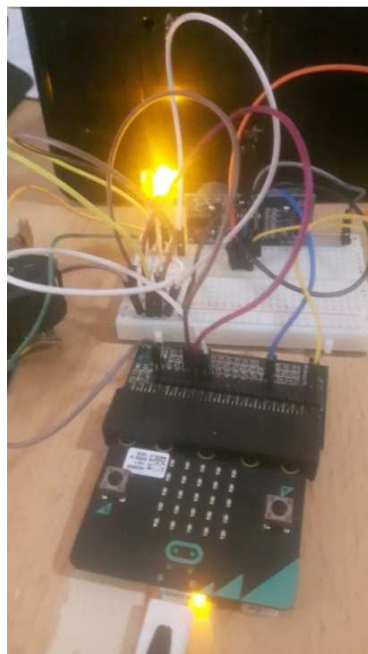


Slika 26: Testiranje prve verzije programa za izbjegavanje prepreka

Testiranje druge verzije programa, bez servo motora i šasijske prikazano je na slikama ispod. U drugoj verziji dodane su LED diode te njihovi otpornici od 47 ohma. Testiranje je izvedeno pomoću predmeta veće širine kako bi ultrazvučni senzor mogao sa sigurnošću detektirati predmet to jest prepreku. Izvedena su ukupno 3 testiranja, za 3 LED diode kao što je prikazano na slikama ispod.

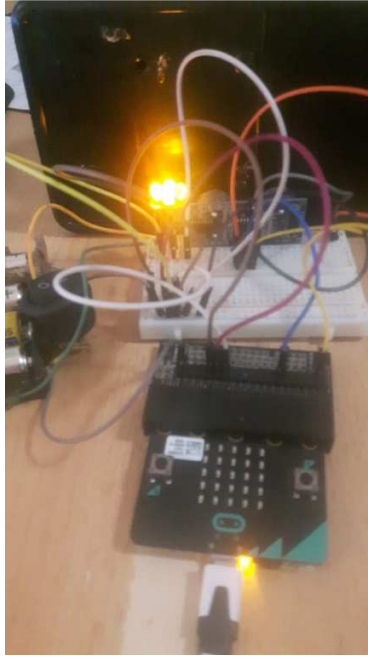


Slika 27: Prikazuje prepreku udaljenu više od deset centimetara od senzora te je upaljena zelena LED-dioda



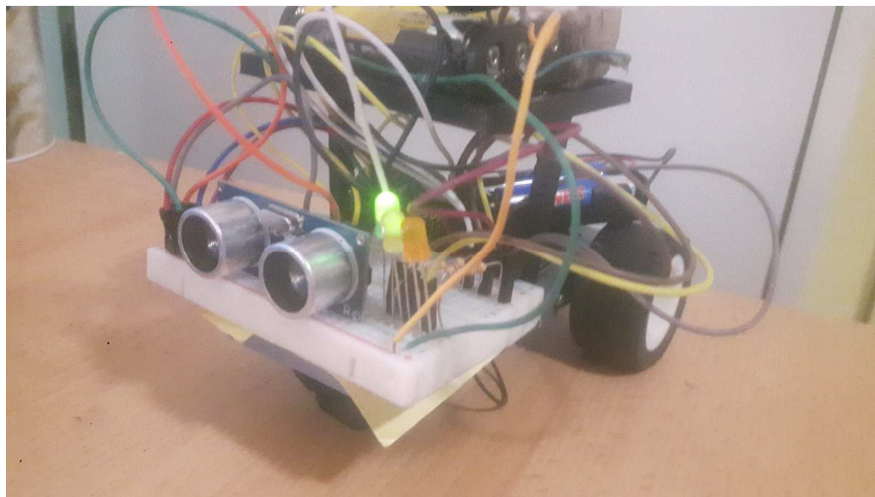
Slika 28: Prikazuje prepreku udaljenu između 5-10 centimetara od senzora i upaljena je žuta LED-dioda



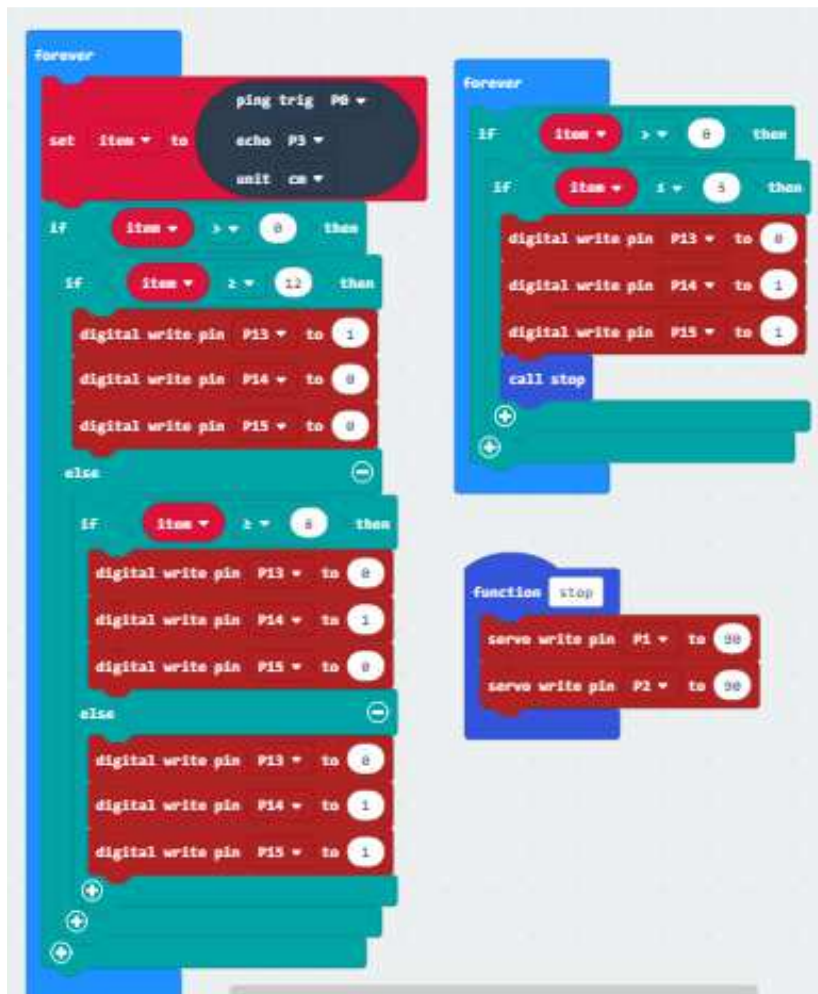


Slika 29: Prikazuje upaljenu i žutu i crvenu LED-diodu pošto je prepreka na manje od 5 centimetara.

Finalna verzija programa je objedinjenje druge verzije sa šasijom i servo motorima. Dodana je funkcija stop, to jest kada se pali crvena LED-dioda robot prepoznaje prepreku i staje odmah. Kućište sekundarnog napajanja printano je na 3D printeru ANET A8, te je u potpunosti konstruirano i printano kod kuće.



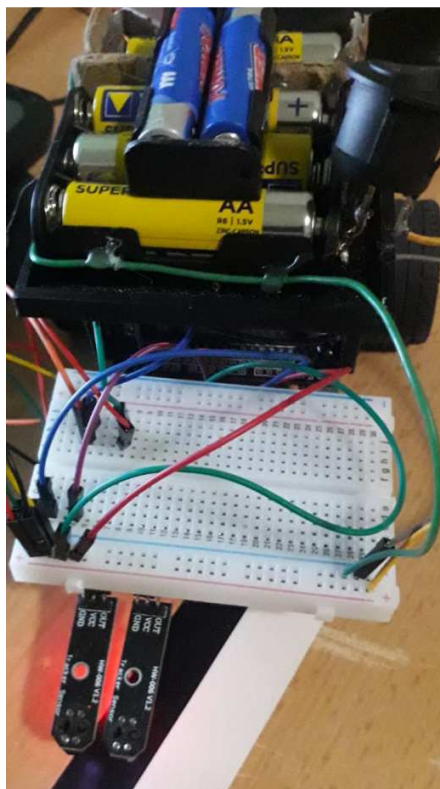
Slika 30: Finalna verzija mobilnog robota za izbjegavanje prepreka



Slika 31: Kod programa za izbjegavanje prepreka

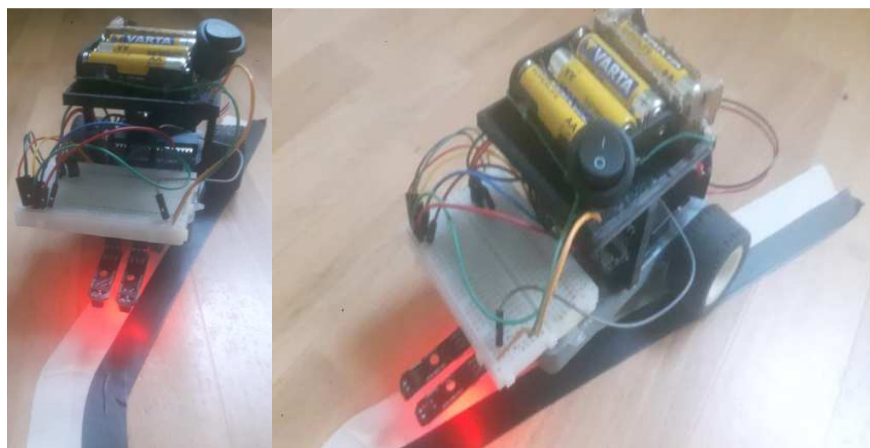
### 4.3 Praćenje linije

Cilj ovog zadatka je da se mobilni robot kreće samostalno prateći crnu liniju. Uz gibanje naprijed robot ima i funkcije poravnavanja lijevo i desno te gibanje unazad ako su oba senzora na bijeloj podlozi. Senzori koji prate crnu i bijelu podlogu su tipa HW-006 v1.2. Princip rada senzora opisan je u poglavlju 3.2.3. Prva verzija robota sastajala se od šasije samog robota, na koju su montirana dva servo motora (FT-90MR) te od senzora za praćenje linije koji su montirani na 3D isprintani model to jest „nosač“ koji se montira na šasiju. Početna testiranja izvedena su pomoću bijele i crne samoljepljive trake gdje su se senzori mogli kalibrirati to jest podesiti visina na kojoj se nalaze i širina između njih. Na slici 32. prikazan je robot na sredini crne i bijele linije i upaljen je jedan senzor dok je drugi isključen.

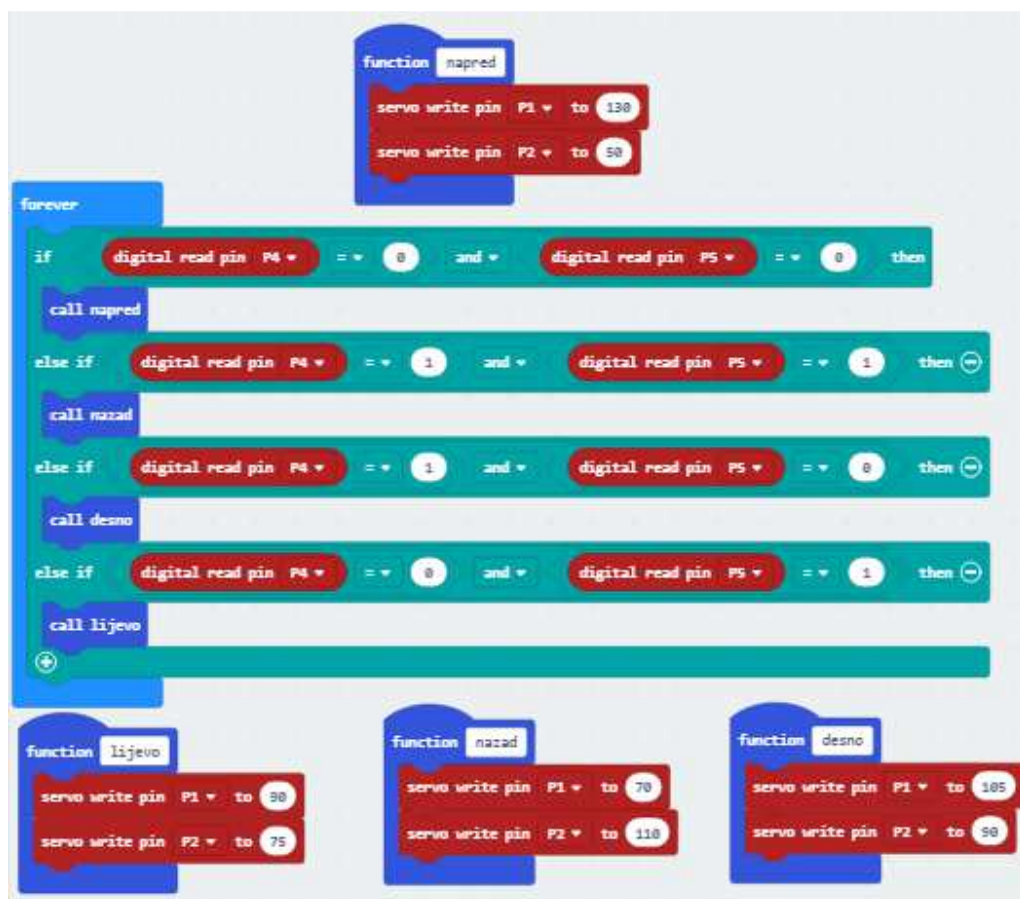


Slika 32. Testiranje senzora za praćenje linije

Konačno testiranje programa izvedeno je na „stazi“ koja je sadržavala i blagi zavoj te se robot pokazao kao uspješan u savladanju cijele staze. Na slici 33 prikazan je robot u izvršavanju programa.



Slika 33. Testiranje programa za praćenje linije

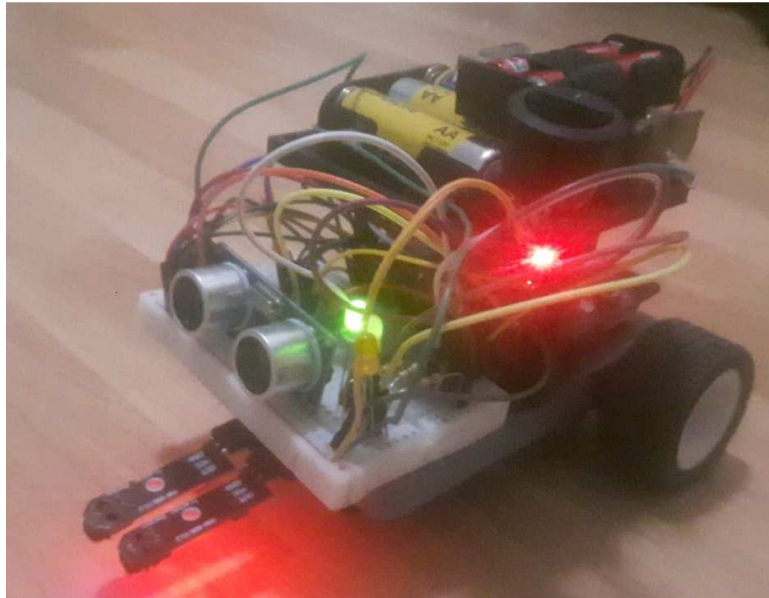


Slika 34: Kod programa za praćenje linije

#### 4.4 Kombinacija programa

Kombinacija programa podrazumijeva implementiranje programa za praćenje linije sa programom za izbjegavanje prepreka. Program je dosta složeniji zbog povećanog opsega samog koda, više komponenti se montira na šasiju robota, razvojna pločica postaje složenija i opterećenija. Cilj kombinacije programa je da se robot slobodno kreće prateći crnu liniju a kada se pojavi prepreka, ultrazvučni senzor ju zabilježi i robot staje. Program je testiran na „stazi“ na kojoj su i programi zasebno testirani te je robot uspješno obavio zadatak. Slika 35. Prikazuje robot sa svim komponentama koje su potrebne da bi kombinacija dvaju programa ispravno funkcionirala.





Slika 35: Robot spreman za testiranje programa

```

on start
  led enable true
  forever
    ping trig P0
    set itas to echo P3
    wait on
    if itas >= 8 then
    if itas >= 11 then
      digital write pin P13 to 1
      digital write pin P14 to 0
      digital write pin P15 to 0
    else
      if itas >= 8 then
        digital write pin P13 to 0
        digital write pin P14 to 1
        digital write pin P15 to 0
      else
        digital write pin P13 to 0
        digital write pin P14 to 1
        digital write pin P15 to 1
    end if
  end if
end forever

function nazad
  servo write pin P1 to 70
  servo write pin P2 to 120
end function

function napred
  servo write pin P1 to 130
  servo write pin P2 to 50
end function

function lijevo
  servo write pin P1 to 50
  servo write pin P2 to 75
end function

function desno
  servo write pin P1 to 105
  servo write pin P2 to 50
end function

function stop
  servo write pin P1 to 50
  servo write pin P2 to 50
end function

forever
  if digital read pin P4 == 0 and digital read pin P5 == 0 then
    call napred
  else if digital read pin P4 == 1 and digital read pin P5 == 1 then
    call nazad
  else if digital read pin P4 == 1 and digital read pin P5 == 0 then
    call desno
  else if digital read pin P4 == 0 and digital read pin P5 == 1 then
    call lijevo
  end if
end forever
  
```

Slika 36: Kod upravljanja kombinacijom programa

## 5 ZAKLJUČAK

Zadatak završnog rada bio je projektirati edukacijski mobilni robot sa diferencijalnom konfiguracijom pogona. Kako bi se lakše došlo do finalne verzije robota u radu su opisani roboti općenito, njihova podjela, vrste senzora koje su kompatibilne s robotom, micro:bit kao jezgra ovog završnog rada, komponente pogona to jest servo motori i vizualna predodžba samog projektiranja.

Tijekom testiranja i projektiranja sustava bilo je poteškoća sa sekundarnim napajanjem za pogon robota (servo motori), kalibriranje senzora za praćenje linije odnosno određivanje visine i širine između dva senzora. Problemi su otklonjeni ubacivanjem 6V napajanja iz 4 baterije, a problem kalibracije uzastopnim testiranjem robota prateći liniju. Naravno, finalna verzija ima mogućnost nadogradnje ali i nekih nedostataka. Kao nadogradnju bih istaknuo zatvoren sustav, to jest da razvojna pločica i priključna pločica imaju svoja kućišta pa bi i pregled žica bio puno ljepši, s time bi se riješila i nadogradnja i nedostatak.

## LITERATURA

[1] <http://www.znanje.org/i/i25/05iv03/05iv0318/robotika.html>

Datum pristupa: 19.11.2019

[2] <http://people.etf.unsa.ba/~jvelagic/laras/dok/Robotika>

Datum pristupa: 19.11.2019

[3] <http://people.etf.unsa.ba/~jvelagic/laras/dok/Lekcijam8.pdf>

Datum pristupa: 19.11.19

[4] <https://mef-lab.com/osnove-2015/Programska%20okru%C5%BEenja.pdf>

Datum pristupa: 19.11.19

[5] <https://www.arduino.cc/en/main/software>

Datum pristupa: 23.11.19

[6] <https://scratch.mit.edu/>

Datum pristupa: 23.11.19

[7] <https://www.robotshop.com/en/feetech-micro-metal-gear-continuous-digital-servo-ft90mr.html>

Datum pristupa: 02.12.2019

[8] <https://electronic.ba/2018/05/07/arduino-kroz-jednostavne-primjere-ultrazvucni-senzori-hcsr04/>

Datum pristupa: 02.12.2019

<https://e-radionica.com/hr/ultrazvucni-modul-hc-sr04.html>

Datum pristupa: 05.12.2019

[9] <https://www.waveshare.com/tracker-sensor.html>

Datum pristupa: 02.12.2019

<https://www.electfreaks.com/store/blog/post/create-a-line-follow-car-with-microbit.html>

Datum pristupa: 07.12.2019

[10] <https://pcchip.hr/ostalo/tech/bbc-microbit-sto-je-to-i-cemu-sluzi/>

Datum pristupa: 07.12.2019

[11] [http://os-vbecica-os.skole.hr/upload/os-vbecica-os/images/static3/1109/attachment/Uvod\\_u\\_microbit.pdf](http://os-vbecica-os.skole.hr/upload/os-vbecica-os/images/static3/1109/attachment/Uvod_u_microbit.pdf)

Datum pristupa: 09.12.2019

[12] <https://izradi.croatianmakers.hr/project/uvodno-o-mbotu/>

Datum pristupa: 20.11.2019

<https://makecode.microbit.org/#editor>

Datum pristupa: 19.11.2019

[13] <https://microbit.org/hr/>

Datum pristupa: 20.11.2019

[14] Osnove robotike: Laboratorijske vježbe 3, VUKA, Denis Kotarski

[15] Osnove robotike: Laboratorijske vježbe 1, VUKA, Denis kotarski



## **Prilozi**

1. CD-R