

Šolski center Celje
Poklicna in tehniška elektro in kemijska šola

HITRI ROBOT

Avtor:

Miha GRM, E-4.a

Mentor:

Peter KUZMAN, univ. dipl. inž. el.

Mestna občina Celje, Mladi za Celje

Celje, 2007

KAZALO

1. POVZETEK IN KLJUČNE BESEDE	3
1.1 Povzetek/Summary	3
1.2 Ključne besede/Keywords	4
2. UVOD	5
2.1 Predstavitev raziskovalnega problema	5
2.2 Teze	5
2.3 Opis raziskovalnih metod	5
3. OPIS DELOVANJA NAPRAVE	6
4. POTEK IZDELAVE	6
4.1 Predelava servo sistema	6
4.2 IR sprejemnik in oddajnik	7
4.2.1 IR sprejemnik	7
4.2.2 IR oddajnik	8
4.3 Krmiljenje DC motorjev	9
4.3.1 Vezalna shema za krmiljenje motorjev (robota)	9
4.3.2 Pogled čipa od zgoraj in njegov logični diagram	9
4.3.3 Zgradba čipa L 293 NE	10
4.3.4 Vezava za samo eno stran vrtenja in potrebne kombinacije vhodov	10
4.3.5 Vezava za obe smeri vrtenja in potrebne kombinacije vhodov	11
4.3.6 Karakteristični podatki	11
4.4 Napajalni del	12
4.5 Priključitev mikrokrmilnika AT89C2051	13
4.5.1 Reset	13
4.5.2 Oscilator	13
4.5.3 Strojni cikel	14
4.6 Signalizacija zaznavanja ovire	14
4.7 Slike robota	15
4.8 Programator	16
4.8.1 Emulator mikrokrmilnikov	18
4.9 Razprava	19
5. ZAKLJUČEK	20
6. VIRI IN LITERATURA	21
7. ZAHVALA	22
8. PRILOGA	23
8.1 Električna shema robota	23

1. POVZETEK IN KLJUČNE BESEDE

1.1 Povzetek/Summary

Postavil sem si cilj, da bi naredil zelo hitrega robota, ki bi kar najhitreje prevozil labirint. Tako je nastal robot, ki je sposoben samodejno prevoziti labirint. Naloga je zahtevala elektro-mehansko znanje, saj robot za pogon uporablja mehanske sklope, ki jih krmili elektronika. Pri izvedbi sem preučil delovanje IR senzorjev, krmiljenje enosmernih motorjev, predelavo servo motorjev in uporabo časovnika NE 555.

I set my research goal to make a very quick: robot that would drive the maze most quickly. So the robot is made that is capable of driving the maze automatically. The research work has demanded the elektro-mechanical knowledge, because the mechanical assemblies are used for driving it. The electronics takes over the driving control. While researching I studied the activity of the IR sensors, driving of one-way motors, reconstruction of servo motors and the use of NE 555 timer.

1.2 Ključne besede/Keywords

- **Mobilni robot** - robot, ki samostojno obvozi ovire
 - **IR sprejemnik** - sprejemnik infrardeče svetlobe
 - **Servo motor** - modelarski motor z velikim navorom in hitrim odzivom
 - **AT89C2051** - mikrokontrolnik družine 8051
-
- **Mobile robot** - robot, that independently diversion barriers
 - **IR receiver** - receiver of infrared light
 - **Servo engine** - engine with large torque and quick response
 - **AT89C2051** - microfeed family 8051

2. UVOD

2.1 Predstavitev raziskovalnega problema

Naloga robota je, da samostojno prevozi naključno postavljen labirint. Prevoziti ga mora v čim krajšem času in brez zunanje pomoči. Orientira se s pomočjo svojih IR oddajno sprejemnih modulov, za vožnjo potrebno energijo pa vozi s seboj. Njegov program je napisan v programskem jeziku Bascom in obsega vse robotovo znanje, torej vožnjo naravnost, leve in desne zavoje, zasuk za 180° na mestu, ...

2.2 Teze

- Narediti dobro konstrukcijo.
- Doseči čim večjo hitrost robota.
- Sestaviti dobre senzorje oz. tipala.

2.3 Opis raziskovalnih metod

Preden sem začel z izdelovanjem robota, sem si izbral ustrezen material za izdelavo konstrukcije. Konstrukcijo sem optimiral glede na velikost motorjev in baterij. Tako sem izdelal dobro konstrukcijo, ki je zagotavljala zaščito komponent, zlasti koles, ki so najbolj občutljivi del, s katerim se lahko robot zagozdi ob steno. Vstavil sem potrebne elemente in vse skupaj povezal.

3. OPIS DELOVANJA NAPRAVE

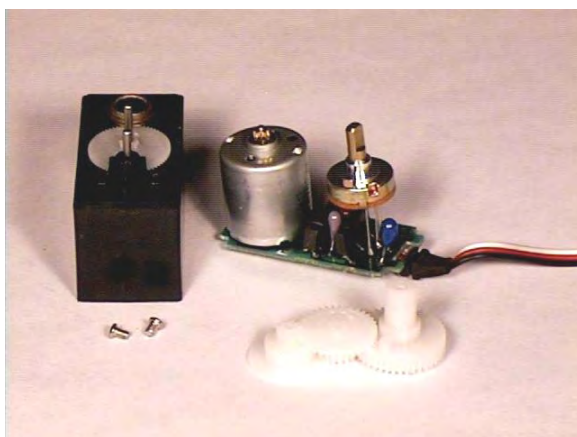
Glavna komponenta mobilnega robota je 8 bitni mikrokrmilnik AT89C2051. Preko njega se izvajajo vsi ukazi za obnašanje robota. Robot sledi desni steni s pomočjo desnega in sprednjega IR senzorja. Ko se odda IR svetloba, se odbije od stene in če ji je robot dovolj blizu, jo zazna z IR sprejemnikom. V primeru, da je po oddajanju ne zazna, pomeni to za desni senzor, da je preveč oddaljen od stene ali pa da je ni več. V vsakem primeru se prične pomikati rahlo desno in se približuje desni steni. Za vožnjo pri ovirah, kjer naleti na čelno steno, mu pomaga sprednji senzor. Za krmiljenje smeri motorja sem uporabil čip L 293, ki je zmožen preko vhodnih kombinacij krmiliti enosmerna motorja do 1 A. Za generiranje IR modulirane svetlobe, ki jo zaznavata sprejemnika, sem uporabil astabilni multivibrator, ki sem ga oblikoval s pomočjo časovnika NE 555.

4. POTEK IZDELAVE

Na izdelano konstrukcijo sem najprej namestil servo motorja, ki ju je bilo potrebno predhodno predelati, saj nista dopuščala obrata, večjega od 300 °. Dodatne težave mi je povzročala še namestitev senzorjev in vezja. Senzorja sem namestil na vitroplast oporo, ki sem jo nalepil na robova konstrukcije. Robot pa mora s seboj voziti vir energije, ki jo v tem primeru predstavlja kar osem 1,2 V NI-MH baterij. Nameščene so v ohišje in pritrjene pod konstrukcijo. Največjo maso robota predstavljajo baterije, ki so ključnega pomena in zato nenadomestljive.

4.1 Predelava servo sistema

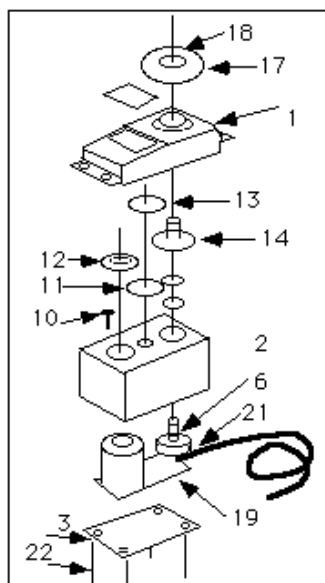
Servo motorji za modelarstvo imajo velik navor in se uporabljajo za krmiljenje naprav, zato ne omogočajo zasuka za 360 °. Tudi upravljanje je pogojeno na drugačen način. Servo motor ima v sebi krmilno vezje in potenciometer, s katerim ugotavlja, v kateri legi se nahaja. Z rahlo predelavo se lahko servo motor spremeni v navaden DC motor z velikim prenosnim razmerjem in velikim navorom. Motor sem razdril in iz njega pobral krmilni del s potenciometrom, mehansko zaščito na zobniku, ki onemogoča popoln obrat, pa odščipnil.



Slika 1: Razstavljen servo motor.



Slika 2: Zob, ki sem ga odščipnil in s tem omogočil popoln zasuk.



1. Pokrov servo motorja
2. Okvir motorja
3. Spodnji pokrov motorja
6. Nosilec gnanega zobnika
10. Nosilna palica
11. Zobnik
12. Zobnik
13. Zobnik
14. Končni pogonski zobnik (ta nosi zob, ki ga je potrebno odstraniti)
17. Zunanja plošča za pritrnitev pogona
18. Luknje za pritrjevanje, npr. koles
19. Nosilec motorja in glavne osi
21. Kabel za priključitev
22. Ročice za fiksiranje servo motorja

Slika 3: Kosovnica servo motorja.

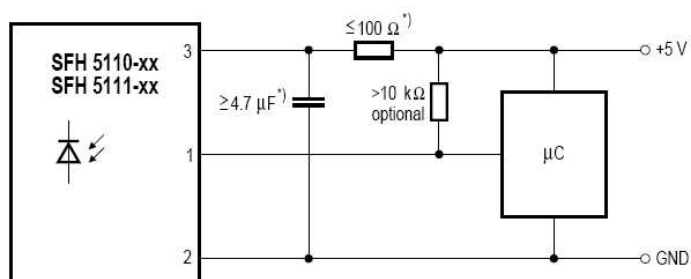
4.2 IR sprejemnik in oddajnik

4.2.1 IR sprejemnik

Uporabil sem IR sprejemnik SFH 5110-36, ki zaznava le infrardečo svetlobo modulirane frekvence 36 kHz. S tem je zaščiten proti motnjam iz okolice, ki bi nenadzorovano vplivala nanj. Ker ima na izhodu NPN tranzistor, nam ob prisotnosti modulirane IR svetlobe sklene proti masi in tako postavi prvi priključek (od leve proti desni) na logično 0 (maso).



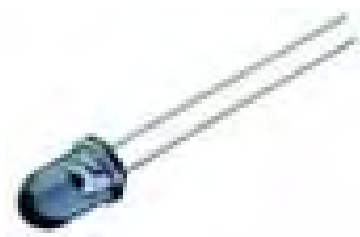
Slika 4: IR sprejemnik SFH 5110-36.



Slika 5: Priključitev IR sprejemnika.

4.2.2 IR oddajnik

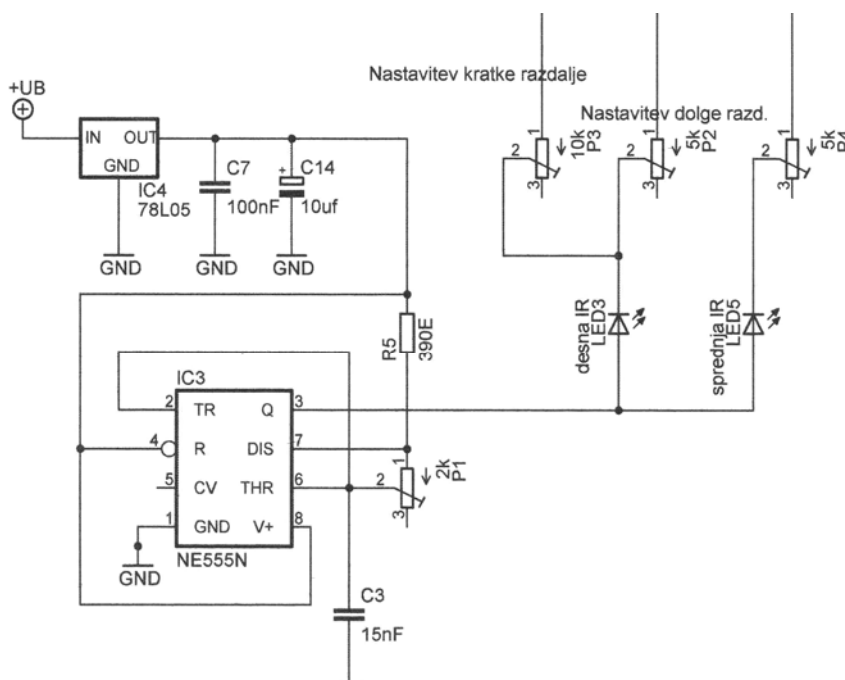
Oddajni del deluje kot oscilator, ki generira pravokotne signale v razponu od 27 do 45 kHz. Meja frekvenčnega razpona je nastavljena s kondenzatorjem C_1 , uporom R_1 in trimerjem R_{p1} . Glavni sestavni del je časovnik NE 555. Njegov izhod (tretji pin) je vezan preko trimerja R_{p2} na IR diodo, s pomočjo katerega lahko nastavljamo velikost amplitude pravokotnega signala na IR diodi. S tem se spreminja njena svetilna moč, posledica pa je večji domet žarka in večja občutljivost daljših razdalj.



Slika 6: IR dioda.



Slika 7: Časovnik NE 555.



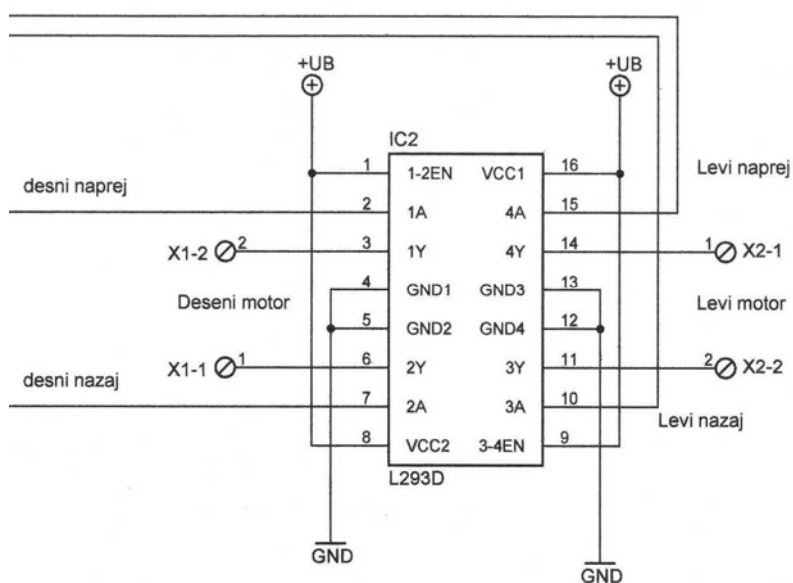
Slika 8: Shema oddajnika za robot.

S trimerjem P1 sem nastavljal frekvenco pravokotno moduliranega signala. Na izhodu bi to lahko izmerili kot hitro utripanje IR diode s frekvenco 36 kHz. Trimerji P2, P3, P4 služijo kot predupor IR oddajnih diod. Z njimi se nastavlja svetilnost IR diod in s tem domet žarkov, odbitih od stene. Za IR diodo LED3 sem uporabil dva trimerja, ki sem ju različno nastavljal. S tem sem dosegel dve različni svetilni moči IR žarkov. S preklapljanjem med trimerjema lahko

merimo dve razdalji ali tri razdalje robota od stene. Če preko mikrokrmilnika vključimo trimer z večjo nastavljeno upornostjo, seva IR dioda šibkeje, zato se mora robot nahajati bližje steni, da jo zaznava. Če pa vključimo trimer z nižjo nastavljeno upornostjo, se svetilnost IR diode poveča in takrat zaznava objekte na daljši razdalji. Tretja možnost pa je, da vključimo oba trimerja naenkrat, s čimer je dosežena najnižja vrednost predupora IR diode. Pri tej možnosti je omogočeno zaznavanje objektov na najdaljši razdalji.

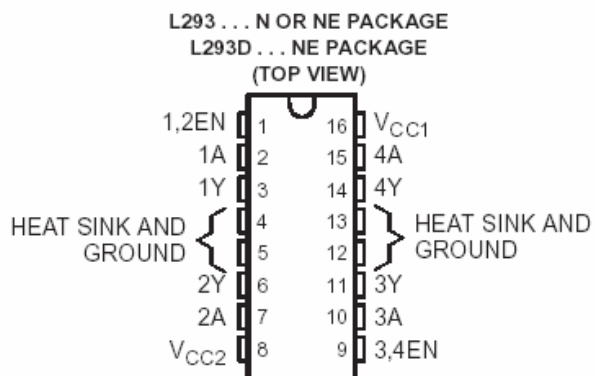
4.3 Krmiljenje DC motorjev

4.3.1 Vezalna shema za krmiljenje motorjev (robota)

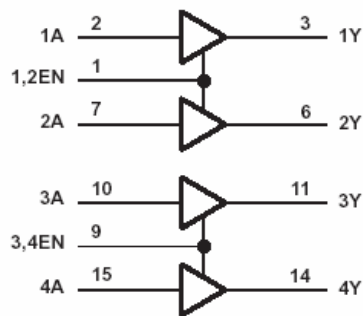


Slika 9: Krmiljenje motorjev robota s pomočjo L 293.

4.3.2 Pogled čipa od zgoraj in njegov logični diagram

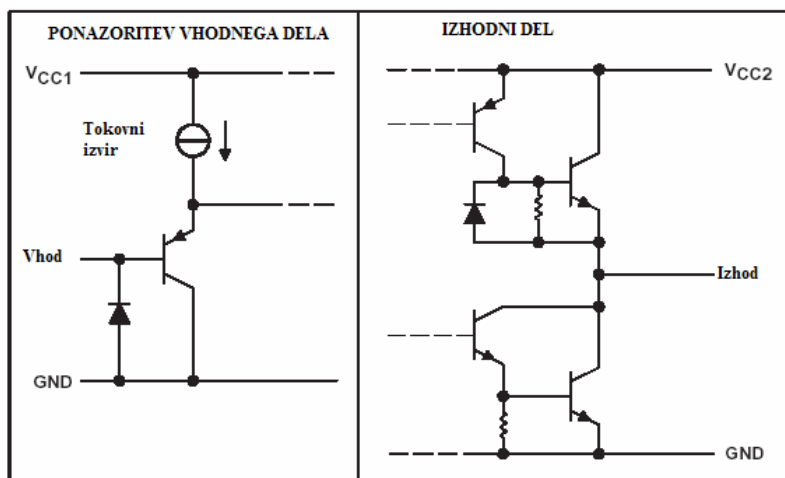


Slika 10: Čip L 293.



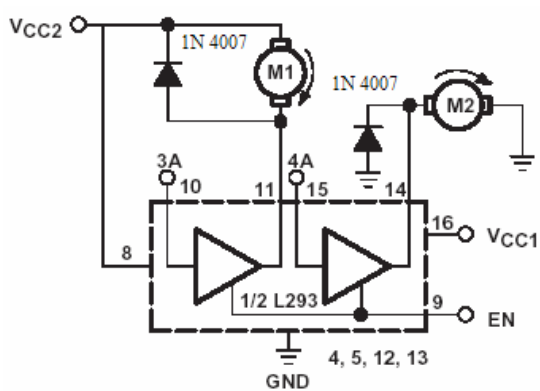
Slika 11: Logična zgradba.

4.3.3 Zgradba čipa L 293 NE



Slika 12: Poenostavljena zgradba delovanja.

4.3.4 Vezava za samo eno stran vrtenja in potrebne kombinacije vhodov

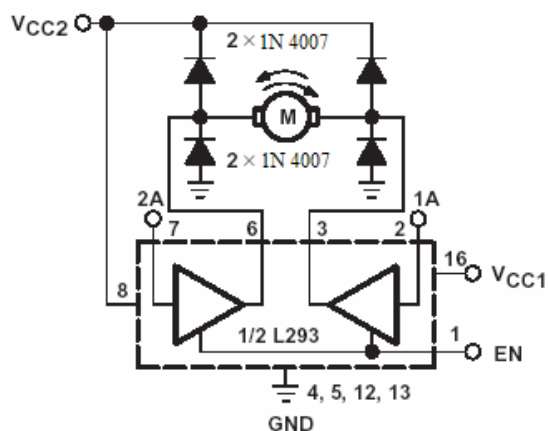


EN	3A	M1	4A	M2
H	H	Ustavljen	H	Požene
H	L	Požene	L	Ustavljen
L	X	Motor ustavljen	X	Motor ustavljen

L = nizek potencial, H = visok potencial, X = ni pomemben

Slika 13: Vezava za enostransko vrtenje.

4.3.5 Vezava za obe smeri vrtenja in potrebne kombinacije vhodov



EN	1A	2A	FUNCTION
H	L	H	Vrtenje desno
H	H	L	Vrtenje levo
H	L	L	Hitra ustavitev
H	H	H	Hitra ustavitev
L	X	X	Hitra ustavitev

L = nizek potencial (masa), H = visok potencial,
X = ni pomemben

Slika 14: Vezava za obojstransko vrtenje.

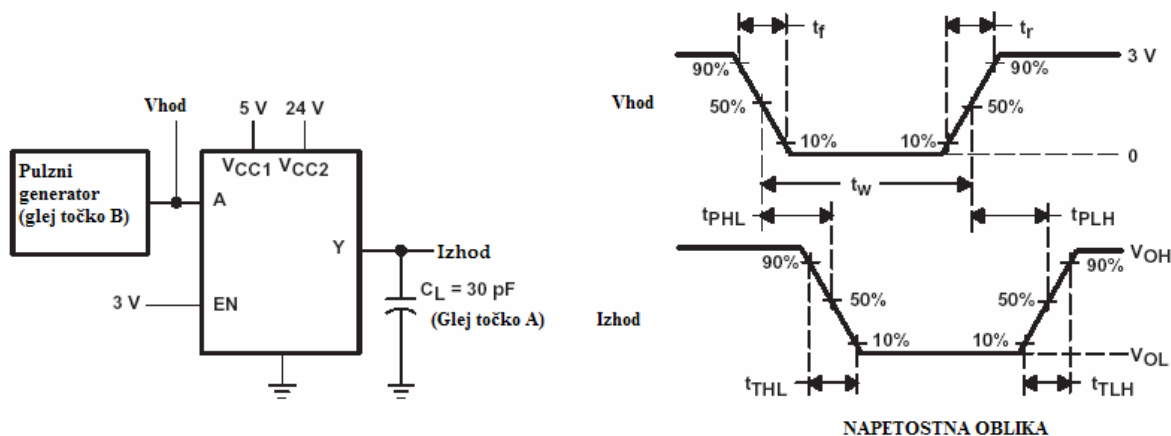
4.3.6 Karakteristični podatki

		MIN	MAX	UNIT
Napajalna napetost	V _{CC1}	4.5	7	V
	V _{CC2}	V _{CC1}	36	
V _{IH} Vhodna krmilna napetost	V _{CC1} ≤ 7 V	2.3	V _{CC1}	V
	V _{CC1} ≥ 7 V	2.3	7	V
V _{IL} Padeč izhodne napetost glede na napajalno			1.5	V
T _A Temperaturno območje zanesljivega delovanja		0	70	°C

Preklopne karakteristike V_{CC1} = 5 V, V_{CC2} = 24 V, T_A = 25°C

PARAMETER	TEST POGOJA	L293NE, L293DNE			ENOTA
		MIN	TYP	MAX	
t _{PLH} Zakasneni prekop vhoda A od nizkega k visokim potencialu	C _L = 30 pF,	800			ns
t _{PHL} Zakasneni prekop vhoda A od visokega k nizkim potencialu		400			ns
t _{TLH} Preklopni čas izhoda, od nizkega k visokim potencialu		300			ns
t _{THL} Preklopni čas izhoda, od visokega k nizkim potencialu		300			ns

IZHODNA KARAKTERISTIKA



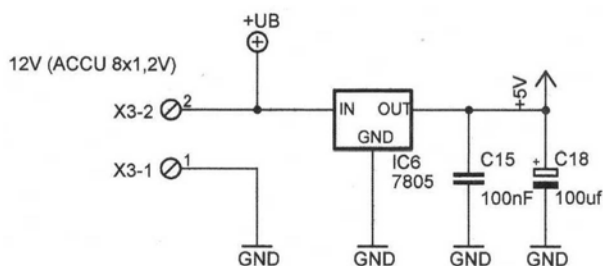
NOTES: A. C_L Na kondenzator priključimo sondo za merjenje signala.
B. Pulzni generator ima pripadajoče karakteristike: $t_r \leq 10 \text{ ns}$, $t_f \leq 10 \text{ ns}$, $t_w = 10 \mu\text{s}$, $\text{PRR} = 5 \text{ kHz}$, $Z_O = 50 \Omega$.

S pomočjo integriranega vezja L 293 NE sem lahko s spreminjanjem vhodnih kombinacij spreminjal stanja enosmernega motorja (vrtenje levo, desno, hitra ustavitev). Najprej sem preizkusil delovanje z vezavo za eno smer vrtenja, nato pa vezavo za dvostransko vrtenje. Čip mi je služil kot vmesni sklop med mikrokrmilnikom in servo motorjema, ki poganjata robota po labirintu. Vse skupaj nadzoruje mikrokrmilnik (AT89C2051). Ker mikrokrmilnik ne bi prenesel koničnih tokov pogonskih motorjev, pošilja le logične kombinacije čipu L 293 NE, ta pa ustrezno spreminja vrtenje levega in desnega pogona robota.

Sprva sem delovanje čipa sem preizkusil pri napajanju 5 V, ker pa mikrokrmilnik potrebuje stabilizirano napetost 5 V, ki jo stabiliziram s pozitivnim regulatorjem LM 7805, ta pa potrebuje vhodno napetost za 20 % večjo (torej najmanj 6.5 V), sem jo dvignil do napetosti 9.6 V, ki je tudi napetost osmih 1.2 V baterij.

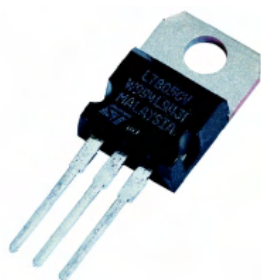
4.4 Napajalni del

Napajalni del ni nič posebnega. Glavni del je pozitivni napetostni stabilizator LM 7805, vzporedno pa sta mu dodana še dva kondenzatorja.



Slika 15: Potrebna stabilizacija napetosti za mikrokrmilnik.

Da bi dosegel optimalno vrtenje pogonskih motorjev, kar omogoča tudi krajši čas potovanja robota skozi labirint, sem napajanje U_b , ki skrbi za napajanje motorjev, povezal neposredno na zaporedno vezane baterije (na 7.2 V).



1. Vhod
2. Masa
3. Izhod

Slika 16: Pozitivni regulator.



Slika 17: Mikrokrmilnik AT89C2051.

4.5 Priključitev mikrokrmilnika AT89C2051

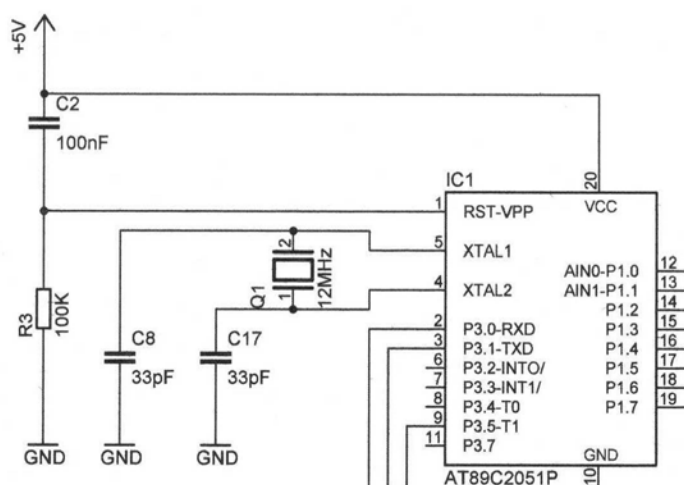
Glavni zunanji komponenti mikrokrmilnika sta reset vezje in generator takta (kvarčni resonator). Za svoje delovanje potrebuje napetost od 2.7 V do 6 V.

4.5.1 Reset

Pozitivni signal na priključni nožici RESET mora trajati najmanj dva strojna ciklusa in postavi mikrokrmilnik v definirano začetno stanje. Enako velja pri vklopu mikrokrmilnika na napajalno napetost, za kar poskrbita zaporedno vezana upor in kondenzator. Registeri mikrokrmilnika se ob resetu postavijo v inicializacijsko stanje.

4.5.2 Oscilator

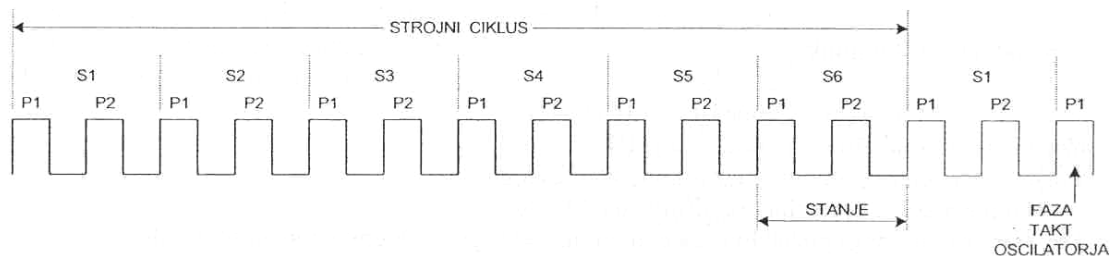
Oscilator skrbi za sinhrono izvajanje ukazov in delovanje mikrokrmilnika. Zunanja priključka sta XTAL1 in XTAL2, ki ju v vezju povezuje linearni enostopenjski inverter. Frekvenca oscilatorja je določena z vrednostjo kvarčnega kristala, ki je lahko 0 Hz do 24 Mhz.



Slika 18: Mikrokrmilnik z nujno potrebnimi zunanjimi elementi.

4.5.3 Strojni cikel

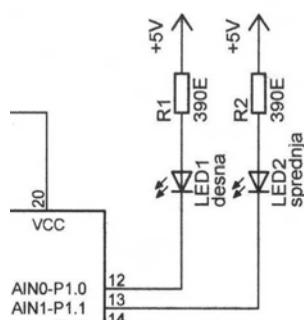
Strojni cikel je razdeljen na 6 stanj, S1 do S6. Stanje sestavljata fazi P1 in P2. Tako znaša najmanjša časovna enota $1/12$ frekvence oscilatorja (pri 12 Mhz znaša en strojni cikel 1 uS). Ukazi mikrokrmilnika se izvajajo v 1 do 4 strojnih ciklih. (Čas trajanja izvajanja ukazov je 1 do 4 uS).



Slika 19: Taktna shema strojnega ciklusa.

4.6 Signalizacija zaznavanja ovire

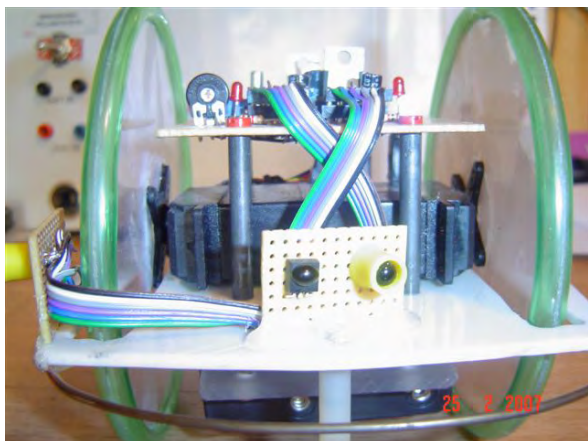
Svetleči diodi sem uporabil kot signalizacijo sprejemanja IR sprejemnika. Diodi sta programsko krmiljeni in pogoj za njuno delovanje je zaznavanje ovire z IR senzorjem.



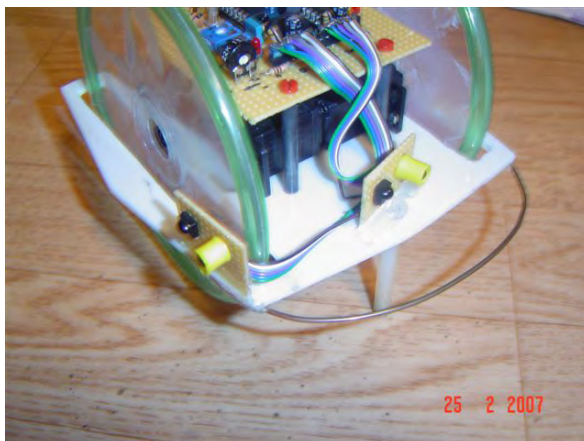
Slika 20: Vezava signalizacije na port mikrokrmilnika.

4.7 Slike robota

Ob preizkušanju robota pri vožnji skozi labirint se mi je pojavljala težava z zaznavanjem ovir. Robot je včasih pri vožnji naravnost pred seboj nenadoma zaznal oviro, ki je sploh ni bilo. Zato se je na mestu obrnil za 180 ° in se pričel vračati proti startu. Po dolgotrajnem iskanju napake sem ugotovil, da se senzorja med seboj motita. Rešitev problema je bila čisto enostavna: sprednji senzor sem zasukal malo stran od desnega boka, bočni senzor pa poravnal vzporedno s kolesom.



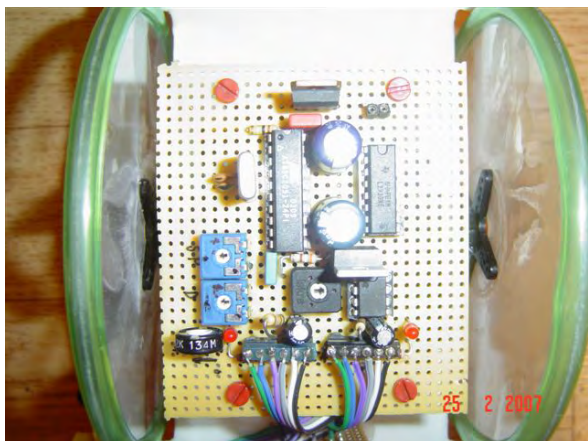
Slika 21: Sprednji senzor.



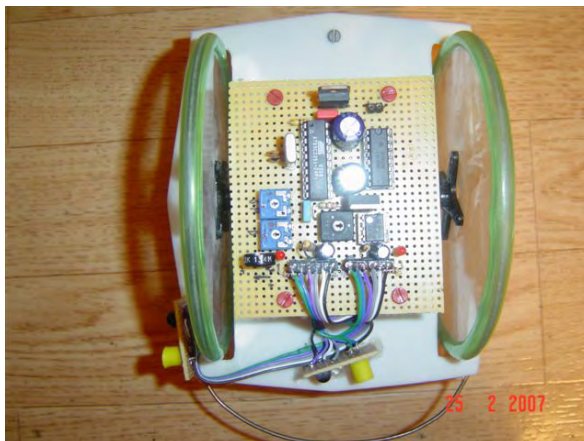
Slika 22: Pod kotom nameščena senzorja.

Vse robotovo znanje se nahaja v 20 pinskem čipu, mikrokrmilniku. Zaradi možnih nadgradenj sem elektronske komponente zvezal na razvojni bakreni ploščici.

Ploščico s povezami komponentami sem preko distančnikov privijačil na karoserijo, senzorje in druge komponente pa sem na ploščico povezal preko konektorjev, ki so mi omogočili hitrejše razstavljanje pri nadgrajevanju.



Slika 23: Elektronske komponente.



Slika 24: Pogled robota s ptičje perspektive.

Ker se servo motorja vrtita dokaj počasi, sem z uporabo velikih koles to pomanjkljivost odpravil. Za kolesi sem uporabil štiri zgoščenke. Po dve zgoščenki sem zlepil skupaj in ju za boljši oprijem oblekel z gumo in pritrdil na pogon. Motorja sem zaradi lažjega nastavljanja kota kolesov privijačil na ogrodje iz pleksi stekla.



Slika 25: Pritrjena pogonska motorja.



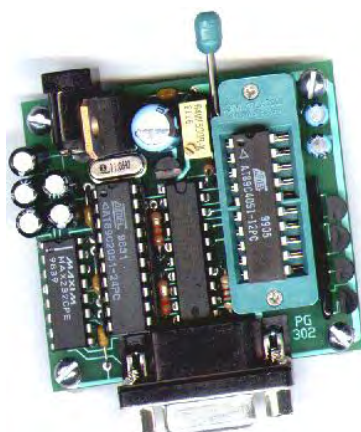
Slika 26: Pritrjene baterije.

Zaradi prostorske stiske sem baterije namestil pod robota. A to ni bila slaba odločitev, saj sem s tem dosegel tudi nižje težišče celotnega ogrodja, kar omogoča lažjo vožnjo skozi zavoje. Za dodatno stabilizacijo sta poskrbela sprednji in zadnji distančnik.

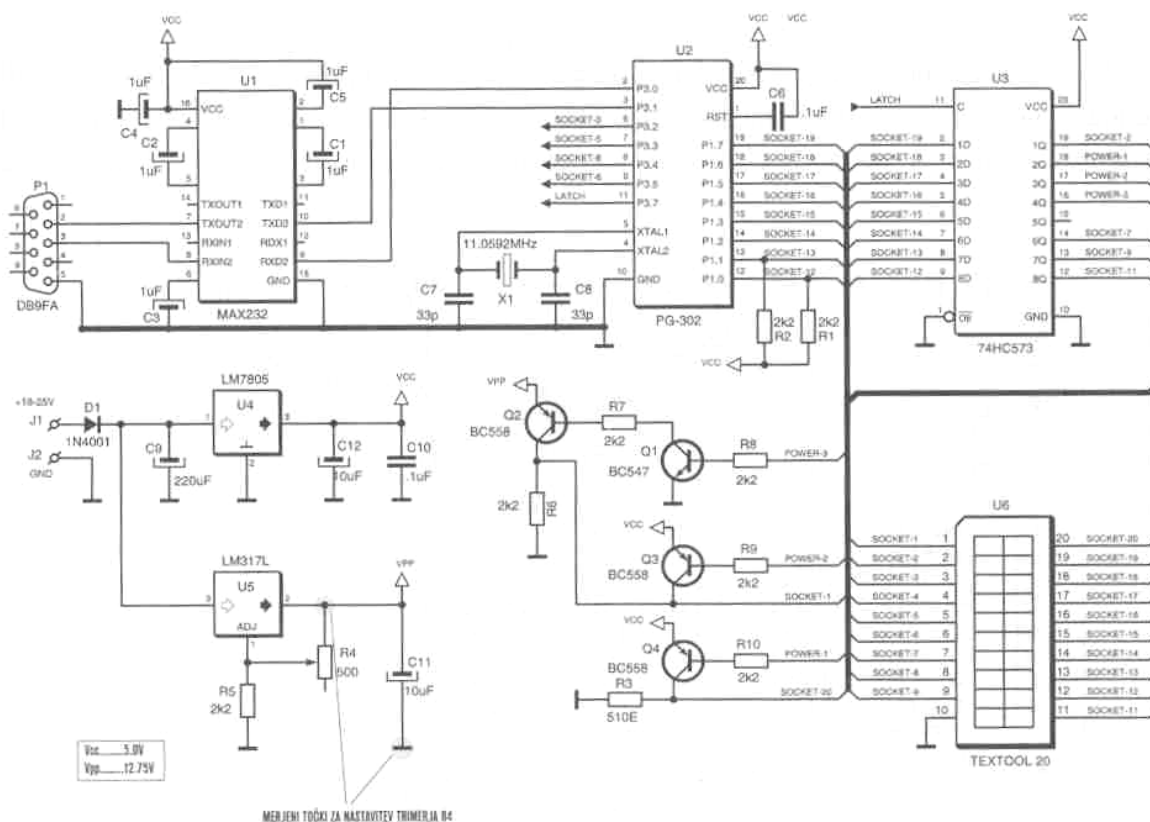
4.8 Programator

Seveda je mikrokrmilnik neuporaben brez programa, ki se ga vanj zapiše. Za programiranje sem uporabljal univerzalen programator PG 302. Programator mora strojno kodo vpisati v mikrokrmilnik na enega od dveh možnih načinov: normalno preko porta P1 in P3 (za mikrokrmilnike s flash ali PROM pomnilnikom) ali preko SPI vodila (AVR-ji)

Glavna komponenta programatorja je mikrokrmilnik AT89C2051, ki deluje s taktom 11,0592 MHz. Mikrokrmilnik skrbi za to, da prevzame kodo iz PC in jo po določenem programirnem algoritmu zapiše v pomnilnik mikrokrmilnika, ki ga programiramo. PG 302 je na PC povezan preko serijskega porta. Zato je uporabljen MAX232, ki se ga uporablja kot pretvornik napetostnih nivojev.



Slika 27: Programator PG 302.



Slika 28: Električna shema programatorja PG 302.

Programator je potrebno napajati z napetostjo od 18 do 25 V DC. Tok, ki ga zagotavlja napajalnik, mora znašati najmanj 200 mA.

Napajalni del programatorja zagotavlja delovno napetost V_{cc} in programirno napetost V_{pp} . Za stabilizacijo V_{cc} je uporabljen klasični 5 V regulator LM 7805, programirno napetost pa zagotavlja regulator LM 317. Programirno napetost je s pomočjo trimerja R_4 potrebno nastaviti na 12,75 V.



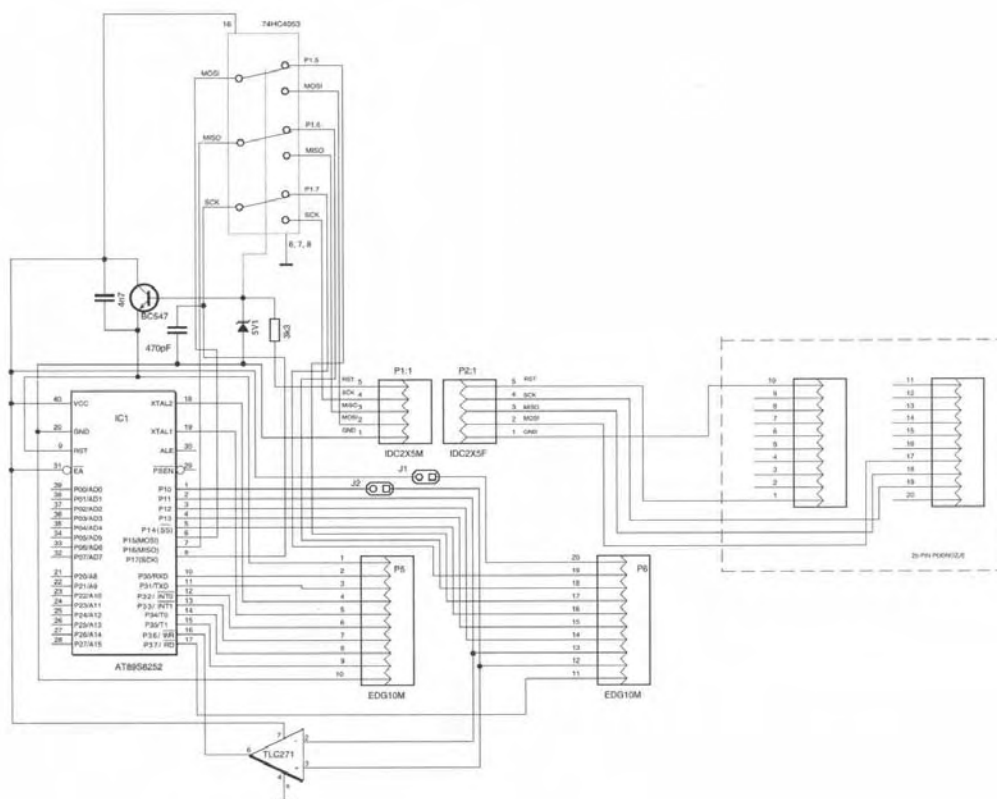
Slika 29: Programator v ohišju.

Programator PG 302 je vgrajen v ohišje. Na ohišju imam je tudi izhod stabilizirane napetosti 5 V, ki se jo stabilizira s pomočjo pozitivnega regulatorja LM 7805, in izhod z možnostjo nastavitve izhodne napetosti od 1,2 V do 22 V, ki je narejen z LM 317. Vse to pa omogoča vgrajeni transformator. Za lažje vpenjanje mikrokrmilnika v programator uporabljam tekstol. Ker zaradi tokovne obremenitve ne morejo hkrati delovati programator in izhodne puše, se s stikalom preklaplja med enim in drugim. Tako se za programiranje vklopi programator, za preizkušanje delovanja programa v vezju pa napajalni priključki (puše).

4.8.1 Emulator mikrokrmilnikov

Pri iskanju in odpravljanju logičnih napak je uporabnikom Bascoma na voljo simulator. Ta nam omogoča kontrolo nad izvajanjem programa, ob istočasnem spremljanju ne le vsebine programskih spremenljivk, temveč tudi registrov in drugih operacij mikrokrmilnika. Vendar to je le programska simulacija.

Bolj praktičen pripomoček je emulator. Ta naprava omogoča, podobno kot simulator, kontrolirano izvajanje programa, tudi v režimu korak za korakom, vsebina RAM-a, stanje registrov in drugih vrednosti pa so vidni na ekranu. Prednost emulatorja je v tem, da se program dejansko izvaja v mikrokrmilniku, zaradi tega so tudi rezultati pravilnejši.



Slika 30: Shema emulatorja.

4.9 Razprava

Robot je zelo hitro prevozil labirint. S senzorji sem imel sprva težave, vendar sem jih uspešno odpravil. Pojavljale so se tudi težave z baterijami. Nastavljen čas vrtenja koles za obračanje v zavojih se ohranja in se ne spreminja s padanjem napetosti baterij, vendar za servo motorja to ne velja. Njuna hitrost vrtenje je pogojena z napetostjo baterij. Zato nastanejo težave pri vožnji z napol izpraznjenimi baterijami. S konstrukcijo robota sem zagotovil dobro mobilnost, ki pa ni dosegla mojih začetnih pričakovanj. Bočni robovi bi se bolje obnesli, če bi bili ovalni, a kljub temu so se dobro obnesli.

5. ZAKLJUČEK

Cilj narediti robota, ki samostojno prevozi labirint v kratkem času, sem uspešno dosegel. Ob praktičnem preizkušanju vožnje po labirintu je robot dosegel zelo dober čas. Za izboljšanje vožnje mimo ovir bi še lahko uporabil merjenje razdalje od sten, kar bi omogočilo predhodno zmanjševanje hitrosti približevanja k steni in lepše zavoje pri vožnji.

6. VIRI IN LITERATURA

1. MIKELN, J. (2003). Praktična uporaba mikrokontrolerjev 2. Ljubljana: Studio ETIC d.o.o.
2. MIKELN, J. (2000). Praktična uporaba mikrokontrolerjev. Ljubljana: Studio ETIC d.o.o.
3. MITROVIĆ V. in J. MIKEL. (2002). Programiranje mikrokontrolera programskim jezikom Bascom. Ljubljana: Studio ETIC d.o.o.
4. ŽIDAN A. in B. MILOBAR. (1986). Spojevi s tranzistorima. Druga knjiga. Travnj: Birografika – Subotica.
5. ŽIDAN A. in B. MILOBAR. (1988). Spojevi s integriranim sklopovima. Kolovoz: Birografika – Subotica.
6. Datasheeti [Online]. [Citirano 24. februar 2007; 22.22].
Dostopno na spletnem naslovu: <http://www.datasheetarchive.com/>
7. Datasheeti [Online]. [Citirano 24. februar 2007; 22.23].
Dostopno na spletnem naslovu: <http://www.datasheetcatalog.com/>

7. ZAHVALA

Za svetovanje pri izdelavi robota se zahvaljujem svojemu mentorju prof. Petru Kuzmanu in g. Dušanu Bombaču, ki mi je dovolil programiranje in preizkušanje robota pri urah praktičnega pouka. Zahvaljujem pa se tudi ga. Andreji Tkalec, ki mi je slovnično pregledala nalogo.

8. PRILOGA

8.1 Električna shema robota

