

UNIVERZITET SINGIDUNUM
BEOGRAD
DEPARTMAN POSLEDIPLOMSKIH STUDIJA

Doktorska disertacija

**Laserska percepcija definisanih predmeta
i enkapsulacija kontrolnih i logičkih elemenata za
autonomno robotizovano nastavno sredstvo**

Mentor

Prof. Dr Dragan Cvetković

Kandidat

mr Željko Stanković, dipl. inž.

Beograd, 2010. GODINA

Mašta je mnogo važnija od obrazovanja

Albert Einstein

Abstract

In this doctoral dissertation titled "Laser perception of defined objects, commands encapsulation and control elements for the modern robotized teaching tool" is offered a practical framework for the development of modern robotized educational tool. The projected set offers pallet utility elements such as the use of lasers in recognizing the objects defined, multi-control modules and experimental robotized platform. Dissertation is focused on three areas:

- design and construction of the laser sensor group,
- design and construction of programmable logic controllers and accompanying control module,
- design and construction of self-propelled robotized platform.

All these modules can operate independently. Integrated into a whole (kit) they represent an excellent basis for the experiments.

Abstract

In dieser Dissertation mit dem Titel "Laser-Wahrnehmung der definierten Objekte und Kapselung der Verwaltungs-und Kontrollsysteme für die moderne Elemente robotisierten Lehrmittel" wird einen praktischen Rahmen für die Entwicklung der modernen robotisierten pädagogisches Instrument angeboten. Dieser projizierte Komplex enthält ein Angebot von angewandten Elementen wie den Einsatz von Lasern in der Erkenntnis der definierten Objekte, Multi-Control-Module und experimentelle Roboter-Plattform.

Die Dissertation ist auf drei Bereiche konzentriert:

- Konstruktion und Bau von Laser-Sensor Gruppe,
- Konstruktion und Bau von speicherprogrammierbaren Steuerungen und begleitendem Kontroll- Modul,
- Konstruktion und Bau von selbstfahrenden Roboter-Plattform.

Alle diese Module können unabhängig voneinander funktionieren, aber integriert in ein Ganzes (Kit) stellen sie eine hervorragende Grundlage für das Lernen und für die Versuche.

Résumé

Dans cette thèse de doctorat intitulée "la perception par laser des objets définis et la gestion d'encapsulation et d'éléments de commande pour l'outil moderne d'enseignement robotisée" vous est proposé un cadre pratique pour le développement de l'outil robotisé pédagogiques modernes. Le jeu offre des éléments d'utilité projeté palet comme l'utilisation de lasers à reconnaître les objets définis, multi-modules de contrôle et de plate-forme robotisée expérimental. Thèse est axée sur trois domaines:

- conception et construction du groupe capteur laser,
- conception et la construction d'automates programmables et un module de contrôle d'accompagnement,
- conception et la construction de l'auto-propulsé plate-forme robotisée.

Tous ces modules peuvent fonctionner indépendamment. Intégrés dans un ensemble (kit) ils constituent une excellente base pour les expériences.

Kratak sadržaj

U doktorskoj disertaciji pod nazivom “*Laserska percepcija definisanih predmeta i enkapsulacija kontrolnih i logičkih elemenata za savremeno robotizovano nastavno sredstvo*“ ponuđen je praktičan okvir za izradu savremenog robotizovanog edukativnog sredstva. U projektovanom kompletu ponuđena je paleta upotrebnih elemenata kao što je primena lasera u prepoznavanju definisanih predmeta, multifunkcionalni kontrolni moduli i eksperimentalna robotizovana platforma.

Disertacije je fokusirana na tri oblasti:

- projektovanje i konstrukcija laserske senzorske grupe,
- projektovanje i konstrukcija programibilnog logičkog kontrolera i pratećeg kontrolnog modula,
- projektovanje i konstrukcija samohodne robotizovane platforme.

Svi ovi moduli mogu da funkcionišu nezavisno, a integrisani u jednu celinu (komplet) predstavljaju odličnu osnovu za učenje i praktične eksperimente.

Zahvalnost

Veliku zahvalnost za realizaciju ovog rada dugujem svom mentoru, profesoru dr Draganu Cvetkoviću, koji me je svojim entuzijazmom i velikim razumevanjem podržavao sve vreme usmeravajući rad u formu za realizaciju i odbranu.

Posebnu zahvalnost dugujem članovima komisije profesoru dr Milanu Milosavljeviću profesoru Univerziteta Singidunum i profesoru dr Dušanu Tošiću, redovnom profesoru PMF-a, Beogradski Univerzitet, koji su svojim primedbama i korisnim sugestijama pomogli da doktorska disertacija ima mnogo manje grešaka i nepreciznosti nego što bi inače imala.

Zahvaljujem se kolegama i prijateljima iz Zavoda za unapređivanje obrazovanja i vaspitanja, koji su mi pružali tokom realizacije doktorskog rada.

Zahvalnost dugujem i kolegama iz Sektora za informatiku, na prijatnoj atmosferi i konstruktivnim diskusijama vezanim za doktorsku tezu.

Puno su mi pomogli u tehničkom delu:

- Luka Stošić dipl. inž., koji je pomagao oko eksperimenata i programiranja,
- Marija Krneta pomagala mi je oko kinematike robo platforme,
- Marin Radak učestvovao je u programiranju PIC-ova koje sam prilagođavao novim idejama, zahtevima i funkcijama,
- Danica Gavrilović dipl.inž. pomagala je oko projektovanja transmisione grupe i vežbi sa platformom,
- Tomislav Gajić koji je godinama finansijski podržavao razvoj i istraživanja vezana za projekat robotizovane platforme.

Želim da se zahvalim profesoru dr Zoltanu Jegešu, profesoru dr Slobodanu Popovu i profesoru Nikoli Čudiću na podršci i konstruktivnim predlozima koji su imali uticaj na moj rad.

Zahvaljujem se Marini, Svetlani, Miri, Danijeli i ostalim saradnicima za podršku koju su mi pružali tokom realizacije disertacije.

Veliku zahvalnost dugujem mojoj supruzi Dragani i mojoj deci Mariji i Nemanji, za strpljenje i razumevanje koje su imali za moje višemesečno istraživanje i pisanje ovog rada.

Željko Stanković,

U Beogradu, decembar, 2009 god.

Predgovor

Korišćenje multimedijalnih tehnologija, (sinteza audio i vizuelne komunikacije), omogućava prezentaciju obrazovnog sadržaja na dinamičan i eksplicitan način. Da bi se učenik – student uključio u savremeni tehnološki svet neophodno je obezbediti savremena obrazovna sredstva. Treba napomenuti da će buduća industrijska proizvodnja sve više biti zasnovana na robotizovanim mašinama. To je razlog više da se učenici od najranijih dana upoznaju sa robotikom i pripremaju u tehničkim školama na odgovarajući način.

U ovoj doktorskoj disertaciji pod nazivom *“Laserska percepcija definisanih predmeta i enkapsulacija kontrolnih i logičkih elemenata za savremeno robotizovano nastavno sredstvo”* ponuđen je praktičan okvir za izradu savremenog robotizovanog edukativnog sredstva. U projektovanom kompletu ponuđena je paleta upotrebnih elemenata kao što je primena lasera u prepoznavanju definisanih predmeta, multifunkcionalni kontrolni moduli i eksperimentalna robotizovana platforma.

Disertacije je fokusirana na tri oblasti:

- projektovanje i konstrukcija laserske senzorske grupe,
- projektovanje i konstrukcija programabilnog logičkog kontrolera i pratećeg kontrolnog modula,
- projektovanje i konstrukcija samohodne robotizovane platforme.

Svi ovi moduli mogu da funkcionišu nezavisno, a integrisani u jednu celinu (komplet) predstavljaju odličnu osnovu za učenje i praktične eksperimente.

Istraživanja koja su sprovedena dovela su do fokusiranog cilja, definisanja osnovnih elemenata modula. To su bile smernice pri projektovanju funkcionalnih modela.

Šta se dobija uvođenjem savremenog robotizovanog nastavnog sredstva? Prve i najočiglednije koristi su:

- prisutnost savremenih tehnologija (laserske tehnologije, multifunkcionalni mikro kontroleri) u nastavi primenom savremenih robotizovanih sredstava,
- studenti i predavači lakše se snalaze pri očiglednim primerima, primenom najnovijih robotičkih i informacionih tehnologija,
- pristupačna cena ponuđenog rešenja.

Osnovne prednosti ove realizacije su: multidisciplinarnost, novi koncept lasersko-senzorske grupe, originalni koncept kontrolera i pratećeg modula, kao i jedinstvena izrada robotizovane platforme. Izrađen prototip poslužio je da se empirijski potvrde rezultati koji su projektovanjem i zahtevani.

Laboratorijski rad može da bude relevantan izvor znanja za sve koji su zainteresovani za realizaciju nastavnih sadržaja robotike ili programiranja robo platforme. Shodno tome urađen je univerzalan test poligon koji može da realizuje nekoliko važnih testova. Izgled poligona i testovi obrađeni su u doktorskoj disertaciji i predstavljaju novinu u testiranju malih robotizovanih platformi.

Počev od trećeg poglavlja opisuje se konkretna robotizovana platforma koju je razvio autor ovog rada u cilju demonstracije konkretnih problema koji se javljaju prilikom kreiranja i upotrebe ovih platformi u edukativne svrhe.

Koncepcija dokorskog rada zasnovana je na više poglavlja pa su zaključci do kojih se došlo tokom izrade teze usmereni na poglavlja.

Prvo poglavlje je uvod i osvrt na vladajuće stavove. Dalje u tekstu rad je skoncentrisan na potrebna istraživanja kao i ciljeve i rezultate koji se očekuju.

Drugo poglavlje je posvećeno postojećim nastavnim sredstvima koja se koriste. Tokom istraživanja, došlo se do originalnih podataka koji su bili osnov za dalja istraživanja. Proučeni su predmeti i sadržaji (koji se izučavaju u razvijenim zemljama) vezani za takmičenja i nastavu robotike.

Treće poglavlje opisuje projektovanje i eksperimente vezane za lasersko senzorsku grupu. Kroz eksperimente potvrđeni su projektni zahtevi. Teza da je moguće napraviti lasersku senzorsku grupu za prepoznavanje geometrijskih objekata, sa minimalnim finansijskim sredstvima, pokazala se tačna. Po saznanjima ovo je jedini robo nastavni komplet koji je realizovan sa laserskom senzorskom grupom.

Četvrto poglavlje predstavlja, jednim delom, logističku formu za lasersku senzorsku grupu. Opisano je projektovanje i operativna istraživanja PLC/PM modula. Predstavljen je nov tip multi funkcionalnog kontrolera i pratećeg modula. Prednosti ove realizacije (u odnosu na druge PLC primenjene modele) jesu: mogućnost kontrole osam motora, USB, IR i Bluetooth komunikacija, modularnost, kompaktnost (veličina kreditne kartice), pristupačna cena, podržani Windows/Linux operativni sistemi. Povezan sa računarom PLC može da se upotrebi kao industrijski kontroler. PM modul može da se koristi i kao samostalan element.

Peto poglavlje razrađuje robotizovanu platformu. Prethodni moduli, LSG i PLC predstavljaju elemente koji su morali da se integrišu sa samom platformom. Samim tim projektovanje platforme zahtevalo je pažljivo balansiranje između kinematike platforme, funkcionalnosti prototipa i budžeta. Napravljen je funkcionalan model koji odgovara zahtevima koji su postavljeni. Robotizovana platforma dovoljno je snažna da može da ponese 500g. dodatne opreme i povuče teret od 1500g. Obavljena testiranja potvrdila su teorijske rezultate. Ostalo je još mnogo testova koje bi trebalo obaviti kao i uneti neka poboljšanja koja mogu da budu predmet stručnih radova u budućnosti.

Šesto poglavlje obrađuje logistiku koju je neophodno imati radi održivosti samog projekta robotizovanog nastavnog sredstva. Kvalitet uputstva i dobra tehnička dokumentacija ostvaruju dobar kontakt između robo kompleta i korisnika. Pet gotovih

aplikacija koje su pripremljene (deo su kompleta) predstavljaju dobru osnovu za dalji rad. Programiranje može da se realizuje na nekoliko programskih jezika. Internet prezentacija treba da bude još jedan kamen temeljac u afirmaciji robo sveta među učenicima i studentima.

Sedmo poglavlje opisuje sve eksperimente koji su sprovedeni. Robo platforma testirana je sa jedanaest tipova testova. Svaki test ponavljan je više puta da bi se dobile što tačnije vrednosti.

Osmo poglavlje je zaključak. Sublimirano je sve važno urađeno u tezi. Dat je predlog daljih istraživanja i aktivnosti usmerenih na mini platforme i robote čiji su uzori biološki entiteti.

Sadržaj

1.	PREGLED ISTRAŽIVANJA	7
1.1	Pregled vladajućih stavova	9
1.2	Obrazloženje o potrebama istraživanja	10
1.3	Cilj istraživanja	11
1.4	Očekivani rezultati	12
1.5	Struktura rada	13
2.	ROBOTIZOVANA SREDSTVA KROZ ISTORIJU	15
2.1	Pojam reči robot i zakoni robotike	15
2.2	Robotizovani sistemi kroz istoriju	16
2.2.1	Roboti u filmskom i TV svetu	23
2.2.2	Roboti igračke	24
2.3	Edukacioni roboti	25
2.3.1	Postojeće stanje	27
2.3.2	Školska takmičenja u robotici	31
2.4	Zaključak	31
3.	LASERSKO SENZORSKA GRUPA	33
3.1	Uvod	33
3.2	Pregled postojećih sistema i specifikacija	33
3.2.1	Senzorski sistemi	34

3.2.2	Senzori motorno-mehaničke grupe.....	34
3.2.3	Senzori za detekciju prepreka.....	34
3.2.4	Senzori percepcije okruženja.....	35
3.2.5	Senzori za orijentisanje.....	35
3.3	Projektovanje lasersko senzorske grupe	35
3.4	Merenja i programska podrška	38
3.5	IR senzori.....	41
3.6	Detekcija predmeta IR sensorima.....	42
3.6.1	Senzor kretanja po markiranoj putanji.....	45
3.7	Zaključak	46

4. PROGRAMABILNI LOGIČKI KONTROLER I PRATEĆI KONTROLNI MODUL.....49

4.1	Uvod	49
4.2	Definicija kontrolnih modula	49
4.2.1	PLC modul.....	50
4.2.2	Prateći kontrolni modul	51
4.3	Arhitektura i enkapsulacija komandi PLC modula	51
4.3.1	Mikrokontroler (18F2550).....	54
4.3.2	Komunikaciono kolo (MRF24J40).....	55
4.3.3	IR kolo (HT 12A)	57
4.3.4	Infra Red dioda (TSAL7200)	59
4.3.5	Regulator napajanja (LM7805)	60
4.3.6	Prekidačko kolo za pogon eksternih elemenata (ULN 2803).61	
4.3.7	LED (Light Emitting Diode) dioda	62
4.3.8	Funkcije PLC-a.....	62
4.4	Prateći kontrolni modul (PM).....	67
4.4.1	Mikrokontroler 18F2550	69
4.4.2	IR dekodir HT 12D	69
4.4.3	Senzor SFH5110.....	71
4.4.4	IR dioda OED-EL-8L	72
4.4.5	NE 4558N.....	72
4.4.6	Prekidačko kolo za kontrolu motora (L293B).....	73
4.4.7	Komunikaciono kolo (MRF24J40).....	77
4.4.8	Enkoder senzor (ELIT8102).....	77

4.5	Programiranje mikrokontrolera.....	80
4.6	Testiranja PLC i PM modula	81
4.6.1	Testiranje PLC-a	82
4.6.2	Testiranje PM-a.....	84
4.6.3	Završna testiranja PLC-a i PM-a.....	84
4.7	Logistika PLC i PM modul	85
4.8	Zaključak.....	87
5.	ROBOTIZOVANA PLATFORMA	89
5.1	Uvod.....	89
5.2	Projektni zahtevi	90
5.3	Robotizovana platforma sa točkovima.....	90
5.3.1	Statika platforme	92
5.4	Upravljanje robotizovanom platformom.....	93
5.4.1	Diferencijalni pogon/upravljanje	95
5.5	Motorno-pogonska grupa.....	96
5.6	Točkovi	100
5.7	Prenosni mehanizam	102
5.7.1	Reduktor.....	102
5.8	Geometrijsko modeliranje.....	104
5.8.1	Šasija	105
5.8.2	Montaža šasije.....	109
5.9	Enkodiranje	112
5.9.1	Enkoder	112
5.10	Baterijsko napajanje.....	116
5.10.1	PLC baterijsko napajanje	117
5.10.2	Baterijsko napajanje za motornu grupu	117
5.11	Mobilnost platforme.....	118
5.11.1	Stepeni slobode i kretanje robotizovane platforme.....	119
5.11.2	Kontrola kretanja platforme i moment sile	120
5.12	Kinematika robotizovane platforme	122

5.13	Integracija LSG, PM-a i kreativnih elemenata	124
5.13.1	Kreativni elementi robo platforme	126
5.14	Zaključak	127
6.	LOGISTIKA ROBOTIZOVANE PLATFORME.....	129
6.1	Tehnička dokumentacija.....	130
6.2	Uputstvo za sastavljanje	131
6.3	Programski paketi i laboratorijske vežbe	131
6.3.1	Obrada grešaka	135
6.4	Internet prezentacija	137
6.5	Zaključak	138
7.	EKSPERIMENTI I REZULTATI.....	139
7.1	Uvod	139
7.2	Integrisano planiranje eksperimenta.....	139
7.2.1	Modeliranje poligona za testiranje	140
7.2.2	Testovi brzine, upravljivosti.....	140
7.2.3	Test izdržljivosti	141
7.2.4	Test otpornost na pad.....	141
7.2.5	Test interferencija.....	142
7.2.6	Test ekstrema.....	142
7.2.7	Markiranje eksperimentalnih modela	142
7.2.8	Merna oprema.....	143
7.3	Testiranja robotizovane platforme.....	144
7.3.1	Testiranje PM modula sa robotizovanom platformom.....	155
7.4	Zaključak	157
8.	ZAKLJUČAK	159
	LITERATURA	161
	SLIKE I TABELE	165
	NOMENKLATURE	171

PRILOZI.....	173
A 2.2.2 Retke robo igračke	173
A 2.3 Kompleti.....	174
A 2.3.2 Takmičenja.....	176
A 3.2 Senzori	178
A 3.3 Laserske diode.....	180
A 3.3.1 Oprema, merenja testiranje LSG.....	182
A 3.6.1 Kod definisane putanje.....	183
A 4.3.1 Mikrokontroler 18F2550.....	186
A 4.3.8 Bluetoot komunikacioni mikro-kôd.....	189
A 4.3.9 Priključenje opcionih elemenata	194
A 4.3.10 Povezivanje LED grupe i konektora	195
A 4.4.1 Philips RC5 kodiranje	196
A 4.4.6 PWM signal.....	198
A 4.5 Programatori.....	199
A 4.6 Merna oprema	201
A 4.8 RoHS preporuke	203
A 5.10.2 Energetska grupa, baterije i kućišta	204
A 5.12 Oznake veličina i njihovo značenje	205
A 5.13 Modifikacije robo platforme	206
A 5.3 Biološki uzori.....	207
A 5.3.1 Tipovi kretanja	208
A 5.7.1 Projektovanje zupčanika	210
A 5.8.2 Prototipovi.....	211

A 6.3 Vežba za čas o primeni interfejsa	214
A 6.6 Nagrade.....	220
A 7.3.1 Testiranje platforme i elektronike.....	221
A 7.4 Specifikacije robo platforme.....	224

1. Pregled istraživanja

Robotizovane “igračke” kontrolisane računarom ili programabilnim logičkim kontrolerom (eng. Programmable Logic Controller, skr. PLC) predstavljaju dobru eksperimentalnu osnovu koja može da se koristi kao savremeno nastavno sredstvo. Pomenimo samo LEGO Minestorm, ABOO ili CD Robi. Svi pomenuti edukativni setovi pojam su za opis jednog izuzetno aktuelnog trenda u oblasti obrazovanja koji obuhvata robotiku, primenjenu elektroniku, informatiku

Mas produkcija omogućava da “robo” nastavna sredstva postaju sve pristupačnija i popularnija među učenicima, studentima, nastavnicima i profesorima. Kompleti ovog tipa sve češće mogu da se pronađu u dobro opremljenim školskim i fakultetskim kabinetima i kod nas.

Uvođenjem u nastavu robotizovanih nastavnih sredstava učenici – studenti na lak i eksplicitan način upoznaju računare, programiranje, elektroniku, kinematiku, mehaniku i robotiku.

Komercijalna nastavna sredstva ovog tipa svojom cenom i funkcionalnim mogućnostima razlikuju se od modela do modela i uglavnom imaju funkcije i programe koji su već definisani. Kvalitetniji modeli pružaju mogućnost programiranja i dodavanja elemenata u vidu raznih senzora, dodatnih motora ili kamera. Proširivost je moguća samo uniformnim delovima proizvođača baznog modela. Softverski paketi uglavnom moraju da se doplate ako se želi neki ozbiljniji rad. Učeniku – studentu nije ostavljeno mnogo prostora za kreativnost jer su modeli već definisani (mehanički i programski).

Pored aktuelnosti, robotizovano nastavno sredstvo nije sveobuhvatno i detaljno proučavano sa naučnog stanovišta u svetu, a ni kod nas. Članci i knjige o edukativnim robotima bave se ili reklamnom kampanjom za pojedine kompanije, ili predlozima za izmenu i poboljšavanje pojedinih elemenata postojećih komercijalnih sredstava.

Softver koji logistički prati ovu oblast definisan je prema proizvođaču baznog robotizovanog modela.

Jedan od bitnih momenata koji značajno utiče na razvoj i kvalitet softverskog materijala za PLC je i upotreba *postojećeg nastavnog materijala*. Zadaci, vežbe, studentski primeri i sav ostali nastavni materijal postoji i koristi se u nastavi godinama. Ne postoji nijedan opravdan razlog da profesor, nastavnik ili predavač odbaci višegodišnje iskustvo i dugo godina pripreman materijal, samo radi promene medijuma koji se koristi za njegovu prezentaciju. Naprotiv, upotreba najboljih karakteristika računarske tehnologije

u kombinaciji sa najkvalitetnijim osobinama postojećeg nastavnog materijala, najbrži je i najkvalitetniji put do kreiranja dobrih didaktičkih objekata.

Kvalitetno kreiran softverski materijal koji podržava robo PLC omogućuje kreiranje virtualnih učionica, koje pružaju pristupačnu, korisnički orijentisanu interakciju, različite metode za on-line pristup neophodnim vežbama kao i komunikaciju među agentnim sistemima u različitim medijima – audio ili video.

Mnoge akademske institucije već su napravile manji ili veći korak u primeni savremenih nastavnih sredstava opremajući kabinete za svoje studente. Paralelno sa novom opremom uvodi se i virtuelni kabinet koji omogućuje dislociranom studentu da uradi predviđene vežbe u e-learning sistemu obrazovanja.

Rezultati mnogih istraživanja pokazuju da savremene informaciono/ komunikacione tehnologije implementirane u robo nastavnom sredstvu mogu pomoći i unaprediti nastavne strategije na više načina. Neki od tih načina su:

- učiniti složene ideje razumljivijim, objašnjavanjem pojmova na više načina i kroz očigledne primere;
- ponuditi učenicima mogućnost da ponovo prouče pojedine teme, koristeći savremena nastavna sredstva – drugi nastavni medijum;
- dati učenicima načine da isprobaju svoje, drugačije ideje, da formiraju i testiraju hipoteze koje će im pomoći u razumevanju apstraktnih pojmova;
- ponuditi mogućnost delotvornog grupnog rada, kvalitetnog odziva na pitanja i zahteve učenika, saradnju i podršku izvan učionice;
- uvećati motivisanost učenika kroz njihovo povećano angažovanje i pojačanu kontrolu nad sopstvenim procesom učenja;
- skratiti vreme koje učenici provode na aktivnostima niskog nivoa, pojačati posvećenost zadacima i podstaći ih da ulože više vremena u shvatanje materijala koji kreiraju;
- obezbediti bolje učenje kroz intenzivirano razmišljanje i trenutnu očiglednu povratnu spregu;
- obezbediti pristup mišljenju eksperata upravo u momentima kada je to učeniku potrebno;
- pružiti učenicima neposredan pristup bogatijim i privlačnijim izvornim nastavnim materijalima, kao i mogućnost da učestvuju u autentičnim i saradničkim rešavanjima pojedinih zadataka i problema.

Predmet istraživanja ovog rada usmeren je na istraživanje, projektovanje i način primene novog robotizovanog nastavnog sredstva, koje može da podrži i novu generaciju komunikacionih mobilnih uređaja. Ti novi modeli robo platformi predstavljali bi osnovu za dalji razvoj kako hardvera tako i softverskih alata i aplikacija koje bi u nastavnom procesu mogli da se koriste.

1.1 Pregled vladajućih stavova

Savremene teorije nastave postepeno se menjaju i u sve većoj meri usvajaju ideju da nastava mora biti održana tako da se naglasak dâ na negovanje *sposobnosti* učenika, a ne na prosto gomilanje naučenih činjenica. Samim tim i uloga predavača prelazi u sledeću, naprednu fazu u kojoj dobijaju aktivniju profesionalnu ulogu. U isto vreme, od predavača se sve više očekuje da bude i kreator nastavnih materijala, procenitelj njihovog značaja i uticaja na učenike, te naučnik koji inovira kako svoje znanje, tako i nastavne programe predmeta koje predaje.

Šta se dobija primenom savremene robotizovane platforme sa laserskom senzorskom grupom i mikro PLC-om u kreiranju nastavnih okruženja? Prve i najočiglednije koristi su:

- prisutnost savremenih tehnologija (laserskih tehnologija) u nastavi primenom savremenih nastavnih sredstava,
- studenti i predavači lakše se snalaze pri očiglednim primerima u korišćenju informacione tehnologije kada je ona deo integrisanog nastavnog sredstva,
- korišćenjem očiglednih primera povećana je mogućnost komunikacije student-predavač, ali i student-student,
- priloženi softver ima mogućnost izmena i potpunu kontrolu mikro PLC-a u celokupnom sistemu.

Sem ovih, opštih prednosti, možemo uočiti i mnoge prednosti i olakšanja za učenike:

- fleksibilnost pristupa u korišćenju,
- istovremeno napredovanje u više oblasti – korišćenje mobilnih informacionih tehnologija, razumevanje i veštine u programiranju, elektronici i robotici,
- povećan nivo motivacije i angažovanosti,
- razvoj novih pristupa učenju kroz grupe ili diskusione forume posvećene robotima i mikro PLC-u.

Jasne i očite prednosti postoje i za predavača:

- povećan broj i kvalitet pomoći koju predavači dobijaju od strane studenata, spremnih da učestvuju u kreiranju kursa i da podele sa ostalima sopstvene stavove i mišljenja,
- pasivni i introvertni studenti su voljniji da učestvuju i doprinose pri ovakvoj vrsti nastave,
- studenti koji učestvuju u „self projektima“ i seminarima pokazuju i veće učešće i bolje rezultate,
- porast samopouzdanja kod studenata, bolje praktično savladavanje gradiva i bolja saradnja sa kolegama i sa predavačima.

Najznačajniji elementi koji preostaju za rešavanje - da bi robo nastavna sredstva bila od potpune koristi u nastavi je:

- pristupačna cena,
- podizanja nivoa pedagoškog kvaliteta robo kompleta,
- dostupnost elektronskih materijala za robo kurseve, na praktično upotrebljiv način,
- korišćenje kvalitetnih softverskih aplikacija, jednostavnih za upotrebu.

Opšteprihvaćeno mišljenje u stručnim krugovima koji se bave ovom problematikom je da u sadašnjoj ponudi robo nastavnih sredstava, u većoj ili manjoj meri mnogi kompleti su funkcijski upotrebno ograničeni i imaju uslovljenu proširivost ili je uopšte nema. Pojedini kompleti niskog su pedagoškog i didaktičkog kvaliteta, kao i prosečnog kreativnog raspona. Kontrolna komunikacija ograničena je samo na računar ili je uopšte nema, a odgovarajuća logistička podrška je izostavljena.

Kada se pregleda postojeća literatura i pretraže sadržaji na Internetu videćemo da je polje istraživanja koje mi proučavamo vrlo siromašno. Robotizovana nastavna sredstva nisu sistematično i naučno obrađena. Postoji nekoliko razloga za to:

Projektovanje

Razvoj robotizovanog nastavnog sredstva predstavlja veliki izazov i zahteva znatna materijalna sredstva kao i ljudske resurse. To podrazumeva dugoročno planiranje i angažovanje tima eksperata. Samo jake kompanije mogu da obezbede neophodne resurse.

Rentabilnost projekta i tržište

Projekat mora da bude samoodrživ da bi imao uspeha. To podrazumeva uspešan plasman na tržištu, koje permanentno traži nove naprednije generacije proizvoda, a to podrazumeva kontinuiran i studiozan razvoj. Robo nastavno sredstvo mora da bude konkurentno na tržištu. Ispunjavanje uslova konkurentnosti zahteva platformu sa mnogo opcija, tehnološki proširivu i sa pristupačnom cenom.

Tržište je trenutno preplavljeno raznim robo igračkama i nastavnim sredstvima. Velika ponuda (preko 150 tipova robota) stvara lažnu sliku da je robo edukaciono tržište dobro snabdeveno. To su mahom kompleti koji nemaju veliku edukativnu vrednost, služe mahom za igranje i teško se mogu upotrebiti u nastavne svrhe.

1.2 Obrazloženje o potrebama istraživanja

Okvir istraživanja se najpreciznije može definisati kao želja da se ponudi potpuno nov koncept savremenog robotizovanog nastavnog sredstva koje bi se svojim karakteristikama i cenom razlikovalo od postojećih kompleta.

Uočavanjem i prepoznavanjem okvira i karakteristika današnjih robotizovanih savremenih nastavnih sredstava uočene su *željene* karakteristike koje bi robo nastavna sredstava trebalo da imaju:

- modularnost,
- kompaktne dimenzije,
- mogućnost komunikacije sa mobilnim uređajima,
- dinamičko softversko prilagođavanje nastavnim ciljevima,
- softverski podržano interaktivno.

Napredni mikro PLC za robotizovana nastavna sredstva mora da ima i:

- mogućnost korišćenja više komunikacijskih protokola,
- mogućnost korišćenja više programskih jezika,
- softverske alate za jednostavno prilagođavanje raznim obrazovnim aplikacijama,
- mogućnost modifikacije programa mikrokontrolera,
- višenamenska funkcija,
- kompaktne dimenzije.

Kvalitetno i sveobuhvatno definisan model PLC-a u velikoj meri mogao bi pomoći kreatorima, projektantima, planerima i implementatorima robo nastavnog sistema ili konkretnih nastavnih materijala korišćenih u takvim sistemima da kvalitetnije, lakše i brže upravljaju razvojem i kreiranjem potrebnih nastavnih sredstava sledeće generacije. To bi naravno sa sobom povlačilo i veće investicije i širu praktičnu upotrebu ovakvih sistema u svakodnevnom životu i van školskih klupa.

1.3 Cilj istraživanja

U skladu sa do sada navedenim, **opšti cilj istraživanja** je projektovanje izrada i implementacija funkcionalnog prototipa savremenog robotizovanog nastavnog sredstva. U sklopu projekta su četiri komponente:

- multifunkcionalni PLC,
- prateći kontrolni modul, PM,
- senzorska grupa,
- robo platforma.

Ovi moduli omogućavaju dalji razvoj:

- funkcionalnih robo sklopova,
- novih aplikacija,
- efikasne eksperimentalne robo platforme,
- nastavnih materijala i modela,

Naučni cilj istraživanje se može opisati kao potreba i želja za definisanjem novog tipa savremenog nastavnog sredstva, univerzalne robotizovane platforme koja komunicira sa mobilnim uređajima na način dovoljno opšti da može biti korišćen u raznim praktičnim implementacijama.

Istraživanje bi trebalo da dovede do saznanja o smernicama daljih istraživanja u oblasti i primeni mikro-kontrolera laserskih sistema i robotizovanih platformi za savremena robotizovana nastavna sredstva.

Praktični cilj ovog istraživanja je projektovanje i realizacija modela lasersko-senzorske grupe (skr. LSG), PLC-a, PM-a i robotizovane platforme. Integracijom svih navedenih modula dobijamo savremeno robotizovano nastavno sredstvo, koje komunicira sa računarom i mobilnim uređajima na način dovoljno opšti da može biti korišćen u raznim praktičnim implementacijama i potrebama savremenog obrazovanje.

Stvaranjem novog tipa, postupak modeliranja robo platforme sa pratećim kontrolnim modulima postaće praktično izvodljiv i jednostavan za upotrebu i korisnicima sistema koji sa informacionom i komunikacionom tehnologijom nisu direktno povezani po svojoj vokaciji.

1.4 Očekivani rezultati

Očekivani rezultat disertacije je realizacija:

- ekonomski isplativog i pristupačnog savremenog robotizovanog edukacionog sredstva,
- novog koncepta LSG,
- novog koncepta PLC-a/PM-a.

Opis potrebe, motivacije i metodologije za obradu i konverziju nastavnih materijala bez obzira na oblik i sadržaj u savremene i aktuelne nastavne, didaktičke objekte koji mogu biti upotrebljeni – po potrebi i ako je moguće u nekom od softverskih rešenja za mikro-kontroler.

Takođe se očekuje da bude definisan model za bežično funkcionisanje i predloženi metodi i alati koji bi pomogli automatizaciji procesa transformacije postojećeg nastavnog materijala.

Istraživanje se sprovodi kroz faze:

- prikupljanja materijala,
- proučavanja i poređenja različitih rešenja sličnih problema,
- uopštavanja i generalizacije mogućih rešenja i predloga,
- proučavanje i poređenje postojećih alata,
- predlog potencijalnih novih alata,
- predlaganje načina opisivanja,
- realizacije predloženih modula,
- eksperimenti sa prototipovima,
- testiranja,
- donošenje opštih zaključaka.

1.5 Struktura rada

Doktorska disertacija sastoji se od uvoda, 8 poglavlja, slika, tabela, nomenklatura, literature i priloga.

Prvo poglavlje (*Pregled istraživanja*) opisuje razloge i ciljeve istraživanja i očekivane rezultate.

Drugo poglavlje ove teze (*Od krede do robota*) predstavlja obavljena istraživanja bogatog istorijskog nasleđa robotizovanih nastavnih sredstava. Istovremeno prikazano je i postojeće stanje u ovoj oblasti. Opisani su razni pojmovi i definicije koje su vezane za proučavani oblik robotizovanih nastavnih sredstava.

Treće poglavlje (*Lasersko senzorska grupa*) najvažnije je i najkompleksnije. U ovom poglavlju opisano je sprovedeno projektovanje laserske senzorske grupe. Postavljen je cilj. Lasersko senzorska grupa treba da bude maksimalno jednostavna i ekonomski isplativa. Postavljeni zadatak u potpunosti je ispunjen. Dalje opisuje se pristup planiranju i definisanju putanje kretanja.

U četvrtom poglavlju (*Programabilni Logički Kontroler*) detaljno je opisano projektovanje, operativna razrada i sastavni elementi ključnog kontrolnog modula. Na osnovu izvršenih analiza u upoređivanja sa postojećim stanjem i na osnovu zahteva projektovan je jedinstveni PLC. Navedeni su i programski alati koji su korišćeni za razvoj i programiranje kontrolera.

Poglavlje pet (*Robotizovana platforma*) obuhvata istraživanje, projektovanje, kinematiku i konstrukciju robo platforme koju želimo da koristimo kao osnovu za dalja istraživanja. Posebna pažnja posvećena je na proširivost sistema što je dovelo do specifičnog dizajna platforme. Originalnim tehničkim rešenjima postignut je cilj koji je postavljen - univerzalna robo platforma.

Šesto poglavlje (*Logistika robotizovane platforme*) predlaže koncept koji bi trebao da obezbedi logističku podršku.

Sedmo poglavlje (*Implementacija, eksperiment i rezultati*) opisuje sprovedena istraživanja, eksperimente i dobijene rezultate. Dinamička i statička testiranja (obavljena

su u laboratoriji sektora za IT i razvoj, Zavoda za unapređivanje obrazovanja i vaspitanja) prikazana su dijagramima. Primenjen je nov oblik poligona za testiranje malih robotizovanih nastavnih sredstava.

Osmo poglavlje (*Zaključak*) opisuje komentare i zaključke. Predloženo je dalje razvijanje i istraživanje postojećeg sistema u pravcu 3D virtuelnih laboratorija, mini robota koji bi svoje uzori imali u biološkom svetu.

Na kraju doktorske teze priložene su tabele i grafikoni sprovedenih istraživanja. Materijali koji prate sadržaj i daju dodatna objašnjenja priloženi su u vidu priloga.

U ovoj tezi korišćen je deo magistarskog rada koji je urađen na PMF u Novom Sadu.

Delovi doktorske teze publikovani su na naučnim skupovima „Informacione tehnologije i razvoj tehničkog i informatičkog obrazovanja“, 2009. godina, Zrenjanin, i „Tehnologija, informatika i obrazovanje za društvo učenja i znanja“, 2009. godina, Novi Sad.

Napominjem da su originalni nazivi na engleskom jeziku, pojmovi i skraćenice dati u zagradama u originalnom obliku radi lakšeg razumevanja i praćenja.

2. Robotizovana sredstva kroz istoriju

U ovom poglavlju iznete su neke postojeće činjenice vezane za transformacije i tehnologiju koja je pratila robotizovana edukativna sredstva. Prolaskom kroz bogato istorijsko nasleđe robotizovanih sredstava prikazana je ljudska težnja za stvaranjem mehaničkih entiteta sličnih nama. Ujedno, hronološki se prati i razvoj tehnologije koja je u oblasti robotike veoma dinamična i izražena.

2.1 Pojam reči robot i zakoni robotike

U poslednje vreme u dnevnoj štampi, časopisima i stručnim knjigama sve češće se mogu sresti reči robotizovan, robotizacija, robotehnologija, bot ili botovi. Sve su to izvedene reči od poznate reči robot. Radi podsećanja navedene su definicije koje prate ovaj pojam.

Robot je veštački čovek, automat sa mehaničkim delovima koji imitira čoveka i pomoću telemehaničkog upravljanja vrši neke, čak i složene pokrete i radnje kako pojedinih delova tela tako i celine [1].

Mašina koja izgleda kao ljudska bića i obavlja razne složene radnje (kao što je hod ili govor) kao čovek; mašina čiji je nedostatak kapacitet za ljudske emocije često naglašen; 2. aparat koji automatski izvršava komplikovane i često ponavljajuće zadatke; 3. mehanizam koji je kontrolisan automatikom [2].

Međunarodna organizacija za standardizaciju daje definicije robota u standardu ISO 8373: "automatski kontrolisan, reprogramabilan, višenamenski, manipulator programiranja u tri ili više osa koje mogu biti ili fiksne ili mobilne na mestima za upotrebu u aplikacijama za automatizaciju u industriji [49].

Reč robot je izvedena iz Češke reč "robota" i znači težak rad, prisilni rad. To je smislio Karel Čapek, dramski pisac. U svom delu "Razumovi univerzalni roboti" (org. *Rossumovi univerzální roboti*) koje je objavljeno 1920. godine, Čapek opisuje čovekolike mašine - naprave.

Dvadeset godina kasnije pisac naučne fantastike Isak Asimov (1940. god.) u naučno - fantastičnoj priči "Lažov" (eng. Liar) objavljenu kao "Drug u igri" (eng. Strange Playfellow) upotrebljava reč robi kao naziv za mehaničkog druga. Asimov 1942. godine

objavljuje još jednu kratku priču "Begunac" (eng. "Runaround") u kojoj prvi put objavljuje *tri zakona robotike* na veliko zaprepašćenje javnosti. Godine 1950. Asimov dodaje još jedan, nulti Zakon pa sada postoje četiri Zakona koji glase:

- Zakon 0: Roboti neće povrediti čovečanstvo, ili kroz nerad, dozvoliti čovečanstvu da pretrpi štetu.
- Zakon 1: Robot neće povrediti ljudsko biće ili kroz neaktivnost, dopustiti da čovek strada, osim ako bi to povredilo zakon višeg reda.
- Zakon 2: Robot mora poštovati naloge ljudi, osim ako takve naredbe nisu u suprotnosti s višim zakonom.
- Zakon 3: Robot mora štiti sopstveno postojanje dok takva zaštita nije u suprotnosti s višim zakonom.

U romanu "Ja robot" (eng. I, Robot) iz 1950. godine Asimov je objavio set reči koje je smislio kao što su: Roboti, Robotičar ili Robopsihologija. Danas su to poznate reči koje imaju svoja značenja u stručnoj terminologiji.

2.2 Robotizovani sistemi kroz istoriju

O istorijatu robotike napisano je nekoliko knjiga. Mnogo članaka, magazina, stripova i sajtova posvećeno je ovoj temi. Obuhvatiti sve modele robota i opisati događaje koji su vezani za robotiku, sa istorijskog, tehnološkog i socijalnog aspekta, prevazilazi okvire ovog doktorskog rada i predstavlja temu za posebno istraživanje enciklopedijskog tipa.

U ovom poglavlju apostrofirano je sledeće:

- da je čovek od davnina želeo da napravi sebi sličnu napravu, ili neki mehanizam,
- da je tehnološki razvoj kasnio za idejama koje su postojale još pre dve hiljade i više godina.

Kratkim istorijskim pregledom prikazan je samo deo bogatog istorijskog nasleđa robotike.



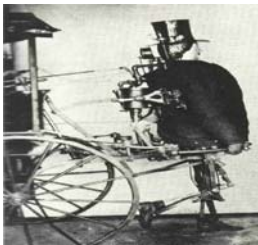
100. godina pre Hrista, **Antikythera**, mehanički astronomski kalkulator. Slučajno je pronađen na potonulom brodu. Ispitivanja koja su usledila sredinom prošlog veka predstavila su nam deo veoma razvijene civilizacije koja je poznavala zupčanike i koja je bila u stanju da napravi složen mehanizam.



Jedan od najpoznatijih ranih automata je **Leonardov** (Leonardo da Vinči) uređaj humanoidnog oblika koji je postavljen u oklop viteza. Robota pokreću zupčanici i koturovi. To je omogućavalo robotu da sedi pomera ruku, vrat i otvara usta. Dizajn potiče iz **1495.** godine, ali je nepoznato da li je zaista izgrađen i pravi model robota.

Italijan, Mario Tadei (Mario Taddei) 2007. godine. realizovao je na osnovu Leonardovih crteža "viteza".

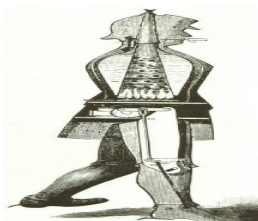
Jackues de Vaucanson je jedan od najvećih pionira rane robotike, godine **1737.** izmislio je automat koji svira frulu. Imao je repertoar od dvanaest pesama. Pronalazak je najavljivani od strane Francuske akademije nauka kao revolucionarni.



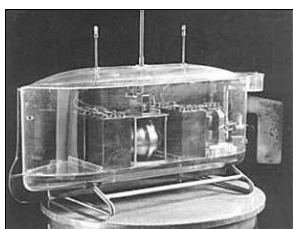
1868. Zadoc P. Dederick, izrađuje i patentira „parnog čoveka“ (eng. Steam Man)



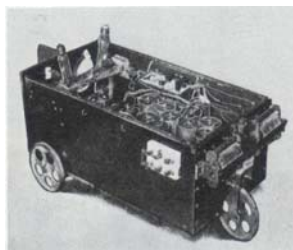
1890. Lutka koja govori, Edison



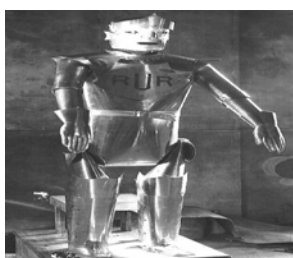
1893. Parni čovek (eng. Steam Man), George Moore



1898 *bežično upravljani brod*, Nikola Tesla je dizajnirao i napravio bežično kontrolisani brod. Brod je bio izgrađen od gvožđa. Za napajanje Tesla je koristio električne baterije sopstvenog dizajna. Brod je bio opremljen radio-prijemnikom koji je prenosio komande iz bežičnog predajnika.



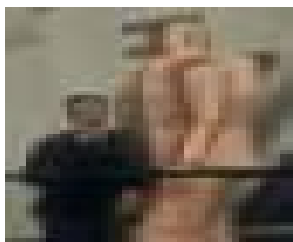
1912 *električni pas*, John Hammond, Jr. i Benjamin Miessner,



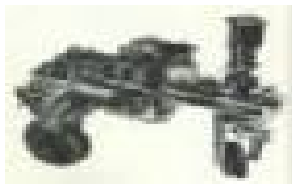
1928 *Erik*, Kapetan W. H. Richards,



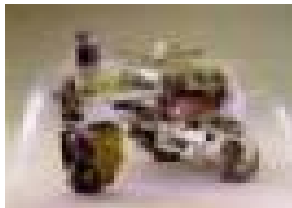
1932 *Alfa*, Londonska izložba,



1937 *Elektro*, Westinghouse,



1949 *Elsi*, William Grey Walter,



1951 *Elektronska kornjača*, Grey Walter,



1951 *Squee*, Edmund C. Berkeley,



1953 *Timoti kornjača*, Jack H Kubanoff,



1955 Peter Holland, Engleska, verovatno prvi dizajn hodajućeg vozila,



1957 *Katicabogár* (Bubamara) tvorci Dániel Muszka i László Kalmár,



1958 Uttley - Meccano trolejbus, kontrolisan preko kabla sa analognim računarom, mogao je da prati granice između bele i crne površine. Pamćenje je podržavala 31 kondenzatorska memorija,



1961 *unimate*, General Motors instalirao je prvi industrijski robot,



1962 *Lunarwalker*, Aerojet General, projektovan za eksploataciju Meseca,



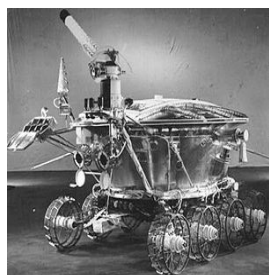
1964 *Fred*, Peter Holland, model robo platforme kontrolisan radiom,



1966 *Shakey*, Stanford Research Institute,



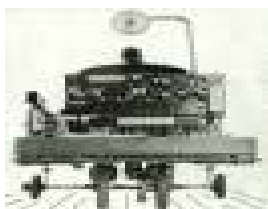
1968 *kamion*, General Electric, robot sa četiri noge, dizajner Ralph Mosher, izgrađeno za Američku vojsku,



1970 *Lunohod 1*, bio je prvi od dva bezpilotna lunarna revera koja su se spustila na Mesec od strana Sovjetskog Saveza,



1971 *MERVE* kreator Peter Vogel,



1972 *Kiklop* , kreator L C Galitz,



1977 *OSU Hexapod*, McGhee, Ohio State University,
imao je zavidnu težinu od 136kg.



1979 *Bigtrak*, (veliki kamion) Milton Bradley, mogao je da
zapamti 16 komandi koje su se zadavale preko tastature,



1980 *Timbug II*, verovatno prvi robot koji je koristio
ultrazvučne senzore za detekciju prepreka,



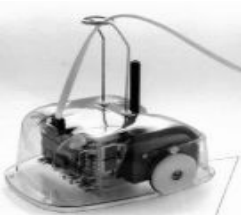
1982 *RB5X*, General Robotics Corp, još uvek se proizvodi,
cena 3500,00 dolara,



1982 *Hero-1*, Heath Company, edukacioni robot,



1983 *Prowler*, David Buckley,



1984 *Zero-2*, David Buckley,



1989 *Genghis*, Rodney A. Brooks,



1996 *P2*, Honda,



1998 BigFoot, prvi “hodajući” robot koji se prodavao u kitu,



2005 ASIMO, Honda.

2.2.1 Roboti u filmskom i TV svetu

Poglavlje koje sledi bavi se prikazom vizija robota koje su režiseri širom sveta plasirali kroz filmove i TV serije naučne fantastike. Roboti koji su se pojavili na filmskom platnu ili u TV serijama, postali su veoma popularni. Roboti i likovi iz filmova i TV serija brzo su postali komercijalni hitovi industrije igračaka.



1927 Metropolis, režiser Fritz Lang, nemi film, prvi robot na filmu robot **Maria**. Uvršten je u “Dvoranu slavnih robota” 2006 godine.



1956 Forbidden Planet (Zabranjena planeta) film, prvi put se koristi naziv “robot Robby”. Pojavio se i 1963god. u seriji „Zona sumraka“ epizoda “Ujka Sem”. Uvršten je u “Dvoranu slavnih robota” 2004 godine.



1965 *Lost in Space* (Izgubljeni u svemiru) TV serija, robot **B9**. Danas se proizvodi u ograničenim serijama po ceni od 24.500,00 dolara.



1977 *Star Wars*, Rat zvezda, režiser Džordž Lukas, roboti R2-D2, C-3PO. Serijal filmova koje je stvorio Lukas, bila je, jeste i biće inspiracija mnogima gledaocima da se zainteresuju za robotiku kao simpatizeri, hobisti ili profesionalci.



1984 *Terminator*, James Cameron, veoma uspešan serijal filmova sa robotom humanoidnog lika. Robot T-800 uvršten je u "Dvoranu slavnih robota" 2009 godine.

2.2.2 Roboti igračke

Pričati o robotima i robotici, a ne pomenuti igračke koje su pratile ovu zanimljivu oblast bilo bi nepravедno. Velikoj populaciji dece, robo junaci bili su inspiracija. Velika kompanija *LEGO* imala je čitavu seriju kompleta posvećenu pojedinim scenama kultnog serijala "Rat zvezda" (eng. *Star Wars*) režisera i scenariste Džordža Lukasa (org. George Lucas).

U prilogu 2.2.2 dat je prikaz nekoliko najpopularnijih robota igračaka. Prikazane su i vredne kolekcije robota.

2.3 Edukacioni roboti

Budući da su običaji i znanje drevnih civilizacija postajali složeniji, mnoge vještine i iskustva prenošene su generacijama učenjem očiglednim primerima.

Učenje je imalo svoj tehnološki razvoj u korišćenju edukacionog materijala. Sa razvojem civilizacije i tehnologije, usavršavao se i sistem učenja. Prvobitno se za učenje koristilo verbalno i pokazno prenošenje znanja. Na slikama renesansnih slikara možemo videti kako se znanje sticalo u tim vremenima, slika 2.3.1.



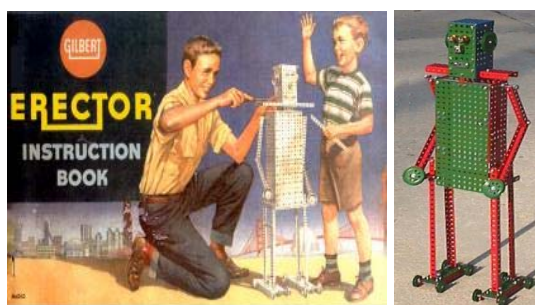
Slika 2.3.1: Levo, sveti Pavle (St Paul); desno „Škola Atine“, Raphael Sanzio, 1511. god.

Obrazovanje i mlađe populacije bilo je važno što se vidi sa slike 2.3.1a.



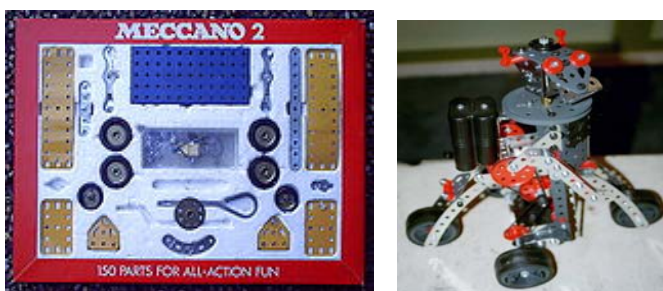
Slika 2.3.1a: Učenje (Bukurešt oko 1842god.)

Pojavom obrazovnih institucija dobijamo tablu i kedu kao nove edukacione alate. Industrijska revolucija polako uvodi svesku i knjigu u učionicu. Dalji razvoj tehnologije omogućio je uvođenje novih „instrukcionih“ medija, kao što su slike, slajdovi, film. Dvadesetih godina prošlog veka pojavljuju se konstruktorski kompleti koji su bili izuzetno napredni za to doba. Sredinom pedesetih godina nastavni setovi u ponudi konstrukcijskih rešenja imaju i robote slika 2.3.2.



Slika 2.3.2: Komplet “Erector“, 1957 - 1959god.

Drugi talas medija u učionice donosi elektronske medije – radio, televiziju, kamere i video rekordere. Već tada se pojavljuju elektromehanički kompleti kao nova nastavna sredstva slika 2.3.3.



Slika 2.3.3: Mekano komplet i Mekano robot, 1967 god.

Kompleti su bili vrlo popularni sredinom šezdesetih i početkom sedamdesetih godina prošlog veka. U bivšoj SFR Jugoslaviji (Srbija je bila jedna od članica federacije) edukativne komplete proizvodila je Mehanotehnika iz Slovenije. Elektropionir je bio naziv za nastavni set namenjen elektrotehnici i fizici.

U Ruskoj federaciji (bivša SSSR) kompleti su se proizvodili u Lenjingradu. Veliki set sa 220 delova pod nazivom "Učenik" proizvodio se pre 1991. god. Namenjen je za korišćenje u osnovnoj školi. Delovi kompleta izrađeni su od metala i imaju odličnu završnu obradu, slika 2.3.4. U prilogu 2.3 prikazano je nekoliko karakterističnih nastavnih kompleta.



Slika 2.3.4: Komplet pod nazivom "Učenik", (bivša SSSR)

Treći talas medija doneo je računare u učionice već početkom sedamdesetih godina prošlog veka, slika 2.3.5.



Slika 2.3.5: Računar za kurs računarske elektronike (*Mechanic illustrated* 1971)

Sredinom osamdesetih godina prošlog veka četvrti tehnološki najnapredniji talas, uvodi nas u globalni svet, primenjivih interaktivnih računarskih tehnologija i dinamičkih web prezentacije (sajtova). Virtualna učionica i 3D laboratorija postaju naša realnost.

2.3.1 Postojeće stanje

Edukacioni roboti odavno su se dokazali kao efikasan pedagoški alat za poboljšanje efikasnosti nastave fizike, inženjeringa i kompjuterskih nauka.

U ovom delu osvrnućemo se na postojeće stanje predstavljajući samo nekoliko reprezentativnih modela. Tržište koje je izuzetno veliko (preko 136 robotizovanih platformi i svakog dana pojavljuju se novi proizvodi) nudi razne nastavne komplete.

Izbor je moguć na osnovu nekoliko kriterijuma:

- uzrast za koji je namenjen set,
- set za sastavljanje ili sastavljen robot,
- mogućnost programiranja robota,
- mogućnost povezivanja na računar.

Poćećemo od jednostavnih pa do veoma složenih i skupih.

Scribbler (piskaralo) robot dolazi kompletno sastavljen. Kako proizvođać navodi to nije igraćka i namenjen je za uzrast od 14 i više godina starosti. Robot je realizovan u okviru projekta koji je finansirao Majkrosoft (eng. Microsoft) a realizovao Institut za personalne robote u obrazovanju (eng. Institute for Personal Robots in Education skr. IPRE).



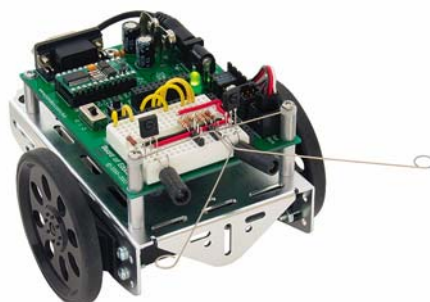
Komponente:

- plastićno postolje,
- 2 motora sa reduktorima,
- 1 kastor toćak,
- kontrolna ploća Basic Stamp II, RS 232 interfejs,
- IR senzor za praćenje linije,
- IR za detekciju prepreka,
- 3 foto senzora,
- modularnost
- zemlja porekla USA.

Boe Bot je zaštićeno ime za mali robotićki komplet, koji se koristi na koledžima i srednjim školama za obrazovnu nastavu u robotici. Sastoji se od glavne ploća, mikrokontrolera, dva mala servo motora za pogon toćkova i aluminijumske šasije.

Komponente:

- metalno postolje,
- 2 motora sa reduktorima,
- 1 kastor toćak,
- kontrolna ploća Basic Stamp, USB interfejs,
- IR senzor za praćenje linije,
- modularnost
- zemlja porekla USA.



ER-6 je obrazovni modularni robot lak za montažu. Isporučuje se u kompletu sa senzorima, motorima, PLC pločom, daljinskim upravljačem, softverom i raznim izmenjivim modularnim jedinicama.



- Komponente:
- plastično kućište
- 2 motora sa reduktorima
- 1 kastor točak
- Atmega64 kontrolerom, USB interfejs,
- IR senzor za praćenje linije,
- LCD,
- senzor dodira,
- modularnost
- zemlja porekla USA.

Qfiks robot komplet je obrazovni alat za nastavu robotika. Koristi se u osnovnim i srednjim školama. Komunikacija se ostvaruje preko USB protokola. Jednostavan je za sastavljanje.



- Komponente:
- metalno postolje
 - 2 motora sa metalnim prenosnicima i 50mm točkovima, kastor točak,
 - kontrolna ploča "MiniBoard" sa ATmega32 kontrolerom, I2C bus i USB interfejs
 - IR senzor za praćenje linije
 - modularnost
 - zemlja porekla Nemačka

Roamer je prvi obrazovni robot koji se pojavio 1989 godine. Namenjen je učenicima starosti od 5 do 13 god. Duži niz godina je u upotrebi i ima zavidnu softversku podršku.

- Komponente:
- plastično kućište,
 - 2 motora
 - kontrolna ploča sa 59 instrukcija i USB interfejs
 - IR senzor za praćenje linije
 - zemlja porekla USA



Lego MINDSTORMS je najpoznatiji robo komplet namenjen uzrastu od 9 god. pa naviše. Prva maloprodajna verziji Lego Mindstorms objavljena je 1998. god. Softver se plaća dodatno.



Komponente:

- plastično kućište,
- 3 motora
- kontrolna ploča sa USB interfejs
- Blutut
- IR senzor
- modularan
- zemlja porekla Danska

e-puck je edukacioni robot namenjen univerzitetskom nivou. Lak je za sklapanje. Prvi put se pojavio 2004. godine.



Komponente:

- plastično kućište,
- 2 koračna motora,
- kontrolna ploča sa RS232 interfejs,
- Blutut,
- IR senzor 8 kom,
- modularan,
- zemlja porekla Švajcarska.

Plen je robot koji se sastavlja iz kompleta. Vrlo kompleksan za sastavljanje.

Komponente:

stepeni slobode (DOF) 18

ugrađen Blutut modul

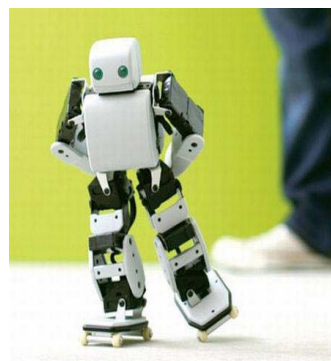
visina 228mm

težina 696g

baterija Nickel hydrogen 6V-950mA

softver PLEN Motion Editor i PC kontroler

zemlja porekla Japan



2.3.2 Školska takmičenja u robotici

Kognitivni reperi se koriste za upoređivanje kvaliteta (kontrolera) robota. Ovo poređenje se obavlja merljivim kriterijumima kao što je vreme koje je potrebno da se reši problem ili pobeđi u igri. Pravila moraju da bude nedvosmislena.

Da bi se povećala motivisanost učesnika, kognitivni pokazatelji su često u obliku takmičenja. Zahvaljujući ovim takmičenjima, učesnici postignu često veoma dobra rešenja datih problema.

Sa razvojem obrazovnih robotizovanih sredstava počele su promocije a kasnije i takmičenja u robotici [3]. Lokalna takmičenja prerasla su postepeno u državna i na kraju u svetska takmičenja. Postoji nekoliko desetina vrlo ozbiljnih takmičenja koja uglavnom organizuju proizvođači robotizovanih sredstava. Više o ovoj temi u prilogu 2.3.2.

2.4 Zaključak

U kratkom pregledu postojećih edukativnih robota na tržištu, moguće je videti da su to efikasni roboti i dobri obrazovni alati. Isto tako vidimo da korisniku, bilo da je učenik ili student, nije ostavljeno puno prostora za kreativnost.

Većina edukacionih robota na tržište stiže kao gotov proizvod, (nisu predviđeni za sklapanje). Tu se gubi razvijanje manipulativnih sposobnosti učenika.

Kreativnost je potisnuta u sferu softvera. Izuzetak je Lego sistem koji omogućava sastavljanje različitih robota delovima iz kompleta.

Važan faktor je i cena. Kompleti su predstavljeni u svojim osnovnim verzijama. Softver koji dolazi u takvom kompletu, često je samo osnovni paket za elementarno funkcionisanje robo platforme. Ako se želi više potrebno je kupiti softver ili licencu koja košta i četvrtinu vrednosti baznog kompleta. Sve ostalo dodatno se plaća kao kablovi za konekciju sa računarom, senzori ...

3. LASERSKO SENZORSKA GRUPA

3.1 Uvod

Poslednjih godina veoma su aktuelni roboti koji koriste lasersku senzorsku tehnologiju. U ovom poglavlju predložen je koncept lasersko senzorske grupe za robotizovano nastavno sredstvo. Poštujući postulat finansijske pristupačnosti razvijen je jednostavan laserski senzorski sistem koji može da prepozna definisane geometrijske objekte, kupu, kocku i loptu.

Rad lasersko senzorske grupe (hardver i softver) kontroliše programabilni logički kontroler (eng. Programmable Logic Controller, skr. PLC) i prateći kontrolni modul (skr. PM).

Laserski senzorski sistem predviđen je da bude univerzalnog karaktera i funkcioniše sa:

- PLC-om,
- PM-om robotizovane platforme.

Prateći kontrolni modul može da detektuje prepreku koja se nalazi ispred robotizovane platforme i menja pravac kretanja robota u skladu sa definisanim programom.

3.2 Pregled postojećih sistema i specifikacija

Prepoznavanje oblika i orijentacija u nepoznatom prostoru predstavlja jedan od najtežih zahteva za autonomne robote. Čak i ako je sistem koji će se koristiti u zatvorenom i definisanom prostoru, kalibracione procedure mogu biti veoma kompleksan zadatak. Veliki napredak u ovoj oblasti postignut je zahvaljujući novim tehnologijama u izradi senzora i mikrokontrolera koji se koriste za obradu svih signala generisanih od strane senzorskih sistema robo platforme.

Nove tehnologije u izradi laserskih dioda omogućile su da nabavna cena bude pristupačna čime su stvoreni uslovi da se laserski sistemi primene i u edukacionim robotizovanim sredstvima.

Minijaturizacija je omogućila da senzorski sistemi sada mogu da se ugrade i u male robo platforme. Izbor senzornih sistema još uvek zahteva kompromis između veličine, tačnosti, brzine odziva senzora i cene. Više o senzorskim sistemima može se videti u prilogu 3.2.

3.2.1 Senzorski sistemi

Senzorski sistemi kojima se opremaju savremeni roboti mnogobrojni su. Funkcionalnost robo platforme u mnogome zavisi od izbora senzora i njegove funkcije.

Grubu podelu senzora napravili smo na osnovu funkcije:

- Senzori motorno-mehaničke grupe,
- Senzori za detekciju prepreka,
- Senzori percepcije okruženja,
- Senzori za orijentisanje.

3.2.2 Senzori motorno-mehaničke grupe

U ovu grupu spadaju elektro-mehanički sklopovi koji detektuju kretanje, vibracije i ugao elementa koji kontrolišu. U tu grupu spadaju:

- akcelorometri (eng. Accelerometer),
- enkoderi (eng. Encoder),
- senzori opterećenja i obrtnog momenta (eng. Load - Torque).

3.2.3 Senzori za detekciju prepreka

Vrlo važnu ulogu u funkcionisanju robo platforme imaju senzori ove grupe. Svedoci smo da vozila bez učešća ljudi samostalno pređu i preko 200 km [Darpa 2008]. Koristeći kombinaciju laserskih i IR skenera, kao i CCD sistema, vozilo detektuje prepreke. Sofisticiran softver obrađuje podatke sa skenerskih sistema, a hardver uspešno manevriše izbegavajući moguće sudare. Predstavnici ove grupe su:

- elektro-mehanički prekidač (eng. Switch),
- ultrazvučni senzori (eng. Sonar),
- infra crveni senzori (eng. Infra Red),
- laserski skeneri,

3.2.4 Senzori percepcije okruženja

Senzori percepcije okruženja postaju sve zanimljiviji i njihova upotreba više nije samo pokazna već postaje standard za sve ozbiljnije robo platforme.

- vizuelni CCD senzorski sistemi,
- sistemi za prepoznavanje govora,
- senzori za detekciju boja.

3.2.5 Senzori za orijentisanje

Senzori ovog tipa koriste se u novije vreme uglavnom na robotizovanim platformama za specijalne namene. Najčešće se koriste:

- senzor kompasnog tipa,
- globalni pozicioni sistem (eng. GPS).

3.3 Projektovanje lasersko senzorske grupe

Danas postoji mnogo kompanija i organizacija u svetu koje se bave procesima projektovanja lasera i njihovom upotrebom. Mnogo sistema je razvijeno za lasersku virtuelizaciju prostora. Pomenuta su dva najčešće korišćena:

- pravoliniski Laserski Sistem (eng. Straight-Line Laser Systems)
- rotirajući Laserski Sistem (eng. Continuously Rotating Laser Systems)

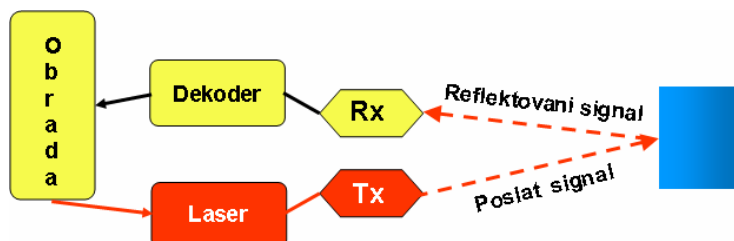
U zavisnosti od tipa lasera i tačnosti merenja koju želimo da postignemo kreću se i cene sistema. Najjeftiniji sistem je oko 7.000,00 dolara, a najskuplji sistemi su oko 100.000,00 dolara. Treba napomenuti da je tačnost merenja izuzetno visoka i kreće se u opsegu od 0.00012"/ft (0.01 mm/M) do 0.00002"/ft (0.0017 mm/M).

U uvodnom delu je napomenuto da mnogo konzorcijuma radi na razvoju specifikacija i novih tehnologija za laserski sistem skeniranja okruženja. Da bi univerzalnost jednog sistema mogla da bude i operativno primenjena, neophodno je uvesti standarde. Standardizovan sistem ima širu praktičnu primenu. Do standarda se još uvek nije došlo pa smo razvoj LSG usmerili na ekonomske i razvojne potrebe naše teze.

Za ovaj rad projektovana je originalna senzorska grupa. Razlozi za to postoje:

- LSG lako može da se prilagodi kontrolerima,
- softver može da se prilagođava potrebama,
- finansijski efekat.

Princip koji je izabran je klasično merenje daljine laserom. Zasniva se na merenju vremena koje je potrebno kontinuiranom pravolinijskom laserskom signalu da pređe put od izvora snopa (emitera) do predmeta i nazad do senzora. Blok dijagram sistema prikazan je na slici 3.3.1.



Slika 3.3.1: Blok dijagram sistema

Hardversko rešenje za koje smo se opredelili koristi lasersku diodu proizvođača SANYO tip DL-3148-023 koja emituje crvenu svetlost, talasna dužina je 635nm. Izlazna snaga lasera je 3mW. To svrstava lasersku diodu u klasu 2 po Internacionalnoj komisiji za elektrotehniku (eng. International Electrotechnical Commission, skr. IEC). Karakteristike diode priložene su u tabeli 3.3.

Senzor koji registruje reflektovani laserski snop je Eeverlight ELPT 908-7C fototranzistor. Odlikuje se brzim odzivom (15µs) velikom selektivnošću i što je jako važno podleže RoHS specifikacijama. Karakteristike senzora priložene su u tabeli 3.4. U prilogu 3.3 dat je pregled više tipova laserskih dioda.

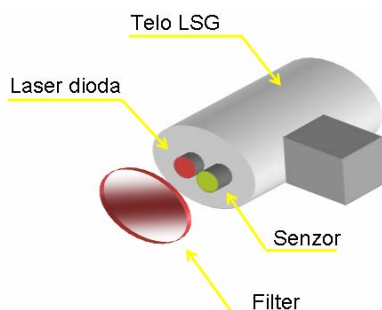
Tabela 3.3: Karakteristike laserske diode

Naziv	Vrednost
Talasna dužina	635 nm
Tip	AlGaInP
Struja	I = 20 mA
Izlazna snaga	3 mW /konstantan snop
Napon	V _{op} = 2.2 V
Pakovanje	5.6 mmØ

Tabela 3.4: Karakteristike fototranzistora

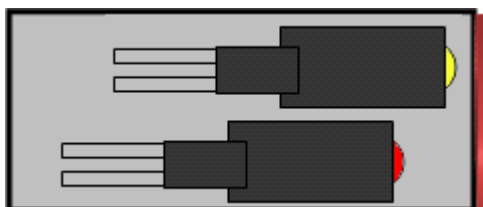
Naziv	Vrednost
Talasna dužina	400-1100 nm
Tip	silikon
Struja kolektora	I _c = 20 mA
Napon	V _{ceo} = 30 V

Samo rešenje senzorske grupe zahtevalo je minimalističku formu slika 3.3.2.



Slika 3.3.2: Lasersko senzorska element

Laserska dioda i senzor stavljeni su u plastičnu cev i zaliveni epoksidnom smolom. Posebna pažnja posvećena je položaju laserske diode koja je morala da bude iza senzora zbog mogućih smetnji i refleksije. Da bi eliminisali moguće probleme senzor je upakovan u antirefleksni bužir. Ispred senzora postavljen je filter. To je zatamnjena plastika debljine 0.5mm koje je namenjena za zaštitu senzora od reflektovanog dnevnog i veštačkog svetla. Filter ima otvor ispred laserske diode da bi snop svetlosti koju emituje slobodno prolazio. Konstrukcijsko rešenje pojedinačnog senzorskog elementa prikazano je na slici 3.3.3 kao i prvi prototip slika 3.3.4.



Slika 3.3.3: Presek jednog lasersko senzorskog elementa

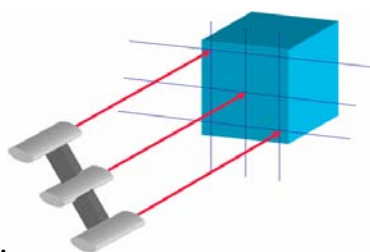


Slika 3.3.4: Prototip laserskog senzora bez filtera

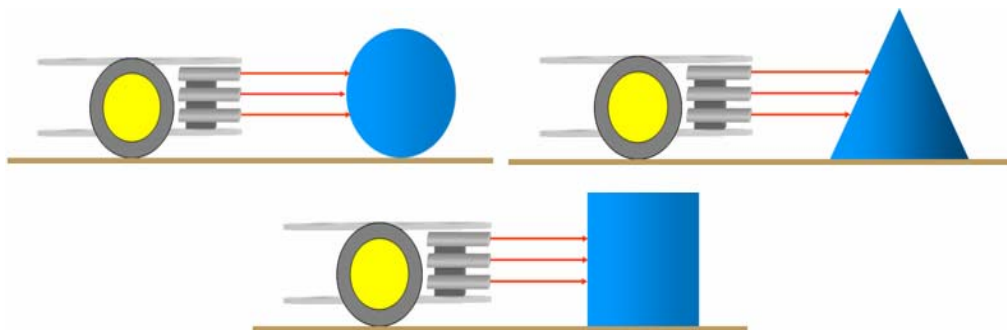
Princip detekcije predmeta zasniva se na upoređivanju intenziteta reflektovanih laserskih signala sa predmeta. Da bismo mogli sa sigurnošću da izvršimo prepoznavanje

osnovnih geometrijskih oblika kao što je kocka, lopta, kupa ili piramida, potrebno je skeniranje napadnih ivica, slika 3.3.5.

Za tu svrhu koristimo trostruku funkciju za skeniranje, definisanje predmeta. Merenje se vrši u tri merne tačke. Kao što se vidi sa slike 3.3.5 i 3.3.6 razlike u mernim tačkama dovoljne su da omoguće definisanje elementarnih oblika predmeta ispred robo platforme. Shodno tome senzorska grupa sastoji se od tri senzorska elementa koji su međusobno fiksirani i postavljeni u unutrašnjost robotizovane platforme. Signali sa senzora dovode se na analogni ulaz mikroprocesora gde se vrši obrada po zadatom algoritmu. Upoređivanjem analognih vrednosti možemo da odredimo predmet koji se nalazi ispred platforme. Više o opremi, testiranju i merenjima koja su vršena dato je u prilogu 3.3.1.



Slika 3.3.5: Lasersko definisanje predmeta sa tri merne tačke



Slika 3.3.6: LSG i razlike napadnih ivica

3.4 Merenja i programska podrška

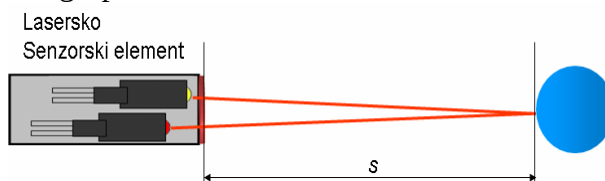
U proces detekcije predmeta kao što smo napomenuli u prethodnom poglavlju uključen je mikroprocesor i LSG. Pored navedenog hardvera potrebni su i odgovarajući modeli geometrijskih predmeta koji se skeniraju. Skeniranje predmeta obavlja tri laserska snopa. Obrada primljenih signala odvija se u komparatoru PLC-a. Istovremeno

se obrađuje tri signala, a upoređivanjem dobijenih vrednosti definiše se koji predmet je skeniran, videti tabelu 3.4.1.

Tabela 3.4.1: Upoređivanje vrednosti laserskog signala

Predmet	Laser A	Laser B	Laser C
<i>Lopta</i>	1	0	1
<i>Kocka</i>	1	1	1
<i>Piramida</i>	0	0	0

Prepoznavanje oblika se odvija u učionici pa je i rastojanje između LSG i predmeta ograničeno na 20cm. Na slici 3.4.1 prikazali smo funkcionisanje jednog elementa lasersko senzorske grupe.

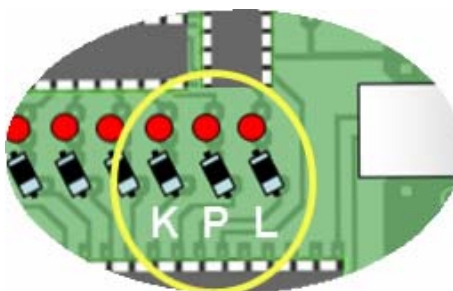


Slika 3.4.1: Merenja reflektovanog laserskog snopa

Programski deo koji prati naš složen hardverski sistem prepoznavanja oblika moguće je podeliti u dva dela:

- mikrokod koji je rezidentan u mikrokontroleru PLC-a ili PM,
- program koji se je napisan za prepoznavanje predmeta i nalazi se instaliran u računaru.

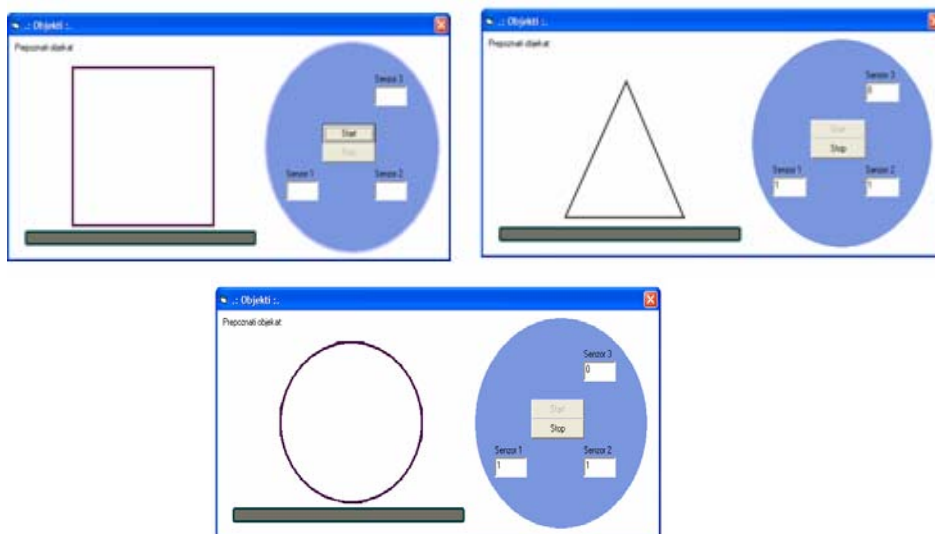
Mikrokod rezidentan u mikrokontroleru – aktivira se pritiskom na taster C (jedan od tri raspoloživa na PLC-u). Program startuje uključivanjem tri LED diode koje služe kao pokazivači koji indiciraju prepoznat geometrijski oblik. Na PLC ploči, slika 3.4.2, obeleženi su LED indikatori koji se koriste u programu. Obeležavanje je urađeno velikim latiničnim slovima K, P, L, respektivno **K**ocka, **P**iramida, **L**opta. U poglavlju četiri detaljnije je opisan PLC. Program se zaustavlja ponovnim pritiskom na taster C.



Slika 3.4.2: LED indikatori u funkciji prepoznavanja objekata

Program koji se nalazi u računar – pokretanjem otvara ekran koji je prikazan na slici 3.4.3. Prepoznat predmet prikazuje se kao 2D projekcija sa vrednostima koje su senzori registrovali.

U pozadini ove aplikacije za sada radi samo jedan jednostavan agentni sistem. Aktivira se po startovanju programa. Funkcija agentnog sistema je da analizira primljeni signal sa diskretnim setom predefinisanih konstanti. Ispunjavanjem unapred definisanih agentnih uslova eliminiše se moguća greška refleksije.



Slika 3.4.3: Rudimentaran program za prepoznavanje predmeta

Primer aplikacije dat je u sledećih nekoliko programskih redova.

Uzima se prvo vrednosti sa senzora (analogni ulazi na mikrokontroleru) pri dnevnom osvetljenju i bez uključenja dodatnog izvora svetlosti (u daljem tekstu LSG)

```
Nulte_vrednosti(1) = Getadc(1)
Nulte_vrednosti(2) = Getadc(2)
Nulte_vrednosti(3) = Getadc(3)
```

2. Uključujemo LSG i učitavamo (skupljamo) vrednosti u niz od 20 elemenata (ponavljamo merenje 20 puta svakih 50 milisekundi):

```
Sen_a = 0
Sen_b = 0
Sen_c = 0
For Brojac = 1 To 20
Merena_vrednost(1) = Getadc(1)
Merena_vrednost(2) = Getadc(2)
```

```

Merena_vrednost(3) = Getadc(3)
Merena_vrednost(1) = Merena_vrednost(1) - Nulte_vrednosti(1)
Merena_vrednost(2) = Merena_vrednost(2) - Nulte_vrednosti(2)
Merena_vrednost(3) = Merena_vrednost(3) - Nulte_vrednosti(3)
Sen_a = Sen_a + Merena_vrednost(1)
Sen_b = Sen_b + Merena_vrednost(2)
Sen_c = Sen_c + Merena_vrednost(3)
Wait ms 50
Next Brojac

```

U ovom delu obrada se nastavlja: Dobijenu vrednost u "Merena_vrednost" oduzmemo od vrednosti izmerene pri dnevnom osvetljenju " Nulte_vrednosti" da bi izbegli grešku pri dnevnom osvetljenju.

3. Poslednji deo predstavlja sabiranje svih izmerenih vrednosti i deljenje sa 20 (srednja izmerena vrednost)

```

Sen_a = Sen_a / 20
Sen_b = Sen_b / 20
Sen_c = Sen_c / 20

```

To je ukratko algoritam skeniranja vrednost dobijenih sa analognih ulaza mikrokontrolera i obrade srednje izmerene vrednosti sa što manjom greškom.

Prethodni program je jednostavan ali dobro pokazuje kako se robo platforma može iskoristiti za demonstraciju potrebe učenja programiranja. Skoro svi kursevi programiranja, nezavisno od programskih jezika, obrađuju zadatke izračunavanja niza brojeva koji je praktično ovde primenjen za računanje početnih i krajnjih vrednosti.

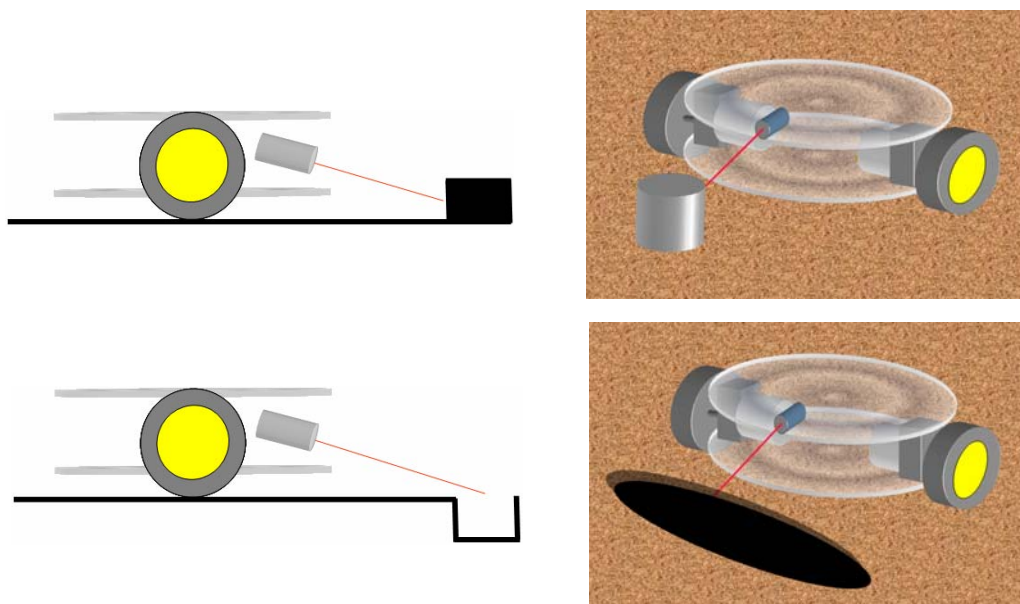
3.5 IR senzori

Zamena za laserski sistem može da bude infra crveni tip senzora (eng. Infra Red skr. IR). Tako se povećava paleta funkcionalnosti PLC-a. Robotizovana platforma opremljena je sa tri IR senzorske grupe koje su podeljene prema funkciji:

- senzor za detekciju prepreka,
- senzori za praćenje markirane linije,
- senzor za prijem kontrolnih signala sa PLC-a i TV upravljača.

Senzor za detekciju prepreka - nalaze se napred, ispod gornje ploče. Uloga koju senzorski sklop ima je detekcija prepreke na rastojanju do 300mm. Prepreka koja je na putu robo platformi zaobilazi se skretanjem koje je definisano programski, a kontroliše mikrokontroler. Na slici 3.5.1 prikazane su elementarne prepreke koje platforma može da registruje.

Praćenje markirne linije - predstavlja unapred definisano kretanje. Senzori detektuju određen nivo svetlost koja je reflektovana od podloge, u našem slučaju to je bela boja. Kada se senzorska grupa nađe na crnoj površini (markirna linija) nivo refleksije se smanji, samim tim i signal se promeni što se u naponskom komparatoru registruje i prosledi na analogni ulaz mikrokontrolera. Na osnovu razlike u nivou signala šalje se signal samo levom ili desnom motoru u trajanja od 1s, pa se opet aktiviraju oba motora i nastavlja se kretanje.



Slika 3.5.1: Prepreke: levo- ispupčenje, desno- udubljenje

Senzor prijema kontrolnih signala - sa PLC-a i TV daljinskog upravljača predstavlja dodatni element koji proširuje upotrebne mogućnosti robo platforme.

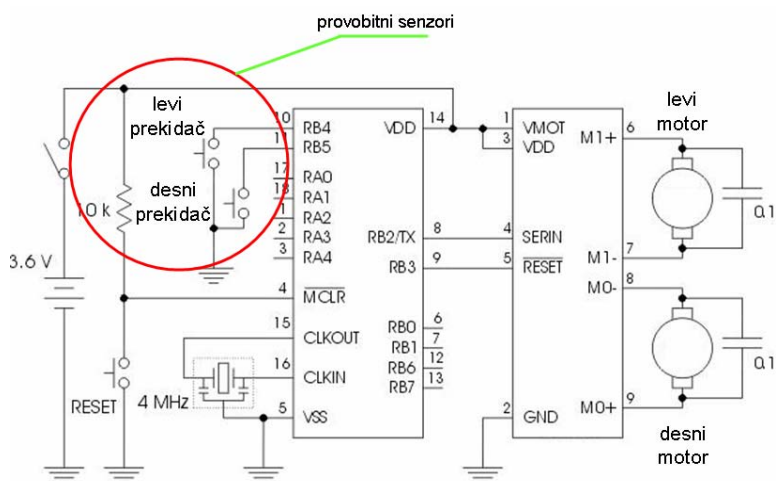
IR sklopovi definisani su hardverski. To znači da se sve funkcije (prijem, obrada signala i izvršne komande) odvijaju programski u mikrokontroleru koji je detaljnije opisan u četvrtom poglavlju.

3.6 Detekcija predmeta IR senzorima

Još prvi roboti imali su elemente koji su služili za detekciju prepreke koja se nalazi na njihovom putu. Tada su se koristili mehanički prekidači, slika 3.6.1 i 3.6.2. Kada robot svojim “senzorom” (aktuator mehaničkog prekidača) dodirne prepreku, prekidač aktivira elektroniku koja vrati robota u suprotnom smeru od smera u kom se kretao i u zavisnosti od programa preduzima se promena pravca, izbegavanje prepreke. Vraćanje pa promena pravca bili su neophodni jer platforme zbog blizine prepreke nisu mogle da imaju mogućnost skretanja i preduzimanja ozbiljnijih manevara.

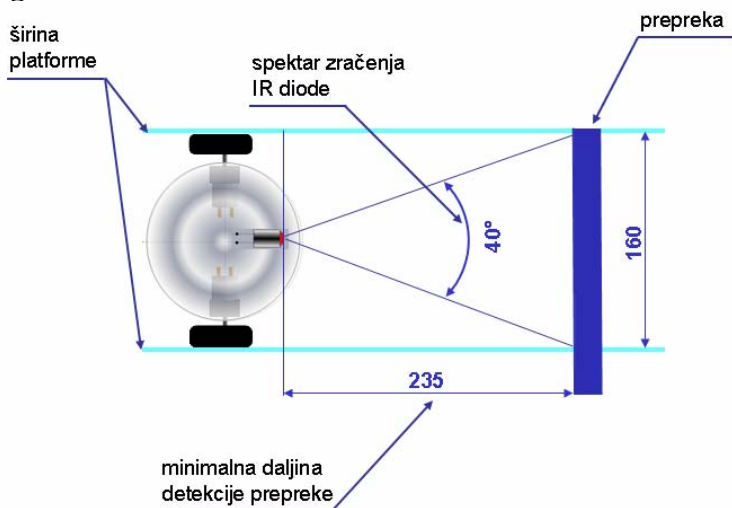


Slika 3.6.1: Mehanički prekidači



Slika 3.6.2: Šematski prikaz realizacije prvih „senzor“

Za našu robotizovanu platformu pripremili smo poznat IR sistem kojim možemo da detektujemo predmet na udaljenosti većoj od 300mm. Koristimo Lumex-ovu IR diodu (OED-EL-8L) koja emituju snop od 40°. IR snop reflektuje se od predmeta i vraća nazad do IR senzorskog modula SFH5110, slika 3.6.2.



Slika 3.6.2: Rešenje koje je ponuđeno

Refleksija širokog snopa rezultira da je polje ispred platforme dobro pokriveno. To omogućava robotu da uspešno detektuje prepreku na svom putu.

IR dioda upakovana je u termo bužir kao što je prikazano na slici 3.6.3. To je neophodno da bi izbegli neželjeno bočno zračenje koje vrlo lako može da unese “šum” koji bi IR modul prepoznao kao da je reflektovani signal od prepreke. Aktivirao bi se sistem za izbegavanje objekata i platforma bi promenila pravac svog kretanja, zaobilazeći virtuelni (ne postojeći) predmet.



Slika 3.6.3: Priprema IR diode

Za razliku od IR senzora za prijem signala, koji je eksponiran i postavljen na vidljivo mesto na platformi, IR senzor za detekciju prepreke nalazi se u samom kućištu robo platforme zaštićen od spoljnih uticaja.

Deo koda za detekciju prepreka:

```
' *****
' * Naziv   : IR-Detekcija.BAS *
' * PIC    : 18F2550           *
' * verzija : 10/05/2009       *
' * Opis   : Infrared detekcija ima hardverski PWM *
' *****

DEFINE LOADER_USED 1 ' Koristi se samo za boot-loader
DEFINE OSC 20        ' 20MHz
ADCON1 = 7           ' Port A = digitalni I/O
CDS VAR BYTE         ' CDS photo-cell čita
TRISC.2 = 0          ' Set Port C pin 2 (CCP1) izlaz za PWM motora
TRISB = %10000000    ' Set Port B.0,1,2,3,4,5,6 Izlaz PortB.7 = Ulaz
TRISA.0 = 1          ' Set Port A pin 0 za ulaz
CCP1CON = %00001100 ' Set CCP1 za PWM
INTCON.7 = 0         ' Isključiti interapt OFF
T2CON = %00000100    ' uključiti Timer2, Prescale = 1
OPTION_REG.7 = 0     ' Uključiti ON PortB pull-ups
PR2 = 25             ' Set PR2 for 38.4kHz PWM [26uS period]
start:
POT PORTA.0,127,CDS ' Inicijalno čitanje
SELECT CASE CDS      ' Vrednost variable CDS
CASE IS >= 49        ' ako svetlo preko 48, duty = 8% [dark]
    CCPR1L = 2       ' Duty cycle = 8% approx
```

```

CASE IS <= 10      ' ako svetlo ispod = 10, duty = 20% [bright]
  CCPR1L = 5       ' Duty cycle = 20% approx
END SELECT         ' završena selekcija

```

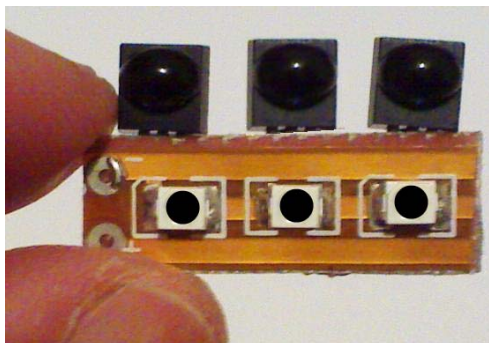
```

IF PortB.7 = 0 THEN
  PortB.0 = 1
ELSE
  PortB.0 = 0
ENDIF
GOTO start      ' Vraća se na početak

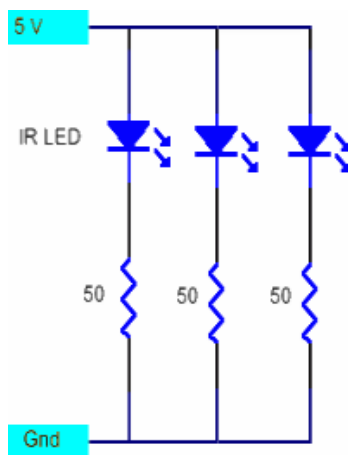
```

3.6.1 Senzor kretanja po markiranoj putanji

Da bi robo platforma mogla da prati markiranu putanju (unapred definisano kretanje) potrebni su IR senzori i program koji bi se izvršavao u mikrokontroleru. IR senzorsku grupu napravili smo u kombinaciji sa SHF5110 i SMD IR LED elementima, slika 3.6.1.1.



Slika 3.6.1.1: Senzori za detektovanje markirne linije



Slika 3.6.1.2: Šema povezivanja emisionih IR dioda

Deo koda dat je u prilogu 3.6.1. Više o samom povezivanju senzora i mikrokontrolera dato je u poglavlju (4.4.5) koje obrađuje elektronske komponente.

3.7 Zaključak

Prikazano je jedno veoma kompleksno poglavlje, kako hardverski tako i programerski. Funkcija senzorskih sistema i raznovrsnost njihove primene definišu i samu robo platformu.

Projektovanjem senzorskih grupa i njihovom primenom u savremenom nastavnom sredstvu ponuđeno je nešto novo, a da cena bude znatno manja od konkurencije. To novo je:

- upotreba lasera za robotizovanu platformu,
- prepoznavanje oblika laserima,
- IR senzori za praćenje markiranog puta i prijema kontrolnog signala sa TV upravljača.

Sve što je nabrojano sastavni je deo ponuđenog kompleta za savremenu nastavu robotike.

Veoma važna napomena je da pri radu sa laserima bez obzira na njihovu snagu nikada ne smemo izlagati oči direktnom ili optički reflektovanom indirektnom laserskom snopu. Refleksija sa bele površine papira i mat predmeta je bezopasna.

Klasa 2 lasera može da se koristi u demonstracijama i eksperimentima u školama pre nego klasa 3A lasera, jer ima niži nivo zračenja. Međutim, upotreba klase 3A lasera može biti potrebna da bi se dobile korist iz određene demonstracije ili eksperimenta. U tim slučajevima, moraju da se primene dodatne mere zaštite [56].

Za lasere koji emituju u višim klasama 3B i 4 obavezna je upotreba specijalnih, namenskih zaštitnih naočara. Tabela 3.7.1 sadrži karakteristike koje imaju specijalna stakla. Zaštitne naočare dizajnirane su da propuštaju specifičnu talasnu dužinu apsorbujući intenzitet snopa sa vrednošću ~99% .

Tabela 3.7.1: Karakteristike specijalnog zaštitnog stakla

Talasna dužina	Optička gustina	Baja	Svetlosna propusnost
632nm	2+	Blue	55.5%
650-690nm	3+		
690-1000nm	6+		

Na kraju napominje se da znak za laser, slika 3.7.1, mora da se istakne na vidljivom mestu kao upozorenje korisniku da se pridržava mera zaštite pri rukovanju sa ovim tipom uređaja.



Slika 3.7.1. Upozoravajući simboli za laser

4. PROGRAMABILNI LOGIČKI KONTROLER I PRATEĆI KONTROLNI MODUL

4.1 Uvod

Nove generacije kućnih i mobilnih uređaja koje mi danas koristimo u budućnosti biće kontekstno osetljive, uslužne i perceptivne – u stanju da oseće potrebe svojih korisnika i pruže povratne informacije preko svojih ambijentalnih ekrana. Dizajneri-vizionari koncentrišu se na napredne mobilne uređaje.

Mobilni svet je iz dana u dan sve mnogobrojniji. Mobilni uređaji postaju sve kompleksniji i predstavljaju odličnu bazu koja može vrlo kvalitetno tehnološki da podrži kontrolu robotizovanog nastavnog sredstva.

Vodeći računa o tome i u projektnom zadatku predviđena je mogućnost kontrole robotizovane platforme na nekoliko načina što je u ovom poglavlju i opisano.

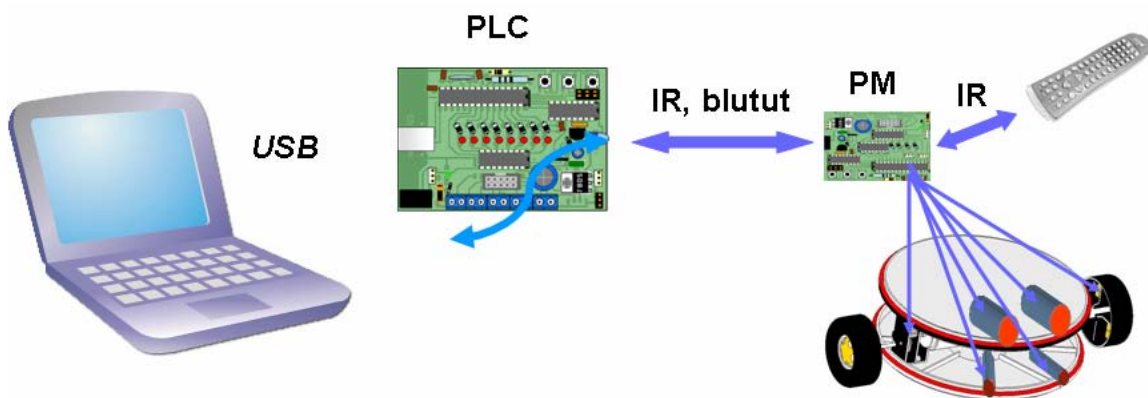
4.2 Definicija kontrolnih modula

Koncepcija koja se koristi za bežičnu kontrolu robo platforme zahteva dva modula:

- osnovni modul PLC,
- prateći kontrolni modul.

Osnovni modul - PLC modul povezan je sa računarom USB konekcijom (eng. Universal Serial Bus). Programima sa računara, a preko PLC-a kontrolišemo robo platformu IR ili Bluetooth protokolima u zavisnosti šta smo izabrali.

Prateći kontrolni modul (skr. PM) – je element koji se nalazi na platformi i prima kontrolne signale sa PLC-a, kontroliše rad motora i senzora. Slika 4.2.1 prikazuje šemu funkcije PLC i PM modula.



Slika 4.2.1: Blok šema povezanosti PLC, PM modula i robo platforme

4.2.1 PLC modul

Na komercijalnom tržištu PLC modula postoji mnogo različitih koncepcija, od jednostavnih do vrlo složenih, od jeftinih do izuzetno skupih. Kontrolno-upravljački modul tako može da se svrsta u nekoliko kategorija:

■ *namenski,*

- PLC za industrijsku namenu,

■ *univerzalni,*

- PLC namenjen eksperimentalnoj nastavi,
- PLC namenjen hobistima,
- PLC namenjen RC modelima.

Namenski PLC projektovan je za određene funkcije koje je korisnik definisao prema svojim potrebama ili u skladu sa standardima uređaja koji koriste ovakav tip kontrolera. Zbog specifičnosti, cena kontrolera je visoka, a spektar upotrebnih funkcija je ograničen.

Univerzalni PLC predviđen je za širi spektar upotrebe. Takva koncepcija definiše više funkcija koje mogu da se iskoriste u korisničkim projektima.

Opšteprihvaćeno mišljenje u stručnim krugovima, koji se bave ovom problematikom, je da u sadašnjoj ponudi PLC-a koji se koriste u nastavnim sredstvima, u većoj ili manjoj meri nedostaju jedna ili više od navedenih karakteristika:

- funkcijski su upotrebno ograničeni,
- uslovljena proširivost ili je uopšte nema,
- niskog su pedagoškog i didaktičkog kvaliteta,
- prosečnog kreativnog raspona,

- nedostaje im mogućnost prelaska sa jedne softverske platforme (operativnog sistema) na drugu,
- kontrolna komunikacija je ograničena samo na računar,
- nedostaje odgovarajuća logistička podrška kao i organizovana zajednica korisnika.

4.2.2 Prateći kontrolni modul

Prateći kontrolni modul predstavlja ključni element robotizovane platforme. Obrada svih signala sa senzora i komunikacija sa računarom (preko PLC-a) odvijaju se u mikroprocesoru 18F2550 PM-a koji je programiran da platformi omogući i samostalno kretanje, izbegavanje prepreka i kretanje po markiranoj liniji.

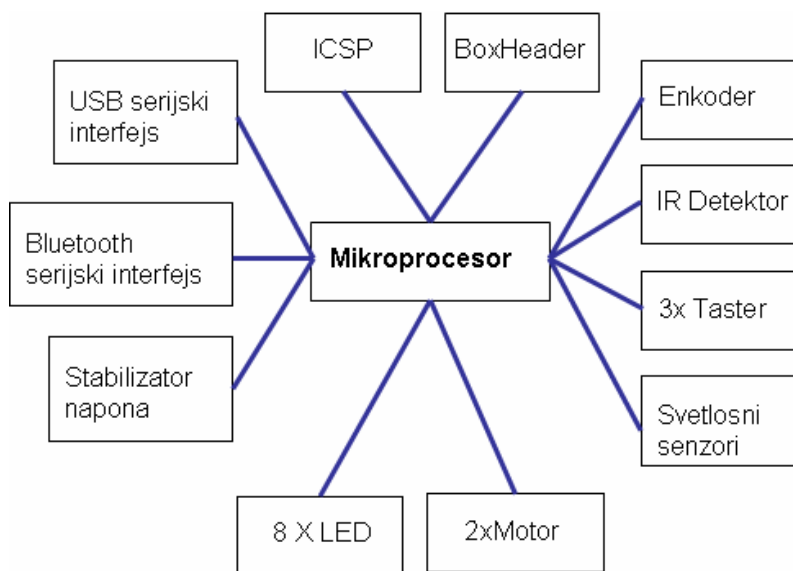
4.3 Arhitektura i enkapsulacija komandi PLC modula

Dizajn i arhitektura samog kontrolera, obuhvata proces izrade funkcionalnog blok dijagrama. Tako se dolazi do razvoja individualnih modula koji kroz ekstenzivne testove i provere mogu da se modifikuju prema stvarnim potrebama. Praktična implementacija i enkapsulacija upravljačkih elemenata je izuzetno kompleksan, dugotrajan i osetljiv posao.

Uzimajući u obzir prethodno iznete stavove kvalitetno kreiran PLC treba da omogući:

- ulazne funkcije,
- izlazne funkcije,
- bežičnu komunikaciju IR, Bluetooth,
- lako programiranje,
- ICSP (eng. In Circuit Serial Programming),
- modularno proširenje,
- kontrolisane izlaze do 500mA
- kompaktne dimenzije,
- logističku podršku.

Dizajn PLC-a za našeg robota mora da odgovara širokom spektru mogućnosti i tehnika sa obrazovne tačke gledišta. Da bi iskoristili robota kao dobar edukacioni alat u raznim oblastima obrazovanja, kao što su obrada signala, automatsko upravljanje, programiranje ili primena inteligentnih sistema za projektovanje, PLC treba da pruži određeni skup funkcija u svom bazičnom izdanju. Shodno takvim zahtevima počela je realizacija na osnovu modularne šeme PLC-a čiju kompleksnost najbolje vidimo sa slike 4.3.1.

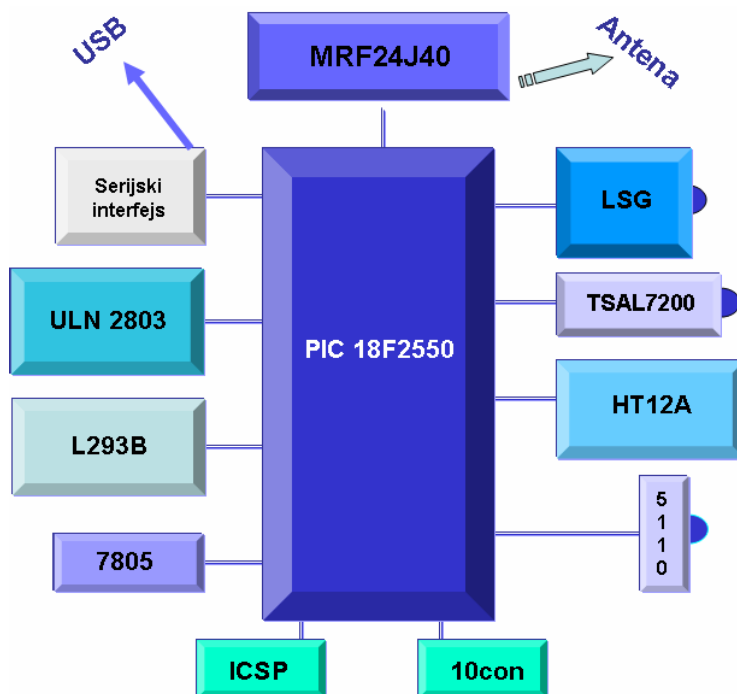


Slika 4.3.1: Modularna šema PLC-a

Svaki modul predstavlja skup gradivnih elemenata kako u hardverskom tako i u programskom smislu. Izbor elemenata i njihove funkcije predstavljaju osnov budućeg PLC.

Korišćenje multi tehnologija, (sinteza IR, RF, lasera, ultra zvuk, kamere kao vizuelne komunikacije), predstavlja paletu mogućih načina kontrole robo sredstva. Dozvoljavajući veliku autonomiju robotizovanog uređaja, upravljanje više ne predstavlja problem jer se sve odvija u bežičnom okruženju (eng. wireless).

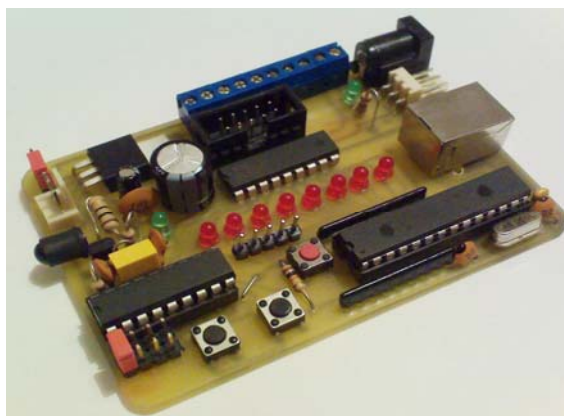
Za projektovanje PLC-a, koji bi imao gore navedene funkcije, a na osnovu modularne šeme, napravili smo blok scenario prikazan na slici 4.3.2.



Slika 4.3.2: Blok dijagram PLC-a

Elementi projektovanog PLC prototip modela vezani su za ranije razvijen model koji je projektovan za paralelni (eng. Line Print Terminal, skr. LPT) način komunikacije. Tako smo postigli kompatibilnost sa prethodno razvijenim modelima u cilju primene postojećeg programskog materijala koji je morao da bude modifikovan ali je zadržao funkcijske oblike.

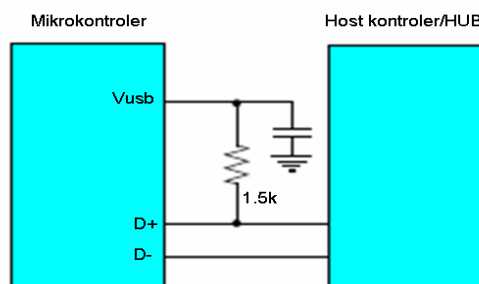
Prototip mikrokontrolera urađen je sa manjim modifikacijama u rasporedu elemenata. Izmene su usledile iz praktičnih, funkcionalnih razloga, slika 4.3.4.



Slika 4.3.4: Prototip 1-2, IR/Blutut verzija V03 kontrolera

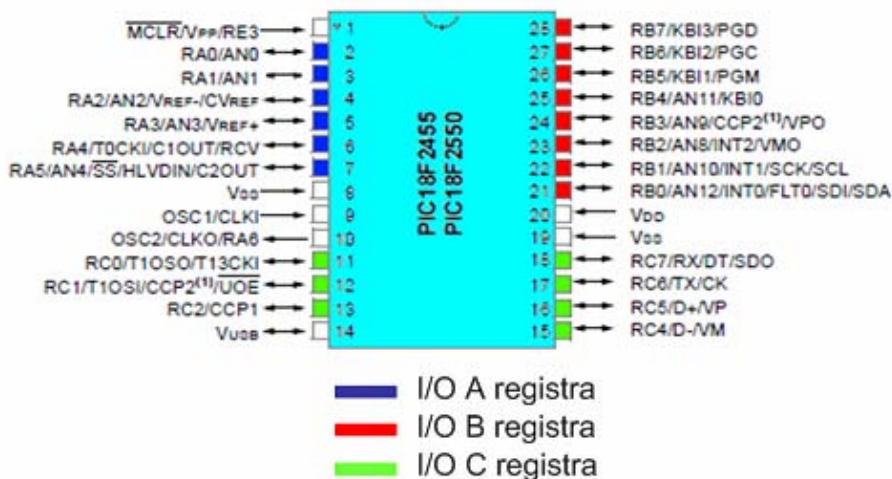
4.3.1 Mikrokontroler (18F2550)

Kompletna elektronika robotizovane platforme zasnovana je na mikrokontroleru 18F2550 (DIP 28) za koji smo se mi opredelili. Programabilni interfejs kontroler (eng. Programmable Interface Controller, skr. PIC) proizvod je Mikročipa (eng. Microchip) i nalazi se na tržištu od 2002. god. To je 32 bitni procesor sa memorijom od (32k) i RAM-a (2k). Pun USB interfejs (eng. Universal Serial Bus, skr. USB) V2.0 kompatibilan (sa malim brzinama prenosa (1,5 MB / s) i punom brzinom (12 MB / s)) idealan je izbor za naš PLC, slika 4.3.1.



Slika 4.3.1: Povezivanje mikrokontrolera i računara protokolom USB

Mikrokontroler je optimizovan za C programiranje (75 standardnih + 8 ekstra instrukcija). Koristi tehnologiju koja se zasniva na maloj potrošnji struje (eng. nanoWatt Technology) što ide u korist samog kontrolera. Još jedna mogućnost koja se koristi je “programiranje u kolu“ (eng. In-Circuit Serial Programming skr. ICSP). To ostavlja prostor za izmene softvera koji je upisan u memoriju mikrokontrolera. Koristimo takt do 20 MHz (maksimalni je 48MHz). Na slici 4.3.2 prikazan je mikrokontroler sa markiranim izvodima (eng. pin) ulazima-izlazima registara.



Slika 4.3.2: Mikrokontroler 18F2550 u 28-pin PDIP

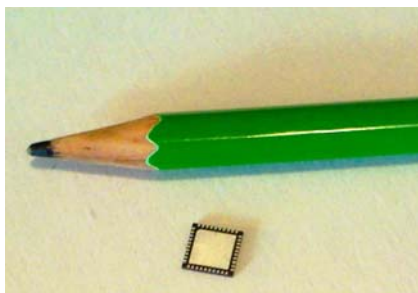
Projektovan PLC ima osam digitalnih izlaza i četiri digitalna ulaza. Za izlaz PLC-a koriste se izlazi registra B (nožice 21-28, oznake su RB0-RB7). Ulaz je definisan na registru A (nožice 2-5, oznake su RA0-RA3) i registru C od (nožice 11-13, oznake RC0-RC2) preko *pull up* otpornika od 1k. Registar C (opciono) koristimo kao izlazni za LCD 2x16 displej. To je osnovna podela funkcija registara u ovom projektu. U zavisnosti od programa mikrokontrolera, a u skladu sa potrebama posebno se definišu ulazi i izlazi registara.

4.3.2 Komunikaciono kolo (MRF24J40)

U prethodnim poglavljima pomenuto je da je opredeljenje da robotizovana platforma komunicira sa mobilnim telefonima i PDA uređajima. To može da se ostvari na nekoliko načina. Većina mobilnih uređaja danas koristi bežičnu komunikaciju “Blutut” (eng. Bluetooth) ili Wi-Fi.

WiFi (IEEE 802.11b, 2.4GHz) obezbeđuje veću brzinu komunikacije, ima veći domet (jači signal), ali koristi 10 do 100 puta više snage nego Blutut. WiFi je dizajniran za laptop gde postoji snažnije napajanje.

Blutut je predviđen za korišćenje u mobilnim i PDA uređajima. Mala potrošnja struje (18mA), cena i veličina modula bili su odlučujući faktor da se opredelimo za Blutut.



Slika 4.3.2.1: Mikroelement, modul MRF24J40

Za bežičnu vezu sa mobilnim uređajima i računarom izabrali smo modul MRF24J40. To je RF (eng. Radio Frequency, skr. RF) primopredajnik (eng. Transceiver, skr. Tx), koji odgovara komunikacionom standardu (IEEE 802.15.4™, 2.4 GHz).

TABELA 4.3.2.1: Karakteristike MRF24J40 (40-PIN DEVICE)

Karakteristike	MRF24J40
Podržane IEEE 802.15.4™ specifikacije	Da
Integrisan oscilator	20 MHz I 32.768 kHz
Izlaz referentnog oscilatora	20 MHz
Podržan režim čuvanja energije	Da
Potrošnja struje	Tipično 18 mA za RX i 22 mA u TX
Režim neaktivnosti (sleep mode)	2 μ A Tipično
Serijska komunikacija	SPI (4-wire)
Pakovanje	40-Pinova QFN 6x6 mm ²

Postoje tri klase Bluetoot-a koje se formiraju na osnovu transmisionne snage. Transmisioni opseg ne može biti eksplicitno određen za svaki uređaj klase. Svaka okolina je specifična i različito utiče na signal. Veća izlazna snaga znači veće rastojanje koje uređaj može da pokrije:

■ Klasa 1 – Veliki domet

Maksimalna Izlazna Snaga (Output Power) 100mW , 20dBm
domet do 100 metara,

■ Klasa 2 – Srednji domet (najčešće se koristi)

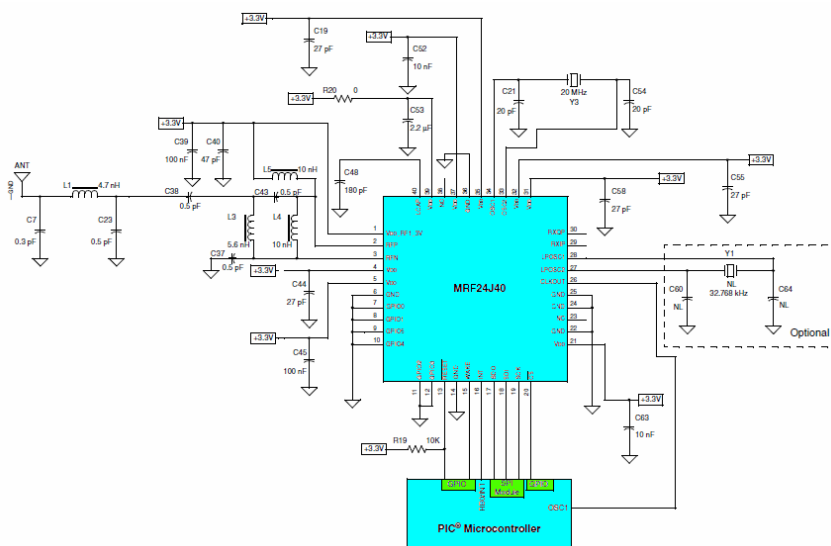
Maksimalna Izlazna Snaga (Output Power) 2.5mW, 4dBm
domet do 10 metar,

■ Klasa 3 – Mali domet (veoma retko)

Maksimalna Izlazna Snaga (Output Power) 1mW 0dBm
domet do ~1 metar.

Modul MRF24J40 spada u klasu 2 koja zadovoljava uslove potrebne za funkcionisanje robotizovanog nastavnog sredstva u učionici.

Veza između modula MRF24J40 i mikrokontrolera ostvaruje se preko serijskog porta mikrokontrolera (eng. Master Synchronous Serial Port, skr. MSSP). Ovaj port mikrokontrolera služi za komunikaciju između drugih uređaja ili drugih mikrokontrolera. Pinovi sa mikrokontrolera koji se koriste za povezivanje sa bluetoot kolom su (Serial Data Out, SDO) – RC7, (Serial Data In, SDI) –RB0, (Serial Clock, SCK) – RB1.

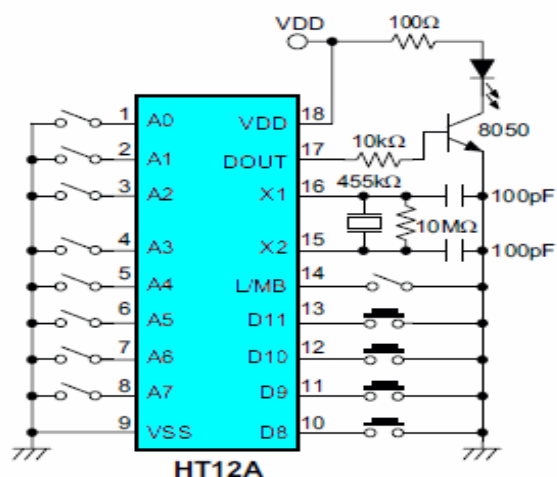


Slika 4.3.2.2: Konekcija mikrokontrolera i kola MRF24J40

USART (eng. Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) je serijski komunikacioni interfejs i pruža mogućnost priključenja (dodavanja) LCD ekrana (eng. Liquid Crystal Display, skr. LCD), pravljenje zapisa (eng. Datalogger), debugiranje test koda, senzora, i još mnogo toga. Pinovi sa mikrokontrolera koji se koriste za povezivanje sa LCD ekranom su RC6 i RC7.

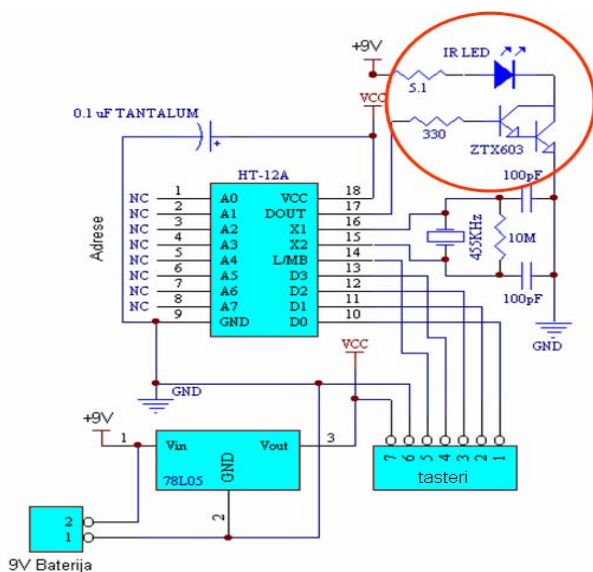
4.3.3 IR kolo (HT 12A)

Pored dva pomenuta komunikaciona protokola (USB i Bluetooth) uveden je i treći komunikacioni protokol. To je bežični način komunikacije poznat kao IR (eng. Infra Red, skr. IR). Za ovu svrhu koristi se HOLTEK-ovo namensko kolo za IR protokol, slika 4.4.3.1. Predajno kolo HT12A je osmoadresni/četvorokanalni enkoder. Nosaća frekvencija je 38kHz što odgovara *de facto* standardu za IR komunikaciju.



Slika 4.4.3.1: Holtekov IR enkoder sa četiri izlaza

Male izmene napravljene su u predajnom modulu u odnosu na Holtekovu šemu. Zamenjen je tranzistor 8050 sa jačim ZTX603. To je NPN tranzistor srednje snage u darlington spoju, sa strujom kolektora od 1A i impulsnim strujnim vrhom od 4A. Pored ovih važnih karakteristika tranzistor je malih dimenzije (kao običan tranzistor) što je neobično za tranzistore snage. Pošto je cilj kojim se teži minijaturizaciji PLC-a i PM-a primena ovako malog elementa je odgovarajuća. Modifikacija je prikazana na slici 4.4.3.2.



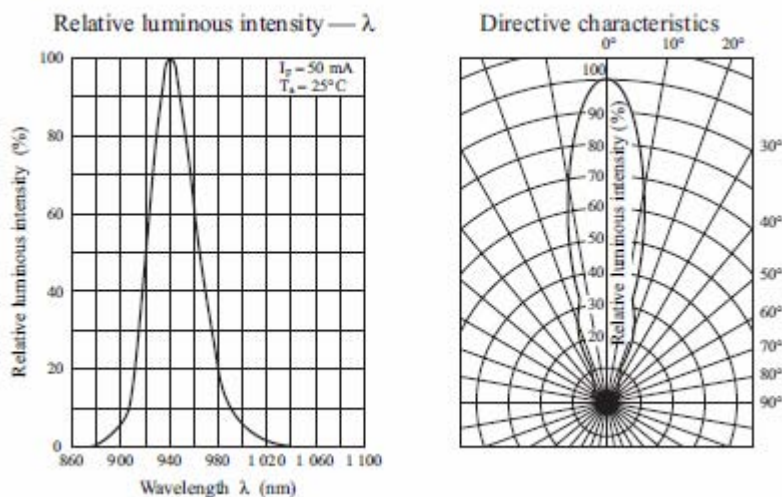
Slika 4.4.3.2: IR enkoder sa markiranim izmenama

Pad napona na IR diodi je 1.7V. Tranzistor ZTKS603 ima pad napona od 1V na krajevima kolektor/emiter (C-E). Ako se koristi izvor napajanje od 5V jednostavan račun daje sledeće vrednosti $5V - 2.7V = 2.3V$. Da bi se izračunala struja deli se $2.3V/5.1\text{ oma}$. Rezultat je da IR dioda ima strujni vrh od 451mA. Ovo je operativno do 3m udaljenosti. Ako se želi veći domet treba povećati napon. Napon od 9V je uzet za probu. Opet jednostavan račun $9V - 2.7V = 6.3V$. Računamo struju deljenjem $6.3V/5.1\text{ oma}$. Dobijamo strujni vrh od 1,25 Ampera! To je velika struja za diodu, ali IR dioda se ne izlaže konstantnoj struji već pulsirajućoj na 38kHz, (trideset osam hiljada oscilacija u sekundi). Tako se maksimalno koristi IR dioda. To se u praksi i pokazalo jer je postignuto upravljanje robo platformom sa zavidnih 6.3m.

Holtekovo kolo 12A projektovano je da omogući adresiranje enkoder-dekoder sa 128 adresa. Adrese pokrivaju izvodi kola od A0-A7 koje se podešavaju pomoću kratkospojnika (džampera). Zbog malog prostora na pločici koristi se samo četiri kratkospojnika i definisana su adresna polja koja su od A4-A7 što obezbeđuje 16 mogućih adresnih kombinacija. To znači da je moguće adresirati 16 uređaja koji mogu da rade paralelno bez smetnji i uticaja jedni na druge.

4.3.4 Infra Red dioda (TSAL7200)

Da bi IR signal bio što kvalitetnije prenet i usklađen sa prijemnim senzorom izabrana je IR dioda, TSAL7200. Proizvođač je VISHAY, a izabrana dioda je izrađena u GaAs tehnologiji i podleže RoHS zahtevima. Na tržištu postoji još nekoliko dioda koje mogu da zadovolje kriterijume. Izbor koji je napravljen rukovođen je talasnom dužinom od 940nm (upareno sa senzorom SFH5110) i posebno uskim emisionim snopom, slika 4.3.4.1. Važnost koja je posvećena emisionom snopu proističe iz eksperimenata koji su vršeni u okviru testiranja elektronike što je detaljnije opisano u poglavlju 4.6.



Slika 4.3.4.1: Dijagram talasne dužine levo, dijagram ugla emitovanja desno



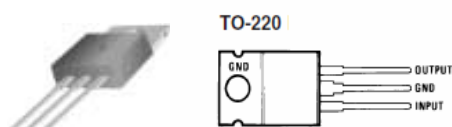
Slika 4.3.4.1: IR TSAL7200

4.3.5 Regulator napajanja (LM7805)

Za napajanje PLC-a predviđena je mogućnost upotrebe tri izvora napajanja. Jedan izvor napajanja je mrežni adapter (ulaz 220V~50Hz, izlaz 12V=500mA 6W). Alternativa prvom izvoru napajanja je baterija od 9V tipa R22. Upotreba mrežnog adaptera predviđena je za rad u učionici ili laboratoriji jer tada nije potrebno koristiti baterijsko napajanje. Oba izvora napajanja koriste se isključivo za napajanje elektronskih komponenti koje imaju radni napon od 5V.

Treći izvor napajanja predviđen je samo za napajanje elektromotora. Za tu namenu izabrali smo dve baterije tipa AA ili AAA sa radnim naponom od 3V.

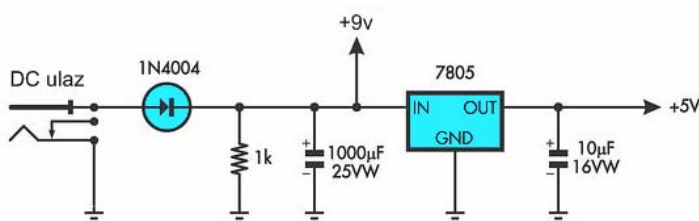
Radni napon našeg kontrolera je 5V. Da bi baterijski napon koji je 9V smanjili na 5V (radni napon svih kola) upotrebićemo regulator napona poznato kolo LM7805. Važne karakteristike izabranog naponskog regulatora date su u tabeli 4.3.5.1.



Slika 4.3.5.1: Regulator napajanja LM7805 u T220 kućištu

Tabela 4.3.5.1: Radne karakteristike LM7805

Karakteristike	Vrednosti
Izlazni napon	5V
Ulazni napon	35 V
Struja max (kontinuirana)	1A



Slika 4.3.5.2: Šema primenjenog regulatora napona

Na šemi koja je prikazana na slici 4.3.5.2 prikazana je i dioda 1N4004 koja je stavljena kao mera predostrožnosti. Funkcija diode je da se spreči eventualna greška, inverzija polariteta u eksternom priključnom naponu. Konektori koji su upotrebljeni za priključenje baterijskih grupa na PLC i PM svojom konstrukcijom ne dozvoljavaju zamenu polariteta. To je važan bezbednosni element ako se uzme u obzir da zamena polariteta može da uništi elektroniku modula.

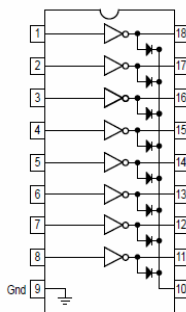
Elektronika koja je primenjena u PLC-u ima različite strujne vrednosti koje su merene u različitim režimima rada kontrolera, tabela 4.3.5.2.

Tabela 4.3.5.2: Strujne vrednosti u različitim režimima rada

Režim rada	Io vrednosti
Mirno stanje	105.3mA
IR	239.4 mA
Blutut	145,3mA
Aktivirani svi kanali (8xLED)	126.8 mA

4.3.6 Prekidačko kolo za pogon eksternih elemenata (ULN 2803)

Za kontrolu uključivanja eksternih elemenata (motori, LED diode, releji) koristi se Motorolin prekidački modul ULN 2803. To je pouzdano NPN digitalno kolo u Darlington vezi tranzistora i odličan je interfejs između mikrokontrolera koji je na logičkom nivou od +5V, TTL (eng. Transistor-Transistor Level, skr. TTL) i pogonskih motora (eng. higher voltage/current) koji mogu da imaju napon i do 30V a struja može da ima vrednost do 0.5A.



Slika 4.3.6.1: Šema prekidačkog kola ULN 2803

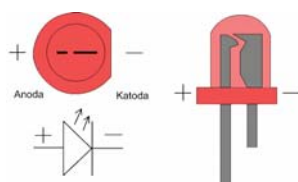
Tabela 4.3.6: Karakteristike ULN 2803 (16-PIN)

Karakteristike	Vrednosti
Ulazni napon	30 V
Kolektorska struja IC (konstantna)	500 mA
Struja baze IB (konstantna)	25 mA
Radna temperatura	Od 0 do +70 °C

4.3.7 LED (Light Emitting Diode) dioda

Led dioda koja se koristi u PLC-u i PM-u nose oznaku 204-10SURD/S530-A3. Njihova namena je da pokažu određena stanja i procese koji se odvijaju tokom rada kontrolera i pratećeg modula. Za indicaciju aktiviranog izlaza koristimo crvene LED diode. Zelene LED diode namenjene su za indicaciju napona mikrokontrolera i motora. PLC koristi osam crvenih led dioda i dve zelene led diode.

Kod PM-a crvene LED diode označavaju baterijsko napajanje, dok zelena dioda indicira IR signal primljen sa senzora. Kontrolni modul koristi pet crvenih led diode i jednu zelenu diodu.

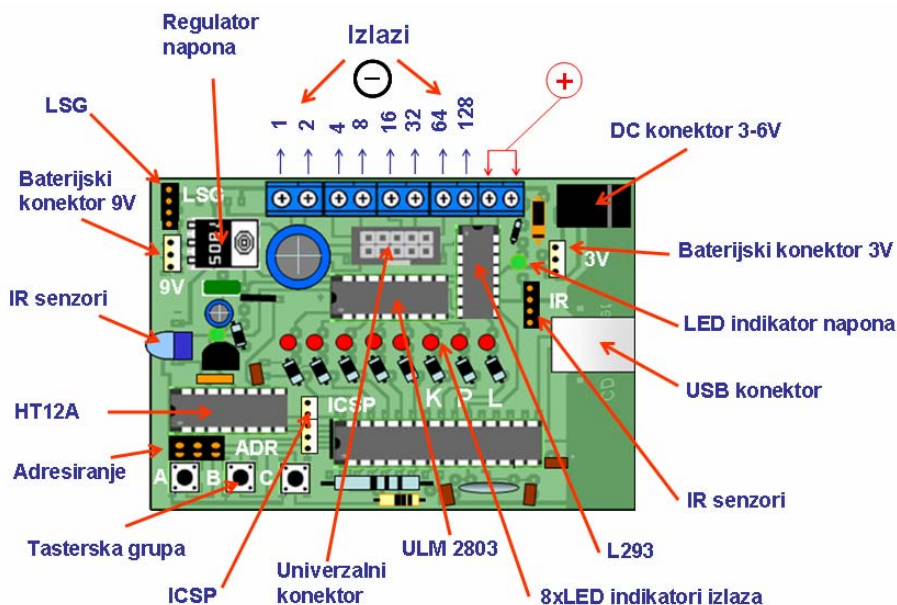


Slika 4.3.6.1: Obeležavanje i polaritet LED diode

4.3.8 Funkcije PLC-a

PLC raspored elemenata

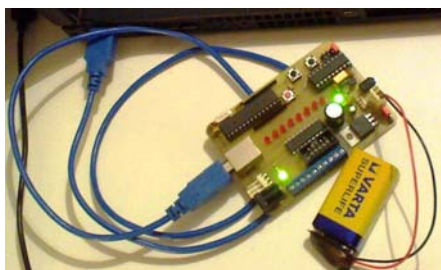
Na slici 4.3.8.1 prikazan je raspored elemenata u projektnoj fazi 1/1, 2D.



Slika 4.3.8.1: Raspored elemenata, projektna faza 1/1, 2D

PLC povezan sa računarom

Preko poznatog serijskog protokola USB (eng.Universal Serial Buss, skr. USB) projektovani PLC može da se poveže sa računarom preko USB kabla. Kako to izgleda prikazano je na slici 4.3.8.2.



Slika 4.3.8.2: Povezivanje mikrokontrolera i računara sa USB kablom

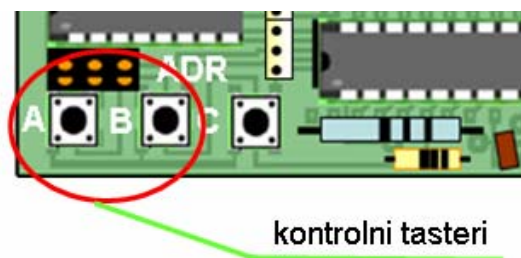
Programi koji su pripremljeni za rad PLC-a u ovom režimu nalaze se na priloženom CD-u. Pripremljeno je pet programa.

PLC blutut prenos

Program za kontrolu kretanja robo platforme blutut sistemom koncipiran je u tri segmenta. Aplikacija za kontrolu kretanja platforme, prvi je deo ovog sistema. Program se nalazi u računar koji je povezan sa PLC-om preko USB porta. Drugi deo programa izvršava se u mikrokontroleru PLC-a a treći deo u mikrokontroleru PM modula. Program sa računara šalje signalne kodove koje obrađuje PLC mikrokontrolera, preko blutut veze šalje komandni niz u EPROM mikrokontrolera PM-a. Učitani podatak iz EPROM-a izvršava se kao komanda kretanja platforme. U prilogu 4.3.8 priložen je mikrokod.

PLC kao samostalni daljinski IR kontroler

Ulazi D0-D3 kola HT12A povezani su direktno na izlaze RB4-RB7 mikrokontrolera 18F2550. Da bi se PLC koristio kao daljinski upravljač ulazi D0-D1 povezani su sa integrisanim tasterima na ploči. Tako je omogućeno da se pomoću tastera direktno generiše signal (+5V) na pomenutim ulazima. Enkoder prenosi komandni IR impuls do dekodera na PM modulu. Dekodirani signal u kolu HT12D aktivira jedan od izlaza D0-D3 koji su povezani direktno na ulaz drajvera za motor L293B. U zavisnosti od signala koji je poslat, kontroliše se rad oba motora a samim tim i kretanje robo platforme.



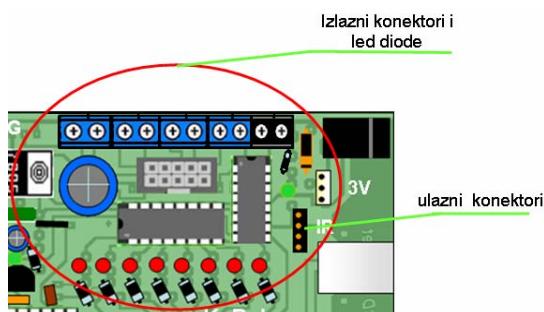
Slika 4.3.8.3: Tasteri za direktnu kontrolu kretanja robo platforme

Primer za kretanje robota napred je slanje paralelnih signala D0 i D1 sa PLC-a. To se postiže istovremenim aktiviranjem tastera A i B, slika 4.3.8.3.

PLC kao eksperimentalni modul

PLC ima osam digitalnih izlaza koji su definisani pozitivnom logikom (uključeno 1, isključeno 0). Svaki kanal može da se kontroliše posebno.

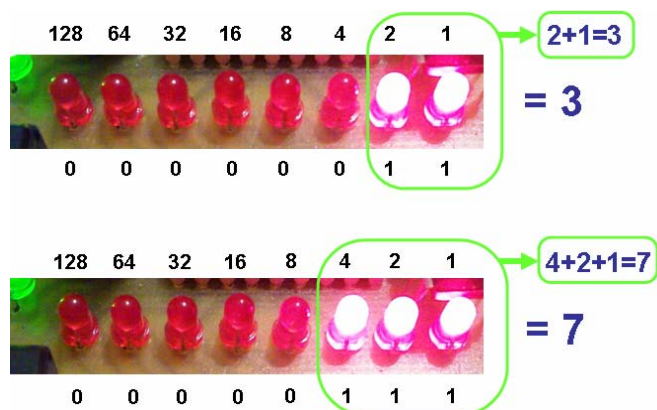
Ideja kompletnog projekta PLC-a je univerzalnost i pristupačnost. Fokus realizacije usmeren je na blutut i IR komunikaciju sa robotizovanom platformom.



Slika 4.3.8.4: Izlazi, led diode i ulazi

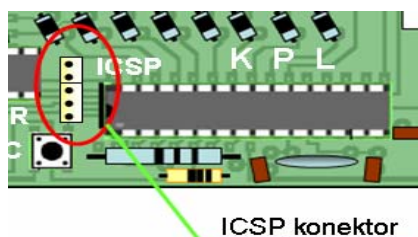
Da bi kontrola rada bila očigledna integrisano je na samu ploču i osam led dioda čija je uloga da indiciraju stanje digitalnih izlaza, slika 4.3.8.4. Povezivanje LED indikatora sa izlazima mikrokontrolera i otporničkim mostom (E470) kao i povezivanje sa konektorom prikazano je u prilog 4.3.9.

Funkcije osam LED dioda koriste se u vežbi "Binarni sistem" koja je namenjena učenicima osnovne škole. Učeniku se na eksplicitan način pokazuje kako se određeni decimalni broj prikazuje u binarnom sistemu i obrnuto, slika 4.3.8.5.

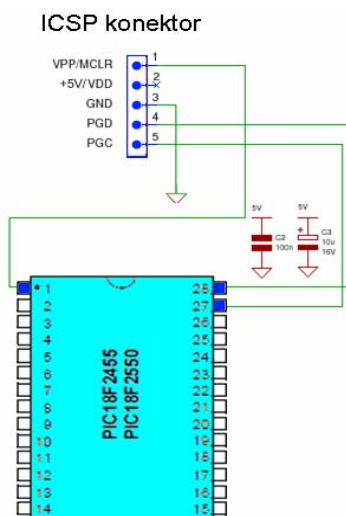


Slika 4.3.8.5: Binarnih prikaz brojeva tri i sedam

Da bi PLC mogao da se koristi kao eksperimentalni modul dodat je ICSP (programiranje u kolu) konektor koji je prikazan na slici 4.3.8.6. Programiranje u kolu, na samoj štampanoj ploči, ostavlja veliki prostor korisniku da sam programira mikrokontroler prema svojim potrebama. Šematski prikaz povezivanja mikrokontrolera sa konektorskim pinovima dat je na slici 4.3.8.7.



Slika 4.3.8.6: ICSP konektor

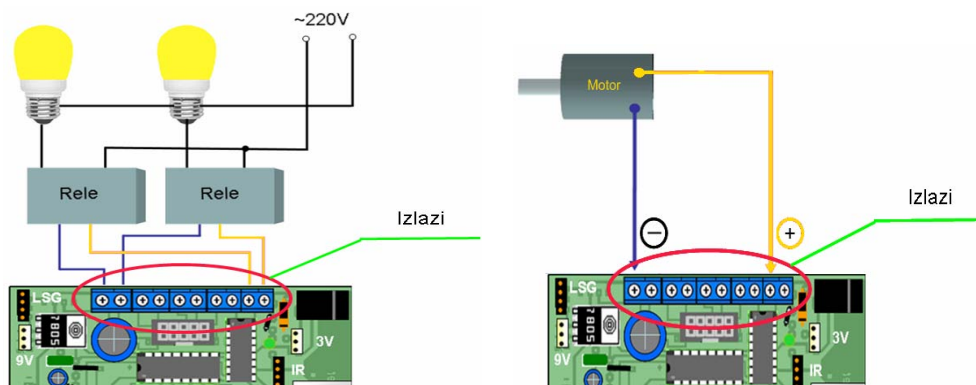


Slika 4.3.8.7: Povezivanje ICSP konektora sa mikrokontrolerom

Da bi se programirao mikrokontroler neophodan je programator (pogledati prilog 4.5) koji može da programira PIC 18F2550.

PLC kao eksperimentalni modul II

Eksterno povezivanje i kontrola motora, releja ili opcionih elemenata u vidu semaforne signalizacije moguće je ostvariti preko klem, slika 4.3.8.8.

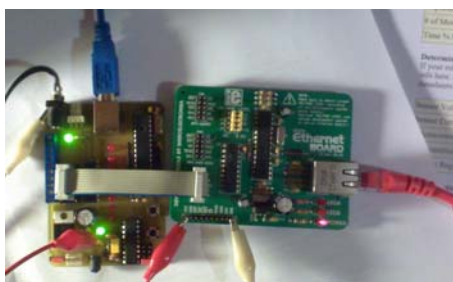


Slika 4.3.8.8: Primeri povezivanja releja i motora na izlaz PLC-a

U prilogu 4.3.10. dat je prikaz povezivanja koračnih motora kao i opcionih elemenata. Priložene su šeme povezivanja svetlosne semaforne signalizacije (maketa semafora). Modeli svetionika i već mašine predstavljeni su slikama.

PLC kao eksperimentalni modul sa mrežnom karticom

Eksterni modul mrežna kartica (eng. Ethernet board) može da se poveže sa PLC-om preko *univerzalnog konektora* (BoxHeader 10pin).



Slika 4.3.8.9: Povezivanje PLC-a sa mrežnom karticom (EthernetBoard, Mikroelektronika)

Na slici 4.3.8.1 konektor je obeležen kao *univerzalni konektor*, a u prilogu 4.3.8.b. prikazana je šema povezivanja izlaza mikrokontrolera sa pinovima konektora. Tabela 4.3.8.1 prikazuje karakteristike PLC-a.

Tabela 4.3.8.1: Karakteristike PLC-a

Tehničke karakteristike
Digitalni izlazi 8, klemе
Digitalni ulazi 4, konektor
Mikrokontroler 18F2550
Blutut komunikacija MRF24J40
IR enkoder HT 12A
ICSP 5 pinski konektor
Napajanje baterisko ili adapter jednosmerno od 3-9V,
Struja min./max. 103.5/239,4mA

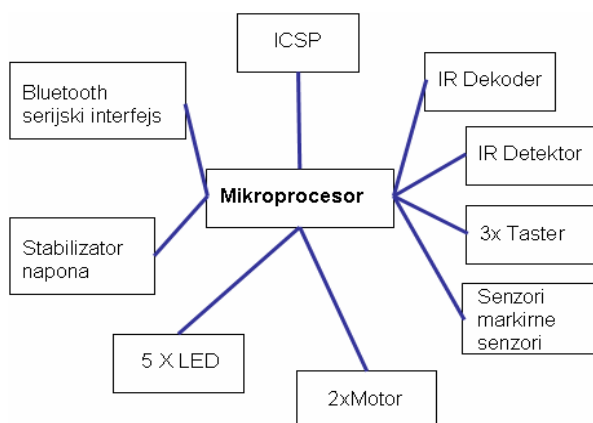
Tehničke karakteristike
Osam LED dioda integrisanih na ploči
ULN 2803 kolo za pogon eksternih motora, relea itd.
L293B za pogon dva motora
Univerzalni 10-o konektorski priključak
Indikacija napona dve zelene LED diode
Konekcija sa računarom USB
Tri programska-funkciska tastera
Dimenzije 86x59x11mm
Težina 45g

4.4 Prateći kontrolni modul (PM)

Prateći kontrolni modul PM predstavlja element koji robotizovanoj platformi omogućava:

- samostalno funkcionisanje,
- komunikaciju sa računarom preko PLC-a,
- funkcionisanje svih senzora,
- kontrolu motorne grupe.

Komponente kontrolnog modula prikazane su na slici 4.4.1.



Slika 4.4.1: Blok dijagram pratećeg modula

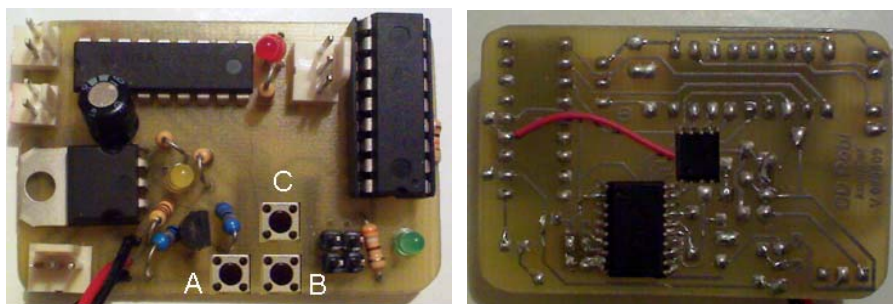
Samostalno kretanje podrazumeva da se platforma kreće izbegavajući prepreke na svom putu. Rešenja za ovakav način kretanja postoje od najjednostavnijih do veoma komplikovanih i skupih. Mi smo se opredelili za najjednostavnije rešenje koje se sastoji od IR diode i senzora. Obrada signal i logika detekcije prepreke odvija se u mikrokontroleru.

Komunikacija PM-a sa računarom odvija se preko PLC-a, na dva načina. Koristimo bežične komunikacione sisteme IR i Blutut.

Rad svih senzora i logička obrada odvijaju se u mikrokontroleru.

Funkcionisanje motorne grupe povereno je elektronskom kolu (L293) projektovanom za tu svrhu. Signali koji se šalju sa PLC-a (IR ili Blutut) preko HT 12D ili MRF24J40 obrađuje PIC 18F2550 i prosleđuje kontrolne signale preko kola L293B dalje do motora. Robotizovana platforma poseduje pet funkcija za kretanje, levo, desno, napred, nazad i stop. Kontrola signala koji dolaze od enkoderskih ploča je još jedan element koji se obrađuje u mikroprocesoru.

Na slici 4.4.2 prikazana je prototip verzija pratećeg kontrolnog modula. Sa slike je vidljivo da smo koristili pertinaks pločicu sa jednoslojnom štamptom. Svi elementi su klasičnog tipa (DIP kućište) sem dekodera HT 12D i blutut kola MRF24J40 koji su u SSOP kućištu, slika 4.4.2 desno.



Slika 4.4.2: Prototip pratećeg modula verzija 03

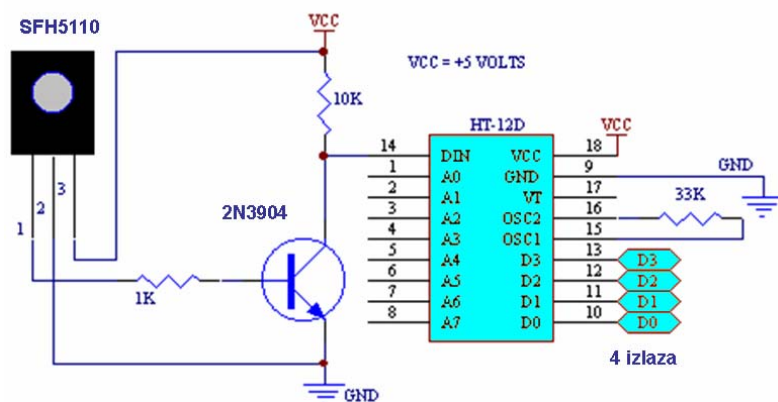
4.4.1 Mikrokontroler 18F2550

Za prateći kontrolni modul koristi se mikrokontroler (18F2550) koji je upotrebljen i u PLC-u. Razlog za to je univerzalnost programa koji se koristi za kontrolu laserskih i IR senzora. Koristeći ICSP lako može da se izmeni program. Menja se samo kôd, a zadržava se kompatibilnost PLC-a i PM-a. Razlike u programskom delu odnose se na komunikaciju PLC-a preko USB porta sa računarom.

Kada se uključi PM prvo se aktivira osnovni program koji je smešten u mikrokontroleru i koristi IR senzor za prijem kontrolnog signala sa PLC-a ili TV daljinskog upravljača. Pored ovog programa mikrokontroler ima još tri rezidentna programa koji se aktiviraju sa tasterima A, B, C. Pozicije na kojima se nalaze pomenuti tasteri prikazane su na PM ploči, slika 4.4.2.

4.4.2 IR dekodler HT 12D

Infra red dekodler je kolo HT12D. To je osmoadresno/četvorokanalno prijemno kolo. Izmene su napravljene i u prijemnom delu u odnosu na originalnu šemu Holteka. Prijemni modul koristi OSRAM-ov IR senzor SFH 5110. Signal sa senzorskog kola dovodimo na bazu NPN tranzistora 2N3904. Tako se opet invertuje signal (već invertovan i poslat sa predajnika) i vraća se u prvobitni oblik. Šema IR dekodera prikazana je na slici 4.4.2.1.



Slika 4.4.2.1: IR dekodler

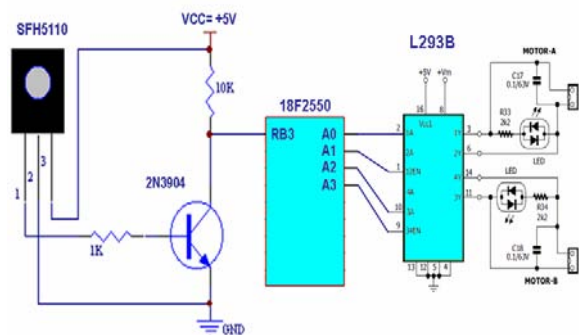
Pošto je minijaturizacija primarna koristi se dekodler HT 12D u SSOP verziji.

U poglavlju 4.3.3 objašnjen je sistem adresiranja koji je identičan i za dekodler HT 12D.

Prijem signala sa TV daljinskog upravljača

Da bi robotiku približili i mlađem uzrastu učenika projektovan je PM da prima signal i sa TV daljinskog upravljača. Platformom tako može da se upravlja i bez poznavanja programiranja, slika 4.4.2.2.

Da bi IR signal koji je poslat sa TV daljinskog upravljača mogao da se dekodira koristi se deo sklopa koji je već opisan u prethodnom izlaganju (senzor i tranzistor). Signal se obrađuje u mikrokontroleru i dalje se prosleđuje do kola (L293B) za pogon elektromotora.



Slika 4.4.2.2: Šema prijemnog dela za TV daljinski upravljač

U našem slučaju koristi se Philips RC5 kodiranje. U prilogu 4.4.1 priložen je format signala, spisak komandi i adresa koje se koriste.

Fragmenti asemblerskog koda za kontrolu platforme pomoću TV daljinskog upravljača:

```
*****
;
;   Projekat IR TV kontrola CD Robi
;   Verzija 15052009
*****
list P=18F2550
#include P18F2550.INC
__CONFIG _CP_OFF & _WDT_OFF & _PWRTE_ON &
_INTOSC_OSC_NOCLKOUT & _LVP_OFF
ALL_DIGITAL_TRUE
```

```
TV1    movf    REMOTE_L,w ; kontrolni sa daljinskog
xorlw  B'00000000' ; bits 0-5 taster (1)
btfsc  STATUS,Z
goto   JEDAN
movf   REMOTE_L,w
xorlw  B'00000110' ; bits 0-5 taster (2)
```

```

    btfsc STATUS,Z
    goto DVA
    movf REMOTE_L,w
    xorlw B'00000111' ; bits 0-5 taster (3)
    btfsc STATUS,Z
    goto TRI

```

Na primeru koda koji je gore naveden objašnjena je jedna instrukcija programskog jezika Asemblera. Naredba MOV koristi se za prenos podataka između memorije i registra, registra i registra.

Sintaksa: [label] MOVF **f, d**
movf sadržaj, destinacija

Primer:

movf Remote_L, w ; kontrolni sa daljinskog (ulaz) LS byte

4.4.3 Senzor SFH5110

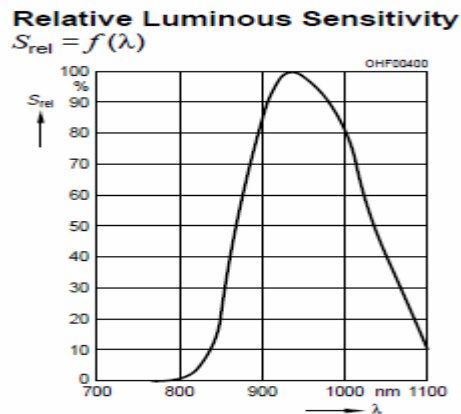
U prethodnom izlaganju napomenuli smo da je Infra red dioda TSAL7200 izabrana i uskladena sa prijemnim senzorom. Iz grafikona koji je prikazan na slici 4.4.3.1. IR senzor SFH5110 ima maksimalan učinak na talasnoj dužini od $\lambda=940\text{nm}$ što odgovara i karakteristikama IR diode. Za realizaciju senzorskih sistema mi koristimo četiri senzora ovog tipa. Senzori su raspoređeni u tri funkcionalne grupe:

- komunikacija sa PLC-om,
- senzorska grupa za detekciju markirane linije,
- senzor za detekciju prepreka.

Komunikacija sa PLC-om - elektronika projektovanog robota smeštena je u unutrašnjost platforme. Da bi obezbedili dobar prijem IR signala (360°), IR senzor SFH5110 povezan je trolnim kablom dužine 100mm. i konektorima priključen na kontrolni modul. Tako smo obezbedili da senzor može da bude postavljen bilo gde na robo platformu što omogućava vizuelni kontakt sa IR predajnim elementima.

Senzorska grupa za detekciju markirane linije - kao i prethodni senzor, kablovski je povezana sa elektronikom. Par IR senzorskih elemenata postavljen je na prednji deo donje ploče robotizovane platforme.

Senzor za detekciju prepreka - nalazi se u sklopu same platforme postavljen u prednjem delu.



Slika 4.4.3.1: Levo, izgled IR senzora; desno, dijagram senzitivnosti za SFH 5110

4.4.4 IR dioda OED-EL-8L

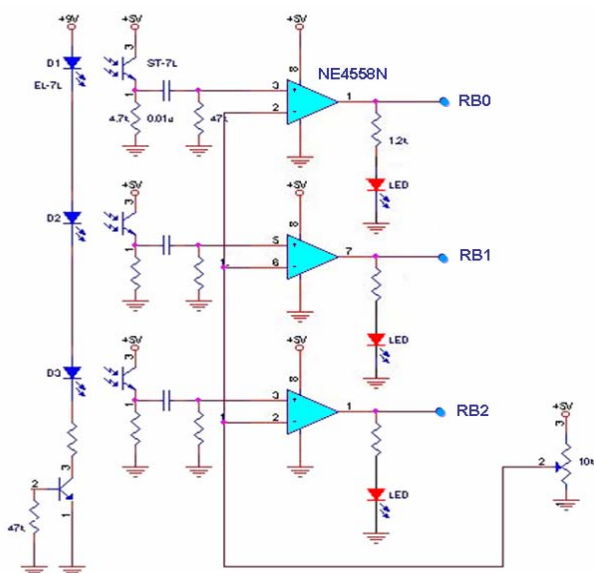
Lumex-ova infra red dioda OED-EL-8L koja se koristi u PM-u služi kao IR modulator za detekciju prepreka. Dioda ima širokougaoni emisijski snop od 40° i može da emituje IR signal snagom od 180mW.



Slika 4.4.4.1: IR OED-EL-8L

4.4.5 NE 4558N

NE4558N je dualni operacioni pojačavač opšte namene. Razlog za upotrebu kola NE4558N je pojačavanje signala sa IR senzora. Signali koji su pojačani obrađuju se dalje u mikrokontroleru, slika 4.4.5.1.

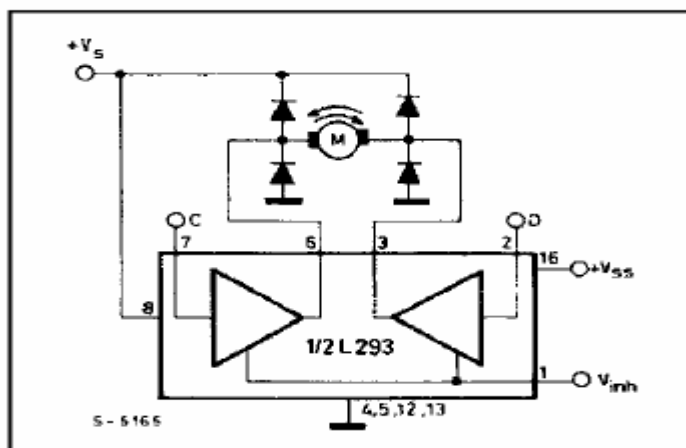


Slika 4.4.5.1: Šema povezivanja senzorskih elemenata sa mikrokontrolerom

Kolo je sa osam izvoda i primenili smo malo SO (eng. Small Outline) pakovanje zbog potrebe da elektronska pločica bude što manja.

4.4.6 Prekidačko kolo za kontrolu motora (L293B)

Modul PM ima ugrađeno kolo L293B kojim kontrolišemo smer okretanja osovine elektromotora. Na taj način postigli smo da platforma može da se kreće napred - nazad. Kolo je sa 16 izvoda i proizvod je kompanije SGS-THOMSON Microelectronics. To je “push-pull” četvorokanalni drajver sa strujom od 1A po kanalu. Elektromotori koji se koriste pod opterećenjem maksimalno koristi 300mA što je manje od trećine dozvoljenog opterećenja. Na slici 4.4.6.1 prikazana je šema povezivanja motora sa ½ kola, na istoj slici priložena je i tabela sa definisanim uzajamnim vrednostima ulaza i izlaza.



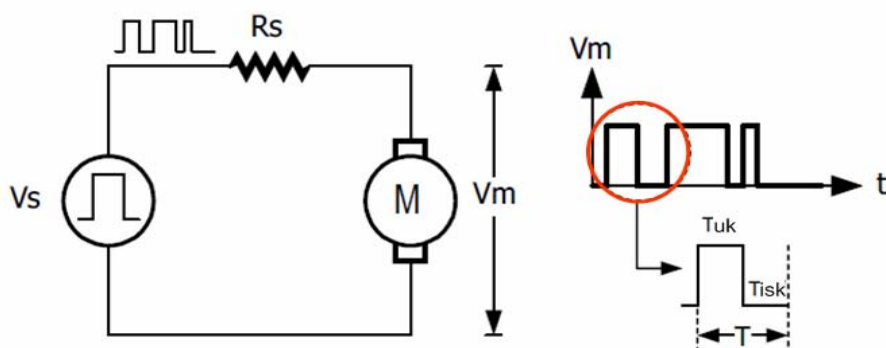
Inputs	Function	
$V_{inh} = H$	$C = H ; D = L$	Turn Right
	$C = L ; D = H$	Turn Left
	$C = D$	Fast Motor Stop
$V_{inh} = L$	$C = X ; D = X$	Free Running Motor Stop
L = Low H = High X = Don't Care		

Slika 4.4.6.1: Vezivanje motora za obostranu kontrolu DC motora

Sa ugrađenom zaštitom od pregrevanja i nezavisnim napajanjem samog kola, L293B predstavlja dobar izbor za eksperimentalnu platformu. Kanali su kontrolisani TTL logičkim nivoima.

Postoje dve metode za kontrolu brzine elektromotora jednosmerne struje. Jedan način je analogni kontroler, veličina ulaznog napona prilagođena je promeni brzine. Druga način je sa digitalnim kontrolerom, impulsno-modulisanim signalom (eng. PWM) koji se generalno i koristi u ovom radu.

Izmenom (modulacijom) širine impulsa primenjenom na napajanje elektromotora možemo povećati ili smanjiti količinu energije motoru, čime se povećava ili smanjuje brzina motora. Primetićemo da je napon fiksna amplituda, ali ima promenljivi vremenski ciklus. To znači da za duži-širi impuls, imamo i veću brzinu. Na slici 4.4.6.2, prikazan je V_s napon modulisan PWM signalom za jedan od DC motora.



Slika 4.4.6.2: Impulsna modulacija kontroliše motore

Brzina zavisi od vremena koliko je motor uključen (T_{uk}). U ovom trenutku, DC motor će dobiti puni napon, V_m . Ako je T_{uk} šire DC motor je dobio više (vremenski) napona i rotira većom brzinom. Odnos T_{uk} i vreme u procentu i periodu (T) zove se radni ciklus (eng. Duty cycle). Može se računati na sledeći način:

T_{uk} = motor uključen; T_{isk} = motor isključen

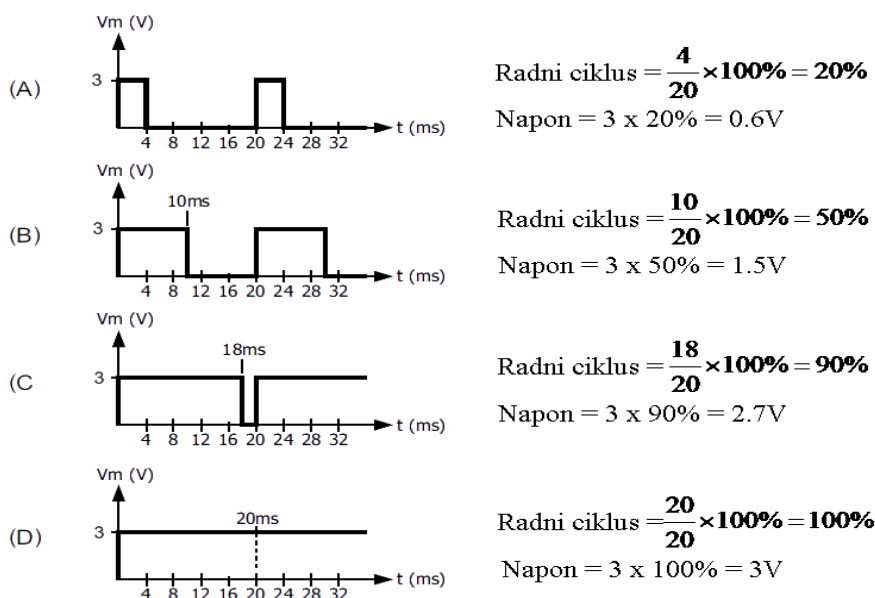
$$\text{Radni ciklu (\%)} = 100 \times \frac{T_{uk}}{T_{uk} + T_{isk}}$$

$$\text{PWM frekfencija} = \frac{1}{T_{uk} + T_{isk}} = \frac{1}{T}$$

$$\text{Pad napona} = V_s \times \text{radni ciklus (\%)}$$

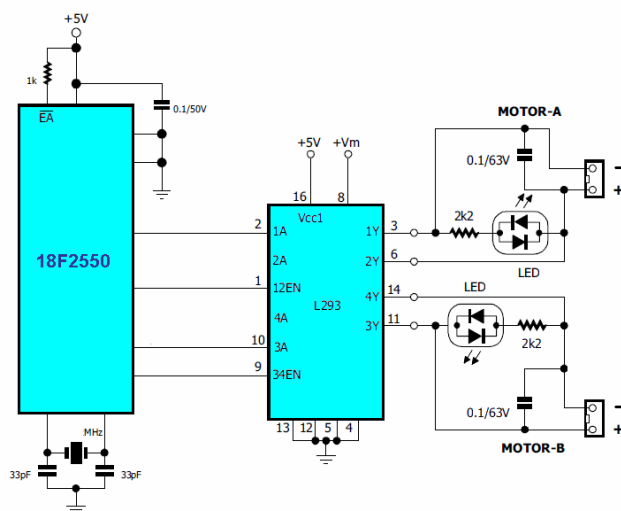
Iako radni ciklus određuje brzinu motora, postoji i ograničavajući faktor u vidu frekvencije. Ako je PWM frekfencija preko limita DC motor će prestati sa radom, jer će doći do tačke zasićenja. Slika 4.4.6.3 prikazuje rad DC motora sa PWM radnim ciklusom 20 milisekundi period i 50Hz frekvencija.

Na slici 4.4.6.3 (A) PWM radnog ciklusa je 20%. Motor će rotirati sa najnižom brzinom jer je napon samo 0.6V. Povećanjem radnog ciklusa na slici 4.4.6.3 (B) i (C) napon motora se povećava, samim tim povećava se i brzina. Na istoj slici (D), napon je maksimalan jer je radni ciklus 100%. Metod PWM kontrole vrlo efikasno služi za kontrolu brzine motora.



Slika 4.4.6.3: PWM radni ciklus, kontrola DC motor

Šema modula koji generiše PWM signale i kontroliše motore robo platforme prikazana na slici 4.4.7.4. Mikrokontroler 18F2550 generiše PWM signale na portu RC1 i RC2. PWM rezolucija je 10-bitna, generisana u CCP1 i CCP2 (eng. Capture/Compare/PWM) modulima mikrokontrolera. PWM signali sa PIC-a direktno su povezani na pin 1,2,7,9,10 i 15 kola L293B, koje je posebno dizajnirano za pogon motora i može da podrži rad dva DC motora. Dijagram PWM signala dat je u prilogu 4.4.6.



Slika 4.4.7.4: Kolo za kontrolu rada elektromotora L293B

4.4.7 Komunikaciono kolo (MRF24J40)

Kolo za Bluetooth komunikaciju već smo opisali u poglavlju 4.3.2.

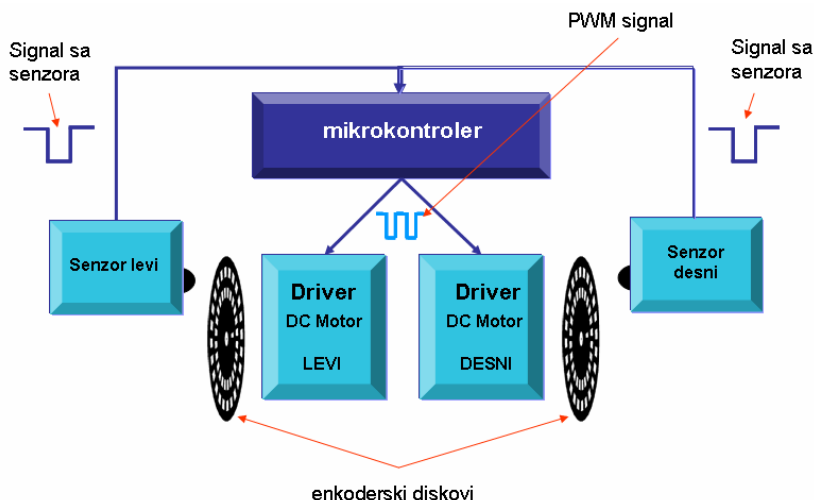
4.4.8 Enkoder senzor (ELIT8102)

Osram je proizvođač senzora koji koristimo za očitavanje signala sa enkoderskog diska.



Slika 4.4.8.1: Senzor za očitavanje signala sa enkoderskog diska

Za enkodiranje signala sa enkoderskog diska koristimo mikrokontroler 18F2550 koji je detaljnije opisan u poglavlju 4.3.1. Blok šema na slici 4.4.8.2, bila je polazna tačka u koncipiranju kompletnog programa koji je napisan za kontrolu kretanja robo platforme.



Slika 4.4.8.2: Blok šema funkcionisanja enkoderskog sistema

Mehanika enkodiranja detaljnije je opisana u poglavlju 5.9. U ovom delu opisano je zašto se upotrebljava enkodiranje i kako se programski kontroliše pravolinijsko kretanje robo platforme.

Benefit enkoderskog sistema su:

- kontrola brzine oba motora što omogućava da se robot kreće u pravoj liniji,
- deluje kao detektor sudara, (ako iznenada prestanu sa radom jedan ili oba motora),
- robot ima samo dijagnozu - odmah znamo ako jedan od motora prestaje sa radom,
- percepcija terena, motor će raditi sporije uzbrdo sa istim PWM signalom.

Prikazan je deo programskog koda koji koristi da se uveća brojač na bazi rotacije enkoderskog diska. Treba imati na umu da je 'zastava' (eng. flag) promenljiva koja se koristi da uhvati rastuću ivicu impulsa sa enkodera. To funkcioniše na sledeći način, desni enkoder je povezan sa pinom 12, a levi sa pinom 13 kola 18F2550.

1. Ako je ulaz visok, testiranje zastavica za 0.
2. Ako je zastava 0, tada brojač nije uvećan.
3. Dopunsko punjenje brojača, i postaviti zastavu na 1.
4. Postaviti zastavu na nulu samo jednom kada je enkoder ulaz 0.

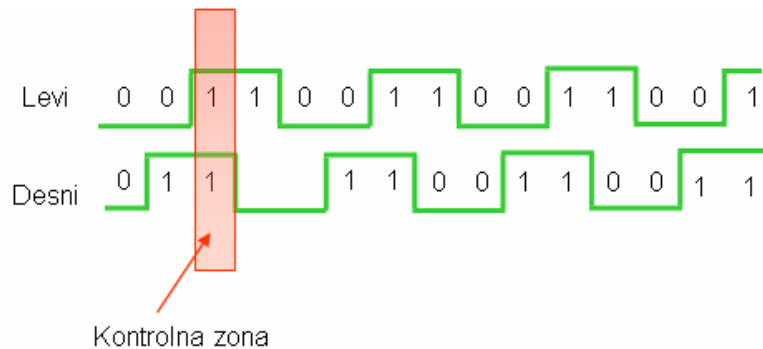
```
*****
```

```
//enkoder rutina
if (input(PIN_B1) && (!flagd))
{
flagd=1;
distsd++;// pređeno rastojanje

ratecountd++;// reset svakog interapta
}
if (!input(PIN_B1)) flagd=0;
if (input(PIN_B2) && (!flagl))
{
flagl=1;
distl++;
ratecountl++;
}
if (!input(PIN_B2)) flagl=0;
//kraj enkoderskog brojača
```

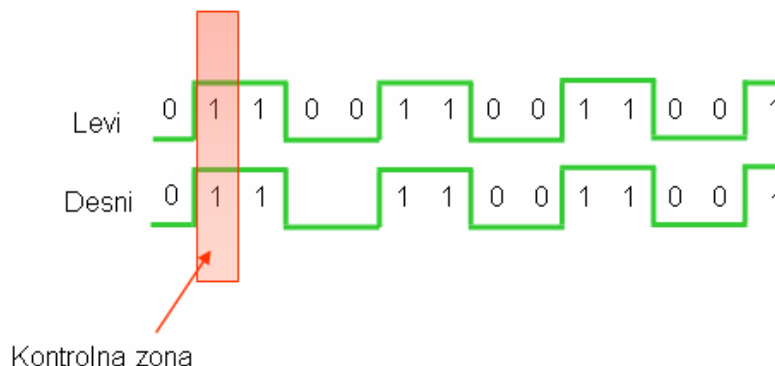
```
*****
```

Ako se analizira signal sa oba senzora vidi se da u prvih nekoliko ms (start elektromotora) postoji razlika koja se odmah anulira korekcijom napona desnog motora slika 4.4.8.3. Crveni segment je kontrolna zona (senzori) i ukazuje na razlike koje moraju da se usklade.



Slika 4.4.8.3: Signali sa enkodera, neusklađenost signala

Signali sa senzora enkodera dovode se na digitalni ulaz mikrokontrolera gde se vrednosti signala upoređuju. Ako postoji razlika procesor šalje signal PWM (impulsno modulisan) kolu L293B koje kontroliše napajanje i smer rotacije desnog motora. Na taj način smanjujemo napon na krajevima motora koji utiče na brzinu rotacije točka. Izvršenom korekcijom usporavamo motor i usklađujemo rotaciju motora sa rotacijom drugog motora, slika 4.4.8.4.



Slika 4.4.8.4: Signali sa enkodera, usklađeni signali

Imajući u vidu početno stanje robota i stanje posle nekog vremena ugao robota u odnosu na pravu liniju imaće veličinu koja se definiše kao:

$$\alpha = \frac{(eL - eD)s}{\pi * d} * 180$$

*eL, eD - broja impulsa enkodera,
s - odnos broja impulsa i obima točka u mm,
d - rastojanje između točkova*

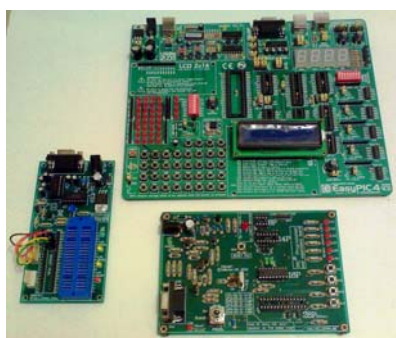
Kontrolna programska rutina koja stoji iza kontrole kretanja robota u pravoj liniji prikazana je dole.

```
if (distd>distl) //ugao pozitivna vrednost, gr pozitivna
{
 $\alpha$ =((((distd-distl)*s)/(3.141*d))*180);
errorb=(signed int) (0-  $\alpha$  *gain);
}else
{
 $\alpha$  =(((distl-distd)*s)/(3.141*d))*180);
errorb=(signed int) (0+  $\alpha$  *gain);
}
if (errorb<-90) errorb=-90;
if (errorb>90) errorb=90;
errorb=errorb*4; //povećava gain vrednost za feedback
set_pwm1_duty(brzl-errorb);
set_pwm2_duty(brzd+errorb);
```

4.5 Programiranje mikrokontrolera

Za programiranje PIC 18F2550 postoji veliki broj različitih programskih jezika. Program jezik koji je korišćen u fazi razvoja PLC-a i PM-a je microBasic. Razlog za korišćenje ovog programskog jezika je u jednostavnosti. Razvojna aplikacija u sebi ima i opciju za kompajliranje tako da možemo odmah da dobijemo i ASM i HEX fajl. Na tržištu postoji mnogo PIC kompajlera za C programski jezik. Za PIC 18F2550 postoje kompajleri C18 (Microchip) kao i KCS, Hitech i GCC-kompajler koji su na raspolaganju. C18 kompajler dolazi sa dobrim primerima, što je prednost. Koristili smo i microBasic kompajler verzija 7.0.0.2 i Mikročip-ov MPASM verziju 5.11.

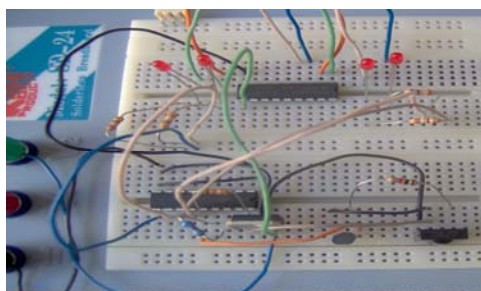
Programatori koji su korišćeni za programiranje i testiranje mikrokontrolera prikazani su na slici 4.5.1. Dva programatora proizvod su firme Velleman. Modeli nose oznaku P8048 i P8076. Povezuju se na računar preko serijskog RS232 konektora Razvojna ploča koju smo mi koristili za testiranje proizvod je Mikroelektronike i nosi oznaku EasyPIC4. Povezuje se na računar preko USB konektora. Više informacija može se naći u prilogu 4.5.



Slika 4.5.1: Programator i dve razvojne ploče koje su korišćene za razvoj

4.6 Testiranja PLC i PM modula

U toku projektovanja PLC-a i PM modula koristili su se razvojni alati kao što je razvojna ploča (eng. Project Board) gde su postavljani i povezivani elektronski elementi u skladu sa projektom, slika 4.6.1. Kada je razvoj završen pristupilo se izradi prototipova PLC-a i PM-a.



Slika 4.6.1: Razvoj PM modula

Prototipove koji su urađeni trebalo je ispitati i proveriti njihovo funkcionisanje u realnim uslovima.

Testiranja elektronskih modula sprovedi smo u laboratoriji IT sektora Zavoda za unapređivanje obrazovanja i vaspitanja. Oprema koju smo koristili:

- osciloskop MSO5022,
- multimetar MS8226T,
- stabilisani izvor napajanja PS3003,
- laptop IMB R52,
- baterije Varta, 9V i AA 1.5V,
- Philips TV daljinski upravljač,

U prilogu 4.6 detaljnije su opisani merni uređaji i date su njihove specifikacije.

Za testiranje hardvera kontrolera napravili smo poseban test program. Program je dizajniran da korisniku omogući lako dijagnosticiranje kvarova. LED diode koje su integralni deo PLC-a indiciraju kada je registar/kanal aktivan. Na taj način vrši se provera ispravnosti izlaznih registara/kanala sa mikroprocesora kao i funkcionisanje kola ULN 2003.

Sama aplikacija (Test modul.exe) ima dve opcije za proveru funkcionisanja izlaznih registara:

- Test A, aktivira svaki registar posebno,
- Test B, aktivira sve registre u isto vreme.

U režimu *Test A aktivni svi registri* - program naizmenično aktivira i deaktivira izlazne kanale PLC-a u odnosu 1/1. Aktiviranjem kanala uključuju se pripadajuće LED diode koje indiciraju stanje izlaza. Kada je kanal selektovan na izlazu postoji napon od 5V. Preko otporničkog mosta taj napon se smanjuje na 2.2V koliko je operativno potrebno za crvenu LED diodu da bi sijala. Tako brzo dobijamo indicaciju da li sve funkcioniše na modulu koji testiramo.

Drugi mod je *aktiviraj svaki registar posebno* - mnogo je precizniji u dijagnostici problema. U slučaju prespojene veze na ploči (lemljenjem, loše urađena štampana veza) ili neispravnog kanala lako je ustanoviti problem pomoću LED indikatora.

Kada se aktivira određeni kanal uključi se pripadajuća LED dioda. Ako to nije slučaj postoji nekoliko razloga za to:

- neispravna dioda,
- kanal je u kratkom spoju,
- neispravno kolo ULN 2803,
- neispravan mikrokontroler,
- programska greška.

U “Uputstvo za programiranje PLC-a“ (poglavlje *Moguće greške*) koje je priloženo uz PLC opisani su postupci koji se preduzimaju u slučaju problema sa funkcionisanjem kontrolera.

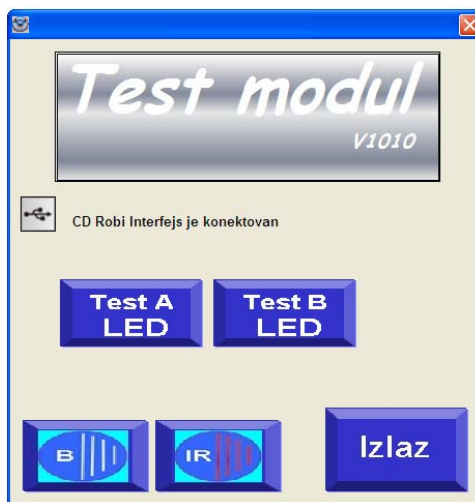
4.6.1 Testiranje PLC-a

Testiranje PLC-a podelili smo na:

- test hardvera,
- test softvera.

Prvi deo hardverskog testiranja podrazumeva vezu između PLC-a i laptopa kao i funkcionisanje izlaza sa mikrokontrolera i kola ULN2803. Daljim testiranjem treba da se utvrdi da li sve diode u LED grupi funkcionišu.

Pripreme za testiranje počele su povezivanjem laptopa i PLC-a sa USB kablom. Testiranje je počelo priključenjem kontrolera na stabilisani izvor napajanja od 9V. Zelene LED diode odmah su zasvetlele, indicirajući da je prisutan napon na PLC-u. Na računaru je aktiviran program za testiranje – *Test modul*, slika 4.6.1.



Slika 4.6.1: Interfejs programa za testiranje PLC-a

Izabrana je prvo opcija *Test A*. Svrha ovog testa je da aktivira sve izlazne kanale i tako uključi sve LED elemente. Aktiviranje kanala ponavljanja se pet puta. Svi LED elementi uključivali su se u zadanom ciklusu.

Sledeća opcija je *Test B* koji aktivira svaki kanal posebno. Tako se LED elementi uključuju pojedinačno. Ponavljanje testa je kao i u prvom slučaju pet puta. Svi LED elementi uključivali su se u zadanom intervalu.

Zaključak sa ovog testa je da komunikacija PC-PLC preko USB protokola funkcioniše kao i da su svi LED elementi ispravni.

Drugi deo hardverskog testu podrazumeva ispitivanje funkcionalnosti komunikacijskih kola, enkodera HT 12A i blutut kola MRF24J40. Za tu namenu koristimo drugi deo projektovanog programa *Test modul* koji aktivira komunikaciju preko dve opcije:

- infra Red,
- blutut.

Ovi programski režimi omogućili su da se testiraju dve bežične veze PLC i PM modula.

4.6.2 Testiranje PM-a

Da bi se izvršilo testiranje PM modula bilo je neophodno pripremiti i povezati izlaze kola L293B sa dva test elektromotora. Modul je priključen na baterijsko napajanje 9V i 3V. Priključenje na napajanje od 9V izvršeno je i na PLC-u koji je povezan na USB port laptopa. Moduli se nalaze na međusobnom rastojanju od 1m. Aktiviran je program *Test modul* i izabrana je opcija *Infra Red*. Svrha testa je provera funkcionisanja IR komunikacije između PLC-a i PM-a. Provera se sastoji od slanja komande koja treba da aktivira dva elektromotora priključena za PM. Test program sa računara (preko USB veze) šalje komandu PLC-u. PLC preko IR enkodera prosleđuje komandu PM-u. Prosleđena IR komanda sa PLC-a primljena je u PM-u (IR dekodirana komanda aktivira kolo L293B. Izlazi ovog kola sada su na aktivnom logičkom nivou pa oba elektromotora dobijaju napajanje.

Startovan je drugi test, blutut veza sa PM modulom. Svrha testa je provera funkcionisanja blutut komunikacije između PLC-a i PM-a. Ponovljena je procedura kontrole elektromotora kao i u prethodnom testu. Ovog puta komanda je programski sa računara prosleđena blutut kolu PLC-a. PLC šalje signal blutut kolu PM-a. Prateća elektronika PM izvršavala je prosleđene komande sa računara i elektromotori su radili u skladu sa komandama koje su zadavane.

Pošto su ispunjeni predviđeni zahtevi testova, *zaključak sa testiranja PM-a je da IR i blutut komunikacija funkcionišu kao što je i predviđeno.*

4.6.3 Završna testiranja PLC-a i PM-a

Ostalo je još testiranje rastojanja na kojem moduli mogu pouzdano da funkcionišu. Za ovo testiranje korišćen je isti postupak kao u prethodnim testiranjima. Razlika je bila samo u rastojanju na kojem se nalazi platforma odnosno PM. Rezultati testiranja prikazani su u tabeli 4.6.1.

Tabela 4-6-1: Domet ostvaren sa bežičnim vezama

Vrsta komunikacije	Rastojanje /m
Infra Red ¹	6.3
Blutut ²	9.7

¹ Merenje je izvršeno u zatvorenom prostoru sa upaljenim neonskim osvetljenjem.

² Merenje je izvršeno u zatvorenom prostoru i postojala je optička vidljivost između PLC-a i PM-a robo platforme.

4.7 Logistika PLC i PM modul

U prethodnim poglavljima objašnjeno je šta treba da sadrži i kako da izgleda dobro koncipiran i standardizovan PLC. Prilikom projektovanja, vođeno je računa da kontroler sadrži samo najvažnije funkcije koje će se i upotrebljavati u eksperimentima.

Važan segment u logistici PLC-a igraju programi koji su pripremljeni u vidu gotovih aplikacija i vežbi.

U nastavnim sredstvima ovog tipa koji su trenutno u upotrebi evidentno je da postojeći herdever i programi nisu dovoljna podrška u interakciji i procesu učenja. Korisnik mora da se kreće između raznih dokumenata tražeći šematske i tekstualne instrukcije ili dijagrame organizacije hardvera ili softvera. Ako je struktura sadržaja laka za izvlačenje, onda ona ne predstavlja problem. Kada je struktura kompleksna, tipa referenciran sadržaj (navedena je i *web lokacija*, pa dalje sledi *link*), to može da dovede do dezorijentacije.

U velikom broju slučajeva uputstva i programi za podršku PLC-u imaju malo podrške (eng. Tech Support), zamorno okruženje, neintuitivne grafičke interfejsa koji nisu efikasni u kritičkim dimenzijama učenja. To je posledica korišćenja analogne softverske strukture za emulaciju uzajamnosti programskih formi i nestručno sastavljene rudimentarne vežbe. Na žalost, svi nabrojani elementi daju loše impresije o kontroleru ili uopšteno o robo programiranju.

Suprotno neintuitivnim grafičkim interfejsima je planirano okruženje, koje može da podrži i druge oblike aktivnosti na primer, e-učenje (eng. e-learning).

Da bi sve to funkcionisalo kako treba (ne zamara i rasterećuje studenta), potreban je intuitivan grafički interfejs, koji će dobrim delom raditi u pozadini, nenametljivo, kontrolisan pomoću agentnih sistema. Stvaranje iluzije da interfejs „radi“ sa studentom, daje dinamičnost i stvara interakciju sa korisnikom bilo da je on učenik, student ili profesor. Dobro pripremljena tehnička dokumentacija (u papirnoj formi ili u elektronskom obliku) podstiče pasivne korisnike, studente da više istražuju gradivo.

Za projektovanje interfejs sistema aplikacija predloženih u ovom radu, konsultovan je tim koji je bio sastavljen od studenata, profesora i dizajnera. Proučivši projekat, tim je dao niz saveta na osnovu kojih se efektnije i efikasnije mogao programirati odgovarajući interfejs. U tom slučaju izbegava se gubljenje vremena u dilemama oko strukture vežbi, oblika komandi, izgleda i boje naslova itd. Na taj način dobili smo kvalitet GUI-a i više vremena za realizaciju esencijalnih delova okruženja, funkcionalnost samog programa.

Razvoj PLC-a podrazumevao je i mogućnost programiranja sa nekoliko najzastupljenijih programskih jezika. Da bi to ostvarili napisali smo dinamičku biblioteku (eng. Dynamic Library Link, skr. DLL) funkcija. Zbog asocijacije nazvana je CDRobiUSB.dll. Razvojni programi koji mogu da pozivaju u svom kodu funkcije dinamičkih biblioteka mogu da koriste projektovani PLC bez problema. Osnovnu aplikaciju koja kontroliše kretanje platforme preveli smo na nekoliko drugih programskih jezika kao što su C++, C# i QBasic. U svim navedenim programskim jezicima PLC je funkcionisao bez problema.

Uputstvo za programiranje PLC-a i PM napisano je na dvadeset strana i zajedno sa programima i vežbama predstavlja softversku logistiku kontrolera i pratećeg modula koju korisnik dalje može da razvija.

U tabeli 4.7.1 taksativno su istaknute karakteristike PLC-a usklađene sa projektnim zadacima.

Tabela 4.7.1: PLC modul

Projektni zadatak	Realizovano	Opis
ulazno – izlazne funkcije,	✓	4 ulaza, 8 izlaza
vizuelni indikatori	✓	8 LED dioda integrisanih na ploči
bežična komunikacija sa PM-om	✓	blutut, IR
bežična komunikacija sa mobilnim uređajima	✓	Blutut
programski definisanje putanje	✓	PC
detekcija prepreke	✓	laser/IR
prepoznavanje predmeta	✓	Laser
multi jezičko programiranje	✓	C++, C#, VB, RS,
opciono 10 pinski konektor	✓	opciono mrežna karta, muzička..
ICSP	✓	ugrađen na PLC ploči
konektori za senzore	✓	ugrađen na PLC ploči
kompaktne dimenzije	✓	dimenzije kreditne kartice

U tabeli 4.7.2 taksativno su istaknute karakteristike PM-a usklađene sa projektnim zadacima.

Tabela 4.7.2: Prateći modul

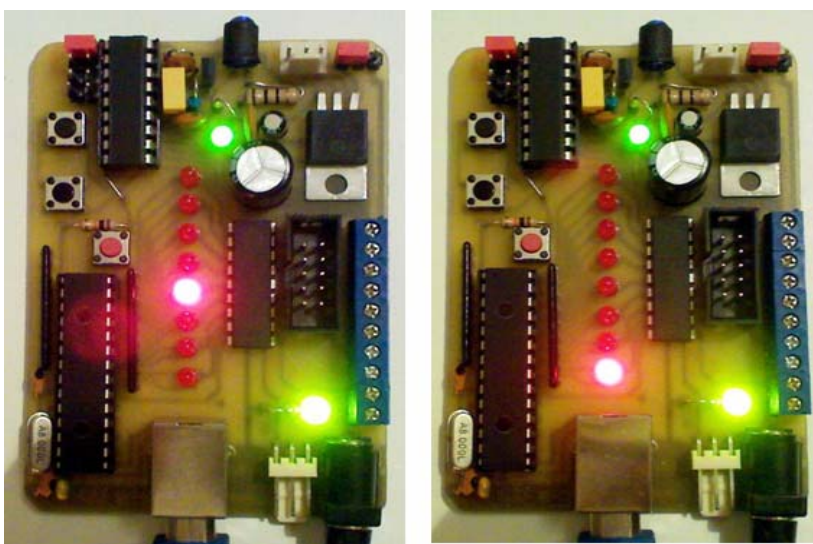
Projektni zadatak	Realizovano	Opis
bežična komunikacija sa PLC-om	✓	blutut, IR
praćenje markirane putanje	✓	IR
detekcija prepreke	✓	IR
ICSP	✓	ugrađen na PLC ploči
konektori za senzore	✓	ugrađen na PLC ploči
kompaktne dimenzije	✓	dimenzije ½ kreditne kartice

4.8 Zaključak

Izlazi PLC-a mogu vizuelno da se kontrolišu jer su povezani preko otporničkog mosta sa osam LED indikatora. Vizuelnu indicaciju stanja izlaza uveli smo iz više razloga:

- edukativni,
- programerski,
- tehnički.

Edukativni razlog - očiglednost u učenju i nastavi velike su prednosti. Intencija je bila da se sa vizuelnom indicacijom to istakne. Binarni sistem lako može da se uči i prati pomoću LED indikatora.



Slika 4.8.1 a) zahtev je da se aktivira kanal 1, b) posle korekcije

Programerski razlog - očiglednost pri aktiviranju ili programiranju izlaza. Vrlo lako se uočavaju greške nastale u adresiranju izlaza, ili programskih sekvenci slika 4.8.1.

Tehnički razlog - lako detektovanje nefunkcionalnog kanala (izlaza) što u mnogim slučajevima olakšava otklanjanje problema ili kvara upućujući na hardversku komponentu.

Projektovani PLC testiran je samo pod Windows operativnim sistemom. Za testiranje je korišćena platforma Microsoft Windows 2000 Professional (SP2) i platforma Microsoft Windows XP Professional (SP3). Za rad pod Linux-om potrebno je izvršiti dodatna testiranja.

Prateći modul PM, projektovan je kao samostalan kontrolni element i sastavni je deo platforme. Uparen sa PLC-om predstavlja eksperimentalni komplet sa širokim spektrom upotrebnih mogućnosti.

Komponente koje su ugrađene u PLC i PM modul podležu RoHS preporukama što je neophodno kada je u pitanju nastavno sredstvo. U prilogu 4.8 dat je samo mali, uvodni deo RoHS regulativa. Na priloženom CD-u je kompletan tekst u izvornom obliku.

Primeri funkcionisanja PLC-a u test režimu priloženi su na pratećem CD-u u 3GP. formatu.

5. ROBOTIZOVANA PLATFORMA

5.1 Uvod

U prethodnim poglavljima projektovani su senzori, mikrokontroler i prateći kontrolni modul. Ovo poglavlje akcentirano je na konstrukciju, mehaniku i funkcionalnost robotizovane platforme.

Savremena nastavna robotizovana sredstva koja danas postoje uglavnom su koncipirana kao gotov proizvod. To podrazumeva da komplet koji se dobija ima gotove (generičke) elemente koje treba samo sklopiti prema uputstvima koja su priložena. To ne ostavlja ili ostavlja malo prostora za kreativnost. Koncept sastavljanja ili “šrafljenja” robotizovanih sredstava razrađen je tako da i korisnik koji nema mnogo tehničkog iskustva lako dolazi do dobrih rezultata. To je veoma stimulativno za korisnika.

Zašto je kreativnost prebačena u drugi plan? Proizvođačima je glavni cilj masovna prodaja i široka lepeza korisnika. Što jednostavniji proizvod za sklapanje je premisa sa kojom se kreće u projektovanje novih modela.

Već niz godina postoje robotizovana nastavna sredstva koja su sastavljena. Takvi proizvodi pripremljeni su za korišćenje (eng. ready to use). Potrebno je samo robotizovanu platformu povezati sa računarom i instalirati potreban softver. Kreativnosti nema, a manipulativne sklonosti se ne traže.

Mnogo je teže izaći na tržište sa proizvodom, nastavnim sredstvom, koje zahteva umešnost i kreativnost prilikom sklapanja. Već u startu takav proizvod obraća sa užem krugu korisnika koji su spremni da ulože malo više rada. Drugi problem je u projektovanju modela Robotizovane platforme koja dozvoljava kreativnost, a da se bitno ne narušava konstruktivna struktura i povećava cena proizvoda.

Ovom tezom predstavljen je petogodišnji rad i viđenje ovog problema. Rešenje koje je ponuđeno je kreativna višenamenska autonomna robotizovana platforma.

5.2 Projektni zahtevi

Da bi implementacija LSG, PLC i PM modula mogla da se primeni bilo je neophodno projektovati „komponovati konstrukciju“ robotizovane platforme. Osnovno pitanje koje je postavljeno je šta su naši projektni zahtevi?. Pođimo od okruženja i namene našeg robo nastavnog sredstva.

Okruženje - našeg edukacionog robota je učionica. Robo platforma je predviđena za upotrebu u zatvorenom prostoru, nastavnim kabinetima i u tom kontekstu treba da se planira njena funkcionalnost.

Namena - robota je da učenici i studenti radeći sa robo kompletom na eksplicitan način steknu predviđeno znanje o robotici, automatizaciji i programiranju. Sklapanjem robota razvijaju se manipulativne sposobnosti učenika, a treba ostaviti i prostor za ispoljavanje kreativnost.

Sve ovo što je navedeno usmerava projekat na dodatne elemente koje nova platforma treba da ispunjava:

- materijal za platformu mora da bude netoksična plastika bez oštih ivica najbolje kružnog oblika, CD disk Ø120mm,
- za kretanje koriste se točkovi,
- baterijsko napajanje,
- nosivost do 500g,
- jednostavno za sklapanje,
- kreativno orijentisano,

Koristeći CD disk kao bazičan materijal za konstrukciju robo platforme omogućilo bi da se iskorišćeni ili oštećeni CD diskovi korisno upotrebe. Ovaj vid primitivne reciklaže otvara prostor da svaki učenik ili student može da napravi svoj model robotizovane platforme. Kupovina bi se svela na motore, reduktore i pripadajuću elektroniku (PLC i PM).

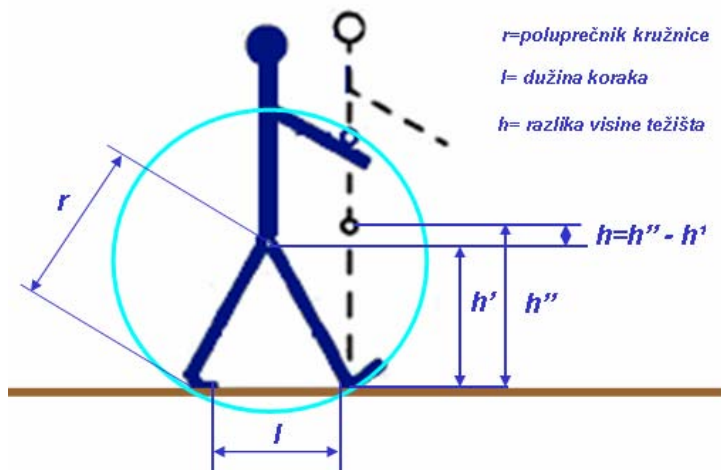
5.3 Robotizovana platforma sa točkovima

Pre nego što se krene sa dizajnom i razvijanjem sopstvene konstrukcije napravljen je osvrt na postojeće mehanizme i upoređivanje njihovih prednosti i nedostataka.

Puno mehaničkih sklopova inspirisano je biološkim entitetima. Najpoznatiji Američki helikopter (proizvođača Bell) Apač (eng. Apache) konstruisan je po uzoru na insekta Vilin konjic (biol. lat. *Anax imperator*). Insekti su bili uzor i kolegama sa Hardvara koji su konstruisali mehaničku osu. Više detalja o ovome dato je u prilogu 5.3.

Priroda nije u potpunosti razvila rotirajuće elemente, koje mi koristimo kao neophodne elemente naše tehnologije, npr. točak ili elisa. Ovi mehanizmi nisu u potpunosti uporedivi sa biološkim sistemima. Naš sistem dvonožnog hoda može biti

približan kotrljanju po poligonu slika 5.3.1 [4]. U principu, kretanje noge zahteva veći stepen slobode i mnogo veću mehaničku složenost nego kretanje sa točkovima [5].



Slika 5.3.1: Dvonožno kretanje, aproksimativno kotrljanje

Priroda je kretanje svojih bioloških entitete prilagodila nestrukturiranom terenu. Suprotno tome ljudi su svoje okruženje prilagodili sebi. Naša okolina projektovana je za naše potrebe. Kompletно čovekovo okruženje je sa ravnim i glatkim površinama, prilagođeno za kretanje ljudi i vozila koja koriste točkove.

Na osnovu prethodno iznetih činjenica mobilni roboti prema načinu kretanja mogu se podeliti u nekoliko kategorija:

- roboti koji za kretanje koriste točkove,
- roboti koji za kretanje koriste gusenice,
- roboti koji za kretanje koriste simulacije bioloških uzora,

Pomenuti su roboti koji za svoje kretanje koriste simulacije bioloških uzora. To se prvenstveno odnosi na simulaciju kretanja insekata, koji imaju šest ili osam nogu (pauci i škorpije, lat. Arachnoidea). Platforme tog tipa koriste za kretanje člankovite noge kojima se simulira kretanje pomenutih insekata. Veoma komplikovan mehanički sistem stoji iza ovih robo konstrukcija. Sve to kontroliše sofisticiran mikro kod PLC-a koji je ugrađen.

Postoje i drugi oblici/načini kretanja:

- zmijoliko,
- penjanje,
- letenje,
- plivanje.

U prilogu 5.3.1. dat je prikaz robota koji za svoje kretanje ne koriste točak. Platforma koja treba da se realizuje ima točkove, a razlog za takvo opredeljenje je

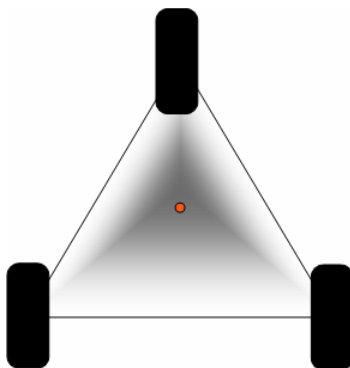
praktičnost i jednostavnost. Sam tip točaka i njihova konfiguracija na robotizovanoj platformi su od ogromne važnosti karakterišući upravljivost, kontrolu i stabilnost robota. Uopšteno govoreći postoji inverzna korelacija između kontrole i mobilnosti. Broj točkova kreće se od dva, četiri ili više što je i prikazano na slici 5.3.2.



Slika 5.3.2: Kepera (gore-levo), Kristof Goris (gore-desno), NASA roboti (donji red)

5.3.1 Statika platforme

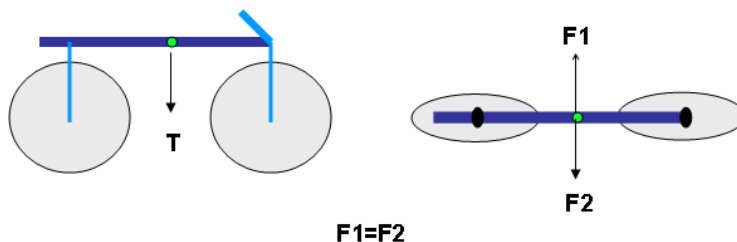
Konvencionalno, statičku stabilnost ispunjavaju minimalno tri točka, sa dodatnim uslovom da centar gravitacije mora biti sadržan unutar trougla koji se formira, slika 5.3.3.



Slika 5.3.3: Minimalna statička stabilnost ostvarena sa tri točka

Neverovatno je, ali stabilnost može da se postigne sa jednim ili sa dva točka. Primeri za to su monocikl, bicikl i razni skuteri, slika 5.3.4. Stabilnost takvog sistema održava čovek. Da bi postigli isti efekat, bez čoveka, potreban je žiroskopski sistem i kompleksna elektronska kontrola. Tako kompleksan sistem nije prikladan za nastavno

sredstvo zbog svoje složenosti i cene. Interesantan primer sa dva točka je vozilo Sigvej (eng. Segway), slika 5.3.5.



Slika 5.3.4: Bicikl, statički nestabilan sistem



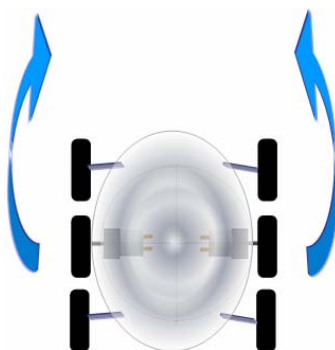
Slika 5.3.5: Statički nestabilan sistem, stabilan uz pomoć elektronike i žiroskopa, Segway Inc.

5.4 Upravljanje robotizovanom platformom

Postoji nekoliko načina za kontrolu pravca kretanja (skretanja-okretanja) robotizovanih platformi:

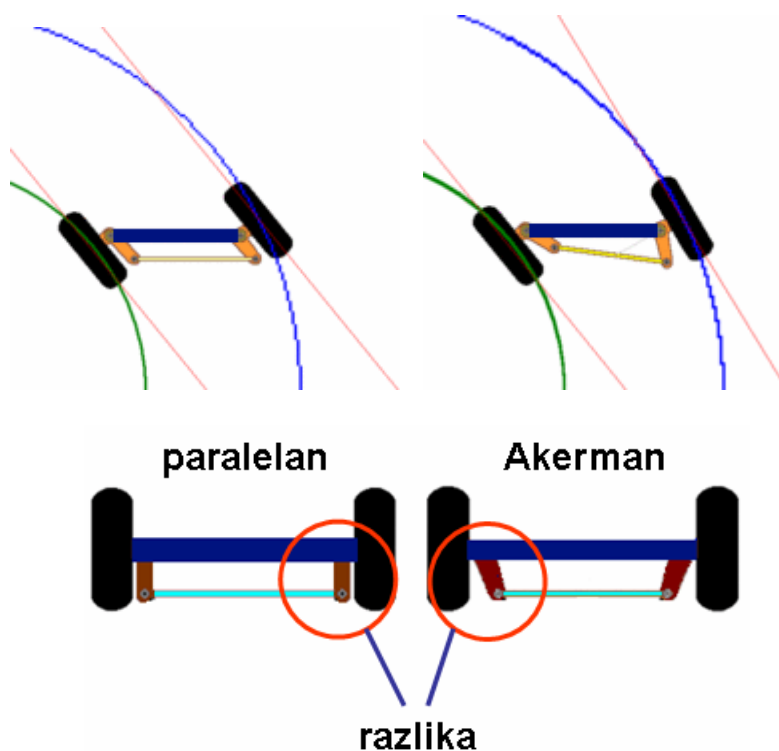
- proklizavanjem, (eng. skid),
- paralelan sistem,
- Ackerman sistem (nazvan po pronalazaču Rudolph Ackermann),
- diferencijalan.

Kontrola kretanja robota *proklizavanjem* – koristi se kod vozila/robota sa gusenicama ili sa fiksnim pogonskim točkovima koji nisu upravljivi [5], slika 5.4.1



Slika 5.4.1: Upravljanje se vrši aktiviranjem levih ili desnih točkova ili gusenica

Paralelan i Akerman sistem koriste upravljive prednje točkove kao što je upravljanje na automobilu[13]. Razlika između ova dva sistema ogleda se u samoj konstrukciji nosača točka.



Slika 5.4.2: Paralelni i Akerman sistem upravljanja

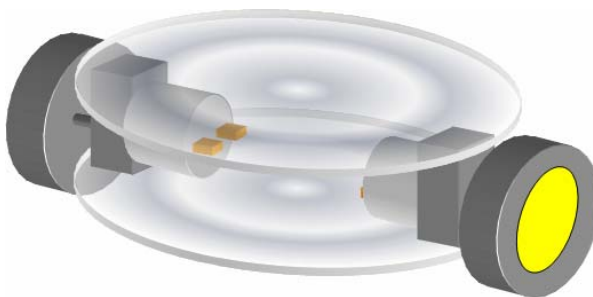
Za robotizovanu platformu koju projektujemo izabrali smo jednostavno rešenje, a to je diferencijalni pogon. Opredeljenje je bazirano na jednostavnom upravljanju (za razliku od pomenutih sistema koji su mehanički složeni) samim tim i ekonomski isplativom rešenju što je i jedan od postavljenih ciljeva doktorske teze.

5.4.1 Diferencijalni pogon/upravljanje

Diferencijalni pogon je pogon na dva točka. Pogonski točkovi su postavljeni na istoj osi sa nezavisnim elektromotorima za pogon i kontrolu kretanja. Naziv ukazuje na činjenicu da je vektor kretanja robota zbir kretanja nezavisnih točkova, što odgovara mehaničkom diferencijalu [16].

Pravolinijsko kretanje se postiže okretanjem pogonskih točkova u istom smeru i istom ugaonom brzinom. Rotiranje platforme ostvaruje se aktiviranjem rotacije pogonskih točkova u suprotnim smerovima. Rotacija platforme moguća je i rotacijom samo jednog točka.

Diferencijalni sistemi za kretanje koriste samo dva motora, po jedan za svaki pogonski točak. Često je točak direktno povezan sa motorom koji ima unutrašnji reduktor. Robot opisan u ovoj tezi ima reduktor koji je posebno projektovan za ovu konfiguraciju. Uprkos svojoj jednostavnosti, slika 5.4.1.1, kontrola ovog sistema je prilično teška.



Slika 5.4.1.1: diferencijalni pogon

Posebno je teško napraviti robo platformu sa diferencijalnim pogonom koja se kreće pravolinijski. Budući da su pogonske grupe nezavisne, ako točkovi nemaju istu ugaonu brzinu robot će u svom kretanju odstupati od pravolinijske trajektorije. Stvoriti uslove da se točkovi robo platforme okreću istom ugaonom brzinom je veliki izazov jer postoje razlike u samim motorima, reduktorima i razlike u trenju točkova sa podlogom. Kako bi osigurali da platforma održava željeni pravac kretanja, neophodno je koristiti sinhronizaciju broj obrtaja motora. Obično se sistem kontrole motora obezbeđuje sa enkoderima. To zahteva kontrole koje su zasnovane na obradi signala sa senzora koji su postavljeni kod točkova. Sistem je kontrolisan od strane mikrokontrolera. Više o enkodiranju u poglavlju koje je posvećeno ovom načinu kontrole obrtanja točkova.

5.5 Motorno-pogonska grupa

Električni motor je uređaj koji koristi električnu energiju i pretvara je u mehaničku energiju. Princip koji se koristi je interakcija magnetnih polja i nosioca strujnog toka – provodnika. Svoju primenu elektromotor je našao u industriji (velike dizalice, pumpe). Kućni uređaji koji koriste elektromotor su mikser, veš mašina ventilator, itd...

Klasična podela električnih motora je na električne motore koji koriste naizmeničnu struju (eng. Alternating Current skr. AC) i električne motore koji koriste jednosmernu struju (eng. Direct Current skr. DC). Ovo je *de facto* konvencija, a ne neka rigidna odluka.

Postoji nekoliko vrsta elektromotora koji se najčešće koriste za robotizovana sredstva. Svi oni koriste baterijsko napajanje, (jednosmernu strujnu komponentu, DC) za svoj rad. To su:

- jednosmerni motor sa četkicama,
- koračni motor,
- servo motor.

Jednosmerni motor sa četkicama koji koristi jednosmerni izvor napajanja stvara obrtni momenat (eng. torque) koristeći četkice, rotor i stator (permanentni magnet). Malo metalno kućište i nabrojani elementi čine DC motor veoma kompaktnim. U kombinaciji sa reduktorom motor postiže odličan obrtni moment. Sa radnim naponima od 1.5V do 24V svrstavaju DC tip motora u veoma korišćene pogonske motore malih robota.

Koračni ili stepper motor može da rotira osovinu za određen ugao u pojedinačnim koracima (eng. stepp). Zbog takvih mogućnosti, koračni motor koristi se u štampačima gde pokreće glavu za pisanje ili mehanizam za skeniranje kod skenera.

Servo elektromotor mehanički je povezan sa potencijometrom. Impulsno modulisan signal poslat sa kontrolera prevodi se u inicijalnu, pozicionu komandu pomoći elektronike koja je sastavni deo samog motora. Zbog pouzdanosti i jednostavne kontrole mikrokontrolerom, servo motor se često primenjuje za kontrolu malih robota.

U tabeli 5.5.1. dat je uporedni pregled prethodno navedenih tipova elektromotora.

Tabela 5.5.1: Uporedni pregled predstavljenih elektromotora

Tip	Prednosti	Mane	Primena	Način pogona
Koračni	Precizno pozicioniranje i veliki obrtni momena	Zahteva kontroler, težak, cena	Printeri, skeneri, roboti	Multifazna DC
Servo	Kontrola položaja osovine	Zahteva kontroler, napajanje 4.8V, cena	RC kontrola modela	Multifazna DC
Jednosmerni sa četkicama	Mali inicialni troškovi Jednostavna kontrola brzine	Skupo održavanje Katak vek upotrebe	Hobi modeli starter SUS motora	DC, PWM

Za robotizovanu platformu koja se ovim projektom planira, koristiće se DC elektromotori. U skladu sa potrebama diferencijalnog pogona potrebna su dva elektromotora. Da bi se izabrali odgovarajući modeli elektromotora mora se prethodno izvršiti proračun za:

- snagu (W),
- obrtni moment (gcm),
- efikasnost (%)

Snaga i obrtni moment

Snaga i obrtni moment su najvažnije karakteristike za elektromotor. Za određivanje snage i obrtnog momenta (koji bi bio potreban za robo platformu) koristiće se strma ravan koja može da bude dobra aproksimacija realnih uslova koji su potrebni.

Snagu elektromotora izračunaćemo:

$$W = V * I * Ef$$

W = snaga (Wat)

V = napon (Volt)

I = struja (Amper)

Ef = efikasnost (%)

Obrtni moment računamo

$$T = \frac{5252^1 \times P_w}{rpm} \quad \text{ili} \quad T = \frac{9554^2 \times P_w}{rpm}$$

T = obrtni moment (gcm),

P_w = Snaga elektromotora (W),

rpm = brzina okretanja osovine elektromotora,

5252¹ = konstanta (33,000 podeljeno sa $3.14 \times 2 = 5252$) u *USA sistem*

9554² = konstanta (60,000 podeljeno sa $3.14 \times 2 = 9554$) u *SI sistem*

Primer za konstante koji je naveden predstavlja dobar primer različitosti upotrebljenih standarda. Fizičke veličine koje se koriste za kalkulacije i projektovanja treba da pripadaju jednom sistemu SI ili USA. U ovom radu koristi se samo SI sistem obeležavanja vrednosti.

Postoji nekoliko stvari koje treba razmotriti prilikom izbora elektromotora. Najvažnije karakteristike su snaga, težina i efikasnosti. Drugi važni faktori na koje treba obratiti pažnju su:

- da li motor proizvodi buku,
- da li ometa komunikacione signale,
- da li je jednostavan za montažu.

Efikasnost

Efikasnost se obično postiže većim radnim naponom i povećanjem broja obrtaja u minutu (eng. Revolution Per Minute, skr. rpm). Neki motori imaju veliku efikasnost, a bez opterećenja (eng. no-load) postižu brzine i više od 20.000 rpm.

Da bi se izračunala efikasnost motora **η** koristi se standardna formula,

$$\eta = \frac{P_m}{P_e}$$

gde je **P_m** mehanička snaga, a **P_e** električna ulazna snaga. U najjednostavnijem slučaju sledi:

$$P_e = VI,$$

$$P_m = T\omega$$

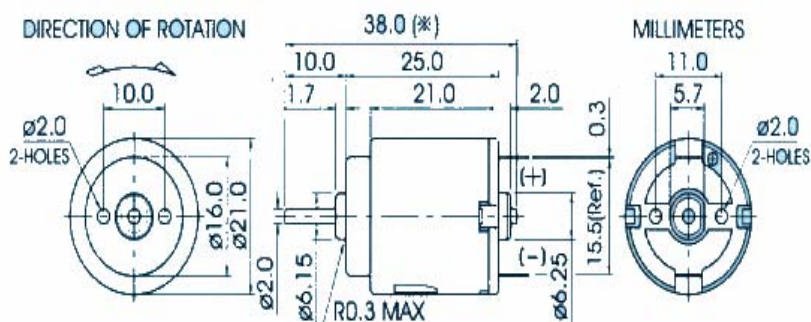
gde je **V** ulazni napon , **I** ulazna struja, **T** je obrtni moment, a ω ugaona brzina osovine.

Na osnovu prethodno izvršenih proračuna, opredeljenje je za DC elektromotor 102-L. To je motor umerene brzine koji velikim delom ispunjava predviđene zahteve, a uklapa se i cenom u postavljen koncept jeftine robotizovane platforme. Karakteristike motora prikazane su u tabeli 5.5.2.

Tabela 5.5.2: Karakteristike motora serije 102

MODEL	VOLTAGE		NO LOAD		AT MAXIMUM EFFICIENCY					STALL TORQUE
	OPERATING RANGE	NOMINAL	SPEED	CURRENT	SPEED	CURRENT	TORQUE	OUTPUT	EFF	
			rpm	A	rpm	A	g.cm	W	%	
102-D	1.5~4.5	3.0V CONSTANT	14000	0.30	10900	0.92	10.5	1.17	42.5	39
102-L	1.5~4.5	3.0V CONSTANT	10500	0.23	8100	0.58	7.9	0.66	38	36
102-H	1.5~6.0	3.0V CONSTANT	6100	0.10	4500	0.23	8	0.37	53.6	24

Proizvođač je vodio računa o detaljima sa fokusom na postizanje većeg stepena efikasnosti. U armaturu rotora preko žičanih slojeva ubačen je polimer koju čini da rotor ima glatke površine. Na taj način postiže se da otpor vazduha više nije faktor koji se uzima u obzir, a hlađenje je obezbeđeno tankim metalnim prstenovima oko rotora koji imaju i ulogu zamajca. Tako je efikasnost motora podignuta na viši nivo.



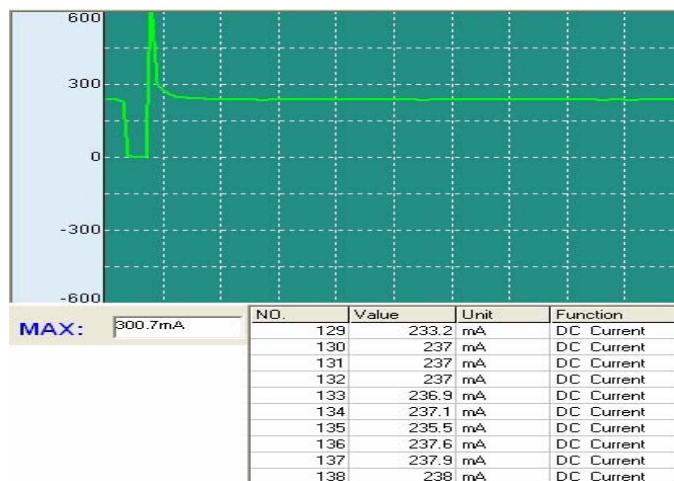
Slika 5.5.1: Elektromotor 102L predstavljen dimenziono

Na osnovu merenjima koja su sprovedena sa dva uparena elektromotora dobijene su vrednost prikazana u tabeli 5.5.3.

Tabela 5.5.3: Električne karakteristike elektromotora

Naziv	Napon	Struja
Bez opterećenja	3V	237mA
Sa opterećenjem	2.57	261mA

Slika 5.5.2 prikazuje vrednosti dobijene merenjem struje koju motori koriste bez opterećenja. Sa slike je vidljiv strujni vrh (eng. pick) potrošnje od 600mA, koji je ispod maksimuma od 1A koliko je dozvoljeno za kolo L293B.



Slika 5.5.2: Merene vrednosti struje elektromotorne grupe

5.6 Točkovi

U poglavlju koje sledi nije detaljnije objašnjenja teorije točkova jer to je tema mnogih doktorskih disertacija, ali par rečenica je neophodno [22].

Točak je daleko najpopularniji mehanizam za kretanje mobilnih robota i vozila u celini i postiže vrlo dobru efikasnosti, a to čini sa relativno jednostavnim mehaničkim implementacijama. Točkovi su izuzetno dobro prilagođeni za ravne površine, gde je ovaj tip lokomocije efikasniji od kretanja nogu.

Točak koji se koristi za robo platformu mora da bude dovoljno velik da šasija bude odmaknuta od podloge bar 5mm i da manje neravnine u podlozi ne utiču mnogo na kretanje platforme. Odlučeno je da se koristi plastični točak (generički proizvod) koji je prikazan na slici 5.6.1. Svojim dimenzijama, oblikom i težinom (13 gr. jedan točak) i cenom u potpunosti odgovara postavljenim zahtevima.



Slika 5.6.1: Osnovni tip točka koji koristimo

Mnogi konkurentski modeli nemaju mogućnost zamene točkova. Robo platforma dozvoljava promene točkova po obliku i veličini. Tako je postignuto da na platformu može da se postave razni tipovi točkova, po želji korisnika, slika 5.6.2. Moguća je i modifikacija boje „radkapne“ (ukrasni deo na točku) točka kao na slici 5.6.3.



Slika 5.6.2: Razni modaliteti točka koji može da se koristi



Slika 5.6.3: Modifikacija boje “radkapne” točka

5.7 Prenosni mehanizam

Snaga koju elektromotor isporučuje može da se prenese točkovima na nekoliko načina koji se najčešće koriste za pokretanje malih robota :

- **direktno** – povezivanjem točkova sa osovinom motora,
- **indirektno** – preko reduktora,

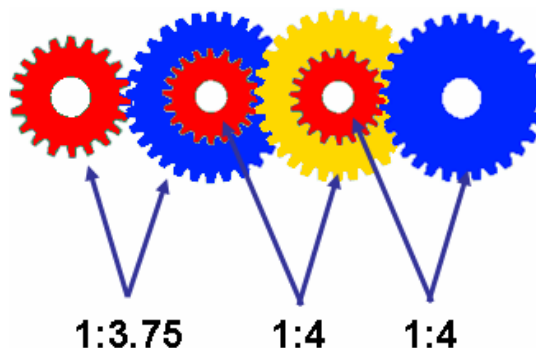
Direktno – povezivanjem točkova sa osovinom motora moguće je kada imamo motor sa velikim obrtnim momentom i laku konstrukciju robo platforme. U ovom slučaju i točkovi imaju veliku ulogu. U početnom trenutku elektromotor „povuče“ veliku struju i time obezbeđuje dovoljnu ugaonu brzinu točkova i njihovo pokretanje.

Indirektno – preko reduktora je najčešći način na koji se povezuju elektromotor i točak. Reduktor obezbeđuje usklađivanje snage elektromotora i brzine koju želimo za robo platformu.

5.7.1 Reduktor

Zupčana transmisija – reduktor obezbeđuje prenos kretanja sa elektromotora na točkove platforme. Gubici snage pri ovakvom prenosu su minimalni pa se postiže odgovarajuća brzina točkova.

Karakteristike elektromotora su ulazni parametri na osnovu kojih definišemo reduktor. Tako na primer ako želimo da platforma težine 0.3kg ima brzinu od 0.2m/s - 0.35m/s. potrebno je da koristimo reduktor sa više nivoa prenosnih odnosa. To znači smanje broja obrtaja elektromotora sa 8100 obrtaja na prihvatljivih 100-120 obrtaja. Generički plastični zupčanci koji mogu da se nađu na tržištu, a veličinom odgovaraju našim zahtevima, imaju prenosni odnos od 1:3.75 i 1:4. Kombinacija je prikazana na slici 5.7.1.



Slika 5.7.1: Redukcija koju mi koristimo 1:60

Na osnovu proračuna dobija se redukciju sa tri nivoa:

proračun

prenosni odnos $3.75 \cdot 4 \cdot 4 = 60$; **1:60**;

br.obr. elektromotora je 8100 $8100/60 = 135$

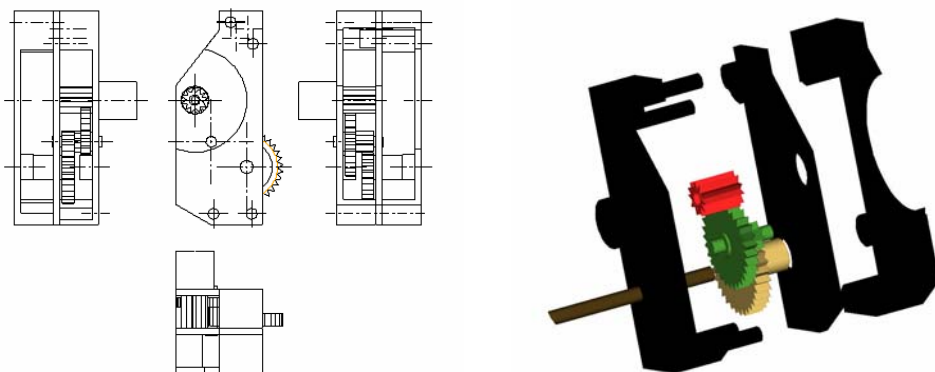
Pošto je stepen efikasnost zupčastog prenosa $\sim 90\%$,

proračun

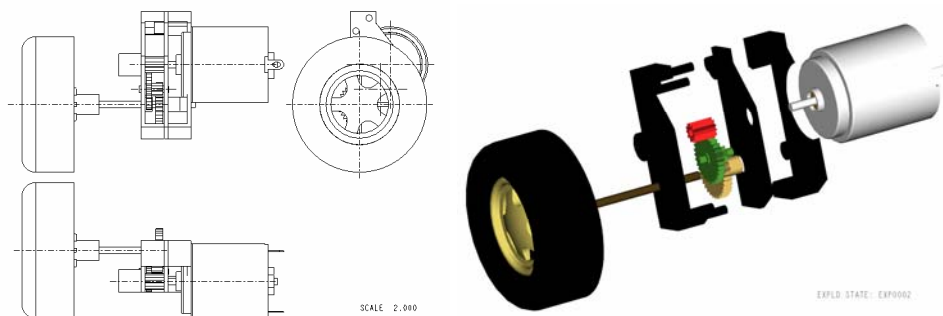
$$135 \cdot 0.9 = 121.5$$

Brzina kojom se bez opterećenja okreće izlazna osovina reduktora je 121.5 obrtaja u minutu. Eksperimentalno je ustanovljeno da je stvarna brzina (sa opterećenjem) između 93-94 obrtaja u minutu. Razlika od 23% je gubitak u samoj transmisiji i usled opterećenja.

Na slikama 5.7.2 i 5.7.3 prikazan je osnovni deo projektovanog reduktora.



Slika 5.7.2: Projektovani reduktor



Slika 5.7.3: Reduktor u sklopu motora i točka

Svi delovi reduktora izrađeni su od plastične mase, slika 5.7.4. Izlazno vratilo je urađeno od metalne šipke, dužine 31mm i prečnika Ø 2mm. Izabran prečnik vratila odgovara mnogim tipovima generičkih točkova koji se mogu naći na tržištu.



Slika 5.7.4: Projektovani reduktor

Testiranja koja su rađena rezultirala su saznanjem da su sve performanse elektromotora sa reduktorom neutralne od vremenskog faktora, slika 5.7.5.



Slika 5.7.5: Projektovani reduktor u sklopu sa elektromotorom

5.8 Geometrijsko modeliranje

Kada je reč o robo platformama nema idealne konfiguracije koja istovremeno optimizira stabilnost i upravljivost. Svaki mobilni robot ima jedinstvenu primenu i ograničenja u dizajnu. Projektanti moraju da izaberu najprikladniji pogon za konfiguraciju tražeći prostor u kompromisima. Dobar i razrađen dizajn kompletnog robotizovanog sistema je ključ uspeha.

U prethodnim poglavljima izneti su zahtevi i principi koje bi trebalo primeniti u projektovanju nove robotizovane platforme.

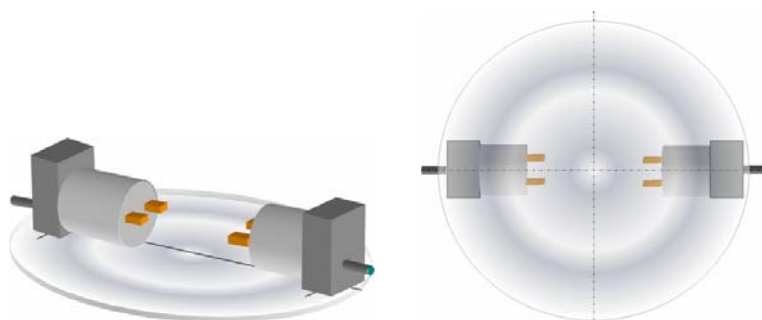
Krenulo se od sledećeg koncepta:

- **bezbedna konstrukcija** koja podrazumeva da upotrebljeni materijali nisu toksični i da plastični elementi konstrukcije nemaju oštre ivice koje bi mogle da povrede korisnika,
- **jednostavna konstrukcija** koja podrazumeva da se robot sastavi u nekoliko faza koje zajedno traju maksimalno 20 minuta. Pri sastavljanju koristiti minimum alata - super lepak,
- **funkcionalna platforma** definisana je zahtevima da upravljivost platforme treba da bude izvodljiva sa minimumom elemenata,
- **univerzalna platforma** zahteva konstrukcijsko rešenje koje može da podrži dodavanje kreativnih elemenata studenta, postavljanje CCD mini kamera ili mobilnih telefona sa kamerama.

5.8.1 Šasija

Kao osnovni element robota šasija treba svojom konstrukcijom da bude dovoljno čvrsta da izdrži sva opterećenja motorne grupe sa pripadajućim točkovima [21]. Šasija je dodatno opterećena modulima (PM i LSG) za kontrolu kretanja robota kao i baterijskim napajanjem.

Izgled šasije nametnuo se upotrebom CD ploče kao elementa koji je upotrebljen za izradu. Diferencijalni pogon uslovio je da se motori sa reduktorima nalaze na suprotnim krajevima ploče, slika 5.8.1.1.

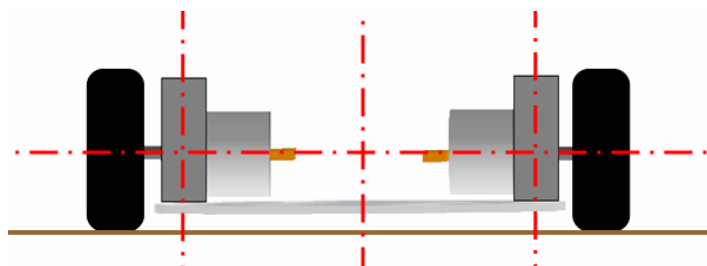


Slika 5.8.1.1: Diferencijalni pogon primenjen na CD ploču

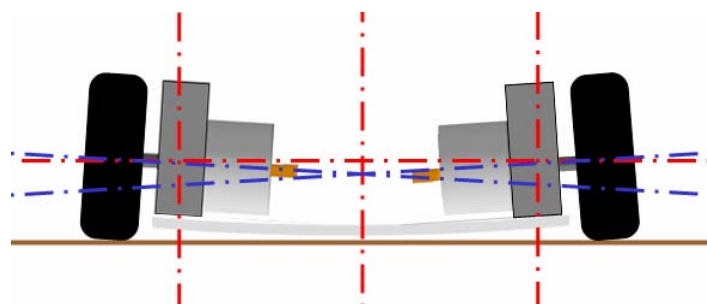
Povezivanje elemenata šasije u čvrstu vezu predviđeno je da se uradi lepljenjem. Motori sa reduktorima lepe se na krajeve akrilatne CD ploče. Na tržištu postoje vrlo kvalitetni lepkovi (jednokomponentni ili dvokomponentni) koji zadovoljavaju kvalitetom zalepljenog spoja. Za robo platformu korišćeni su brzi jednokomponentni cianoakrilatni

lepkovi poznate kao “super lepak“. To je bezbojna tečnost koja omogućava da zalepljeni elementi budu veoma čvrsti (20N/sq.mm). Proces spajanja traje od 5-30 sekundi, dok je za potpunu čvrstinu spoja potrebno 24 sata.

Korišćenje samo donje CD ploče, slika 5.8.2.1, pod sopstvenom težinom (reduktori, motori, baterijska grupa), dovelo bi do malih odstupanja u paralelnosti reduktora kao i osa reduktora, slika 5.8.2.2.

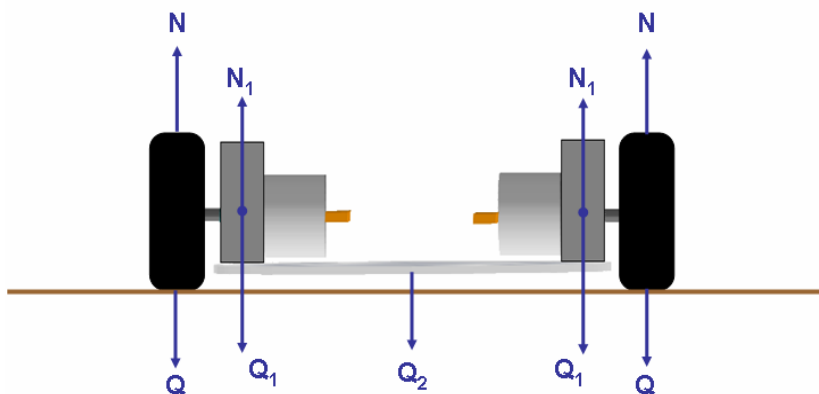


Slika 5.8.1.2: Idealan položaj reduktora i osa reduktora



Slika 5.8.1.3: Savijanje koje uzrokuje tanka CD ploča i motorna grupa

Dva osnovna razloga za savijanje donje ploče su tanka plastika i težina gradivnih elemenata. Prvi razlog je donja ploča. To je tanka monolitna plastika bez strukturalnih ojačanja koja bi sprečila uzdužne deformacije. Drugi razlog je težina gradivnih elemenata same robo platforme (motori, reduktori, elektronika i baterije). Sile koje deluju na ploču preko točkova i reduktora prikazane su na slici 5.8.1.4.



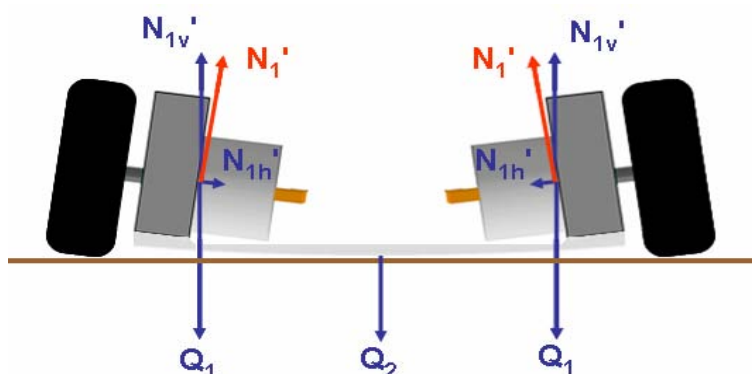
Slika 5.8.1.4: Dejstvo sila na ploču

Objašnjenje oznaka koje su korišćene za obeležavanje sila dato je u tabeli 5.8.1.1.

Tabela 5.8.1.1. Objašnjenje oznaka sila

Oznaka	Opis
Q	težina točka,
Q ₁	težina motorne grupe,
Q ₂	težina plastične ploče
N	sila reakcije podloge,
N ₁	sila reakcije plastične ploče,

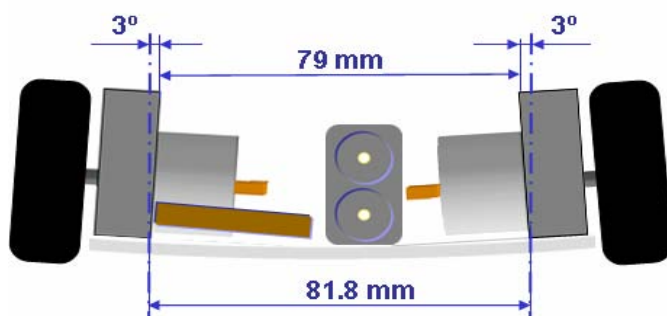
Kada se sile koje su prikazane na slici 5.8.1.4 razlože na pripadajuće horizontalne i vertikalne komponente dobijamo spreg sila koji je prikazan na slici 5.8.1.5.



Slika 5.8.1.5: Spreg sila koji uzrokuju savijanje ploče

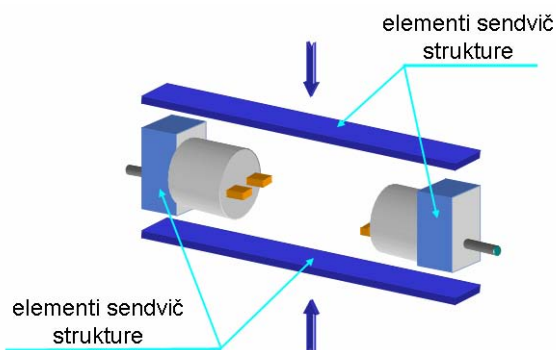
Sa slike 5.8.1.5 je vidljivo da je $N_{1v}' + N_{1v}' = Q_1 + Q_2 + Q_1$ odakle sledi da je N_{1h}' spreg sila koji uzrokuje krivljenje plastične ploče.

Merenjem koje je sprovedeno, ustanovljeno je da reduktori na slobodnim krajevima imaju diletacioni otklon od 2.8mm po horizontalnoj osi. Po vertikalnoj osi ukupni otklon je 6 stepeni, slika 5.8.1.6.

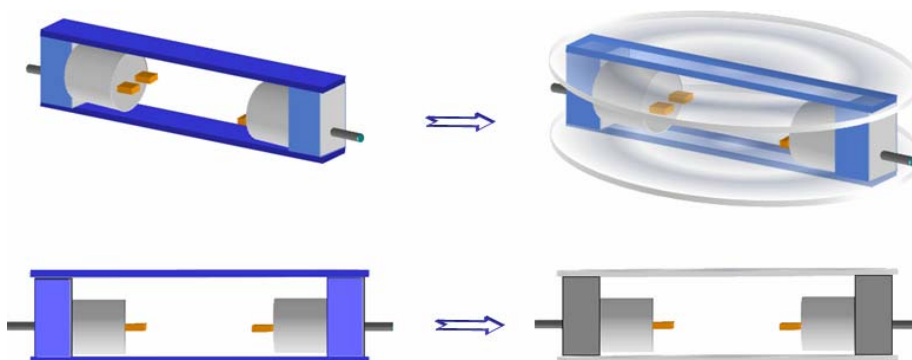


Slika 5.8.1.6: Dilekacija koja nastaje usled sprega sila

Neutralisanje ovih sila ostvaruje se dodavanjem još jedne CD ploče koja se postavlja na slobodan kraj reduktora i spaja se lepljenjem. Dodavanjem ove plastične ploče dobija se potrebna mehanička spona koja učvršćuje šasiju (sendvič struktura) [23]. Tako dobijena kruta veza ne dozvoljava da se donja ploča sa motornom grupom uvija, slika 5.8.1.7 i 5.8.1.8.

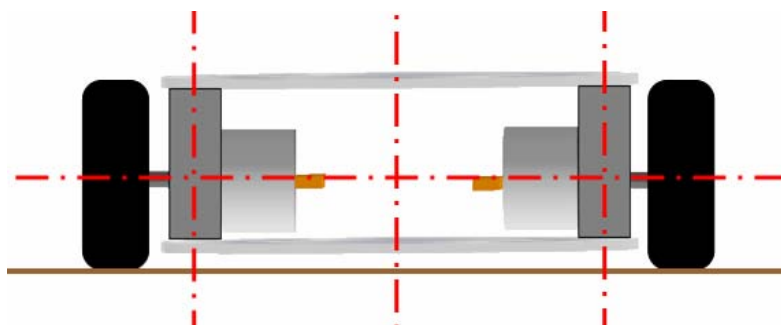


Slika 5.8.1.7: Površine koje predstavljaju mehaničku krutu vezu



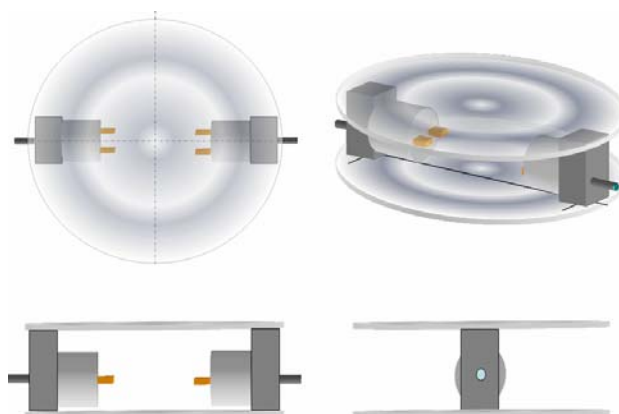
Slika 5.8.1.8: Primijenjena sendvič struktura korišćenjem CD ploča

Cela konstrukcija sada dobija na mehaničkoj čvrstini, slika 5.8.1.9.

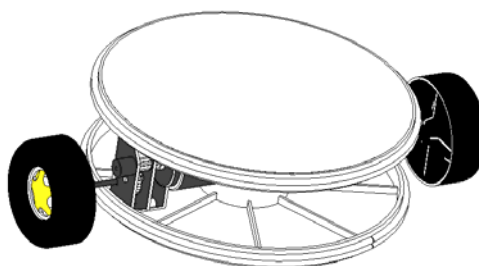


Slika 5.8.1.9: Šasija robo platforme sastavljena od dve CD ploče

Četiri elementa (dve CD ploče i dve motorne grupe) dovoljno je da bi robo platforma dobila svoju osnovnu formu. Slika 5.8.1.10 predstavlja prvu modelovanu verziju robo šasijske.



Slika 5.8.1.10: Prva modelovana verzija šasijske, verzija 01

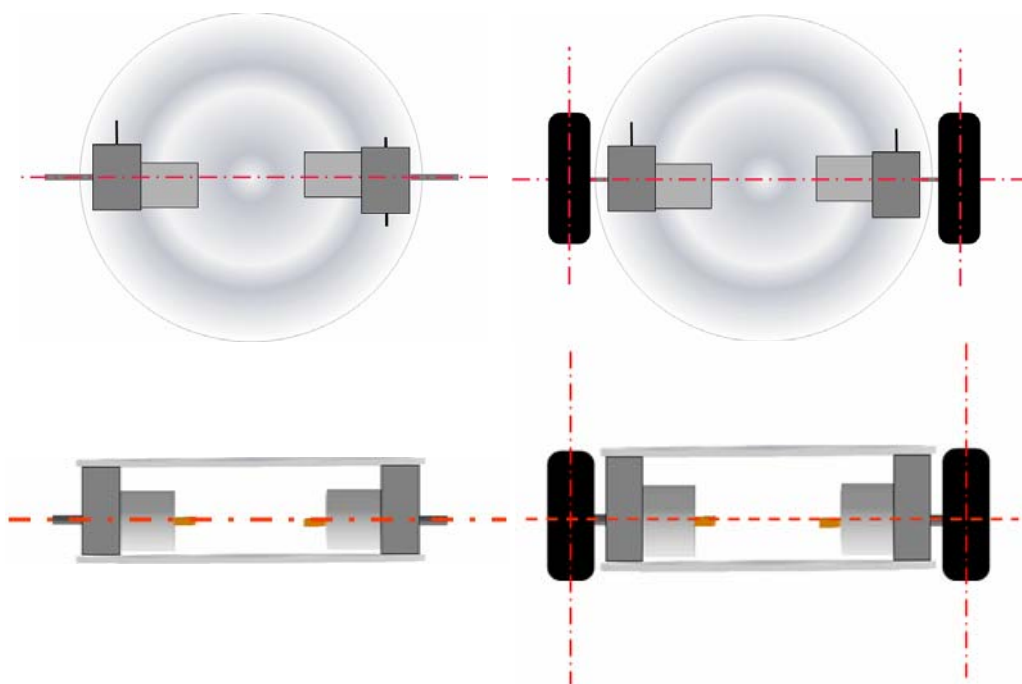


Slika 5.8.1.11: Renderovana projekcija šasijske, verzija 025

5.8.2 Montaža šasijske

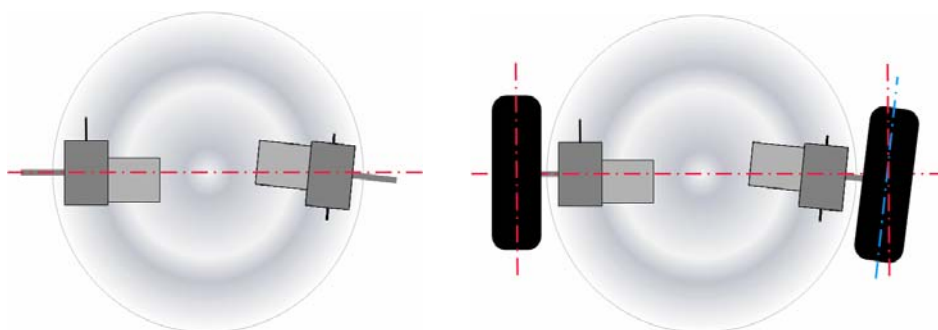
Kao što je u projektnom zahtevu navedeno, a u prethodnim poglavljima i objašnjeno, sastavljanje robo platforme je krajnje jednostavno. Ipak treba obratiti pažnju na uzajamni položaj elemenata motorne grupe.

Kada se postavlja motorna grupa od izuzetne važnosti je ispuniti uslov poklapanja ose ploče i ose reduktora u horizontalnoj ravni kao i njihove paralelnosti u vertikalnoj ravni, slika 5.8.2.1.



Slika 5.8.2.1: Vratila reduktora moraju da budu u simetriji

Razlog za poklapanje i paralelnost osa je više nego očigledan jer samo tako točkovi mogu da budu paralelni, slika 5.8.2.1. Ako bi došlo da razlike u osnoj simetriji vratila, platforma bi imala distorziju u svom kretanju zbog položaja točkova, koji više nisu paralelni, slika 5.8.2.2.

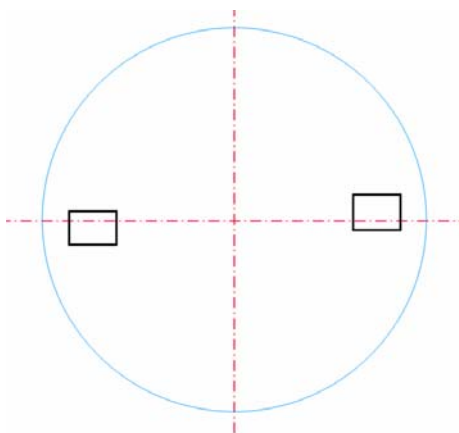


Slika 5.8.2.2 Odstupanja od ose simetrije dovodi do nepravilnog kretanja

Da bi prethodni zahtevi mogli da se ispune prilikom lepljenja motorne grupe uvedena je upotreba šablona.

Šablon je crtež sa tačno definisanim položajem motorne grupe. Koristi se tako što se postavi ispod jedne od CD ploča. Na površinu reduktora predviđenu za lepljenje nanese se nekoliko kapi lepka i element se postavi na obeleženo mesto na šablonu.

Pri lepljenju centrira se vratilo reduktora da bude poravnato sa osom simetrije šablona, slika 5.8.2.3.



Slika 5.8.2.3: Šablon koji se koristi za podešavanje osa vratila reduktora

Po završetku postavljanja motorne grupe, prelazi se na sledeće faze montaže:

- lepljenje nalepnice¹,
- ukrasnih traka²,
- lepljenje gornje ploče,
- dodavanje točkova,
- ubacivanje PM-a,
- priključivanje baterija.

^{1 2} *Kreativan deo, više u poglavlju 5.13.1.*

Detaljan postupak montaže robotizovane platforme objašnjen je u uputstvu za sastavljanje koje je sastavni deo priloženog CD-a. Na slici 5.8.2.4 prikazan je sastavljen model robotizovane platforme. U prilogu 5.8.2 prikazano je nekoliko prvobitnih prototipova u razvoju robo platforme.



Slika 5.8.2.4: Sastavljen model

Tabela 5.7.1: Dimenzione karakteristike robo platforme

Naziv	Vrednost	Jedinica mere
Širina	120	mm
Visina	56	mm
Težina bez baterija	0.425	Kg
Težina sa baterijama	0.51	Kg

5.9 Enkodiranje

U robotici često postoji zahtev da se kontroliše broj okretanja osovine pogonskih točkova ili da se izmeri brzina kretanja robota. Ako se za kretanje robo platforme koriste klasični DC elektromotori (u našem slučaju), neophodno je primeniti sistem kontrole sa enkoderima. To je neophodno iz više razloga:

- motori bez obzira na kvalitet izrade nemaju istu ugaonu brzinu rotora,
- u reduktorima se stvara trenje koje dovodi do razlike u brzinama izlaznih vratila (trenje u ležištima i trenje među zupčanicima),
- točkovi nisu idealnih prečnika,
- proklizavanje točkova usled različite podloge,
- geometrija same platforme (osovine točkova nisu u idealnoj osi)

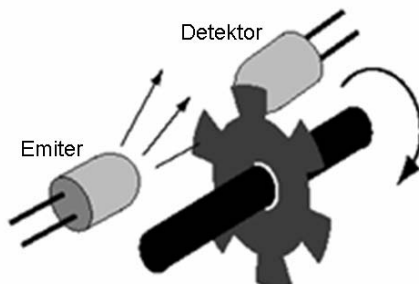
Naveno je nekoliko glavnih razloga koji dovode do odstupanja u pravolinijskom kretanju robota. Ta odstupanja mogu da budu veoma kritična ako se robotizovana platforma koristi kao ogledno sredstvo (programiranje, fizika). Problemi nastupaju i kada je neophodno pratiti definisanu trajektoriju. Odstupanja dovode u pitanje upotrebljivost celog robotizovanog sredstva.

Ovaj problem uočen je još u prvim danima robotike. Tada se kontrola motora radila sa elektronskim kontrolerom poznatim pod imenom PID (eng. Proportional Integral Derivative). Kontroler ovog tipa nastoji da ispravi grešku između izmerene i odabrane vrednosti. Izlazna vrednost je brz korektivni proces koji grešku svodi na minimum. PID elektronski kontroleri zamenjeni su digitalnim kontrolerima, PLC mikrokontrolerom. Softverska implementacije PLC-a ima prednost (relativno je ekonomski isplativija i fleksibilnija) u odnosu na implementaciju PID algoritma. Za robotizovanu platformu koristimo PLC opisan u prethodnim poglavljima.

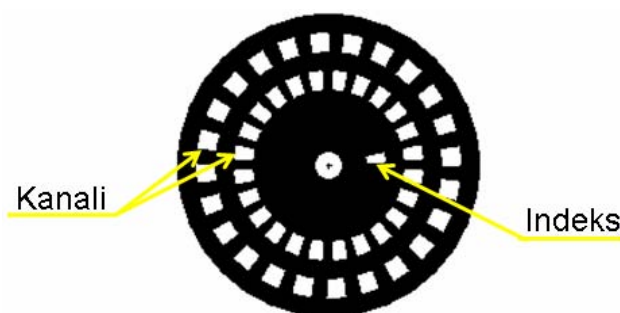
5.9.1 Enkoder

Enkodiranje je deo procesa povratne kontrole sistema kojim se determiniše pređeno rastojanje, brzina rotacije, ugao ili pokret robota. Sam enkoder je mehanički sklop koji vrši merenje brzine rotacije osovine točka optičkim senzorima, slika 5.9.1.1, pomoću posebno dizajniranog diska, slika 5.9.1.2.

Enkoderski disk može biti projektovan za višekanalno očitavanje i da poseduje jedno ili više indeksnih polja. Višekanalni sistem koristi se kada je potrebno da se pored ugaone brzine kontroliše i neki drugi parametar (npr. pozicija slova na bubnju kod profesionalnih štampača). Indeks se uglavnom koristi za pozicioniranje, inicijalizaciju sistema.



Slika 5.9.1.1: Princip enkodiranja



Slika 5.9.1.2: Perforirani disk za enkodiranje sa dva kanali i indeks poljem

Enkoderski disk postavlja se na pogonsku osovinu koji želimo da kontrolišemo. To može da bude kod samog točka, na osovini reduktora. Postavljanjem diska na osovinu elektromotora nije produktivno. Reduktori mogu da budu generatori greške. U tom slučaju mi nismo u našem korektivnom sistemu uzeli u obzir transmisiona odstupanja, pa ceo sistem postaje nestabilan.

Senzorski blok sastoji se od dva elementa, fototranzistora i emitera svetlosti. Na tržište elektrokomponenti isporučuje se kao generički proizvod u nekoliko varijanti i oblika. Element koji se koristi za robo platformu nosi oznaku ELITR 8102.

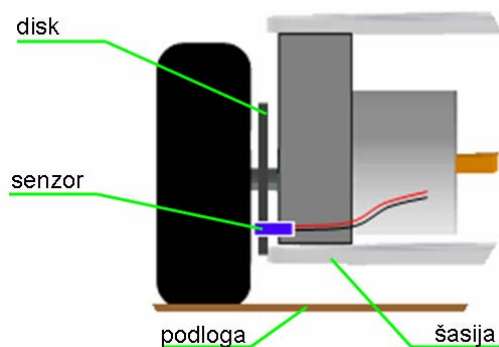
U višekanalnom sistemu postoji nekoliko nezavisnih fototranzistora i svaki predstavlja element jednog kanala i indeksa. Senzorski blok fiksira se na stabilni deo šasije ili reduktora i povezuje su sa procesorom. Okretanje osovine uzrokuje da enkodirani disk sa perforacijama, mehanički preseca snop svetlosti koji je fokusiran na detektor. Rotacija diska stvara niz svetlosnih impulsa na detektoru koji se dalje obrađuju u procesoru i vrši se usklađivanje (uparivanje) broja obrtaja elektromotora u zadatim vrednostima.

Enkoderski disk može da ima više ili manje proreza u zavisnosti od potreba sistema za enkodiranje. Veći broj proreza znači veću rezoluciju, stvara se više impulsa i sama kontrola može da bude preciznija.

Kontrola elektromotora obično se vrši preko drajvera motora promenom vrednosti napona. To postižemo naponskom modulacijom, a signal je (PWM) moduliran od strane mikrokontrolera što je opisano sledećem poglavlju. Ceo proces odvija se po zadanom algoritmu koji je definisan karakteristikama elektromotora i potrebama korisnika. Proračune koje mi treba da definišemo odnose se na:

- prečnik enkoderskog diska.
- rezolucija enkodera koju trebamo,
- broj kanala po disku,
- indeksiranje.

Za potrebe naše robotizovane platforme, a u skladu sa konstrukcionim mogućnostima prečnik enkoderskog diska ne bi smeo da pređe 33mm jer bi tada disk prelazio okvir šasije. U tom slučaju moglo bi lako da dođe do oštećenja samog diska prilikom kretanja robotizovane platforme što se vidi sa slike 5.9.1.3.

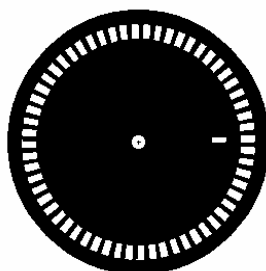


Slike 5.9.1.3: Položaj enkoderskog diska

Veća rezolucija obezbeđuje precizniju kontrolu. Ako se uzme u obzir da je prečnik diska 33mm maksimalna rezolucija koja može da se postigne je 60 proreza. Na slici 5.9.1.4 prikazan je projektovani disk.

Kada imamo elemente kao što su prečnik točka, broj obrtaja osovine vratila reduktora, lako možemo da izračunamo koliki put pređe robot u određenoj jedinici vremena.

$$\text{osnovna formula } V = \text{Otočka} * \text{rpm}$$



Slika 5.9.1.4: Projektovani perforirani disk za enkodiranje koji mi koristimo na robo platformi D33-2-50-2

U tabeli 5.9.1.1 date su mehaničke osobine enkoderskog diska koji koristimo.

Tabela 5.9.1.1: Encoder, mehaničke specifikacije

Karakteristike	Vrednost	Jedinica mere
Prečnik osovine	2	Mm
Oscilacije diska	+/-0.5	Mm
Dužina osovine	7.25	Mm
Broj perforacija	60	
Indeks polje	1	
Broj kanala	2	
Boja	Crna	
Tehnika montiranja	Lepljenje	
Radius	33	Mm

Postoj nekoliko besplatnih programa koji pomažu u procesu pripreme i štampanja diska za enkodiranje. Prilikom izrade samog diska treba obratiti pažnju na nekoliko praktičnih elemenata:

- materijal za izradu diska treba da bude kvalitetan da ne bi dolazilo do "vitoperenja", krivljenja folije. Svaka nepravilnost dovodi do nekorektno skeniranog podatka koji multiplicira grešku,
- štampanje enkoderskog diska na plastičnoj foliji treba prepustiti profesionalcima. U slučaju da se štampanje obavlja u kućnoj radinosti, potrebno je izabrati kvalitetan laserski štampač.

Primenom enkodiranja stvoreni su uslovi da diferencijalni pogon funkcioniše sa neznatnom distorzijom putanje.

Treba voditi računa da enkoderi mogu da generišu tri vrste grešaka:

- greška rezolucije (predvidiva),
- mehaničke greške zbog neusklađenosti točkovi ili drugih faktora (predvidiva),
- interakcije sa podlogom, gubitak vuče na klizavim površinama (nepredvidive).

Na ravnoj i suvoj površini, merenje može da bude prilično tačno. Interakcija platforme sa podlogom podrazumeva suvu površinu koju je lako obezbediti u okruženju za koje je robo platforma i predviđena da se koristi, a to je učionica.

5.10 Baterijsko napajanje

Na osnovu da sada prezentovanog materijala, projekata i proračuna iznetih u prethodnim poglavljima lako je zaključiti da je za robotizovanu platformu neophodno kvalitetno baterijsko napajanje. Na tržištu postoji mnogo tipova i modela baterija. Da bi se opredelili za određeni model potrebno je znati neke od važnih elemenata koji karakterišu bateriju:

- nominalni napon,
- specifična snaga,
- broj ciklusa punjenja,
- cena.

Baterije koje mogu da se regenerišu (pune se i opet mogu da se koriste i to u ciklusu od 1000 punjenja) prave se u nekoliko tipova:

- Li (Lithium Ion) velika specifična energija 150Wh/kg,
- NiMH (Nickel Metal Hydride) velika specifična energija 90Wh/kg,
- NiCd (Nickel Cadmium), velika specifična energija 80Wh/kg.

Da bi kretanje platforme i funkcionisanje elektronike bilo stabilno, odlučili smo se za dve nezavisne energetske grupe. U testiranjima koja su sprovedena (detaljnije u poglavlju sedam) konstatovali smo da je u određenim uslovima dolazilo do problema sa napajanjem pratećeg kontrolnog modula.

5.10.1 PLC baterijsko napajanje

Prateći kontrolni modul zahteva da ima stabilan izvor napajanja od 5V i minimalnu struju od 200mA. Za napon od 5V treba nam četiri baterije (alkalne, nominalni napon 1.5V), vezane na red, tipa AA ili AAA ($4 \times 1.5V = 6V$). To je odgovarajuće jer imamo stabilizator napona ugrađen u PM koji će i dalje dobijati potrebnih 5V. Ako bi se opredelili za baterije koje se regenerišu (eng. Rechargeables) treba da znamo da je nominalni napon ovih baterija 1.2V. Kombinacija koju smo (veza na red) spominjali $4 \times 1.2V = 4.8V$ ne zadovoljava minimum od 5V.

Prostor koji nam je na raspolaganju za ugradnju elektronike i baterijskih kompleta veoma je mali, a pakovanje od četiri ili pet baterija sa kućištem, zauzima više prostora nego što mi imamo. Očigledno je da takva kombinacija baterijske grupe nije odgovarajuća za našu platformu. Zato smo se odlučili drugi tip baterije 6F22 NiMH od 9V, a karakteristike su prikazane u tabeli 5.10.1.1. Svojim dimenzijama ovaj model baterije sasvim odgovara našim potrebama. Za ovaj tip baterija nije potrebno posebno kućište, dovoljan je samo priključni kabl karakterističan za baterije od 9V.

Tabela 5.10.1.1: Karakteristike punjive baterije 6F22/9V

Reference IEC /USA	6F22/9V Block
Dužina	26.2mm
Širina	17.5mm
Visina	48.5mm
Težina	47.00 g
Elektrohemijski Sistem	Nickel Metal Hydride (NiMH)
Kapacitet	170.0 mAh
Voltaža	8.40 V

5.10.2 Baterijsko napajanje za motornu grupu

Druga energetska grupa predstavlja baterijsko napajanje neophodno za rad pogonske grupe - elektromotora. Elektromotor koji se koristi za kretanje robo platforme može da funkcioniše u naponskom rasponu od 1.5V do 3V. Opredeljenje je da napon za elektromotore bude 3V (fabrička srednja vrednost između minimalnog i maksimalnog napona). Empirijski je utvrđena maksimalna strujna vrednost i ona iznosi 251mA, a više detalja dato je u tabeli 5.10.2.2.

Tabela 5.10.1.1: Naponske i strujne karakteristike platforme

Veličine	Start	Rad
Napon	2.74V	2.66V
Struja	251mA	162mA

Izvršenim merenjima dobijeni su parametri na osnovu kojih dolazimo do rešenja energetske grupe – dve baterije (tip AA ili AAA vezane redno) sa nominalnim naponom od 1.2V ($2 \times 1.2V = 2.4V$) ili 1.5V ($2 \times 1.5V = 3V$) sasvim zadovoljavaju energetske potrebe platforme, što je u testovima i potvrđeno. U bilo kojoj kombinaciji (tip AA ili tip AAA) ova energetska grupa dimenzijama odgovara prostoru i potrebama.

Snaga baterija tipa NiMH AA i AAA kreće se od 800 mAh pa do 3200 mAh. Za ovaj tip baterija (pošto koristimo više od jedne) potrebno nam je kućište za držanje baterija. Opredelili smo se za kućište urađeno od plastike i malih dimenzija koje odgovara našim prostoru. Prilog 5.10.2 daje više podataka o kućištu i baterijama. U tabeli 5.10.2.1 prikazane su karakteristike baterija koje mi koristimo.

Tabela 5.10.2.1: Karakteristike baterije AA i AAA

Reference IEC/USA	HR6/AA	HR03/AAA
Prečnik	Ø14.5mm	Ø10.5mm
Dužina	50.5mm	44.5mm
Težina	26.00g	13.00g
Elektrohemijski Sistem	Nickel Hydride (NiMH)	
Kapacitet	2700.00 mAh	1000.00 mAh
Napon	1.20 V	

5.11 Mobilnost platforme

Mobilnost robota podrazumeva njegovu autonomiju kretanja u okviru određenog prostora. Projektovana platforma predviđena je da se koristi u jednoj ravni, u prostoru zatvorenog tipa, na primer u školskom kabinetu. Površina po kojoj se robot kreće treba da bude ravna i suva što platformi obezbeđuje okruženje predviđeno projektom. Uslovi različiti od navedenih spadaju u eksperimentalni deo sa neizvesnim elementima u kretanju i funkcionisanju platforme.

5.11.1 Stepeni slobode i kretanje robotizovane platforme

U mašinstvu, posebno u robotici, često se primenjuje termin “stepen slobode“ (eng. Degrees Of Freedom skr. DOF) što ukazuje na broj pokreta koje određeni mehanizam može da izvrši u dvodimenzionalnom (skr. 2D) ili trodimenzionalnom (skr. 3D) prostoru.

U dvodimenzionalnom prostoru (primer je pod, tabla..) postoji tri stepena slobode. Ovo podrazumeva kretanje duž x i y ose kao i rotaciono kretanje.

Prema stepenima slobode upotrebljavaju se i termini:

- holonomičan (eng. holonomic),
- neholonomičan (eng. non holonomic).

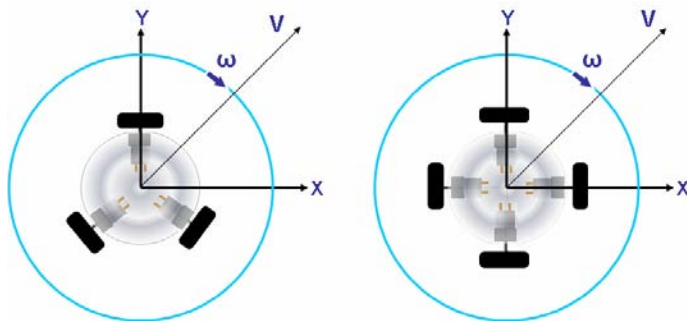
Holonomičan sistem je sistem između čijih mogućih pozicija sva zamisliva kontinuirana kretanja su takođe moguća kretanja, [6]. Suprotno tome je neholonomičan sistem koji ima ograničenja u kontinuitetu kretanju.

Postoje robotizovane platforme koje mogu da se kreću dijagonalno u odnosu na koordinatni sistem. Takav način kretanja (holonomičan) omogućen je posebnom vrstom točka (Omni točak ili Kiwi pogon) slika 5.11.1.1.



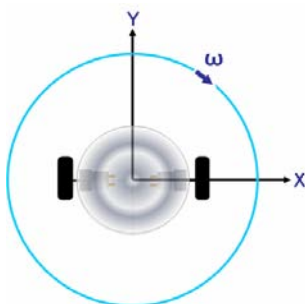
Slika 5.11.1.1: Omni točak

Robot koji koristi ovu vrstu točka može simultano da izvršava kontrolisano kretanje kroz obe X i Y ose, slika 5.11.1.2. Robotizovana platforma opremljena omni točkovima u dijagonalno kretanje kreće odmah bez dodatnih manevara pa se kretanje robota naziva holonomično kretanje.



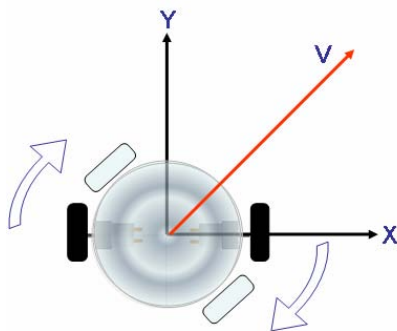
Slika 5.11.1.2: Holonomično kretanje sa posebno dizajniranim točkovima

Roboti koji koriste diferencijalni pogon (isti pogon koristi i projektovana platforma, slika 5.11.1.3) mogu da se kreću po X ili Y osi, od jedne tačke do druge tačke i da se pozicioniraju (orijentišu) u 2D prostoru.



Slika 5.11.1.3: Diferencijalni pogon

Da bi se postigao željeni položaj i platforma usmerila dijagonalno kao na slici 5.11.1.4, potreban je dodatni manevar, jedno kretanje (rotacija za 45°desno). Ove činjenice znače da se robotizovana platforma svrstava u neholonomične platforme.



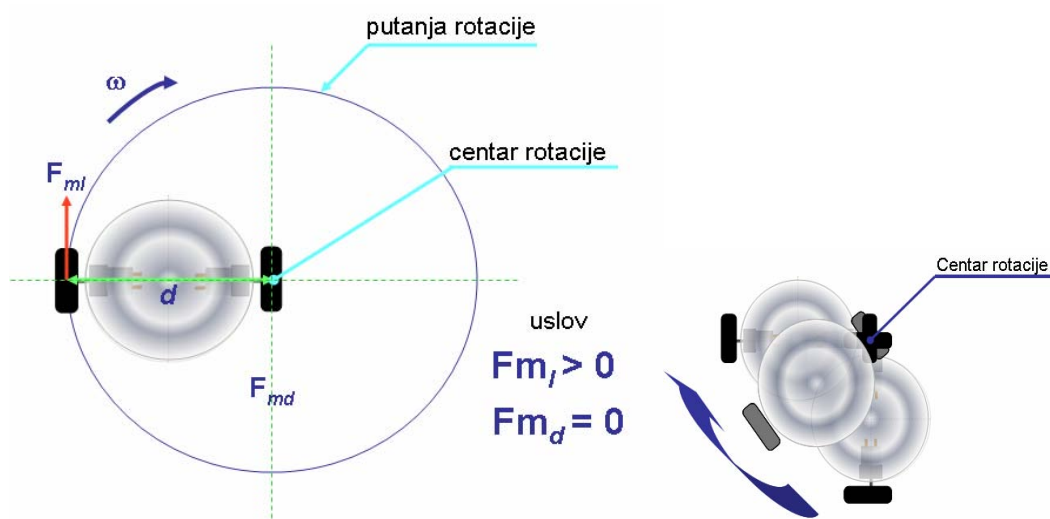
Slika 5.11.1.4: Dijagonalno kretanje

5.11.2 Kontrola kretanja platforme i moment sile

Pošto se koristi diferencijalni sistem za kretanje, upravljanje platformom vrši se pomoću elektromotorne grupe. Za promenu pravca kretanja koristi se pojedinačno levi ili desni motor ili oba elektromotora zajedno. Načini upotrebe pogonskih elektromotora su:

- koristi se samo jedan elektromotor, smer rotacije proizvoljan, brzina proizvoljna,
- koriste se oba elektromotora, smer rotacije različit, brzina ista,
- koriste se oba elektromotora, smer rotacije isti, brzina različita.

Prvi slučaj – jedan elektromotor je aktivan, smer rotacije proizvoljan, brzina proizvoljna. Centar rotacije je oko neaktivnog točka, slika 5.11.2.1.



Slika 5.11.2.1: Promena pravca kretanja upotrebom jednog elektromotora

Drugi slučaj - smer rotacije točkova je suprotan, brzina ista. Tako se stvara obrtni moment koji platformu rotira oko vertikalne ose, slika 5.11.2.2. Sila F_{ml} (levi motor) i sila F_{md} (desni motor) suprotnog su smera a istog inteziteta i kao takve stvaraju spreg sila koji uslovljava rotaciju platforme po putanji čiji je prečnik razmak točkova diferencijalnog pogona.

Računamo moment sile klasičnom formulom:

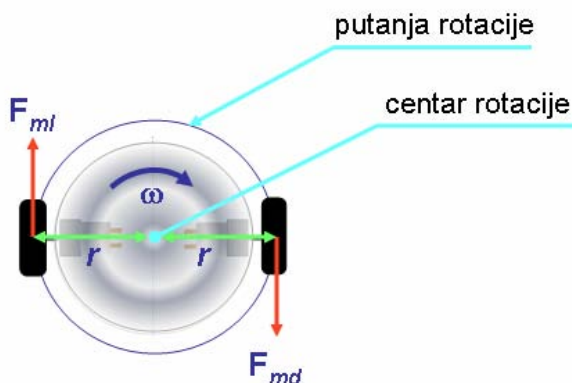
$$M = F * r ,$$

pošto imamo dve sile koje deluju na platformu ukupni moment sila je:

$$M = M_{ml} + M_{md} ,$$

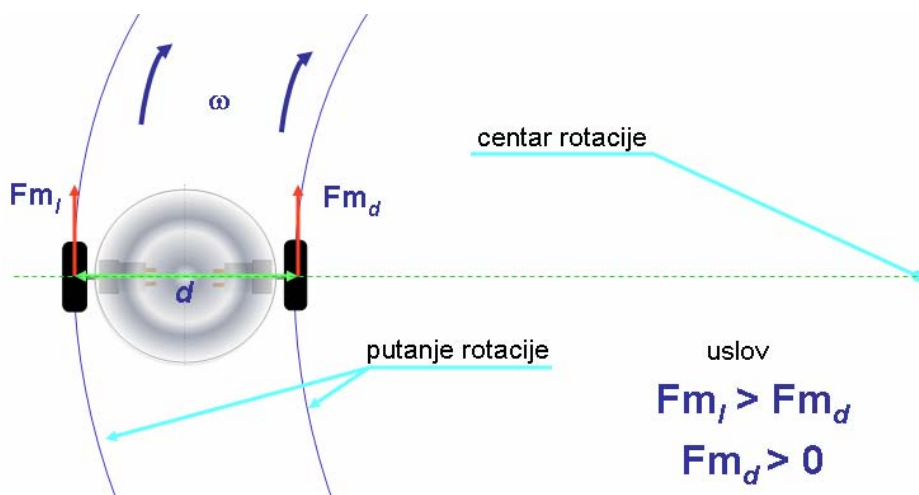
odakle sledi

$$M = F_{ml} * r + F_{md} * r \Rightarrow M = r(F_{ml} + F_{md}) .$$



Slika 5.11.2.2: Spreg sila koji uslovljava rotaciju platforme oko vertikalne ose

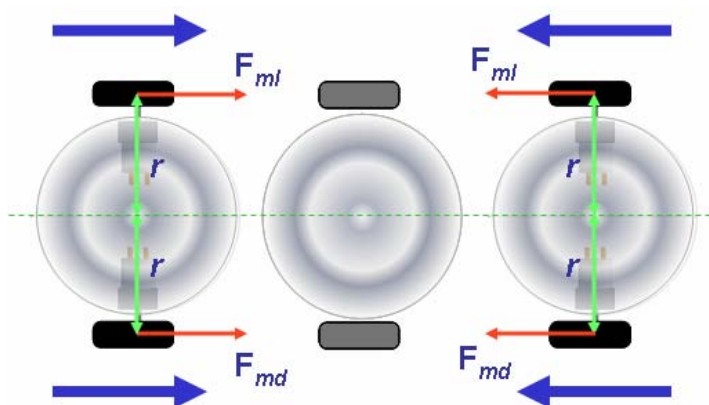
Treći slučaj - koriste se oba elektromotora, smer rotacije isti, brzina različita.



Slika 5.11.2.3 Smer rotacije elektromotora je isti, razlika je u brzini

Za kretanje napred-nazad aktiviraju se oba elektromotora u smeru koji se želi,

slika 5.11.2.4. Zaustavljanje platforme vrši se zaustavljanjem rada oba elektromotora.



Slika 5.11.2.4: Pravolinijsko kretanje

5.12 Kinematika robotizovane platforme

Kinematika je nauka o kretanju koja proučava geometrijska svojstva kretanja, pri čemu se ne uzima u obzir sila ili sistem sila [7].

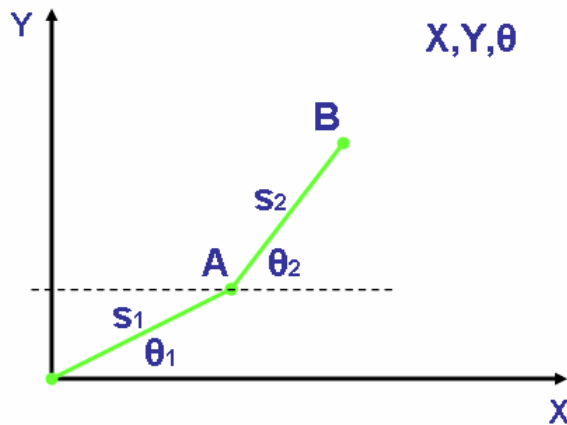
Linearna ili translatorna kinematika opisuje kretanje tačke u prostoru duž linije poznat kao putanja. Ova putanja može biti prava (pravolinijska) ili zakrivljena (krivolinijska) [7].

Proučavana je samo pozicija (tačke) robotizovane platforme u ravni. Za određivanje pozicije robota korišćeni su vektori položaja i ugaone koordinate.

Određivanje položaja robota u XYθ ravni (bez kalkulacija enkoderskih vrednosti) prikazano je na slici 5.12.1. Predstavljen je trivijalan primer kinematike robotizovane platforme. Potrebno je odrediti položaj platforme posle dva uzastopna puta S_1 i S_2 . Uglovi koje zaklapaju krajnji položaji platforme sa X-osom su θ_1 i θ_2 . Ako su nam poznati uglovi možemo odrediti gde se nalazi robot.

$$X = s_1 \cos \theta_1 + s_2 \cos(\theta_1 + \theta_2), \quad Y = s_1 \sin \theta_1 + s_2 \sin(\theta_1 + \theta_2),$$

$$\theta = \theta_1 + \theta_2$$



Slika 5.12.1: Jednostavno kretanje platforme u ravni

Pozicija robota sa diferencijalnim pogonom određuje se kalkulacijom razlike enkoderskih vrednosti: Δe_d i Δe_l . Proračunom ovih vrednosti određuje se položaj robota. Kontinuiranost proračuna obezbeđuje ažurnost definisanja položaja robota.

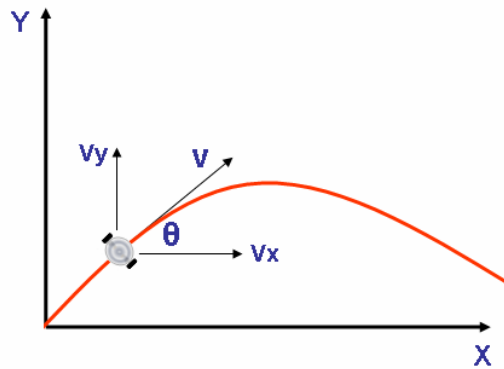
$\mathbf{p}$ = matrica položaja

$$\mathbf{p} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix} \text{ gde je novi položaj definisan kao } \mathbf{p}_A = \begin{bmatrix} \Delta x_A \\ \Delta y_A \\ \Delta \theta_1 \end{bmatrix} \text{ ili } \mathbf{p}_B = \begin{bmatrix} \Delta x_B \\ \Delta y_B \\ \Delta \theta_2 \end{bmatrix}$$

$$\Delta y = \Delta s \cdot \cos\left(\theta + \frac{\Delta \theta}{2}\right) \quad \Delta \theta = \frac{\Delta e_d - \Delta e_l}{d} \quad \text{ i } \quad \Delta s = \frac{\Delta e_d + \Delta e_l}{2},$$

gde je d razmak između točkova.

$$\Delta x = \Delta s \cdot \cos\left(\theta + \frac{\Delta \theta}{2}\right) \quad \text{ i } \quad \Delta y = \Delta s \cdot \sin\left(\theta + \frac{\Delta \theta}{2}\right)$$



Slika 5.12.2: Dijagram kretanja

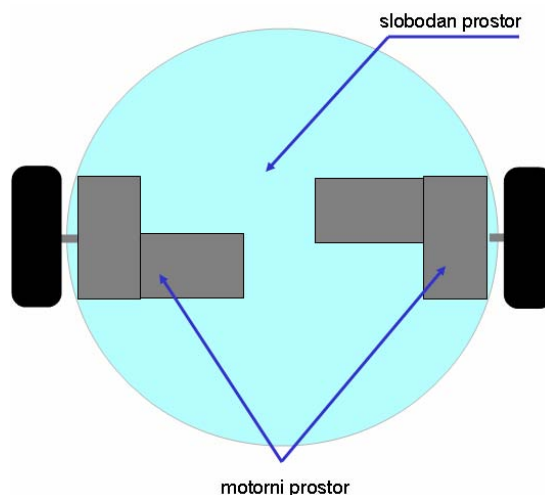
Brzinu i ugao možemo da izračunamo iz sledeće formule prema gornjem dijagramu kretanja:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad \phi = \arctan \left[\frac{v_y}{v_x} \right]$$

Pokazano je jednostavno kretanje robota. U kompleksnijim slučajevima kretanja, rešenja nisu trivijalna. Denavit i Hartenberg [48] predstavili su konvenciju (1950. godine) da pokažu da je za većinu kompaktnih prikaza opšte transformacije između dva kretanja robota potrebno četiri parametra. To je sada poznato kao *Denavit - Hartenberg parametri* (eng. D-H parameters) i predstavljaju *de facto* standard za opisivanje geometrije kretanja robota. U prilogu 5.12 data je tabela sa skraćenicama koje se koriste u robotici.

5.13 Integracija LSG, PM-a i kreativnih elemenata

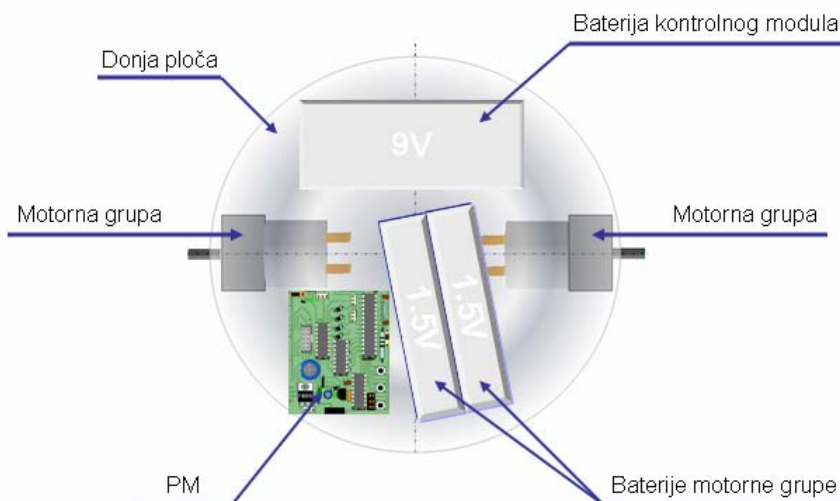
U prethodnim poglavljima apsolvirali smo sve zadate elemente koje savremeno robotizovano sredstvo treba da poseduje. Sada nam preostaje integracija pratećeg kontrolnog modula u samu platformu. Prilikom projektovanja vodili smo računa da svi moduli budu minijturni u skladu sa tehnološkim mogućnostima. Jedan od projektnih zahteva bio je i kreativnost koju korisnik može da implementira u vidu grafičkog dizajna gornje ploče robo platforme. Tako nam je ostao samo unutrašnji prostor za smeštaj elektronike i baterija, slika 5.13.1.



Slika 5.13.1: Donja ploča robo platforme, slobodan prostor za PM i baterijske grupe

Donja ploča platforme je noseći element kako motorne grupe tako i svih pratećih komponenti robota (prateći kontrolni modul, baterijsko napajanje i senzori markirne linije). Da bi raspored elemenata bio težinski usklađen eksperimentalno je određen položaj koji treba da zauzimaju baterije elektronike i baterije motorne grupe.

Na slici 5.13.2 plastično je prikazan raspored elemenata, a slika 5.13.3 je realizovan raspored u prototipu.



Slika 5.13.2: Raspored elemenata na donjoj ploči platforme



Slika 5.13.3: Raspored elemenata u prototipu

5.13.1 Kreativni elementi robo platforme

U prethodnim izlaganjima pominjali smo da platforma mora da bude tako koncipirana da ostavlja dovoljno prostora za kreativnost studenta ili korisnika. Ceo projekat urađen je tako da se platforma sklapa od delova koji su priloženi u kompletu. Sklapanjem robota razvijaju se manipulativne sposobnosti.

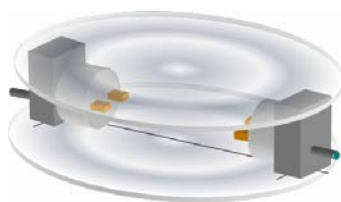
Kreativnost učenika-studenta dolazi do izražaja u dizajnu izgleda samog robota. Gornja ploča platforme predviđena je za nalepnicu koju korisnik sam dizajnira prema svojoj želji.

Na slici 5.13.1.1 možemo da vidimo platformu kojoj je zalepljena nalepnica iz kompleta (slika 5.13.1.1 prvi model sa leve strane) kao i posebno dizajnirane nalepnice koje su radili učenici osnovne škole Svetozar Marković - Toza iz Novog Sada.

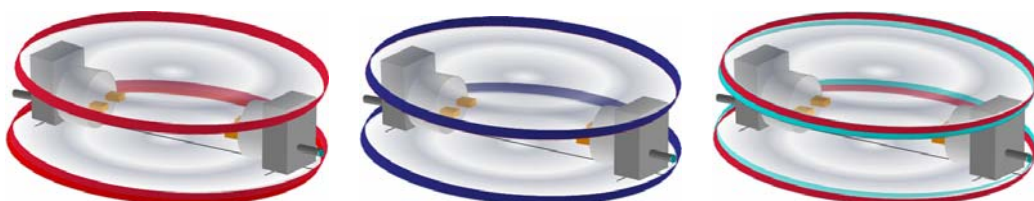


Slika 5.13.1.1: Nalepticama možemo da menjamo izgled robo platforme

Da platforma ima još prostora za kreativnost pokazuje nam i primer sa slike 5.13.1.2. i 5.13.1.3. Oko CD ploča platforme dodali smo ukrasnu plastiku. Trake u raznim bojama daju robo platformi dodatnu mogućnost menjanja vizuelnog izgleda isto kao i nalepnica.



Slika 5.13.1.2: Platforma bez ukrasnih plastičnih traka



Slika 5.13.1.3: Platforma sa ukrasnim plastičnim trakama

Ukrasna plastična traka oko ploča može da se menja. Promene mogu da budu u vidu boje, oblika i širine trake što je ostavljeno korisniku da sam odluči prema svojim afinitetima. U prilogu 5.13 dati su primeri nekoliko modifikacija CD platforme.

5.14 Zaključak

U prethodnom poglavlju projektovano je i napravljeno savremeno nastavno sredstvo u vidu eksperimentalne robotizovane platforme. To je sažeto kako sledi:

- Funkcionalno sastavljanje - projektovanje zahteva sistemski dizajn, dinamičke kontrole, elektroniku, senzore, planiranje montaže, softversku podršku i integrisane eksperimente.
- Humanistički aspekt - robot saradnja, pomoć ljudima u lakšem savladavanju edukacionih procesa (robotika, mehanika, biomehanika), dizajniranje novih modela, razvijanje manipulativnih i korisničkih veština, stvaranje novih autonomija i mogućnost eksperimentisanja.

Platforma je univerzalnog tipa i može da se nadogradi raznim mehaničkim i elektroničkim sklopovima. Dodavanje kaster točka je samo jedan od primera koji mogu da unaprede karakteristike robota kod laboratorijskih eksperimenata. Isto tako platforma može da se opremi dodatnim senzorima što omogućuje da robo nastavno sredstvo dobije senzibilnost koju korisnik želi. Prateći kontrolni modul treba sve promene da prati daljim poboljšanjima i proširenjima funkcionalnosti. ICSP omogućava da se (kôd) programi mikrokontrolera menjaju u skladu sa zahtevima korisnika i opcionih senzorskih

elemenata. Sve ovo što je nabrojano predstavlja otvorenost platforme za dodatna proširenja koja mogu da budu od raznih proizvođača.

Komplet savremenog nastavnog sredstva, robotizovana platforma, projektovan je u skladu sa preporukama i standardima za očuvanje čovekove okoline.

6. LOGISTIKA ROBOTIZOVANE PLATFORME

Robotizovana platforma koja je u prethodnim poglavljima projektovana dobila je formu i nekoliko pratećih modula koji su postali gradivni elementi kompleta. Tako je stvoreno savremeno robotizovano nastavno sredstvo koje se sastoji od:

- mikrokontrolera, PLC-a,
- pratećeg modula PM-a,
- dve CD ploče,
- dva elektromotora sa reduktorima,
- dva točka,
- dve ukrasne trake,
- jedne nalepnice,
- CD-a sa programima i vežbama,
- uputstva za sastavljanje,
- kutije.

Na slici 6.1 prikazan je sadržaj kompleta robotizovanog nastavnog sredstva



Slika 6.1: Elementi osnovnog kompleta

Robotizovano nastavno sredstvo zahteva logističku podršku najvišeg nivoa u koju spada:

- tehnička dokumentacija,
- uputstvo za sastavljanje i rad,
- programi i laboratorijske vežbe,
- Internet prezentacija,
- reklamni materijali.

6.1 Tehnička dokumentacija

Tehnička dokumentacija je izraz koji se odnosi na razna dokumenta vezana za proizvodne podatke i informacije. Uvek je predstavljala važan deo logističke podrške bilo da je u pitanju generički proizvod ili softverski paket. Složen sistem kao što je robotizovano nastavno sredstvo sadrži nekoliko elemenata pratećeg materijala koji zajedno predstavljaju tehničku logistiku. To podrazumeva:

- definisanje proizvoda i specifikacija,
- projektovanje,
- proizvodnju,
- obezbeđenje kvaliteta,
- odgovornosti za proizvod,
- prezentacija proizvoda,
- opis funkcije,
- funkcije i interfejsa,
- namena,
- bezbedno i pravilno korišćenje,
- servisiranje i remont tehničkog proizvoda,
- kao i njegovo bezbedno odlaganje.

U skladu sa važećim stavovima tehnička dokumentacija robo platforme sadrži:

- uputstvo za sastavljanje robo platforme,
- tehničko uputstvo za PLC i PM,
- tehničko uputstvo za korišćenje pripremljenih programa,
- vežbe koje prate robo platformu,
- instalacioni CD sa programima, vežbama, materijalima u pdf., avi. i 3GP formatu.

Dokumentacija je snimljena na kompakt disk sa ostalim materijalima koji su sastavni deo instalacionog diska.

6.2 Uputstvo za sastavljanje

Uputstvo: sama reč svojim značenjem *upućuje* – kako proizvod staviti u funkciju. Bez obzira što je sastavljanje robotizovane platforme veoma jednostavno neophodno je uputstvo za sastavljanje. Korisniku koji nema tehničko iskustvo treba obezbediti lako praćenje procesa sklapanja robota od početka do kraja. Uputstvo namenjeno za sklapanje može se uraditi šematski, crtežima, idiogramski ili originalnim slikama.



Slika 6.2.1: Uputstvo za sastavljanje

Kompletno uputstvo za sklapanje naše robotizovane platforme dostupno je u vidu video zapisa. Za korisnika koji želi da sklopi robota na klasičan način proučavanjem štampanog materijala napravljen je dvodelni flajer sa slikama, slika 6.2.1.

6.3 Programski paketi i laboratorijske vežbe

Hardver za robotizovane platforme može se obezbediti kupovinom u specijalizovanim trgovinama. Možemo i sami da napravimo edukaciono sredstvo. Međutim, još uvek moramo obezbediti softver koji će pokretati robota i aktivirati određene kontrole. Drugim rečima, imamo telo robota, ali nemamo njegov um. Ovo je verovatno razlog zašto većina igračaka i edukativnih sredstava opisanih u prethodnim poglavljima još uvek radi sa daljinskim upravljačem. Zato se mi u ovom poglavlju fokusiramo na softver.

Programski sadržaj kao podrška nastavnom sredstvu, robotizovanoj platformi, sastoji se od programskih alata, aplikacija i vežbi. Kompletan softver baziran je na operativnom sistemu Windows. Prilikom izbora programskih alata, aplikacija, tehničke dokumentacije i vežbi vodili smo računa o sledećim kriterijumima:

- uzrast korisnika,
- cena programskih alata.

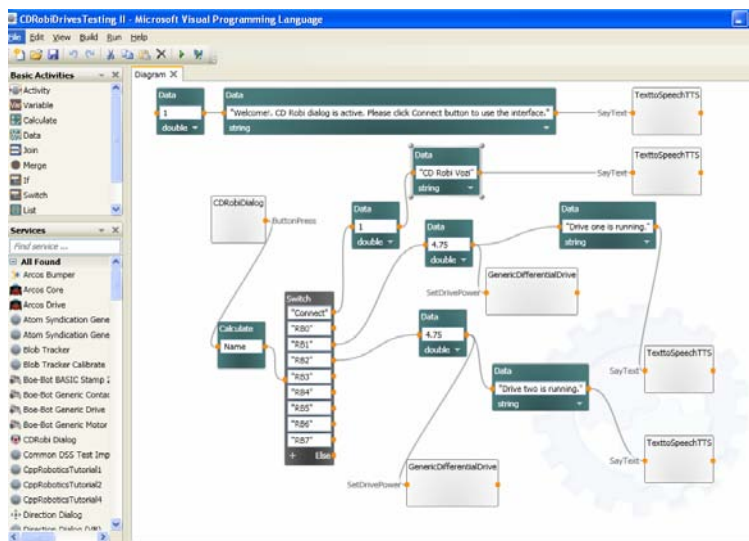
Uzrast korisnika robota je važan činilac za usklađivanje aplikacija, tehničke dokumentacije i vežbi sa školskim kurikulumom. Na taj način, povezujemo sadržaje i nastavno sredstvo uzrastu korisnika.

U skladu sa iznetim opredeljenjem koristili smo razvojne alate koji odgovaraju pomenutim operativnim sistemima.

Softver je zasnovan na besplatnim programima i omogućava (vizuelni programski jezik) pisanje jednostavnih programa i preuzimanje sa Interneta raznih verzija.

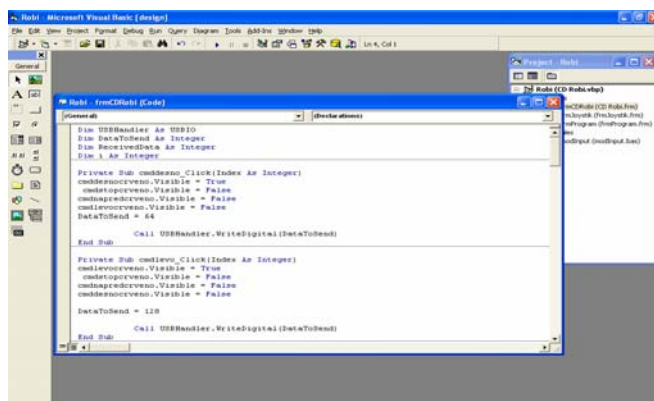
Jedan od razvojnih programa koje smo koristili je i Majkrosoft Razvojni studio za robotiku (eng. Microsoft Robotics Developer Studio, skr. MRDS). Studio je projektovan kao vizuelni razvojni programski jezik za upravljanje i simulaciju rada sa robotima. Namenjen je akademskim i komercijalnim programerima i podržava širok izbor hardvera za robote. U napredne funkcije spadaju: vizuelni programski alat, program Majkrosoft Vizuelni programski jezik za kreiranje kretanja robota i otklanjanje grešaka u aplikacijama, veb-baziran Windows interfejs, 3D simulacija (uključujući hardversko ubrzanje), lak pristup senzorima i aktuatorima robota i podrška za veliki broj jezika uključujući C# i Visual Basic.NET, JScript. i IronPython.

Korišćenje MRDS-a je veoma intuitivno. Definisanje blokova i njihovo povezivanje je suština u radu sa ovim programom. Primer za MRDS prikazan je na slici 6.3.1.



Slika 6.3.1. Robotics studio razvojni ekran

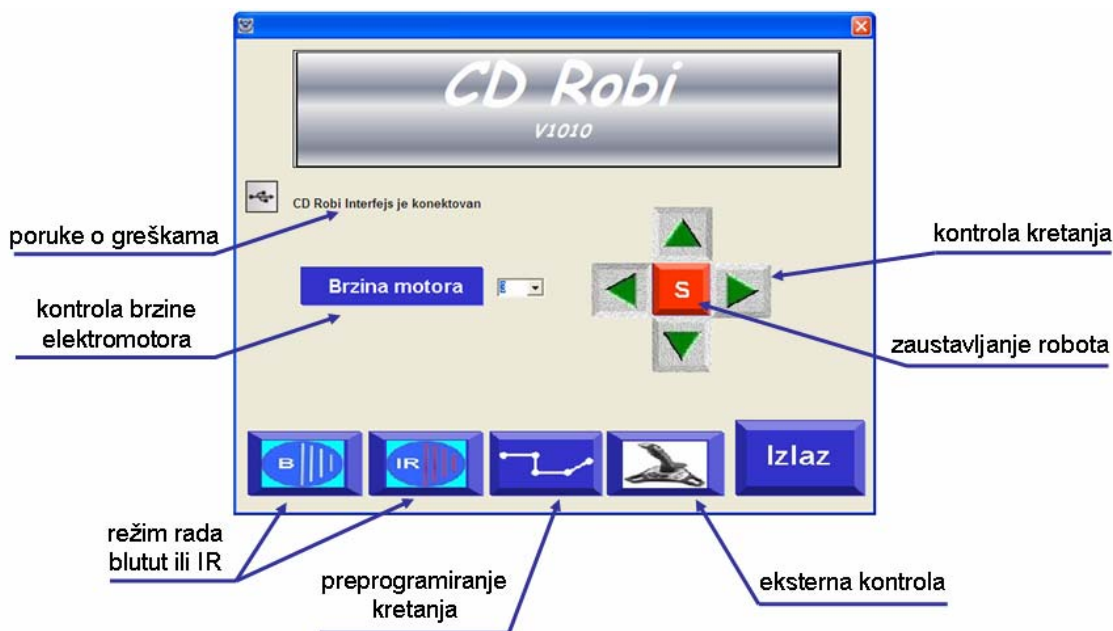
Drugi veoma popularan Majkrosoftov programski jezik je „Visual Basic“. Jednostavan za programiranje našao je mesto i u našem projektu [30]. Verzija VB 2005 je besplatna i može da se koristi u obrazovanju.



Slika 6.3.2 Razvojno okruženje VB 2005

Aplikacioni programi koji su pripremljeni omogućavaju da odmah po sastavljanju robotizovane platforme i praktično može da se primeni robot. Pripremljeno je pet gotovih programa (priložen je i izvorni kôd) koji su priloženi na instalacionom CD-u. Urađene su i vežbe za tehničko obrazovanje koje prate kurikulum šestog, sedmog i osmog razreda. Sa priloženog CD-a treba startovati instalacioni program, pratiti instrukcije. U folderu Program files/CD Robi nalazi se program pod nazivom **CD Robi.exe**. Startovanjem programa pojaviće se ekran kao na slici 6.3.3.

Osnovni program kojim se kontroliše kretanje robo platforme ima naziv *CD Robi*. Interfejs je urađen u jednostavnoj formi. Korisnik ima mogućnost da izabere način komunikacije sa robo platformom, blutut ili IR.



Slika 6.3.3: Interfejs programa za kontrolu kretanja robota

Podrazumevani način rada je IR režim, što znači da je program definisan da radi sa IR opcijom dok se ne izabere blutut režim.

Program je koncipiran tako da prihvata nekoliko ulaznih uređaji za kontrolu kretanja robo platforme, a to su:

- tastatura računara,
- "miš",
- džojstik,
- konzola za igrice, (eng. game pad),
- pametna tabla (eng. Smart Board).

Za kontrolu kretanja robota pomoću tastature računara predviđene komande su taster S za zaustavljanje platforme i tasteri za kontrolu kursora, slika 6.3.4.



Slika 6.3.4: Kontrola robota sa tastature računara

Deo koda koji je namenjen za komunikaciji sa (džojstikom i konzolom za igrice) periferalnim uređajima prikazan je dole.

```
*****deo koda modula modInput.bas *****
```

```
Option Explicit
Dim USBHandler As USBIO
Dim DataToSend As Integer
Dim ReceivedData As Integer
Public Declare Function joyGetPosEx Lib "winmm.dll" (ByVal uJoyID As Long, pji As JOYINFOEX) As Long
Public Declare Function joyGetDevCapsA Lib "winmm.dll" (ByVal uJoyID As Long, pjc As JOYCAPS, ByVal cjc As Long) As Long
```

```
*****
```

*****Program Džojstik*****

```
Dim USBHandler As USBIO
Dim DataToSend As Integer
Dim ReceivedData As Integer
Dim i As Integer
Private Sub Form_Load()

Set USBHandler = New USBIO

End Sub
Private Sub Timer_Timer()

PollJoystick

If CurrentJoyY < 30000 Then '-----NAPRED
cmdnapredcrveno.Visible = True
cmdnazadcrveno.Visible = False
cmddesnocrveno.Visible = False
    cmdlevocrveno.Visible = False

    DataToSend = 192
    Call USBHandler.WriteDigital(DataToSend)
    Else

    cmdnapredcrveno.Visible = False
    cmdnazadcrveno.Visible = False
    cmddesnocrveno.Visible = False
    cmdlevocrveno.Visible = False

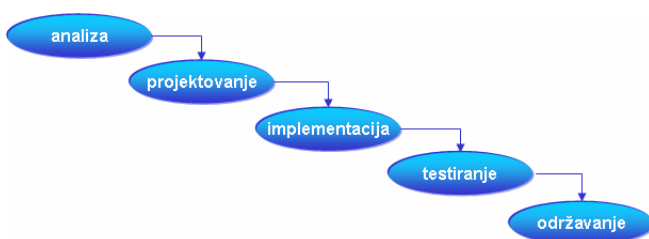
End If
***** Kraj primera*****
```

U prilogu 6.3 priložena je izvedena vežba koja obrađuje gradivo osmog razreda, interfejs tehnologiju. Za srednje škole postoji program koji je namenjen projektovanju samog kretanja robo platforme. Mi smo to nazvali *predtrasirano kretanje*. Složeniji programi mogu se preuzeti preko zvaničnog portala www.cdrobi.com.

6.3.1 Obrada grešaka

Pošto su programi koji su pripremljeni namenjeni školskom uzrastu vodilo se računa da programi imaju što manje grešaka. U toku projektovanja aplikacija za robotizovanu platformu, vršena su testiranja i otklonjene su mnoge greške nastale prilikom pisanja programskog koda. Programi (*Test modul*, interfejs *CD Robi*) pisani su

za računar u VB programskom jeziku[29,30]. Programi za mikrokontroler i prateći modul pisani su u „microBasic“ programskom jeziku. Urađena su i određena testiranja, u skladu sa projektnim fazama, slika 6.3.1.



Slika 6.3.1: Testiranje kao deo projektnog lanca

Dok se piše softver, postoji mogućnost da se napravi greška. Velike softverske kompanije imaju specijalna odeljenja koja se bave testiranjem njihovih proizvoda.

Greške se ne dešavaju samo u kodu, već i kompatibilnost među komponentama može da dovede do niza drugih grešaka. Koliko god da su greške ozbiljna stvar, moramo pronaći način da ih detektujemo i eliminišemo njihovo negativno dejstvo na funkcionisanje aplikacije. Posebno je važno da aplikacija namenjena nižim uzrastima funkcionise bez zastoja jer to ponekad može da bude frustrirajuće.

Kada se program startuje, pod raznim nepredviđenim okolnostima, javljaju se odgovarajuće poruke o greškama. Ako se dešava da programom upravljaju greške, to je znak da je „lovac grešaka“ loše programiran. Naravno, ne mogu se predvideti svi mogući tipovi problema. Greške se mogu minimizirati uvođenjem rutine za obradu grešaka.

Kada se greška pojavi i „lovac grešaka“ je detektuje, program još uvek neće „znati“ razlog nastanka greške (kontroler nije poslao podatak, pogrešna putanja). Da bi se dobilo što više podataka o vrsti greške, potrebni su i posebni parametri koji definišu grešku. Ako rezultati funkcije potvrđuju da se pojavila greška, u programskom kodu može se ispitati vrednost parametra koji opisuje grešku. Time se dobija bliže objašnjenje o tipu nastale greške, a samim tim može se preuzeti kontrola nad programom.

Prikazani kôd je rutina koja ispituje da li postoji veza između računara i PLC-a. U slučaju da se veza ne ostvari, dobija se poruka "CD Robi Interfejs nije konektovan". Deo koda rutine "lovca grešaka" prikazan je u listingu.

```

***** Rutina greske *****
Set USBHandler = New USBIO
If USBHandler.OpenDevice() Then
    lblKonekcija.Caption = "CD Robi Interfejs je konektovan"
Else
    lblKonekcija.Caption = "CD Robi Interfejs nije konektovan"
    tmrPooling.Enabled = False
End if
*****
  
```

Ozbiljnije greške do kojih može da dođe, detektuju se na isti način i upisuju u LOG fajl. Analize koje se kasnije rade dovode do rešavanja problema i stabilizovanja aplikacije.

6.4 Internet prezentacija

Veb prezentacija kompanije koja proizvodi robotizovanu platformu ima stranu koja je posvećena korisnicima i definisana je kao tehnička pomoć. Kada zahtevi prevaziđu kompanijski višenamenski sajt jedna strana posvećena CD Robi kompletu nije dovoljna (bez obzira na kvalitet i linkove). To je praksa pokazala pa je odlučeno da se izradi namenski sajt koji bi obređivao samo oblast posvećenu robo platformi [28,35].

Koncepcije sajtova, razvoj i postavke, mogu se pronaći na mnogo lokacija na Internetu. Mi smo izabrali generički “proizvod“, šablon koji odgovara našoj zamisli prezentacije savremenog nastavnog robotizovanog sredstva na “mreži svih mreža“. Pored standardnih elemenata koje danas imaju sajтови ovog tipa napravili smo i forum koji je vrlo važna spona između korisnika, proizvođača i nas kao projektanata. Koncept sajta prikazan je na slici 6.4.1.



Slika 6.4.1 Sajt posvećen robo platformi

Internet prezentacija CD Robi kompleta pruža velike mogućnosti. Objavljivanje novih radova i programa predstavlja logistiku koja se pruža korisnicima. Forum je mesto koje korisnici veoma koriste i gde se razmenjuju ideje i saveti.

Preko sajta već nekoliko meseci sprovode se nedeljna takmičenja u poznavanju CD Robi kompleta. Nagrade su kompleti koji se šalju pobednicima.

Web sajt omogućuje i dobijanje informacija koje su relevantne za sastavljanje i programiranje PLC-a. Isto tako postoji mogućnost naručivanja delova robo platforme.

6.5 Zaključak

U prethodnom poglavlju opisana je osnovna logistika koju savremeno nastavno sredstvo treba da ima. Razvoj i unapređivanje robo platforme i pratećeg softvera, treba da bude imperativ koji obezbeđuje dug opstanak kompleta u sferi obrazovanja.

U važan segment logistike spadaju i manifestacije kao što su sajmovi (takmičenja u pripadajućoj robnoj grupi) i školska takmičenja u robotici.

Komplet je izlagan na nekoliko velikih izložbi i smotri intelektualne svojine, kod nas ali i u svetu, osvajajući samo zlatne medalje u svojoj kategoriji. Više u prilogu 6.6.

7. EKSPERIMENTI I REZULTATI

7.1 Uvod

Robotika je eksperimentalna nauka, i u tom kontekstu je ovo poglavlje koje obrađuje sve eksperimente koji su sprovedeni, rezultate koji su dobijeni kao i predložene integracije viših nivoa.

Robo platforma ne može da funkcioniše izolovano i gubi efektivnost ako se postavi u neadekvatan sistem. Projektovana platforma namenjena je za rad u nastavnim kabinetima i u takvom kontekstu je treba i posmatrati. Kretanje platforme predviđeno je da se odvija u jednoj ravni. Za određivanje pozicije platforme i njene orijentacije potrebne su nam tri veličine, x , y i ugao θ . U okruženju koje je namenjeno nastavnom sredstvu treba planirati i testiranje.

Testiranja edukativnih robo platformi nisu sprovedena sistemski i skoro da ne postoji uzor koji bi mogao da se sledi [39]. Ispitivanje modela vršeno je bez pravih pristupa i modeliranja test poligona.

Da bi se testiranja sprovedla i omogućilo da robotizovana platforma ima verifikovane performanse (komparativne u odnosu sa drugima platformama) izvedene su opsežne simulacije i eksperimenti uključujući planiranje i izradu test poligona.

Posebno smo zainteresovani za karakteristike zavisnosti između performansi našeg eksperimentalnog sistema i sistema sa drugim komponentama. To mogu da budu razni tipovi točkova ili dodatna oprema u vidu mini kamere ili mobilnog telefona. Analizirani su problemi i otklonjeni su uzroci koji su dovodili do grešaka. Isto tako generisani su problemi koji potencijalno mogu da se pojave. Njihovo rešavanje uticalo je na poboljšanje platforme pretećih programa i vežbi.

7.2 Integrisano planiranje eksperimenta

Konstruisana robo platforma podvrgnuta je brojnim dinamičkim testovima. Rezultati izvršenih merenja važni su projektantima robo platforme koji mogu da izvrše potrebne korekcije gde je potrebno. Dobijeni rezultati mogu da budu osnova za dalja

poboljšanja platforme. Odlučili smo se za grupu testova koje bi bilo svrsishodno i moguće izvesti, a to su:

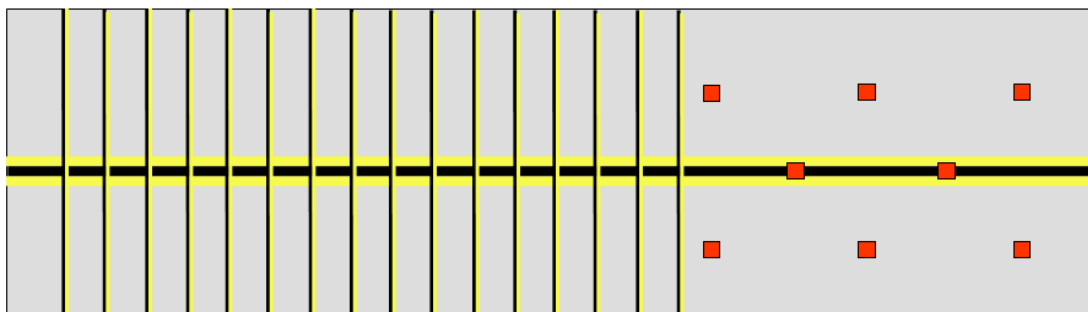
- Test brzine, *kretanje po pravoj putanji 1500mm,*
- Test upravljivosti, *slalom između postavljenih prepreka,*
- Test nosivosti, *koliko robot može maksimalno da ponese dodatnog tereta,*
- Test snage, *koliko robot može da povuče (kretanje iz mesta sa zakačenom prikolicom, kosa ravan),*
- Test izdržljivosti, *koliko sa novim baterijskim napajanjem može da funkcioniše do prestanka odziva pogonskog sistema,*
- Test otpornosti na pad, *pad sa visine od 800mm,*
- Test interferencije, *smetnje prouzrokovane drugim RF sistemima (RC igračka, telefon sa uključenim blututom, WiFi),*
- Test ekstrema, *vatra, temperatura.*

7.2.1 Modeliranje poligona za testiranje

Prva etapa priprema za testiranje je dizajn i uređenje poligona na kojima ćemo vršiti eksperimente. Zavod za unapređivanje obrazovanja i vaspitanja stavio nam je na raspolaganje svoju opremu i klimatizovanu prostoriju koju smo pretvorili u laboratoriju na mesec dana. Arena za testiranje podeljena je u nekoliko segmenata. Svaki segment predstavlja jedan poligon koji se koristi za jedan ili više testova. Poligoni su sastavljeni u skladu sa predviđenim testovima.

7.2.2 Testovi brzine, upravljivosti...

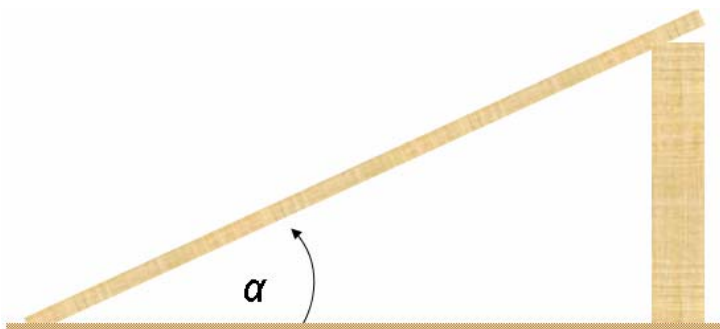
Poligon A omogućava da se realizuju testovi brzine, upravljivosti, snage, nosivosti i čvrstoće, slika 7.2.2.1. Obeležene su trase za kretanje (žuta, crna, žuta) i postavljeni su poprečni merni markeri. Merne linije postavljene su na svakih 100mm. i obeležene su crno-žutom bojom. Dužina merne staze je 1500mm. To je sasvim dovoljno da nam pruži uvid u diletaciju robotskog pravolinijskog kretanja, ako postoji. U produžetku pligona **A** nalazi se prostor za testiranje upravljivosti platforme.



Slika 7.2.2.1: poligon **A** za testiranje brzine i diletacije skretanja

Poligon B je strma ravan slika 7.2.2.2. Prvi test namenjena je za ispitivanje nagiba koji robot može da savlada. Podloga koju koristimo za strmu ravan je materijal koji se uglavnom koristi za školske klupe, a to je „univer“. To je sinterovana piljevina čija je površina furnirana i plastificirana. Od mernih elemenata potreban je samo uglomer. Moramo da napomenemo da je u ovom testu korišćen komplet točkova koji su sastavni deo kompleta.

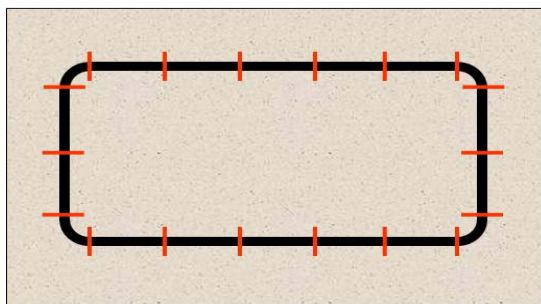
Strmu ravan koristimo i za testiranje bočnog nagiba koji platforma može da savlada kao i za merenje proklizavanja.



Slika 7.2.2.2: Poligon B

7.2.3 Test izdržljivosti

Poligon C predviđen je za ispitivanje dinamičke izdržljivosti robota sa novim baterijskim napajanjem. Izvršena su neophodna merenja dužine trase po kojoj treba da sa kreće platforma. Postavljeni su i neophodni markeri na rastojanju od 1m koji nam pomažu da tačno izmerimo pređeni put. Dužina poligona je 18m, slika 7.2.3.1.



Slika 7.2.3.1: Poligon C ukupna dužina 18m

7.2.4 Test otpornost na pad

Poligon D namenjen je za realizaciju jednog testa, otpornosti na pad. Visina predviđena za ovaj test je standardna visina stolova u školskim kabinetima, odnosno 800mm.

7.2.5 Test interferencija

Prostor namenjen za proveru integriteta komunikacione stabilnosti robotizovane platforme na spoljne smetnje, opremljen je sa nekoliko uređaja koji su relevantni za okruženje platforme. Koristili smo mobilne telefone, blutut komunikaciju, Wi-Fi mrežu i bežičnu kameru koja obavlja komunikaciju na 2.4GHz.

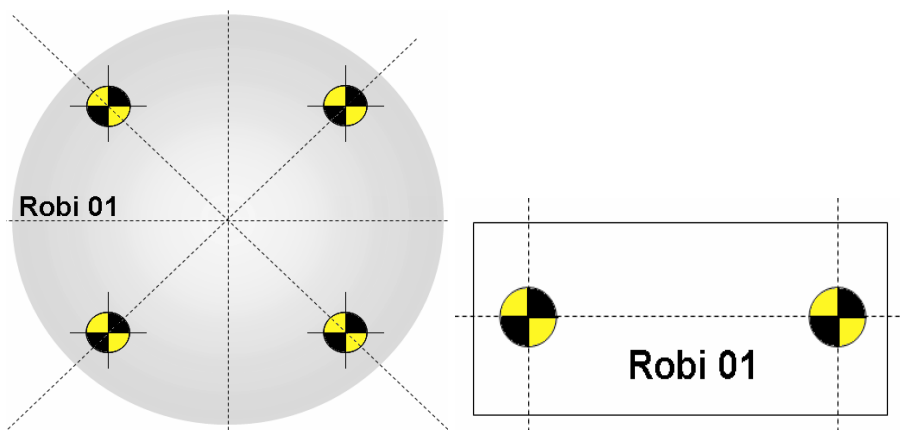
7.2.6 Test ekstrema

Testovi ovog tipa obično se izvode na otvorenom ili u specijalnim prostorijama. Mi smo ove testove sproveli na pogodnim lokacijama koje su za vatru na otvorenom, a za niske temperature zbog uređaja, dislocirano. Sproveli smo dva testa:

- otpornost na vatru,
- uticaj niskih temperatura.

7.2.7 Markiranje eksperimentalnih modela

U drugoj etapi priprema za testiranje obeleženi su svi eksperimentalni modeli. Postavljeni su klasični markeri koji se koriste za testiranja u industriji. Vidljivost oznaka (bez obzira na pozadinu) je jako važna, jer obezbeđuje pouzdano markiranje predmeta a samim tim i merenje. Markirana gornja površina robo platforme omogućava nam da pratimo kretanje, odstupanja i deformacije koje mogu da se pojave tokom testiranja. Posebno dizajnirana nalepnica prikazane su na slici 7.2.7.1.



Slika 7.2.7.1. a) Test marker koji se postavlja na A platformu robota, b) Test marker bočni



Slika 7.1.4 Pripremljeni eksperimentalni modeli

7.2.8 Merna oprema

Treći etapa priprema za testiranje vezana je za mernu opremu. Da bi se obavila merenja koja su navedena neophodno je imati odgovarajuće merne uređaje. Predviđeni testovi zahtevaju sledeću opremu:

- Digitalni tahometar,
- Digitalni multimetar,
- kamera,
- štoperica
- uglomer.

Instrument za merenje obrtaja koji je korišćen je Mastech M2234A, digitalni svetlosni brzinomer. Merenje obrtaja je sigurno i precizno, bez kontakta sa objektom. Uređaj ima širok opseg merenja i visoku rezoluciju. Najniža vrednost se automatski čuva u memoriji. Memorisana vrednosti se dobija tako što se pritisne taster "pozovi" (eng. call). Vrlo korisna opcija kada se radi o dinamičkim merenjima.

Digitalni multimetar je proizvod iste firme (Mastech) kao i prethodni instrument. Model MS 8226T korišćen je u svim sprovedenim merenjima do sada podrazumevajući razvoj LSG i PLC-a.

Proračuni koji su obavljani u prethodnim poglavljima zahtevali su egzaktnu podatke na osnovu kojih je vršen izbor pogonskih DC motora. Instrument je korišćen i za testove opterećenja mereći strujne i naponske varijacije. Zato je bilo važno da električne vrednosti koje se mere budu tačno izmerene.

U temperaturnom testu korišćena je funkcija multimetra za merenje temperature. Temperaturni opseg definisan je radnim okruženjem robo platforme. To je učionica gde temperatura može da se kreće u rasponu od 15°C do 25°C. Instrument može da meri temperaturu u rasponu od -20°C do 500°C uz toleranciju od $\pm 3\%$.

Za snimanje testova korišćena je video kamera "Sony". Video materijal služio je da se kasnije vrše analize eksperimentalnih pokušaja. Na priloženom kompakt disku nalazi se nekoliko video klipova sprovedenih testova.

7.3 Testiranja robotizovane platforme

Planiranje eksperimenta počelo je od neinvazivnih testova da bi prototipovi koji su na raspolaganju funkcionisali korektno. Na raspolaganju su dva prototipa i mali model za pred-test podešavanja. Svaki eksperiment ponoviće se dva puta sa svakim prototipom. Srednja izmerena vrednost biće konačna vrednost sa testa. Modeli se na testovima kontrolišu preko IR linka.



Slika 7.3.1: Robotizovane platforme spremne za testiranja

Prvi test poligon A - pravolinijsko kretanje. Potrebna merna oprema:

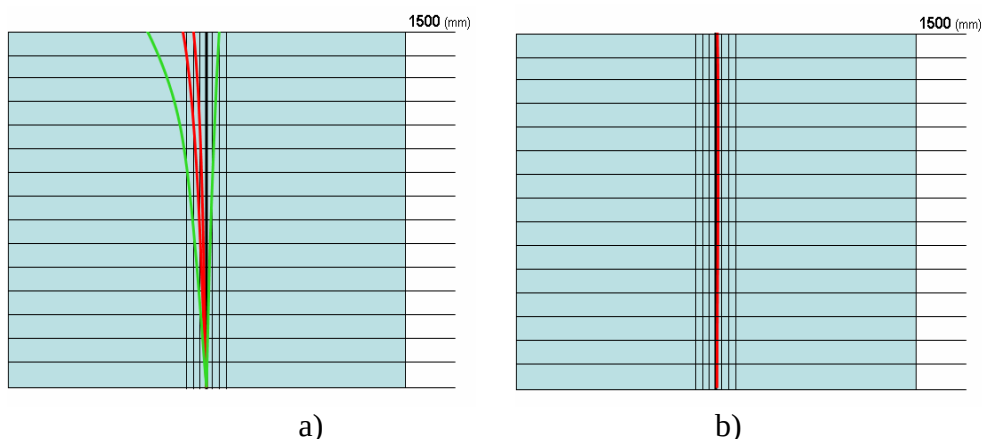
- Metar,
- Štoperica,

Svrha testa je provera pravolinijskog kretanja i koliko je odstupanje. Platforma je postavljena na početak poligona (prva merna linija) i usmerena prema krajnoj mernoj tački udaljenoj 1500mm.

Rezultati su prikazani u tabeli 7.3.1 kao i na grafikonima slika 7.3.2.

Tabela 7.3.1: Pravolinijsko kretanje sa i bez korekcije

Model	Bez enkodera	Sa enkoderima
Robi 1	35mm	6.6mm
Robi 2	85mm	6.2mm



Slika 7.3.2: Graf kretanja a) bez korekcije, b) sa korekcijom

Drugi test poligon A – upravljivost. Svrha testa je provera upravljivosti platforme, skretanja. Ovaj test trebao bi da pokaže i snagu pojedinačnog rada elektromotora kod promene pravca kretanja.

Potrebna merna oprema: čunjevi. Platforme su u više navrata (5 puta) u slalomu vožene pored postavljenih čunjeva. Oba prototipa prolazila su bez problema test. Opterećenja pojedinačnih elektromotora kao i elektronika nisu pokazivali znake koji bi nagoveštavali probleme. *Rezultati dobijeni na osnovu testa su - upravljivost odgovara diferencijalnom pogonu, a elektromotori u potpunosti izvršavaju sve komande.*

Treći test poligon A – nosivosti I deo. U testu koji sledi ispituje se koliko dodatnog tereta robo platforma može maksimalno da ponese. Potrebna oprema je:

- digitalna vaga,
- merni etaloni.

Test je realizovan na sledeći način. Spremljeni su etaloni sledećih težina:

- 500g. 1 komad,
- 200g. 2 komada,
- 100g. 2 komada,
- 50g. 1 komad,
- 20g. 2 komada,
- 5g. 2 komada.

Raspoloživi tegovi za testiranje imaju ukupno 1 kg. Ako se uzme u obzir da je težina robotizovane platforme sa baterijama 248g. pretpostavka je da će pomenuta težina tegova biti dovoljna za realizaciju predviđenog testa. U tabeli 7.3.2 prikazane su težine pojedinačnih delova robo platforme.

Tabela 7.3.2: Težine pojedinačnih delova platforme

Naziv predmeta	Težina u gramima
CD ploča	12
CD ploča sa trakom + nalepnica	21
2xAA sa kućištem	54
2xAAA sa kućištem	31
6F22 9V sa konektorom	38
PLC	45
PM	32
reduktor + motor	28.5
Točak	13

Pripremljen je Robi01 i opterećen je sa etalonima ukupne težine 500g. Teret je postavljen na gornju ploču. Interval ponavljanja testa za obe platforme je pet puta.

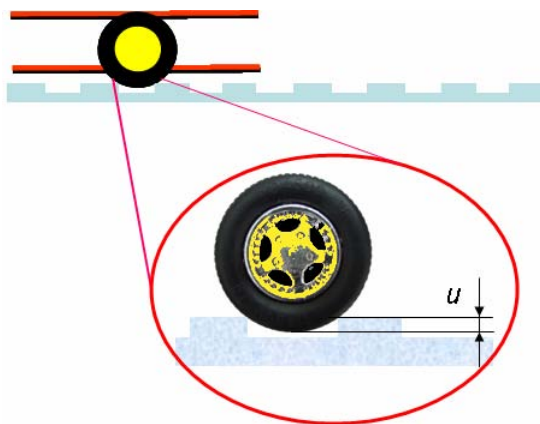
Pre testa vizuelno je pregledana platforma da nije došlo do nekih deformacija. Opterećenje koje je postavljeno nije uzrokovalo deformacije na šasiji i pristupilo se testiranju. Aktivirana je platforma i uspešno je prešla 3m u oba smera.

Ponovo je pregledan Robi01 i nije konstatovana promena u konstrukciji. Identičan test ponovljen je sa drugim modelom.

Rezultati dobijeni na osnovu testa su - robotizovana platforma može na nosi dodatni teret od 500g.

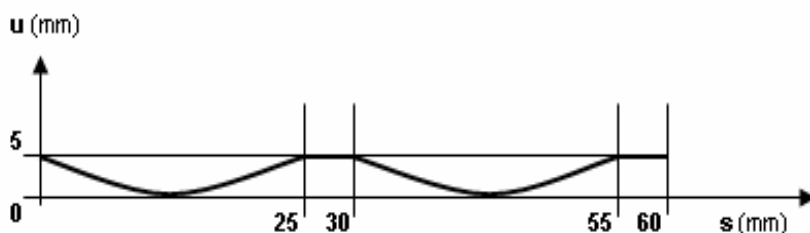
Treći test poligon A – nosivosti II deo. Drugi deo testa nosivosti projektovan je tako da nam omogući posmatranje opterećene platforme u šok situaciji kao što je prelazak preko izbrazdane prepreke. Za podlogu ovog testa uzeli smo leksan ploču koja ima dužinske perforacije (razmak 25mm, širina 5mm, visina 5mm). Ploča je istih dimenzija kao što je naš poligon A, pa smo je i postavili preko postojećeg poligona.

Površina ovog tipa omogućava da platforma “poskakuje” oscilira u toku svog kretanja. Na taj način platforma je izložena i malom vertikalnom kretanju, oscilatornog karaktera. Poligon je prikazan na slici 7.3.3. Propadanje točka u “brazde” iznosilo je 5mm.



Slika 7.3.3: Podloga na kojoj smo simulirali vertikalne oscilacije.

Kada predstavimo kretanje platforme u koordinatnom sistemu dobijamo grafik kao na slici 7.3.4.



Slika 7.3.4: Vertikalne oscilacije koje je platforma savladala

Rezultati dobijeni na osnovu testa su - oba prototipa bez problema prelaze preko talasaste podloge sa teretom bez vidljivih deformacija.

Četvrti test poligon A – vuča tereta. Test koji smo sproveli odnosi se na snagu koju platforma može da isporuči, vukući prikolicu sa teretom. Za prikolicu smo izabrali laboratorijski model prikazan na slici 7.3.5. Sama prikolica ima težinu od 1435g.



Slika 7.3.5: Laboratorijska prikolica koju koristimo u eksperimentu



Slika 7.3.5a: Prikolica i robotizovana platforma odnos težina 5.8 : 1

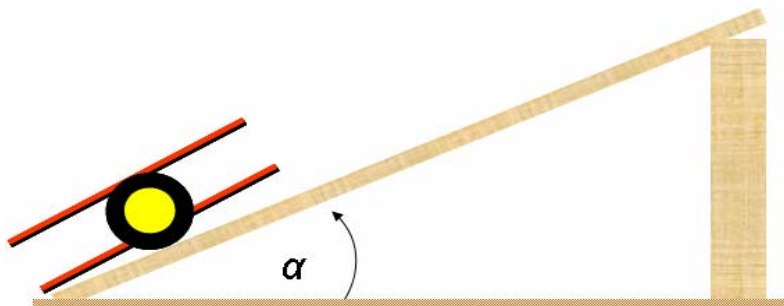
Test je koncipiran tako da robo platforma (kretanje iz mesta) povuče prikolicu i pređe 1500mm.

Platforma je zakačena za prikolicu najlon koncem $\varnothing$ 0.5mm. Test je izvođen upotrebom dve podloge. Jedna podloga je mat politirani furnir, a druga podloga je satinirani polukarton. Uz blago početno proklizavanje Robi01 povlači za sobom prikolicu i prelazi zadanu dužinu od 1500mm na podlozi, politirani furnir. Robi02 koristili smo za vuču prikolice preko polukartonske podloge. Uz blago proklizavanje Robi02 vukao je prikolicu zatom dužinom. Ceo test prikazan je u .avi formatu na priloženom CD-u.

Rezultati dobijeni na osnovu testa su - obe platforme bez problema mogu da povuku prikolicu težine 1435g.

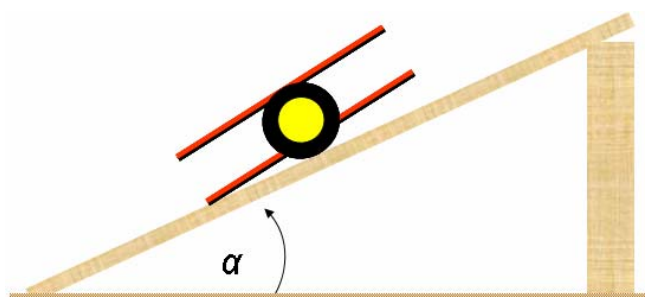
Peti test poligon B – kosa ravan. Sledeći test je sproveden na kosoj ravni i treba da nam pruži podatke koji nagib naša platforma može sa uspehom da pređe u dužini od 800mm.

Robotizovana platforma postavljena je na početak kose ravni koja je podešena da pravi ugao od 5 stepeni u odnosu na podlogu, slika 7.3.6. Podlogu smo podizali stvarajući sve veći ugao. Platforma je uvek postavljana u početni položaj. Test je ponavljan sve dok točkovi robo platforme nisu počeli da proklizavaju. Izmereni ugao je bio $\alpha=13.88$ stepeni.

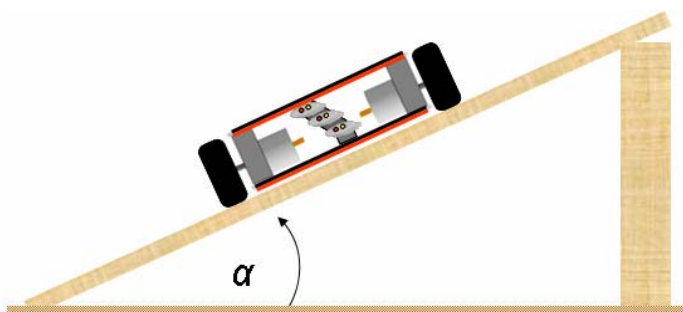


Slika 7.3.6: Poligon B, kosa ravan

Sproveden je još jedan test vezan za kosu ravan. Meren je ugao kada robotizovana platforma (iz mirovanja) počne da klizi niz kosu ravan, slika 7.3.7. Platforma je postavljena na sredinu ravni dok je ugao ploče postepeno povećavan. Kada je platforma počela da klizi niz ploču, postignut ugao predstavljao je vrednost koja je tražena. Test je ponovljen pet puta. Ugao koji je dobijen, $\alpha=26.7$ stepeni, predstavlja srednju vrednost merenja.



Slika 7.3.7: Test proklizavanje platforme



Slika 7.3.8: Test bočnog proklizavanja

Isti test ponovljen je i sa platformom postavljenom bočno, slika 7.3.8. Dobijen je malo manji ugao $\alpha=25.5$ stepeni. To se objašnjava tako što je na donju ploču koja se oslanja na podlogu ravni, prenet manji deo težine platforme stvarajući tako i manju silu trenja.

U tabeli 7.3.3 koja je priložena dati su koeficijenti trenja za neke uobičajene materijale.

Tabela 7.3.3: Koeficijent trenja specificiranih materijala

Materijal	Statika
Aluminium	1.05 – 1.35
Čelik	0.61
Metal (suv)	0.2 - 0.6
Metal (mokro)	0.2
Pleksiglas	0.8
Polistiren	0.5
Teflon	0.04
Asvalt (suv)	0.5 - 0.8
Asvalt (mokar)	0.25 – 0.75
Beton (suv)	0.6 - 0.85
Beton (mokar)	0.45 – 0.75
Cigla	0.6
Drvo (suvo)	0.25 – 0.5
Drvo (mokro)	0.2

Rezultati dobijeni na osnovu testova pružaju saznanje da robotizovana platforma može da savladava uspon 13.88 stepeni kao i da je bočni nagib ograničen na maksimalnih 25 stepeni.

Šesti test poligon C – izdržljivost. Test izdržljivosti, treba da pokaže koliko vremenski (sa novim baterijskim napajanjem) platforma može da funkcioniše do potpunog prestanka rada pogonskog sistema.

Platforma je postavljena na poligon i puštena je pod kontrolom jednog operatera da pravi krugove. Svaki krug dugačak je 18m. Štopericom je mereno vreme kao i broj završenih krugova. Vrednosti koje su dobijene prikazane su u tabeli 5.3.2.

Tabela 7.3.4: Predeni put sa novim baterijama

Broj krugova	Preden put /m	Vreme /s	Brzina m/s
40	720	4241	0.169

Sedmi test poligon A – čvrstina. Test otpornosti na pad, pad sa visine od 800mm, treba da pruži podatke o čvrstoći same robotizovane platforme. Visina od 800mm je standardna visina radnih površina pa i školskih klupa. Test pokazuje šta se događa kada robotizovana platforma padne na svoje točkove, na „lice“ i bočno. Pošto su ovo destruktivni testovi, opredelili smo se da samo jedna platforma bude testirana.

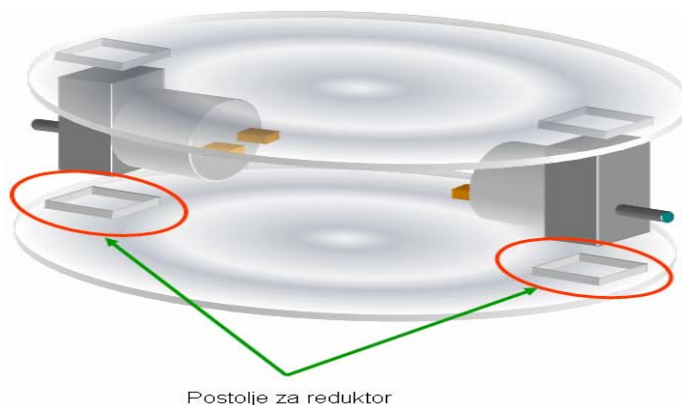
Prvi pad na „lice“ nije ozbiljnije ošteti platformu. Odlepila se gornja ploča, što je vrlo brzo fiksirano ponovnim lepljenjem ploče. Bočni pad doveo je do naprsnuća donje ploče slika 7.3.9. Plastika uz ivicu je naprsila u dužini od 70mm. Funkcionalno platforma nije bila ugrožena i probno kretanje je izvedeno korektno.



Slika 7.3.9: Pukotina na plastičnoj ploči koja nije ugrozila funkcionalnost platforme

Da bi se testiranje dalje nastavilo sa istim modelom trebalo je zameniti CD disk sa novom pločom. Za ovu intervenciju bilo je potrebno tačno osam minuta. Na red je došao i test “pad na točkove“. Platforma je puštena sa zadate visine (0.8m) i nije pretrpela vidljiva oštećenja. Aktivirana je platforma da bi se proverilo da li su oštećeni reduktori ili motori. Sama platforma dala je odgovor na postavljeno pitanja, funkcionisala je korektno. Posle svega odlučeno je da još jednom ponovimo test. Ovog puta platforma se opet odlepila na spoju reduktora i gornje ploče.

Rezultati dobijeni na osnovu testa pokazuju - da robotizovana platforma ima solidnu konstrukciju i da može dobro da izdrži slučajan pad sa školske klupe. U tako ekstremnim situacijama oštećenja se svode na lepljenje ili zamenu CD ploče. Sama zamena plastične ploče ne predstavlja problem, a ni trošak. Ustanovljena je slaba strana konstrukcije. To je spoj ploča – reduktor. Jedno od rešenje je da se spoj učvrsti kompozitnim lepkom. Drugo rešenje je kompleksnije i odnosi se na modifikaciju same CD ploče prilikom livenja. Predlog je da se na ploči napravi nosač oko reduktora sa ivicama visokim 0.5 mm, slika 7.3.9a.



Postolje za reduktor

Slika 7.3.9a: Livena postolja za reduktore na CD ploči

To bi obezbedilo mehaničku čvrstinu samog spoja. Istovremeno promenila bi se i cena ploče koja bi morala posebno da se lije. To više nije CD disk koji može lako da se pronađe u našem okruženju već poseban deo kompleta. Na taj način odstupa se od koncepta jeftine platforme, pa se ovde diskusija na ovu temu i završava.

Osmi test – komunikacione smetnje. Test interferencije, smetnje prouzrokovane drugim RF sistemima (RC igračke, telefon sa uključenim blututom, WiFi) izveden je u prostoriji u kojoj su i do sad vršeni eksperimenti. Sala je opremljena bežičnom mrežom WiFi, LCD TV prijemnikom, Smart tablom dijagonale 1,20m. Dodati su još bežična kamera (proizvođač AJOKA) čiji predajnik radi na 2.4 GHz, blutut telefon Sony Ericsson P990i i nekoliko daljinskih upravljača koji koriste IR. Uključen je i svetlosni korpus sa 24 neonskih tela.

Simulirano je okruženje učionice za koju je robo platforma i predviđena. Sala je pripremljeno za test tako što su svi uređaji uključeni i stavljeni u funkciju.

Prvi deo testa odnosi se na IR komunikaciju. Kontrolni signal poslat je sa PLC-a. Platforma je pokrenuta i vršeni su razni manevri koji su potvrdili da je kontrola kretanja sa IR linkom stabilna, bez obzira na ometanja koja je vršio kolega sa drugim IR TV kontrolerima.

Drugi deo testa odnosio se na kontrolu sa blutut komunikacijom. Sve komande koje su zadavane robo platforma je izvršavala korektno.

Rezultati dobijeni na osnovu testa pokazuju da robotizovana platforma ima elektroniku koja je izvršavala sve zadate komande bez obzira na invazivno komunikaciono okruženje.

Deveti test – ekstremne situacije, test minimalne temperature. Digitalnim termometrom izmerena je temperatura koju izabrani zamrzivač može da obezbedi u komori za duboko zamrzavanje i dobijena je vrednost od -8.5°C . Oba modela robo platformi ostavljena su u zamrzivač preko noći. Prototipovi su stavljeni u plastičnu kesu (sa plastičnim zatvaračem koji hermetički zatvara kesu) da bi se sprečilo kondenzovanje koji može da ošteti elektromotore i elektroniku. Robi02 stavljen je zajedno sa pogonskim baterijama.

Trinaest sati kasnije, odmah po vađenju iz komore za duboko hlađenje počeo je test upravljivosti. Test je izveden na betonskoj podlozi pri temperaturi vazduha od $+15^{\circ}\text{C}$. Stavljene su nove baterije. Robi01 krenuo je bez problema. Posle dva puna kruga od 4m konstatovano je da je platforma prošla test ekstrema minimalne temperature i da je u potpunosti funkcionalna. Istu procedura sprovedena je i za platformu Robi02 koja je podvrgnuta minus temperaturi zajedno sa baterijama. Robi02 teško je krenuo i zaustavio se posle 0.96m. Promenjene su baterije i stavljene su iste koje su korišćene za robo platformu Robi01. Kao što je i očekivano platforma se ponašala isto kao i prethodna prešavši dva kruga od 4m bez problema u kretanju i funkcionisanju elektronike.

Rezultati dobijeni na osnovu testa pokazuju da platforme bez vidljivih i funkcionalnih problema mogu da se koriste i na minimalnim temperaturama i do -8°C .

Deseti test – ekstremne situacije, vatra. Test ekstrema, vatra, zahtevao je poseban poligon. Za privremenu laboratoriju izabran je bezbedan prostor (dvorište letnje kuće).

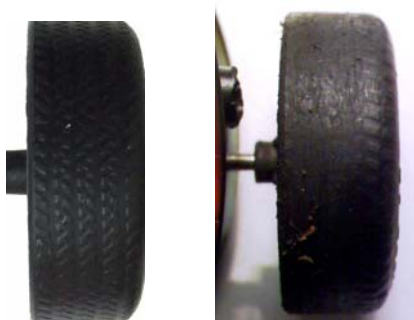
Prvo je napravljen koncept samog testa. Robo platforma treba da prođe kroz vatru koja obuhvata određenu površinu.

Prvo je pripremljen poligon na kome će se sprovoditi testiranje. Raščišćen je prostor dimenzija 3m x 3m. Za vatreni podlogu-poligon izabrali smo pamučnu tkaninu (dimenzije pamučne podloge su 300mm X 600mm) koja je natopljena smesom nafta-drvena piljevina. Ovako pripremljena podloga dugo gori što je nama i potrebno da bi imali dovoljno vremena da sve to snimimo i ponovimo test nekoliko puta. Robi02 stavljen je 150mm ispred vatrene prepreke i pušten da pređe preko plamene površine u dužini od 600mm. Vreme koje je bilo potrebno za prelazak preko ove prepreke je 2sec. Brzina kojom je Robi02 prešao preko vatrene prepreke iznosi 0.30m/s. Na slici 7.3.10 prikazan je vatreni poligon i prolazak platforme preko vatre.



Slika 7.3.10: Vatreni poligon i prolazak platforme kroz vatru

Slika 7.3.11 omogućava uvid u razlike na gazećoj površini točkova pre i posle prolaska kroz vatru.



Slika 7.3.11: Levo, nov točak; desno, posle 2.4m prelaska kroz vatru

Da bi opservacije imale smisla platforma je postepeno izlagana vatri. Ta slojevitost testa ogleda se u vremenskom intervalu kojem je Robi01 izložen plamenu što je i prikazano u tabeli 7.3.5.

Tabela 7.3.5: Vremenska slojevitost testa

Br. eksperimenta	Dužina vatrene prepreke (mm)	Vreme prelaska (sec)	Deformacije
1	600	2	Nema
2	600	2	Vidljive, gazeći sloj na točkovima izgubio je šare
3	600	2	Vidljive, mala deformacija na donjoj ploči
4	600	2	Veoma vidljive, cela platforma je garava, gazeći sloj na točkovima je oštećen i hrapav, deo ukrasne trake gornje ploče je odlepljen.

Test je ponavljan još tri puta sa istom dužinom vatrene prepreke. Intervali između testova su iznosili tačno 1 minut što je bilo dovoljno da se platforma temperaturno stabilizuje i da ponovljeni test bude korektan. Da bi poligon bio uvek podjednako pod vatrom pre ponovljenog testa poligon je dodatno polivan sa 50ml nafte pomešane sa piljevinom. Više slika sa ovog testa može se naći u prilogu 7.3.1.

Svrha zbog koje je model Robi02 podvrgnut ovako ekstremnim uslovima, vatri, je proveriti čvrstine konstrukcije i elektronike. Robo platforma mogla bi da se koristi i u nekom drugom okruženju i za druge namene. Opremljena posebnom kamerom, platforma bi mogla da se približi rizičnim mestima za ljude (vatra, dim eksplozivne naprave ili opasna hemijska isparenja). Na taj način mogli bi da dobijemo korisne video informacije ne izlažući ljude riziku.

Isto tako ako bi došlo da kvara (blokiranje motora ili problem sa elektronikom) mogućnost da dođe do deformacije reduktora ili ploča postoji. To bi se desilo usled toplote koju mogu da razviju nabrojani elementi. Isto tako visoka temperatura može da deformiše i same reduktore koji su od plastike. Interesovalo nas je kako deformacije nastale pod uticajem toplote utiču na funkcionalnost same platforme i u kom pravcu se kreću moguća izobličenja CD ploča. Ozbiljnija analiza izobličenja-deformacija ovog tipa može da bude predmet daljih istraživanja.

Rezultati dobijeni na osnovu testa pružaju - saznanje da platforma relativno dobro podnosi ekstremne temperaturne šokove zadržavši sve operativne funkcije. Došlo se i do saznanja da svi elementi platforme imaju solidnu čvrstinu i da kratko izlaganje visokoj temperaturi (vatri) bitno ne utiče na elemente platforme. U operativnom radu za koji je robo platforma namenjena (učionica) neće biti ekstremnih uslova kao u izvršenom testu.

Jedanaesti test – prepreke. Kao poslednji set testova robo platforme ostao je eksperiment - prelazak preko prepreke. Kao prepreku za testiranje postavljena je obična sveska koju robo platforma treba da pređe. Debljina prepreke je 5mm. Platforma je postavljena na 50mm od prepreke i puštena je u rad. Nije bilo problema da se prepreka

pređe. Povećana je debljina prepreke na 7mm. Na žalost platforma nije uspela da savlada postavljeni zadatak i ako smo test ponovili više puta. Problem koji je uočen predstavlja proklizavanje točka u kontaktu sa podlogom i preprekom. Do sad je korišćen plastični točak sa ravnom gazećom površinom koji je opisan u poglavlju 5.6, slika 5.6.1.



Slika 7.3.12: Točak za ekstremne prepreke

Zamenjeni su točkovi koji su korišćeni u prethodnim testovima sa točkovima prikazanim na slici 7.3.12. Platforma prelazi preko prepreke od 7mm u vidu olovke i makaza i to u prvom pokušaju. Povećana je visina prepreke na 10mm, knjiga i sveska. Robo platforma savladala je i ovu prepreku, slika 7.3.13. Na priloženom CD-u nalazi se nekoliko snimaka testiranja platforme kako prelazi određene prepreke.



Slika 7.3.13: Prelazak preko prepreka

Rezultati dobijeni na osnovu testa pružaju saznanje da platforma može da savlada prepreku od 5-10mm u zavisnosti od tipa točka.

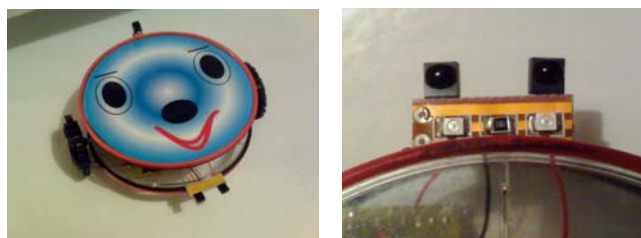
7.3.1 Testiranje PM modula sa robotizovanom platformom

U poglavlju četiri vršena su testiranja funkcionisanja jednog dela PM elementa. Za drugi deo testiranja koji se odnosi na rezidentne programe u mikrokontroleru PM i njihovo funkcionisanje neophodna je robotizovana platforma. Sada kada je platforma projektovana i testirana može se proveriti funkcionalnost rezidentnih programa. Na PM modulu nalaze se dva tastera (A i B). Pritiskom na jedan od tastera pokreće se program u mikrokontroleru.

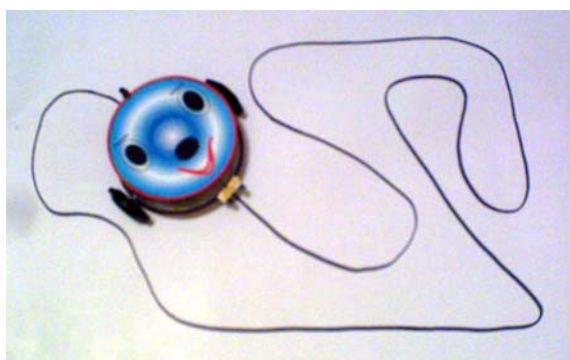
- Taster A – detekcija i zaobilazanje prepreke,
- Taster B – kretanje po markiranoj putanji.

Test A - testiranje platforme u detekciji prepreka bio je prvi test koji smo obavili. Ispred robota postavili smo pernicu sa olovkama. Platforma je aktivirana (priključenjem baterija). Sa tasterom A pokrenut je program u mikrokontroleru za detekciju prepreke i samostalno kretanje. Platforma je krenula i odmah je detektovan predmet ispred robota. Usledila je promena pravca kretanja aktiviranjem desnog motora u trajanju od 1,8s (platforma skreće ulevo) i nastavlja da se kreće pravo. Detektovanjem nove prepreke robot skreće desno (levi motor radi 1,8s) i nastavlja kretanje pravolinijski. Zaključak sa ovog testa je da robo platforma samostalno zaobilazi prepreke na svom putu kao što je i definisano projektom.

Test B - samostalno kretanje robotizovane platforme po markiranoj putanji testirano je tako što je nacrtana (crnim flomasterom sa vrhom širine 5mm) linija nepravilnog oblika, slika 7.3.1.1 i 7.3.2.2.



Slika 7.3.1.1: Senzori postavljeni na platformu



Slika 7.3.1.2: Kretanje CD Robi platforme po markiranoj liniji

Platforma je aktivirana (priključenjem baterija). Tasterom B na PM modulu startovali smo rezidentan program u mikrokontroleru koji obrađuje signale sa IR dioda i po zadatom programu kontroliše motore, kretanje platforme po markiranoj liniji.

Platforma se kretala po markirnoj liniji prešavši pet krugova bez problema. *Konstatovali smo da je i ovaj test prošao korektno.*

7.4 Zaključak

Integrisani testovi koji su sprovedeni imaju zajedničku osnovu zasnovanu na obradi eksperimentalnih podataka. Dobijeni rezultati potvrđuju da je projektni inženjerski koncept realizovan u potpunosti u skladu sa postavljenim zahtevima. U slučaju testa snage i testa čvrstoće, eksperimenti su pokazali da je robotizovana platforma dovoljno čvrsta i snažna da može da predstavlja dobru eksperimentalnu osnovu. Ako uzmemo u obzir da će se platforma koristiti za brojne eksperimente, kvalitet same konstrukcije je od velike važnosti.

Koncepcija testova može da se proširi uvođenjem kvalitetnijih eksperimenata. Tu prvenstveno mislimo na testove koji mogu da se obave u specijalizovanim laboratorijama kao što su testovi konstrukcijske izdržljivosti na pritisak. Takav eksperiment morao bi da se izvede u laboratoriji gde postoji oprema za ovu vrstu testiranja. Sledeći test koji može da se radi samo u specijalnim uslovima je kontrolisani poligon sa vatrom gde može da se meri temperatura podloge i samog plamena.

U prilogu 7.4. date su kompletne specifikacije robotizovane platforme.

8. ZAKLJUČAK

Ljudska iskustva sa računarima i informacionim sistemima predstavljaju temu brojnih istraživanja, koja će biti aktuelna i u decenijama koje dolaze. Naučni pristup interdisciplinarnog dizajna *robotizovanih edukativnih sistema*, jeste kombinovanje metoda za prikupljanje podataka i intelektualnih okvira eksperimentalne nastave sa moćnim alatima koje je razvila računarska nauka. Svoj doprinos ovoj oblasti dali su univerzitetski i industrijski psiholozi, grafički dizajneri, ljudi koji se bave tehničkim pisanjem, zatim eksperti iz oblasti ergonomije i informacione arhitekture. Sada, kada računari, mikro-kontroleri i korisnički interfejsi postaju osnova sve moćnijih socio-tehničkih sistema, u ovaj proces uključile su se i obrazovne institucije nudeći nove oblike obrazovanja, virtualne robo laboratorije.

Digitalno doba će značajno uticati na obrazovanje i radikalno će izmeniti postojeći proces učenja i podučavanja. U mnogim zemljama već su pokrenute ili se pokreću inicijative koje će označiti revoluciju u korišćenju novih tehnologija u školama.

Možda će najdramatičnije promene u budućnosti savremenih robotizovanih nastavnih sredstava proizići iz njihovog povećanja sposobnosti rezonovanja. Oblast veštačke inteligencije se brzo kreće iz univerzitetskih laboratorija u industrijsku primenu. Roboti su u fazi razvoja da mogu da obavljaju složene zadatke, kao što su strateško planiranje i učenja iz iskustva.

Rad je pokušaj da se pomogne u afirmaciji robotike, tehnike i tehničkih nauka kroz paletu predmeta (elektronika, informatika, mašinstvo) uvođenjem i korišćenjem savremenih robotizovanih nastavnih sredstava. Ponuđena je platforma koja svojom univerzalnošću i cenom pruža velike mogućnosti ne samo u obrazovnoj sferi već i šire. Na bazi originalnog projekta, razvijen je funkcionalni model, robo platforma i MS Windows XP aplikacije koje prate primerima funkciju robota. Tako su stvoreni realni uslovi za primenu robotizovanog nastavnog sredstva u širem spektru tehničkog i informatičkog obrazovanja na svim edukativnim nivoima.

Realizovana robo platformu može da se sklapa i eksperimentalno razvija na stolu, blizini računara. Smatra se da za dobru pokretljivost, treba eksperimentalni prostora koji je veličine klasične školske klupe. Zato su i dimenzije robotizovanog nastavnog sredstva usklađene da odgovaraju definisanom prostoru stola. Korisniku smo omogućili uslove za poboljšavanje efikasnosti tokom rada i eksperimenata jer se sve nalazi na dohvat ruke.

Posebna pažnja usmerena je da robo platforma bude prijatna za korisnika i interaktivna što je moguće više. Omogućeno je da korisnički interfejs bude jednostavan,

efikasan i intuitivan. Ovo su važni elementi za prihvatanje sistema od strane studenata i profesora.

Puno učenika i studenata zahteva i veliki broj robota. Znajući da je budžet mnogim školama nedovoljan za eksperimentalna nastavna sredstva, pristupačna cena je jedino moguće rešenje da se obezbedi da svako dođe do pojedinačnog robota. Da bi se ostvarila konkurentna cenu robotizovane platforme, opredeljenje je da se koriste komponente iz masovne proizvodne linije. Ostvaren je uspeh tokom realizacije projekta i stvoren proizvod čija je prodajna cena van konkurencije.

Na priloženom CD-u priložen je i izvorni kôd glavne aplikacije (otvoreni kod), kao modul koji treba da bude podeljen između svih zainteresovanih korisnika, laboratorija, škola i fakulteta. Razvoj otvorenog koda je efikasan model i način za postizanje softverskog razvojnog miljea. Sadržaj samog CD-a sa aplikacijama, vežbama i primerima, priložen je u prilogu 9.

Kako bi se pozitivni efekti primene savremenih nastavnih sredstava primenili u praksi, predlaže se obrazovna institucija koja se bavi edukacijom učenika, studenata ili nastavnog kadra da permanentno realizuje kurseve i promocije kao i takmičenja vezana za robotiku i upotrebu savremenih robotizovanih nastavnih sredstava u nastavi. Postojeća tehnologija i niska cena obezbedili bi izvodljivost projekta.

Praktičnim eksperimentima pokazano je da, koristeći mobilnu robotizovanu platformu (opremljena sa laserskom senzorskom grupom, intuitivnim softverskim sistemom, PLC-om i PM-om), može da se prepozna definisani predmet u okruženju kao i da se zaobiđu prepreke koje se nalaze na putanji robo platforme, a sve to u okviru malog budžeta. Rezultati pokazuju da su projektovani pristupi ostvarivi u realnom okruženju i ostvaruju efekte pristupačnosti kako institucijama obrazovanja tako i pojedincima koji žele da se bave robotikom.

Na osnovu prethodno iznetih stavova, predlaže se proširenje sistema u pravcu razvoja PLC-a i PM-a. Za to je potrebna nova arhitektura PLC-a, intuitivan softver i dobar dizajn (čist, proširen), kao i više istraživanja u pronalaženju benefita koji ide iznad isključivo zabavnih. Takav, 3D multi-modalni interaktivni kontroler, imao bi veću upotrebnu vrednost zbog svog bogatog socijalnog konteksta, zasnovanog na prostornom razmišljanju.

Predlaže se i izrada računarskog programa virtuelne simulacije i eksperimentalne analize robotizovanih platformi. Softverske simulacije testiranja elaborirane su u mnogim radovima, a prednosti su više nego očigledne. Vreme koje se utroši na pripremu poligona za testiranje i cena prototipa dovoljan su razlog za izradu i primenu predloženog softverskog paketa.

Daljim usavršavanjem softvera omogućiće se da robo platforme mogu da komuniciraju između sebe (u osnovi je blutut komunikacija) sistemom PM-PLC-PM.

I na kraju, ulaganje u dalja istraživanja omogućilo bi da se stvore uslovi za minijaturizaciju savremenih robotizovanih nastavnih sredstava koja bi mogla da imaju svoje uzore u biološkim entitetima. InRobi (Insekt Robi) ili RB (Robi Bot) bi bio naziv za minijaturne robote čiji su uzori insekti.

LITERATURA

- [1] Mala enciklopedija, Prosveta, 1969, pp. 455,
- [2] Webster Dictionary, <http://www.websters-online-dictionary.org>,
- [3] R.R. Murphy. "competing" for a robotics education. Robotics and Automation Magazine, IEEE, 8(2):44–55, Jun 2001,
- [4] Roland Siegwart, Illah R. Nourbakhsh "Introduction to Autonomous Mobile Robots", The MIT Press, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, 2004,
- [5] Robert Holmberg, "Design and Development of Powered-Castor Holonomic Mobile Robots", Stanford University, 2000,
- [6] Nonholonomic mechanics and control, By Anthony Bloch, John Baillieul, P. E. Crouch, (New York: Springer-Verlag, 2003),
- [7] Enciklopedija Fizike, Interpres, Beograd, 1972,
- [8] Современне проблеми биомеханики (1986) Зинатне, Рига, выпуск 3, 212ст.,
- [9] David Hunter. (2000). Od početka .. XML, Wrox Press Ltd.,
- [10] Murray Turoff. (1995). Designing a Virtual Classroom, Department of Computer and Information Science, New Jersey Institute of Technology, Newark NJ, 07102, USA,
- [11] Perraton, H. (1988). A theory for distance education. In D. Sewart, Keegan, D. & Holmberg, B. (Eds.), *Distance education: International perspectives* (pp. 95-113). New York: Routledge.,
- [12] Saettler, P. (1968). A history of instructional technology. New York: McGraw-Hill,
- [13] Ackermann steering geometry, <http://en.wikipedia.org>,
- [14] Judith S. Eaton, (2001). Distance Learning: Academic and Political Challenges for Higher Education Accreditation, CHEA Monograph Series, Number 1
- [15] Carol Fallon, and Sharon Brown, (2003). e-Learning Standards, CRCpress.
- [16] G.W. Lucas, A Tutorial and Elementary Trajectory Model for the Differential Steering System of Robot Wheel Actuators
- [17] Valery, O.K., Volodymir, M.K., Olexandr P.S. (2002). Distance Learning, Lifelong Learning in Europe 2, (pp 114-119).

- [18] Gardner, Howard, (1983; 1993). *Frames of Mind: The theory of multiple intelligences*, New York: Basic Books.
- [19] *Principles of Robot Motion: Theory, Algorithms, and Implementation*, H. Choset, W. Burgard, S. Hutchinson, G. Kantor, L. E. Kavraki, K. Lynch, and S. Thrun, MIT Press, April 2005.
- [20] Oliver, (2000). Evaluation of Learning Technology, *Educational Technology & Society* 3(4),
- [21] Arriz Tisoc, Paul Rafael, Robot movil de exploracion y reconocimiento en suferficie terrestre "REX-M6", 2006
- [22] Kristof Goris, *Autonomous Mobile Robot Mechanical Design*, 2005
- [23] *The Behavior of Sandwich Structures of Isotropic and Composite Materials*, by Jack R. Vinson, , published by Technomic Publishing Company, 1999, ISBN 1-56676-699-0.
- [24] Sharable Content Object Reference Model (SCORM®) Run-Time Environment (RTE) Version 1.3.1 (<http://www.adlnet.org/>)
- [25] T. Gavrilova, T. Chernigovskaya, A. Voinov, Intelligent development tool for adaptive courseware on WWW
- [26] Brajan Bagnal, *Slikanje i crtanje*, Jugoslovenska knjiga
- [27] Java2SE Version 1.4.2_07, Sun Microsystems, Inc.
<http://www.java.com>
- [28] Noele Jerke, *Razvoj e-komerca sa ASP i SQL server*, Sybex
- [29] Dr Kris Jamsa. (2002). *Visual Basic .NET kroz praktične primere* McGraw–Hill Companies
- [30] Brian Siler, Jeff Spotts. (1998). *Vodič kroz Visual Basic 6*, QUE Corporation,
- [31] Jennings, N.R., Sycara, K., Wooldridge, M. (1998). A Roadmap of agent research and Development,
- [32] *Encyclopedia of Educational Technology* , (1994-2004). San Diego State University
- [33] Molnar,A.R. (1997). Computers in education: a brief history. *T.H.E. Jurnal*, 24, 63-68.
- [34] Wikipedia. www.en.wikipedia.org. (2009).
- [35] Ben Shneiderman. (2005). *Dizajn korisničkog interfejsa*, CET
- [36] David L. Akin, "Science Planning for the Ranger Telerobotic Shuttle Experiment,,," in *Proceedings of the 6 International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space (i-S AIRAS)*, 2001.
- [37] D. Apostolopouloug, M. Wagner, B. Shamah, L. Pedersen, K. Shillcutt and W. L. Whittaker, "Technology and Field Demonstration Results in the Robotic Search for Antarctic Meteorites,,," *International Journal of Robotics Research*, 2000.
- [38] J. Bares, and D. Wettergreen, "Dante II: Technical Description, Results, and Lessons Learned, *International Journal of Robotics Research*, Sage Publications, Palo Alto, USA, voL 18, no. 7, July 1999.

- [39] John L. Bresina, Keith Golden, David E. Smith, *Increased Flexibility and Robustness of Mars Rovers*, 5th International Symposium on AI, Robotics, and Automation in Space.
- [40] R. Burridge and J. Graham, "Providing Robotic Assistance,,," in SPIE2001.
- [41] M. A. Diftler and Robert O. Ambrose, "Robonaut: A Robotic Astronaut Assistant™ in i-SAIRAS 2001.
- [42] T. Huntsberger, H. Aghazarian, Y. Cheng, et al, "Rover Autonomy for Long Range Navigation and Science Data Acquisition on Planetary Surfaces," in Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), May 2002.
- [43] L. Kerstein, F. Seinsiek and E. Graf, "Inspector and die International Space Station, *Space Technology*, 16(2), 1997.
- [44] Rod McGregor and Layi Oshinowo, "Flight 6A: Deployment and Checkout of the Space Station Remote Manipulator System (SSRMSX, in i-SAIRAS 2001
- [45] P. SURitz, S. Skaff, C. Urmson, and W.L. Whittaker, "Skyworker: a robot for assembly, inspection and maintenance of large scale orbital facilities, ,, in *Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, Vol. 4, May, 2001.
- [46] D. Wettergreen, M. Dias, B. Shamah, et al., "First Experiment in Sun-Synchronous Navigation, in ICRA 2002.
- [47] D. Wettergreen, H. Thomas, and M. Bnalat, "Initial Results from Vision-based Control of the Ames Marsokhod Rover,,," in Proceedings of (be IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), September 1997, pp. 1377 -1382.
- [48] J. Denavit and R.S. Hartenberg. A kinematic notation for lower-pair mechanisms based on matrices. *Trans ASME J. Appl. Mech*, 23:215-221,1955
- [49] http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=15532
- [50] Microchip, <http://www.microchip.com>,
- [51] NASA, <http://robotics.nasa.gov>,
- [52] MIT, <http://web.mit.edu>,
- [53] EMT, <http://www.evolutionmodeltechnology.ca/platforms.html>,
- [54] Webopedia, <http://webopedia.internet.com>
- [55] I. W. Park, Y. Y. Kim, S. W. Park, and J. H. Oh, "Development of Humanoid Robot Platform KHR-2(KAIST Humanoid Robot - 2)", *Int. Conf. on Humanoid 2004*.
- [56] Code of practice for the safe use of lasers in schools National Health and Medical Research Council Canberra, June 1995

SLIKE I TABELE

Poglavlje 2

- Slika 2.1.1: Naslovna strana prvog izdanja knjige Isaka Asimova "Ja, robot".
Slika 2.3.1: Levo, sveti Pavle (St Paul); desno „Škola Atine“, Raphael Sanzio, 1511.g.
Slika 2.3.1a: Učenje (Bukurešt oko 1842god.)
Slika 2.3.2: Komplet "Erector", 1957 - 1959god.
Slika 2.3.3: Mekano komplet i Mekano robot, 1967 god.
Slika 2.3.4: Komplet pod nazivom "Učenik", (bivša SSSR)
Slika 2.3.5: Računar za kurs računarske elektronike (*Mechanic illustrated* 1971)

Poglavlje 3

- Slika 3.3.1: Blok dijagram sistema
Slika 3.3.2: Lasersko senzorska element
Slika 3.3.3: Presek jednog lasersko senzorskog elementa
Slika 3.3.4: Prototip laserskog senzora bez filtera
Slika 3.3.5: Lasersko definisanje predmeta sa tri merne tačke
Slika 3.3.6: LSG i razlike napadnih ivica
Slika 3.4.1: Merenja reflektovanog laserskog snopa
Slika 3.4.2: LED indikatori u funkciji prepoznavanja objekata
Slika 3.4.3: Rudimentalan program za prepoznavanje predmeta
Slika 3.5.1: Prepreke: levo- ispupčenje, desno- udubljenje
Slika 3.6.1: Mehanički prekidači
Slika 3.6.2: Šematski prikaz realizacije prvih „senzor“
Slika 3.6.2: Rešenje koje je ponuđeno
Slika 3.6.3: Priprema IR diode
Slika 3.6.1.1: Senzori za detektovanje markirne linije
Slika 3.6.1.2: Šema povezivanja emisionih IR dioda
Slika 3.7.1. Upozoravajući simboli za laser

Poglavlje 4

- Slika 4.2.1: Blok šema povezanosti PLC i PM modula i robo platforme
Slika 4.3.1: Modularna šema PLC-a

Slika 4.3.2: Blok dijagram PLC-a
 Slika 4.3.4: Prototip 1-2, IR/Blutut verzija V03 kontrolera
 Slika 4.3.1: Povezivanje mikrokontrolera i računara protokolom USB
 Slika 4.3.2: Mikrokontroler 18F2550 u 28-pin PDIP
 Slika 4.3.2.1: Mikroelement, modul MRF24J40
 Slika 4.3.2.2: Konekcija mikrokontrolera i kola MRF24J40
 Slika 4.4.3.1: Holtekov IR enkoder sa četiri izlaza
 Slika 4.4.3.2: IR enkoder sa markiranim izmenama
 Slika 4.3.4.1: Dijagram talasne dužine levo, dijagram ugla emitovanja desno
 Slika 4.3.4.1: IR TSAL7200
 Slika 4.3.5.1: Regulator napajanja LM7805 u T220 kućištu
 Slika 4.3.5.2: Šema primenjenog regulatora napona
 Slika 4.3.6.1: Šema prekidačkog kola ULN 2803
 Slika 4.3.6.1: Obeležavanje i polaritet LED diode
 Slika 4.3.8.1: Raspored elemenata, projektna faza 1/1, 2D
 Slika 4.3.8.2: Povezivanje mikrokontrolera i računara sa USB kablom
 Slika 4.3.8.3: Tasteri za direktnu kontrolu kretanja robo platforme
 Slika 4.3.8.4: Izlazi, led diode i ulazi
 Slika 4.3.8.5: Binarnih prikaz brojeva tri i sedam
 Slika 4.3.8.6: ICSP konektor
 Slika 4.3.8.7: Povezivanje ICSP konektora sa mikrokontrolerom
 Slika 4.3.8.8: Primeri povezivanja releja i motora na izlaz PLC-a
 Slika 4.3.8.9: Povezivanje PLC-a sa mrežnom karticom (EthernetBoard)
 Slika 4.4.1: Blok dijagram pratećeg modula
 Slika 4.4.2: Prototip pratećeg modula verzija 03
 Slika 4.4.2.1: IR dekodeer
 Slika 4.4.2.2: Šema prijemnog dela za TV daljinski upravljač
 Slika 4.4.4.1: IR OED-EL-8L
 Slika 4.4.5.1: Šema povezivanja senzorskih elemenata sa mikrokontrolerom
 Slika 4.4.6.1: Vezivanje motora za obostranu kontrolu DC motora
 Slika 4.4.6.2: Impulsna modulacija kontroliše motore
 Slika 4.4.6.3: PWM radni ciklus, kontrola DC motor
 Slika 4.4.7.4: Kolo za kontrolu rada elektromotora L293B
 Slika 4.4.8.1: Senzor za očitavanje signala sa enkoderskog diska
 Slika 4.4.8.2: Blok šema funkcionisanja enkoderskog sistema
 Slika 4.4.8.3: Signali sa enkodera, neusklađenost signala
 Slika 4.4.8.4: Signali sa enkodera, usklađeni signali
 Slika 4.5.1: Programator i dve razvojne ploča koje su korišćene za razvoj
 Slika 4.6.1: Razvoj PM modula
 Slika 4.6.1: Interfejs programa za testiranje PLC-a
 Slika 4.8.1 a) zahtev je da se aktivira kanal 1, b) posle korekcije

Poglavlje 5

Slika 5.3.1: Dvonožno kretanje, aproksimativno kotrljanje

Slika 5.3.2: Kepera (gore-levo), Kristof Goris (gore-desno),
NASA roboti (donji red)

Slika 5.3.3: Minimalna statička stabilnost ostvarena sa tri točka

Slika 5.3.4: Bicikl, statički nestabilan sistem

Slika 5.3.5: Statički nestabilan sistem, stabilan uz pomoć elektronike i žiroskopa,
Segway Inc.

Slika 5.4.1: Upravljanje se vrši aktiviranjem samo levih ili samo desnih točkova
ili gusenica

Slika 5.4.2: Paralelni i Akerman sistem upravljanja

Slika 5.4.1.1: Diferencijalni pogon

Slika 5.5.1: Elektromotor 102L predstavljen dimenziono

Slika 5.5.2: Merene vrednosti struje elektromotorne grupe

Slika 5.6.1: Osnovni tip točka koji koristimo

Slika 5.6.2: Razni modaliteti točka koji može da se koristi

Slika 5.6.3: Modifikacija boje “radkapne” točka

Slika 5.7.1: Redukcija koju mi koristimo 1:60

Slika 5.7.2: Projektovani reduktor

Slika 5.7.3: Reduktor u sklopu motora i točka

Slika 5.7.5: Projektovani reduktor u sklopu sa elektromotorom

Slika 5.8.1.1: Diferencijalni pogon primenjen na CD ploču

Slika 5.8.1.2: Idealan položaj reduktora i osa reduktora

Slika 5.8.1.3: Savijanje koje uzrokuje tanka CD ploča i motorna grupa

Slika 5.8.1.4: Dejstvo sila na ploču

Slika 5.8.1.5: Spreg sila koji uzrokuju savijanje ploče

Slika 5.8.1.6: Diletacija koja nastaje usled sprega sila

Slika 5.8.1.7: Površine koje predstavljaju mehaničku krutu vezu

Slika 5.8.1.8: Primenjena sendvič struktura korišćenjem CD ploča

Slika 5.8.1.9: Šasija robo platforme sastavljena od dve CD ploče

Slika 5.8.1.10: Prva modelovana verzija šasije, verzija 01

Slika 5.8.1.11: Renderovana projekcija šasije, verzija 025

Slika 5.8.2.1: Vratila reduktora moraju da budu u simetriji

Slika 5.8.2.2 Odstupanja od ose simetrije dovodi do nepravilnog kretanja

Slika 5.8.2.3: Šablon koji se koristi za podešavanje osa vratila reduktora

Slika 5.8.2.4: Sastavljen model

Slika 5.9.1.1: Princip enkodiranja

Slika 5.9.1.2: Perforirani disk za enkodiranje sa dva kanali i indeks poljem

Slike 5.9.1.3: Položaj enkoderskog diska

Slika 5.9.1.4: Projektovani perforirani disk za enkodiranje koji mi koristimo na robo
platformi D33-2-50-2

Slika 5.11.1.1: Omni točak

Slika 5.11.1.2: Holonomično kretanje sa posebno dizajniranim točkovima

Slika 5.11.1.3: Diferencijalni pogon
 Slika 5.11.1.4: Dijagonalno kretanje
 Slika 5.11.2.1: Promena pravca kretanja
 Slika 5.11.2.2: Spreg sila koji uslovljava rotaciju platforme oko vertikalne ose
 Slika 5.11.2.3: Smer rotacije elektromotora je isti, razlika je u brzini
 Slika 5.11.2.4: Pravolinijsko kretanje
 Slika 5.12.1: Jednostavno kretanje platforme u ravni
 Slika 5.12.2: Dijagram kretanja
 Slika 5.13.1: Donja ploča robo platforme, slobodan prostor za PM i baterijske grupe
 Slika 5.13.2: Raspored elemenata na donjoj ploči platforme
 Slika 5.13.3: Raspored elemenata u prototipu
 Slika 5.13.1.1: Nalepticama možemo da menjamo izgled robo platforme
 Slika 5.13.1.2: Platforma bez ukrasnih plastičnih traka
 Slika 5.13.1.3: Platforma sa ukrasnim plastičnim trakama

Poglavlje 6

Slika 6.1: Elementi osnovnog kompleta
 Slika 6.2.1: Uputstvo za sastavljanje
 Slika 6.3.1. Robotics studio razvojni ekran
 Slika 6.3.2 Razvojno okruženje VB 2005
 Slika 6.3.3: Interfejs programa za kontrolu kretanja robota
 Slika 6.3.1: Testiranje kao deo projektnog lanca
 Slika 6.4.1 Sajt posvećen robo platformi

Poglavlje 7

Slika 7.2.2.1: Poligon za testiranje brzine i diletacije skretanja
 Slika 7.2.2.2: Poligon A B
 Slika 7.2.3.1: Poligon C ukupna dužina 18m
 Slika 7.2.7.1. a) Test marker koji se postavlja na A platformu robota, b) Test marker bočni
 Slika 7.1.4 Pripremljeni eksperimentalni modeli
 Slika 7.3.1: Robotizovane platforme spremne za testiranja
 Slika 7.3.2: Graf kretanja a) bez korekcije, b) sa korekcijom
 Slika 7.3.3: Podloga na kojoj smo simulirali vertikalne oscilacije.
 Slika 7.3.4: Vertikalne oscilacije koje je platforma savladala
 Slika 7.3.5: Lab prikolica koju koristimo u eksperimentu
 Slika 7.3.5a: Prikolica i robotizovana platforma odnos težina 5.8 : 1
 Slika 7.3.6: Poligon C, kosa ravan
 Slika 7.3.7: Test proklizavanje platforme
 Slika 7.3.8: Test bočnog proklizavanja
 Slika 7.3.9: Pukotina na plastičnoj ploči koja nije ugrozila funkcionalnost platforme
 Slika 7.3.9a: Livena postolja za reduktore na CD ploči

Slika 7.3.10: Vatreći poligon i prolazak platforme kroz vatru
 Slika 7.3.11: Levo, nov točak; desno, posle 2.4m prelaska kroz vatru
 Slika 7.3.12: Točak za ekstremne prepreke
 Slika 7.3.13: Prelazak preko prepreka
 Slika 7.3.1.1: Senzori postavljeni na platformu
 Slika 7.3.1.2: Kretanje CD Robi platforme po markirnoj liniji

Tabele

Tabela 3.3: Karakteristike laserske diode
 Tabela 3.4.1: Upoređivanje vrednosti laserskog signala
 Tabela 3.7.1: Karakteristike specijalnog zaštitnog stakla
 Tabela 4.3.2.1: Karakteristike MRF24J40 (40-PIN DEVICE)
 Tabela 4.3.5.1: Radne karakteristike LM7805
 Tabela 4.3.5.2: Strujne vrednosti u različitim režimima rada
 Tabela 4.3.6: Karakteristike ULN 2803 (16-PIN)
 Tabela 4.3.8.1: Karakteristike PLC-a
 Tabela 4.3.8.1: Karakteristike PLC-a/ nastavak sa strane 65
 Tabela 4-6-1: Domet ostvaren sa bežičnim vezama
 Tabela 4.7.1: Prateći modul
 Tabela 4.7.2: PLC modul
 Tabela 5.5.1: Uporedni pregled predstavljenih elektromotora
 Tabela 5.5.2: Karakteristike motora serije 102
 Tabela 5.5.3: Električne karakteristike elektromotora
 Tabela 5.8.1.1. Objašnjenje oznaka sila
 Tabela 5.7.1: Dimenzione karakteristike robo platforme
 Tabela 5.9.1.1: Enkoder, mehaničke specifikacije
 Tabela 5.10.1.1: Karakteristike punjive baterije 6F22/9V
 Tabela 5.10.1.1: Naponske i strujne karakteristike platforme
 Tabela 5.10.2.1: Karakteristike baterije AA i AAA
 Tabela 7.3.1: Pravolinijsko kretanje sa i bez korekcije
 Tabela 7.3.2: Težine pojedinačnih delova platforme
 Tabela 7.3.3: Koeficijent trenja specificiranih materijala
 Tabela 7.3.4: Pređeni put sa novim baterijama

NOMENKLATURE

2D	Two Dimensional Space
3D	Three Dimensional Space
AAAI	American Association for Artificial Intelligence
AC	Alternating Current
ADC	Analogue to Digital Converter
ANSI	American National Standards Institute
API	Application Program Interface
CAD	Computer Aided Design
CCP	Capture/Compare/PWM
CCW	Counter Clock Wise
CD	Compact Disc
CMOS	Complementary metal–oxide–semiconductor
CW	Clock Wise
DAC	Digital to Analogue Converter
DC	Direct Current
DOF	Degrees of Freedom
ICSP	In-Circuit Serial Programming
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electronic & Electrical Engineering
IR	Infra Red
ISO	International Standards Organization
LAN	Local Area Networks
LCD	Liquid Crystal Display
LIDAR	Light Detection and Ranging
LPT	Line Print Terminal
MSSP	Master Synchronous Serial Port

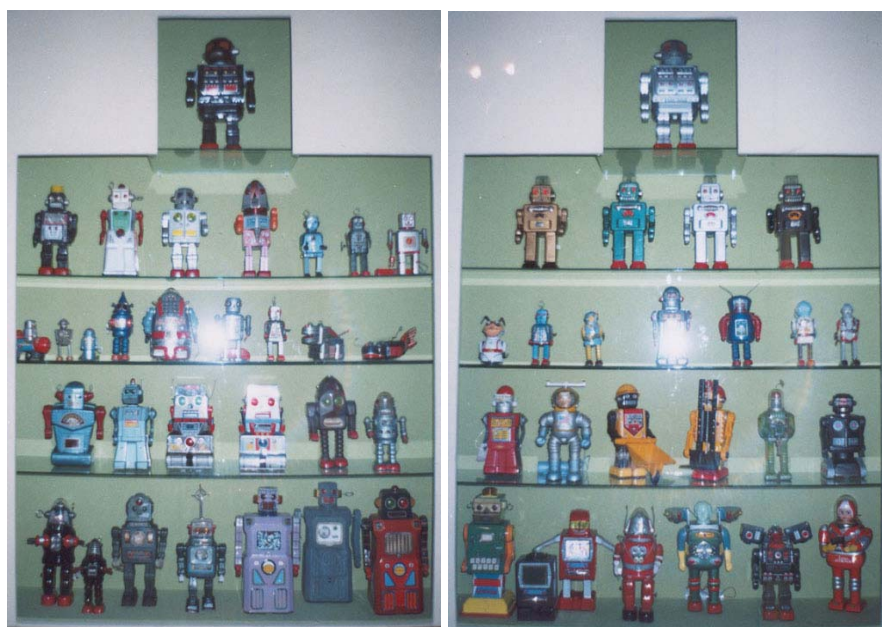
NIST	National Institute for Standards and Technology
OAM	Obstacle Avoidance Module
OIS	Open Interface Specification
PC	Personal Computer
PCA	Programmable Counter Array
PCB	Printed Circuit Board
PIC	Peripheral Interface Controller
PID	Proportional Integral Derivative
PHP	Hypertext Preprocessor
PLC	Programmable Logic Controller
PSU	Power Supply Unit
PWM	Pulse Width Modulation
RDF	Resource Description Framework
RISC	Reduced Instruction Set Computer
RoHS	The Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment Regulations 2008
RTE	Run-Time Environment
SCI	Serial Communication Interface
SMD	Surface Mount Diod
SN	Sequencing and Navigation
TTL	Transistor - Transistor Level
URV	Universal Robotics Vehicle
USART	Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter
USB	Universal Serial Bus
W3C	World Wide Web Consortium
XML	Extensible Mark-up Language

PRILOZI

A 2.2.2 Retke robo igrache

Početkom prošlog veka igrache su bile retkost i izrađivale su se od metala i drveta. Veliki deo proizvodnog ciklusa bio je manuelan kao što je farbanje i sklapanje. Serije su bile male. Sve to uticalo je da robo igrache budu skupe.

Većina prikazanih robota na slici 2.2.2.1 kreće se pomoću mehanizama sa spiralnom oprugom koji se navija malim ključem.



Slika 2.2.2.1: Kolekcija veoma retkih robo igrachaka sa početka prošlog veka

A 2.3 Kompleti

Kompleti koji su prethodili robotizovanim nastavnim sredstvima bili su konstruktorski kompleti. Izrađivali su se od metala. Metalni delovi spajali su se malim zavrtnjima.



Slika 2.3.1: Reklama iz 1922. godine, Erector set



Slika 2.3.2: Eraktor komplet u muzeju grada Njujorka



Slika 2.3.3: Kompleti koji su se proizvodili u SSSR-u

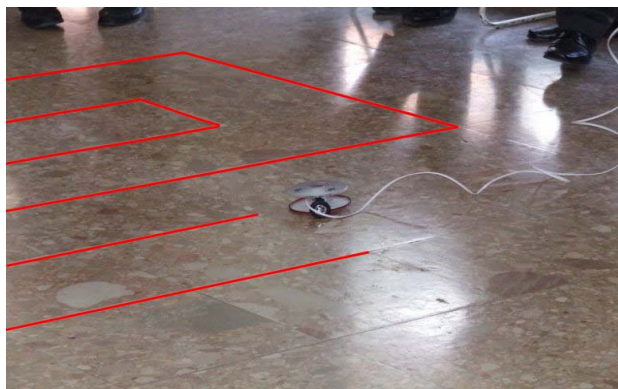
A 2.3.2 Takmičenja

Mobilni roboti je fascinantna predmet i rezultat je fuzija više oblasti. Ova fascinacija dovodi do organizacije preko 110 međunarodnih takmičenja sa temom robotike. Širom sveta svake godine velike grupacije (primer LEGO) organizuju svetska takmičenja.

U maju 2009. godine, u Novom Sadu održano je prvo juniorsko takmičenje „CD Robi 2009“.



Slika 2.3.2.1: Prvo juniorsko takmičenje, CD Robi 2009, Novi Sad



Slika 2.3.2.2: Poligon za takmičenje u vožnji robo platforme

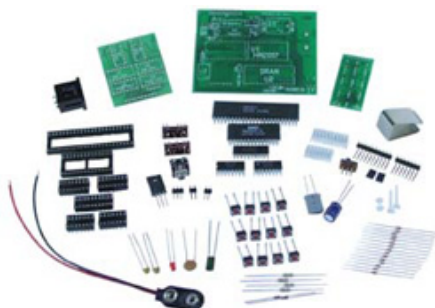


Slika 2.3.2.3: Jedno od takmičenja, Atlanta, Džordžija, USA

A 3.2 Senzori

U prilogu koji sledi prikazan je samo mali deo palete senzorskih sistema koji se koriste danas za robotizovane platforme.

Komplet za prepoznavanje govora je nezavisno kolo koje može da prepozna i do 40 reči koje definiše korisnik na bilo kom jeziku.



Sonar modul koristi ultra zvuk za detekciju prepreka. Komplet može lako da se instalira na robotizovanu platformu.



Navigacioni set, magnetni kompas, vrlo efektno određuje položaj u prostoru.



Temperaturni senzor može se programirati za detektovanje temperature osam različitih mernih tačaka.



Laserski daljinometar je mali, pristupačan i precizni laserski skener koji je idealan za primenu u robotici.



Ugao skeniranja je 240°. Priključuje se preko USB kabla sa računarom. Koristi baterije za svoj rad. Cena je oko hiljadu evra.

A 3.3 Laserske diode

Laserski diode (od 266nm do 671nm) prikazane su u tabelama.

SERIES	WAVELENGTH	OUTPUT POWER	LASER TYPE	FEATURES
ULTRA-VIOLET (266nm-355nm)				
LRS-266	266nm	1-5mW	DPSS	CW UV LASER
LQS-266	266nm	0.1-10uJ	DPSS	Q-SWITCHED OPERATION
LRS-355	355nm	1-5mW	DPSS	CW UV LASER
LQS-355	355nm	0.1-10uJ	DPSS	Q-SWITCHED OPERATION

BLUE (430nm-473nm)				
LRS-430	430nm	1-5mW	DPSS	
LRS-457	457nm	1-4000mW	DPSS	HIGHEST OUTPUT BLUE
LRS-473	473nm	1-1000mW	DPSS	LOWEST COST BLUE
LLS-473	473nm	1-5mW	DPSS	<1% LOW NOISE AMPLITUDE

GREEN (524nm-561nm)				
LRS-524	523.5nm	50-500mW	DPSS	
LRS-532	532nm	1-8000mW	DPSS	LOWEST COST/MW GREEN
LLS-532	532nm	1-8000mW	DPSS	<1% LOW NOISE AMPLITUDE
LSS-532	532nm	1-200mW	DPSS	SINGLE LONGITUDINAL MODE
LCS-532	532nm	15-200mW	DPSS	LOWEST COST GREEN
LQS-532	532nm	1-10uJ	DPSS	Q-SWITCHED OPERATION
LUS-532	532nm	5-20mW	DPSS	ULTRA-LOW DIVERGENCE
LRS-556	556nm	1-200mW	DPSS	

YELLOW (589nm-593.5nm)				
LRS-589	589nm	1-5mW	DPSS	
LRS-594	593.5nm	1-200mW	DPSS	LOWEST COST YELLOW
LLS-594	593.5nm	1-50mW	DPSS	<1% LOW NOISE AMPLITUDE

RED (635nm-671nm)				
LRD-635	635nm	1-500mW	DIODE	HIGHEST VISIBILITY IN RED
LUD-635	635nm	1-5mW	DIODE	HIGHEST VISIBILITY IN RED
LUD-650	650nm	1-40mW	DIODE	
LRD-660	660nm	1-1000mW	DIODE	LOWEST COST RED
LUD-670	670nm	1-50mW	DIODE	

LRS-671	671nm	1-5000mW	DPSS	HIGHEST OUTPUT IN RED
LLS-671	671nm	1-5000mW	DPSS	<1% LOW NOISE AMPLITUDE

MULTI-COLOURED (RED/GREEN)

LMS-RG	532/671nm	50-500mW	DPSS	Many colour possibilities!
LMM-RG	532/635nm	50-800mW	MULTI	Many colour possibilities!
LMM-RG	532/660nm	50-1000mW	MULTI	Many colour possibilities!

MULTI-COLOURED (RED/GREEN/BLUE)

LMS-RGB	473/532/671	100-500mW	DPSS	Millions of colours possible
LMM-RGB	473/532/635	100-500mW	MULTI	Millions of colours possible

A 3.3.1 Oprema, merenja testiranje LSG

Podešavanje reflektovanog laserskog signala za tri senzora vršeno je sa laboratorijskom laserom i pripadajućom mernom opremom slika A 3.3.1.1.



Slika A 3.3.1.1: Podešavanje senzora sa laboratorijskim laserom

Objekti kocka, lopta i piramida napravljeni su od kartona koji je obložen aluminijumskom folijom radi bolje refleksije laserskog snopa, slika A 3.3.1.2.



Slika A 3.3.1.2: Refleksija sa objekata koja smeta tačnim merenjima

Posle podešavanja LSG preduzeta su merenja (slika A 3.3.1.3 vide se tri laserska snopa na predmetima). Uz male korekcije hardvera (povećan je prag osetljivosti senzora) identifikacija definisanih geometrijskih predmeta uspešno je sprovedena.



Slika A 3.3.1.3: LSG usmerena na objekte

A 3.6.1 Kod definisane putanje

Deo mikro kôda za praćenje markirane linije predstavljen je na ovoj strani i posebno je napisan za PIC 18F2550.

```
/*
 * Ime projekta:
 * IR Praćenje linije 1.0
 * Opis:
 * Sistem koji prati crnu liniju. Na tri ulaza dovode se signali sa
komparatora. IR senzor ima visok nivo ukoliko se površina svetla a
nizak ukoliko je površina crna. Ovim postizemo praćenje linije jer uvek
znamo gde nam se nalazi linija. Cilja nam je da dobijemo visok, nizak,
visok nivo i motore upravljamo da nam daju tu konfiguraciju jer tako
znamo da nam se linija nalazi između krajnjih senzora.
 * Test configuration:
    MCU:          P18F2550
    Oscillator:   HS, 20.0000 MHz
    Ext. Modules: LCD 2X16
    SW:           mikroC v6.0
 * NOTES:
    None.
*/
void InitMain() {

    ADCON1 = 6;                      //Svi ADC pinovi su digitalni

    PORTA = 255;
    TRISA = 255;                     //PORTA je ulazni

    PORTB = 0;                       //setuje PORTB na 0
    TRISB = 0;                       //PORTB je izlazni

    PORTC = 0;                       //setuje PORTC na 0
    TRISC = 0;                       //PORTC je izlazni

    //inicijalizuje PWM na 5kHz
    PWM1_Init(5000);

    //Inicijalizacija LCD 2x16 displeja na PORTC (D7->portC.7, D6->portC.6,
D5->portC.5,
    //D4->portC.4, E->portC.3, RS->portC.2, RW->portC.0
    Lcd_Init(&PORTC);
    Lcd_Cmd(Lcd_CLEAR);
    Lcd_Cmd(Lcd_CURSOR_OFF);
    Delay_ms(1000);

} //~

void main() {
    //funkcija za inicijalizaciju
```

```

initMain();
//Pustanje PWM i setovanje brzine na 75%
PWM1_Start();
PWM1_Change_Duty(192);

//Informacije o programu
Lcd_Out(1, 1, "    IR Tracer");
Lcd_Out(2, 1, "Inicijalizacija");
Delay_ms(2000);

//beskonacna petlja
while (1) {

    switch(PORTB){

        //ako su svu ulazi na visokom nivou znaci da se doslo do kraja
linije    //ili je sistem izgubio liniju, motori staju

        case 0b00000111: PORTA = 0b00000000;
                        Lcd_Out(2, 1, "Kraj putanje");
                        break;

        //ukoliko su detektovani signali na levo i sredini znaci da je
sistem    //skrenuo u levo, radimo korekciju putanje, zaustavljamo desni
tocak i    //sa levim ga vracamo na staru putanju

        case 0b00000110: PORTA = 0b00000011;
                        Lcd_Out(2, 1, "Ispravka u levo");
                        break;

        //ukoliko su detektovani krajevi a sredina nije znaci da se
sistem    //nalazi na pravoj putanji da su korekcije nepotrebne, u ovom
slucaju    //oba motora se vrte

        case 0b00000101: PORTA = 0b00001111;
                        Lcd_Out(2, 1, "Putanja OK");
                        break;

        //ukoliko je detektovan signal samo na levoj strani znaci da
je linija    //prevelika i da je vide dva senzora, potrebno je ili
napraviti    //liniju ili rasiriti senzore. Ja sam odabrao
tanju        //da se zaustavi.

        case 0b00000100: PORTA = 0b00000000;
                        Lcd_Out(2, 1, "Greška!");
                        break;
    }
}

```

```

        //ukoliko su detektovani signali na desno i sredini znaci da
je sistem
        //skrenuo u desno, radimo korekciju putanje, zaustavljamo levi
tocak i
        //sa desnim ga vracamo na staru putanju

        case 0b000000011: PORTA = 0b000001100;
                        Lcd_Out(2, 1, "Ispravka u desno");
                        break;

        //ukoliko je detektovana samo sredina znaci da se nalazimo na
dve
        //linije istovremeno. Odabrao sam da se u ovom slucaju sistem
zaustavi
        case 0b000000010: PORTA = 0b000000000;
                        Lcd_Out(2, 1, "Greška!");
                        break;

        //ukoliko je detektovan signal samo na desnoj strani znaci da
je linija
        //prevelika i da je vide dva senzora, potrebno je ili
napraviti tanju
        //liniju ili rasiriti senzore.
        case 0b000000001: PORTA = 0b000000000;
                        Lcd_Out(2, 1, "Greška!");
                        break;

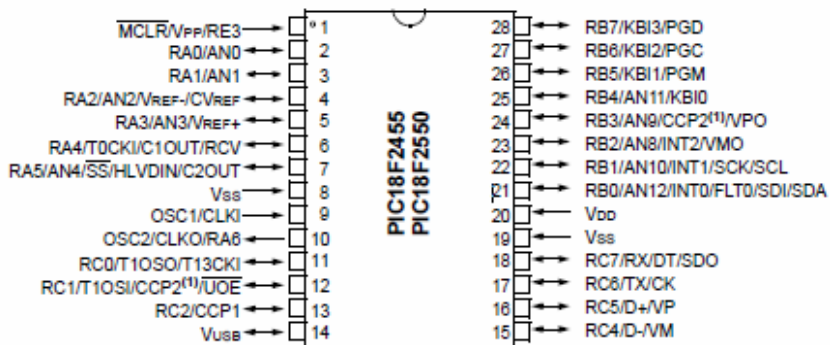
        //ako se ne detektuje ni jedan signal linija je predebebla i
nikakvom korekcijom ne mozemo sistem naterati da se krece pravilno.
        case 0b000000000: PORTA = 0b000000000;
                        Lcd_Out(2, 1, "Greška!");
                        break;
    }
    Delay_ms(200); //mala pauza
}
} //~!

```

A 4.3.1 Mikrokontroler 18F2550

Mikrokontroler 18F2550 u 28 pinskom kućištu prikazan je sa kompletnim obeleženim izlazima (pinovima).

28-pin PDIP, SOIC



Universal Serial Bus

Features:

- USB V2.0 Compliant
- Low Speed (1.5 Mb/s) and Full Speed (12 Mb/s)
- Supports Control, Interrupt, Isochronous and Bulk Transfers
- Supports up to 32 endpoints (16 bidirectional)
- 1-Kbyte dual access RAM for USB
- On-chip USB transceiver with on-chip voltage regulator
- Interface for off-chip USB transceiver
- Streaming Parallel Port (SPP) for USB streaming transfers (40/44-pin devices only)

Power-Managed Modes:

- Run: CPU on, peripherals on
- Idle: CPU off, peripherals on
- Sleep: CPU off, peripherals off
- Idle mode currents down to 5.8 μ A typical
- Sleep mode currents down to 0.1 μ A typical

- Timer1 oscillator: 1.1 μ A typical, 32 kHz, 2V

- Watchdog Timer: 2.1 μ A typical
- Two-Speed Oscillator Start-up

Flexible Oscillator

Structure:

- Four Crystal modes including High Precision PLL for USB
- Two External Clock modes, up to 48 MHz
- Internal oscillator block:
 - 8 user-selectable frequencies, from 31 kHz to 8 MHz
 - User-tunable to compensate for frequency drift
- Secondary oscillator using Timer1 @ 32 kHz
- Dual oscillator options allow microcontroller and USB module to run at different clock speeds
- Fail-Safe Clock Monitor
 - Allows for safe shutdown if any clock stops

Peripheral Highlights:

- High-current sink/source 25 mA/25 mA
- Three external interrupts
- Four Timer modules (Timer0 to Timer3)
- Up to 2 Capture/Compare/PWM (CCP) modules:

- Capture is 16-bit, max. resolution 6.25 ns ($T_{CY}/16$)
- Compare is 16-bit, max. resolution 100 ns (T_{CY})
- PWM output: PWM resolution is 1 to 10-bit
- Enhanced Capture/Compare/PWM (ECCP) module:
 - Multiple output modes
 - Selectable polarity
 - Programmable dead time
 - Auto-Shutdown and Auto-Restart
- Enhanced USART module:
 - LIN bus support
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module supporting 3-wire SPI™ (all 4 modes) and I2C™
- Master and Slave modes
 - 10-bit, up to 13-channels Analog-to-Digital Converter module (A/D) with programmable acquisition time
 - Dual analog comparators with input multiplexing

Special Microcontroller

Features:

- C compiler optimized architecture with optional extended instruction set
- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM memory typical
- Flash/Data EEPROM Retention: > 40 years
- Self-programmable under software control
- Priority levels for interrupts
- 8 x 8 Single-Cycle Hardware Multiplier
- Extended Watchdog Timer (WDT):
 - Programmable period from 41 ms to 131s
- Programmable Code Protection
- Single-Supply 5V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins
 - Optional dedicated ICD/ICSP port (44-pin devices only)

A 4.3.8 Blutut komunikacioni mikro-kôd

```
/* ***** PIC kod ***** */
/*
 * Project name:
 *   Blutut Interfejs 1.0.0.0
 * Revision History:
 *   1.0.0.0 USB veza radi;
 * Test configuration:
 *   MCU:          PIC18F2550
 *   Oscillator:   HS 20.000 MHz (USB osc. is raised with PLL to
48.000MHz)
 *   Ext. Modules: None
 *   SW:           mikroC v6.2
 * NOTES:
 */

#define VELICINA_BAFERA 16
unsigned char userWR_buffer[VELICINA_BAFERA];
unsigned char obrada[VELICINA_BAFERA];
unsigned char userRD_buffer[VELICINA_BAFERA];
unsigned int cekanje;
unsigned char usb_primio_nesto;

void interrupt(){
    HID_InterruptProc();
    cekanje++;
    obradiInterapt();
    INTCON = 0x20;
}

void Init_Main(){
    cekanje = 0;
    greska = 0;
    usb_primio_nesto=0;

    T0CON = 0b11000011;
    INTCON = 0b11100000;
    PIE1 = 0;
    PIE2 = 0;
    PIR1 = 0;
    PIR2 = 0;

    ADCON1 = 0x0F;

    TRISA = 0x00;
    TRISB = 0x00;
    TRISC = 0xFF;

    LATA = 0;
    PORTB = 0;
```

```

        LATC = 0;
    }
    void obradiInterapt(){
        usb_primio_nesto = Hid_Read();
        if ((usb_primio_nesto <1) &&
(usb_primio_nesto>16)){usb_primio_nesto = 0;}
    }

    void main(){

        char i;

    Init_Main();

        HID_Enable(&userRD_buffer, &userWR_buffer);
        Delay_ms(1000);
        Delay_ms(1000);

        Usart_Init(9600);
        Delay_ms(1000);

        while (1){

            if (usb_primio_nesto != 0) {

                usb_primio_nesto = 0;

                for (i = 0; i < VELICINA_BAFERA ; i++) {
                    userWR_buffer[i] = 0;
                }

                for(i=0; i<VELICINA_BAFERA; i++){
                    obrada[i] = userRD_buffer[i];
                }

                for(i=0; i<VELICINA_BAFERA; i++){
                    USART_Write(obrada[i]);
                }
            }
        }
        Delay_mS(1000);
        HID_Disable();
    }

```

```

***** PM kod *****
/*
 * Project name:
 *   Uredjaj 1.0.0.0
 * Revision History:
 *   1.0.0.0 XBee veza radi;
 * Test configuration:
 *   MCU:          PIC18F2550
 *   Oscillator:   HS 20.000 MHz (USB osc. is raised with PLL to
48.000MHz)
 *   Ext. Modules: None
 *   SW:           mikroC v6.2
 * NOTES:
 */

unsigned int cekanje; //cekanje ~1ms

void interrupt(){
    cekanje++;
    INTCON = 0x20;
    if(USART_Data_Ready){UcitajUEEPROM();}
}

void UcitajUEEPROM(){
    int i, data;
    for(i=0; i<16; i++){
        data = USART_Read();
        Eeprom_Write(i, data);
    }
}

void Init_Main()
{
    T0CON = 0b11000011;
    INTCON = 0b11100000;
    PIE1 = 0;
    PIE2 = 0;
    PIR1 = 0;
    PIR2 = 0;

    ADCON1 = 0x0F;

    PWM1_Init(5000);

    TRISA = 0x00;
    TRISB = 0x00;
    TRISC = 0xFF;

    LATA = 0;
    PORTB = 0;
    LATC = 0;
}

void main()
{

```

```

char i;
int brojac;
Init_Main();
int eprom[16];
int dozvola;
int mod, brzina;
Usart_Init(9600);
Delay_ms(1000);

PWM1_Start();

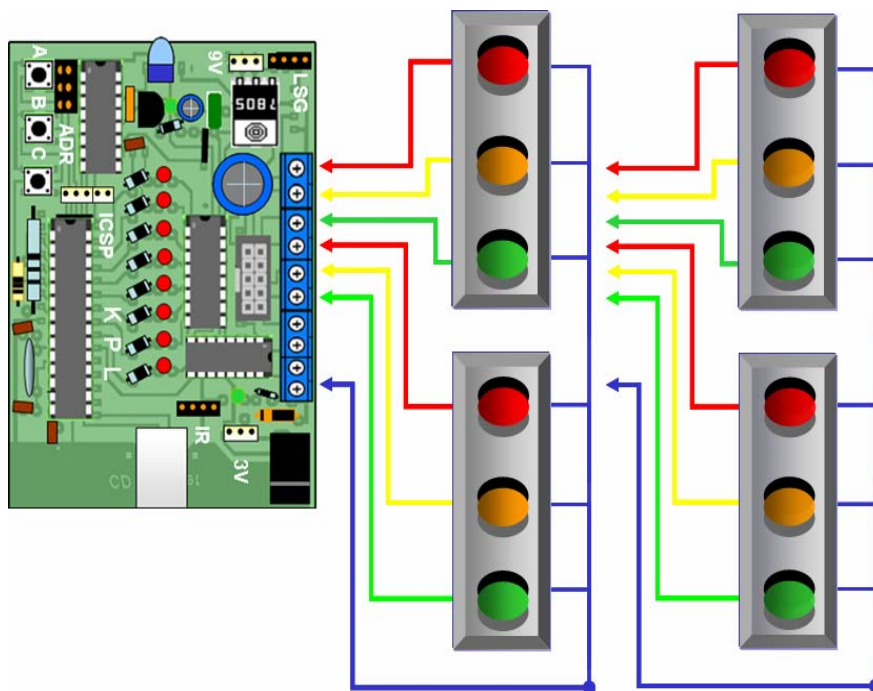
while (1){
    dozvola = Eeprom_Read(0);
    if (dozvola == 1){
        for(i=0; i<16; i++){
            eprom[i] = EEeprom_Read(i);
        }
        for(i=1; i<16; i++){
            if(i==1||i==3||i==5||i==7||i==9||i==11||i==13){
                mod = eprom[i];
                switch(mod){
                    case 0:PORTB = 0b00000000;
                        break;
                    case 1:PORTB = 0b00000010;
                        break;
                    case 2:PORTB = 0b00000001;
                        break;
                    case 3:PORTB = 0b00000011;
                        break;
                }
            }
            if(i==2||i==4||i==6||i==8||i==10||i==12||i==14){
                brzina = eprom[i];
                switch(brzina){
                    case 0:PWM1_Change_Duty(128);
                        break;
                    case 1:PWM1_Change_Duty(140);
                        break;
                    case 2:PWM1_Change_Duty(152);
                        break;
                    case 3:PWM1_Change_Duty(164);
                        break;
                    case 4:PWM1_Change_Duty(176);
                        break;
                    case 5:PWM1_Change_Duty(188);
                        break;
                    case 6:PWM1_Change_Duty(200);
                        break;
                    case 7:PWM1_Change_Duty(212);
                        break;
                    case 8:PWM1_Change_Duty(224);
                        break;
                    case 9:PWM1_Change_Duty(238);
                        break;
                }
            }
        }
    }
}

```

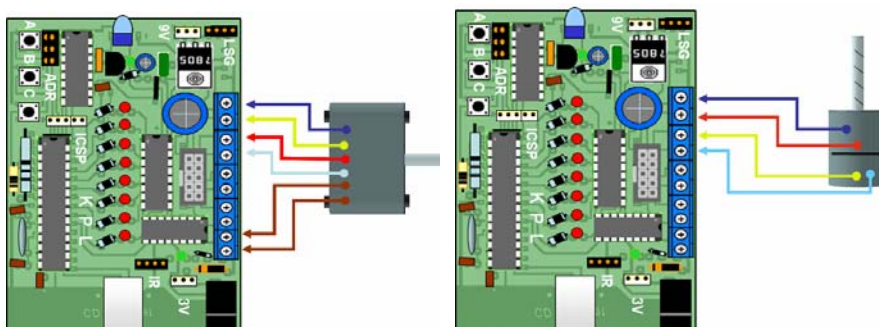
```
        case 10: PWM1_Change_Duty(250);  
                break;  
        }  
        Delay_ms(3000);  
    }  
}  
}
```

A 4.3.9 Priključenje opcionih elemenata

Priključenje eksternih elemenata na PLC modul moguć je kako sa aspekta korisnika koji upotrebljava gotove modele tako i od strane korisnika koji želi sam da razvija i projektuje nove modele. Povezivanje opcionih elemenata kao što je svetlosna semafora regulacija ili koračni motor, prikazani su na slikama 4.3.8.1 i 4.3.8.2.



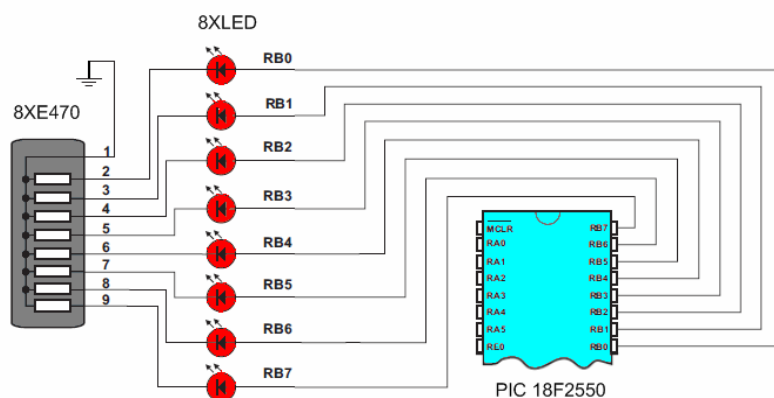
Slika 4.3.8.1: Povezivanje svetlosne semaforske regulacije na PLC izlaze



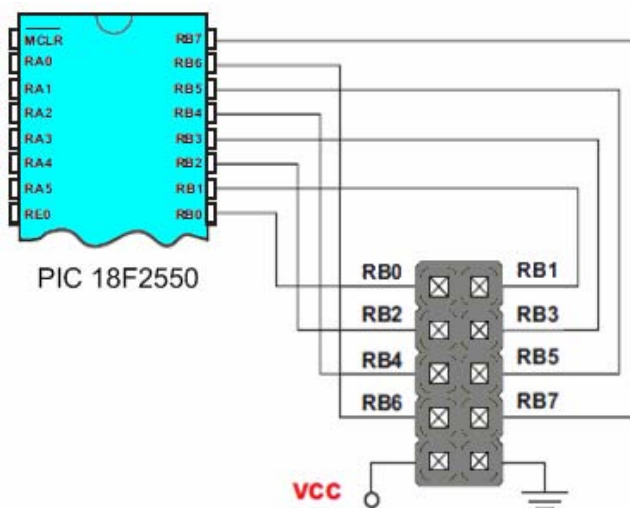
Slika 4.3.8.1: Povezivanje dva tipa koračnog-steper motora na PLC izlaze

A 4.3.10 Povezivanje LED grupe i konektora

Povezivanje osam LED indikatora sa izlazima mikrokontrolera i otporničkim mostom (8xE470) kao i povezivanje sa konektorom prikazano je na slikama.



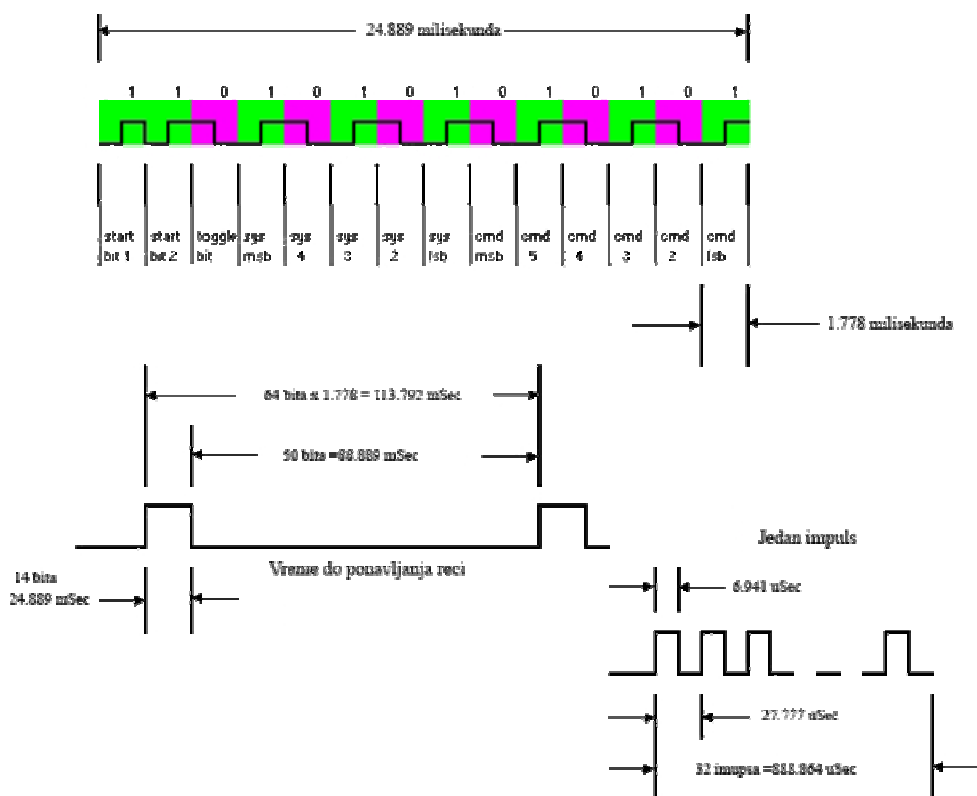
Slika 4.3.8.b.1: Šema povezivanja LED dioda i otpornika sa mikrokontrolerom



Slika 4.3.8.b.2: Šema povezivanja konektora sa mikrokontrolerom

A 4.4.1 Philips RC5 kodiranje

Philips RC5 kodiranje je *de facto* standard za komunikaciju između TV uređaja i daljinskog upravljača.



Iz prikazane slike vidi se da **RC5** kod šalje **14-bitne** reči pri čemu je njena struktura sledeća:

- dva startna bita
- jedan kontrolni bit (toggle bit)
- pet adresnih bita uređaja(sys)
- šest bita komande(cmd)

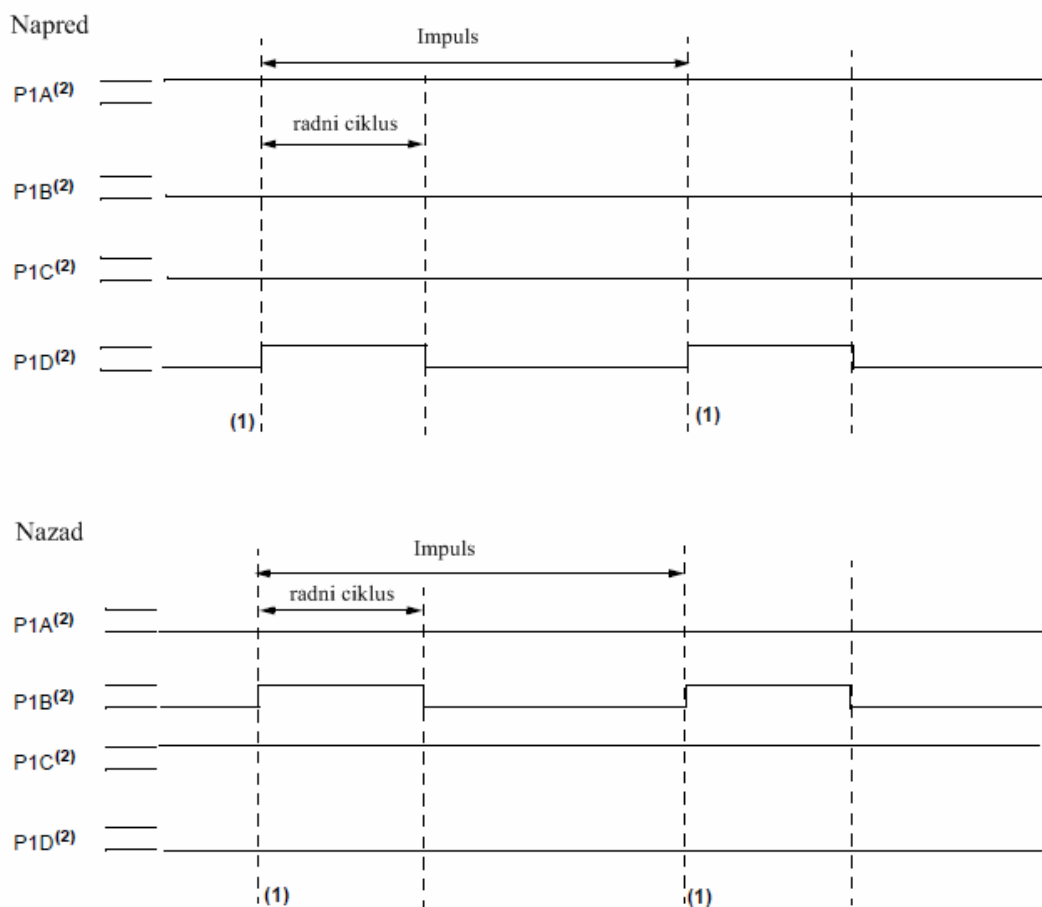
Priložena tabela prikazuje RC5 kodove koji su korišćeni prilikom pisanja mikrokoda za PM.

RC-5 Address	Device
\$00 – 0	TV1
\$01 – 1	TV2
\$02 – 2	Teletext
\$03 – 3	Video
\$04 - 4	LV1
\$05 - 5	VCR1
\$06 - 6	VCR2
\$07 - 7	Experimental
\$08 - 8	Sat1
\$09 - 9	Camera
\$0A - 10	Sat2
\$0B - 11	
\$0C - 12	CDV
\$0D - 13	Camcorder
\$0E - 14	
\$0F - 15	
\$10 - 16	Pre-amp
\$11 - 17	Tuner
\$12 - 18	Recorder1
\$13 - 19	Pre-amp
\$14 - 20	CD Player
\$15 - 21	Phono
\$16 - 22	SatA
\$17 - 23	Recorder2
\$18 - 24	
\$19 - 25	
\$1A - 26	CDR
\$1B - 27	
\$1C - 28	
\$1D - 29	Lighting
\$1E - 30	Lighting
\$1F - 31	Phone

RC-5 Command	TV Command	VCR Command
\$00 - 0	0	0
\$01 - 1	1	1
\$02 - 2	2	2
\$03 - 3	3	3
\$04 - 4	4	4
\$05 - 5	5	5
\$06 - 6	6	6
\$07 - 7	7	7
\$08 - 8	8	8
\$09 - 9	9	9
\$0A - 10	-/--	-/--
\$0C - 12	Standby	Standby
\$0D - 13	Mute	
\$10 - 16	Volume +	
\$11 - 17	Volume -	
\$12 - 18	Brightness +	
\$13 - 19	Brightness -	
\$20 - 32	Program +	Program +
\$21 - 33	Program -	Program -
\$32 - 50		Fast Rewind
\$34 - 52		Fast Forward
\$35 - 53		Play
\$36 - 54		Stop
\$37 - 55		Recording

A 4.4.6 PWM signal

Kontrola elektromotora pomoću PWM signala je korišćena u projektu robo platforme. Deo vremenskog grafikona i signali prikazani su na slici 4.4.6.1.



Na slici 4.4.6.1 izlazni signal je prikazan kao aktivan, jedan (eng. high).

A 4.5 Programatori

Programatori P8048 i P8076 proizvodi su Belgiske firme Velleman. Koristili su za programiranje i testiranje nekoliko mikrokontrolera. Na slici 4.5.1 prikazan je programator, a razvojna ploča-programator je na slici 4.5.2.

Programator P8048

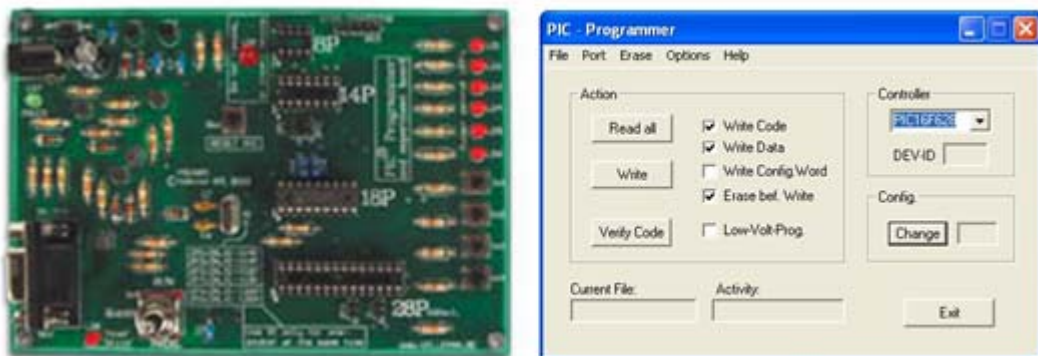


Slika 4.5.1 Programator P8076

Specifikacije programatora P8076:

- izvor napajanja: 15V DC, min. 300mA adapter
- serijski port: 9 p. SUBD
- dimenzije: 132x65x20mm / 5.23 x 2.57 x 0.8"
- podržava sledeće mikrokontrolere:
 - o PIC10F200
 - o PIC12C508A, PIC12CE518
 - o PIC12F629, PIC12F675
 - o PIC16F54
 - o PIC16F84A
 - o PIC16F870, PIC16F871, PIC16F872, PIC16F873, PIC16F874
 - o PIC16F876, PIC16F877
 - o PIC16F627, PIC16F627A, PIC16F628, PIC16F628A
 - o PIC16F648A, PIC16F630, PIC16F676
 - o PIC18F2550,...

Programator-razvojna ploča P8048



Slika 4.5.2 Programator-razvojna ploča P8048 i ekran pratećeg programa

Specifikacije programatora P8048:

- izvor napajanja: 12 or 15V DC, min. 300mA,
- dimenzije: 145 x 100mm / 5.75 x 4"
- podržava sledeće mikrokontrolere:
 - o PIC12F629, PIC12F675
 - o PIC16C83, PIC16CR83, PIC16F83, PIC16C84, PIC16CR84, PIC16F84, PIC16F84A
 - o PIC16F870, PIC16F871, PIC16F872, PIC16F873, PIC16F873A, PIC16F874, PIC16F874A, PIC16F876, PIC16F876A, PIC16F877(A)(ICSP only)
 - o PIC16F627, PIC16F627A, PIC16F628, PIC16F628A, PIC16F648A
 - o PICF630, PIC16F676
 - o PIC16F818, PIC16F819

A 4.6 Merna oprema

Merna oprema koja je korišćena za razvoj PLC-a i PM-a prikazana je u ovom prilogu. Obrtometar je korišćen za merenje brzine okretanja osovine reduktora. Merena je i brzina kretanja robo platforme.

Osciloskop MSO5022



Specifikacije:

Dva kanala uz propusnost od 25MHz,
Osmobitna rezolucija,
16 kanalni logički analajzer,
Rekord dužine od 5.000 za svaki kanal,
Uzorkovanje 100ms / s za svaki kanal,
Čitanje sa kursora,
Pet automatskih merenja funkcija,
Kolor LCD ekran visoke rezolucije i visokog kontrasta sa podesivim pozadinskim svetlom,
KomunikaciJe RS-232 ili USB porta.

Obrtometar Mastech M2234A



Specifikacije:

Merni opseg: 5 ~ 99999RPM $\pm$ 0.05% ,
Vreme očitavanja: 1 sec. (over 60RPM),
Selekcija test opsega: Automatic,
Memorija: MAX, MIN,
Detekcija: 50 ~ 150mm / 2 ~ 6 INCH (MAX. 300mm / 12 INCH),
Ekran / LCD veličina: 99999/18.5mm x 48mm,
Dimenzije: 72mm x 190mm x 38mm,
Težina: 250g.

Multimetar Mastech MS 8226T



Specifikacije:

DCV:0-400mV-4V-40V-400V-1000V $\pm$ 0.5%

ACV:0-400mV-4V-40V- $\pm$ 0.8%400V-700V $\pm$ 1.0%

DCA:0-400uA-4,000uA $\pm$ 1.2%40mA-400mA-10A $\pm$ 2.0%

ACA:0-400uA-4,000uA $\pm$ 1.5%-10A $\pm$ 3.0%

Frekvencija: 5Hz- 50 KHz,50KHz- 5MHz

/Otpornost :0-400-4k-40k-400k-4M $\pm$ 1.2%-40Mohm $\pm$ 2.0%,

CAP:0-5nF/50nF/500nF/5uF/50uF/100uF $\pm$ 2.0%

Temperatura: u Celziusima .-20°C-1,000°C $\pm$ 3.0%;

Relativna vrednost merenja,

Ručno /Auto selekcija,

RS232 serijski izlaz,

Indikator opterećenja,

Softver priložen,

Programsko uzimanje uzoraka u vreme: 3 puta i sekundi,

Test dioda: 10mA,6.0V: Svetlo za rad u mraku: Baterija: 9Vx1, 6F22.

Stabilisan izvor napajanja i struje Velleman PS3003



Specifikacije:

Izlazni napon: 0-30V podesivo,

Izlazna struja: 0-3A podesivo,

Varijacije napona: 1mV,

Dimenzije: 130 x 215 x 150mm,

Težina: 4.9kg.

Laser SZ 2mW



Specifikacije:

Izlazni snaga 2mW,

Napajanje 9V stabilisano,

Vertikalna polarizacija,

Dimenzije: 98 x 37 x 98mm,

Težina: 357g.

A 4.8 RoHS preporuke

RoHS skraćena verzija zakona

1. Ograničavanje upotrebe određenih opasnih supstanci u električnoj i elektronskoj oprema propisi 20081 ("RoHS Pravilnik") sprovodi odredbe Evropskog parlamenta i Direktive Saveta za ograničenja upotrebe određenih opasnih supstanci u električnoj i elektronskim uređajima (" RoHS direktiva "), sa izmenama i dopunama.

2. RoHS Propisi su zabranili puštanje na tržište EU nove električne i elektronske opreme (EEE) koji sadrži više od dopuštenih nivoa olova, kadmijuma, žive i šestovalantnog hroma od 1. jula 2006. Postoji veliki broj aplikacija za izuzeće ove supstance.

3. Od 1. jula 2006, proizvođači trebaju da osiguraju da njihovi proizvodi, komponente i podsklopovi takvih proizvoda – budu u skladu sa zahtevima Propisa od dana pojavljivanja na jedinstvenom tržištu. Propisi takođe imaju uticaj na one koji EEE uvoze u Evropsku uniju na profesionalnim osnovama, onima koji izvoze EEE u druge zemlje članice i one koji rebrand EEE drugih proizvođača kao svoju.

4. Ovi propisi ne utiču na primenu postojećih zakonskih uslova za EEE, uključujući i one u pogledu bezbednosti, zaštite zdravlja, postojeće transportne uslove ili odredbe o opasnom otpadu. Drugim rečima, postojeće zakonodavstvo na EEE i opasne materije mora se poštovati.

Na slici 4.8.1. prikazane su neki od nalepnica koje se koriste da bi se naznačilo da uređaj poštuje RoHS preporuke.



Slika 4.8.1: Nalepnice kojima se označavaju proizvodi koji su u RoHS standardu

A 5.10.2 Energetska grupa, baterije i kućišta



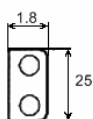
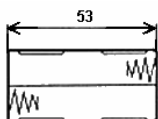
Slika 5.10.2.1: Baterije koje se koriste za robo platformu AAA, AA i 6F22



Slika 5.10.2.1: Dimenzije i izgled plastičnog kućišta za baterije tipa HR6 ili AA.



Slika 5.10.2.2: Izgled priključka za baterije tipa 6F22 i baterija sa priključkom



Slika 5.10.2.3: Izgled priključka za baterije tipa AAA i baterije u kućištu

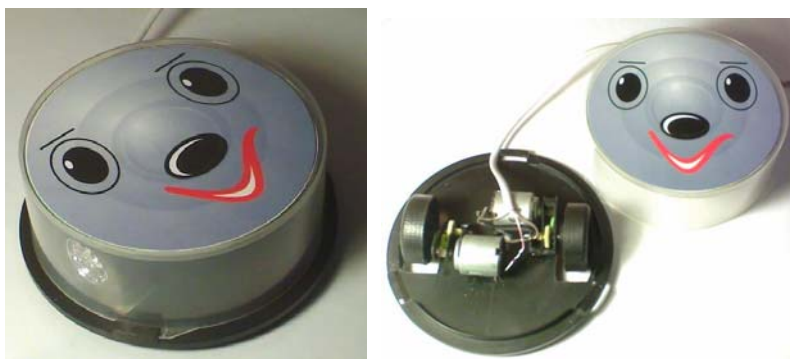
A 5.12 Oznake veličina i njihovo značenje

U robotici se veoma često koriste oznake koje su date u priloženoj tabeli, gde je opisano i njihovo značenje.

Promenljive	Opis
(x, y)	Koordinate za poziciju robota.
θ	Orijentacija robota (u radijanima).
s	Brzina robota (uvek pozitivna)
v	Linearna brzina robota (u pozitivnom pravcu napred)
A	Linearno ubrzanje robota
ω	Rotaciona brzina robota
α	Rotaciono ubrzanje robota
t	Vreme promenljive
$(x_i, y_i, \theta_i, v_i, \omega_i, t_i)$	Skup parametara daje položaj robota - pozicija, orijentacija, brzina, rotaciona brzina i vreme
$\hat{v}$	Vektor brzine (kombinuje brzinu i orijentaciju).
$x(t), y(t)$	Robot pozicija, x i y koordinate u funkciji vremena.
$s(t)$	Brzina robota kao funkcija vremena.
$a(t)$	Ubrzanje robota kao funkcija vremena.
$\theta(t)$	Orijentacija robota kao funkcija vremena.
$\omega(t)$	Rotaciona brzina robota kao funkcija vremena.
L	Dužine puta

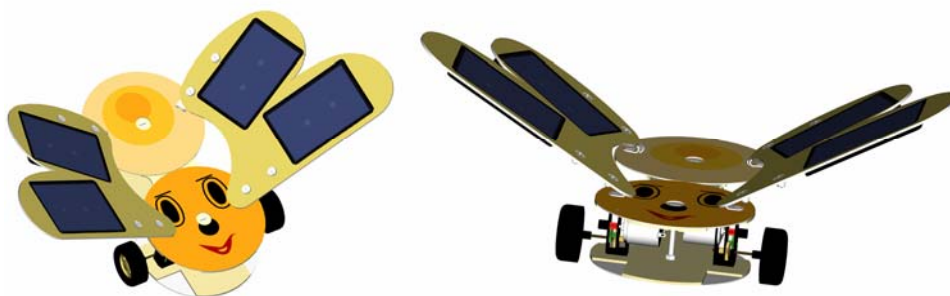
A 5.13 Modifikacije robo platforme

Modifikacija koja je prikazana na slici 5.13.1, Robika, rad je učenika šestog razreda Nemanje Stanković iz osnovne škole „Jovan Mijodragović“, Beograd. Za bazu robo platforme učenik je koristio plastičnu kutiju za CD diskove. Motorna grupa sa reduktorima i nalepnica je iz CD Robi kompleta.



Slika 5.13.1: Robika

Model “Pčelice” koji je urađen u osnovnoj školi “Svetozar Marković Toza” iz Novog Sada prikazan je na slici 5.13.2. Profesor tehničkog obrazovanja Nikola Čudić sa učenicima osmog razreda realizovao je “Pčelicu” (na robo platformi) koja koristi solarne panele da pune baterije i tako pokreće elektromotore robota. Rad je nagrađen zlatnom plaketom (Arhimedes 2008, Moskva).



Slika 5.13.2: Pčelica

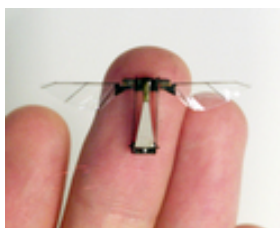
A 5.3 Biološki uzori

Puno mehaničkih sklopova inspirisano je biološkim entitetima. Najpoznatiji helikopter konstruisan je po uzoru na insekta Vilin konjic, slika 5.3.1.



Slika 5.3.1: Helikopter inspirisan biološkim entitetom

Insekti su bili uzor i kolegama sa Hardwara koji su konstruisali mehaničku osu.



Slika 5.3.2: Mehanički insekt

A 5.3.1 Tipovi kretanja

Mi smo pomenuli robote koji za svoje kretanje koriste točkove. Postoje i drugi oblici-načini kretanja:

- zmijoliko,
- letenje,
- penjanje,
- plivanje.



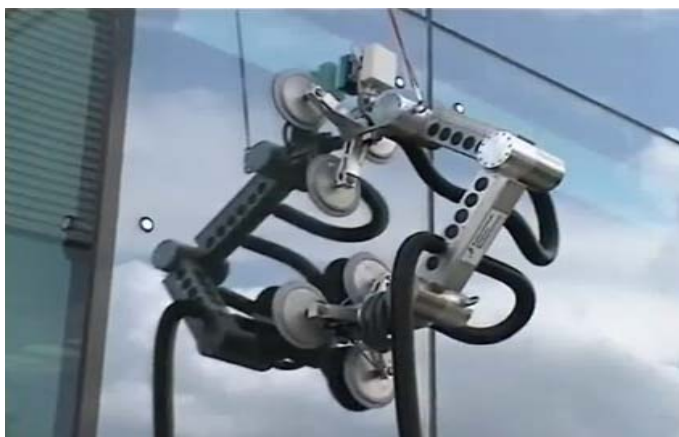
Slika 5.3.1: Primeri zmijolikog kretanja



Slika 5.3.2: Leteći pingvin, Hannover Messe 2009



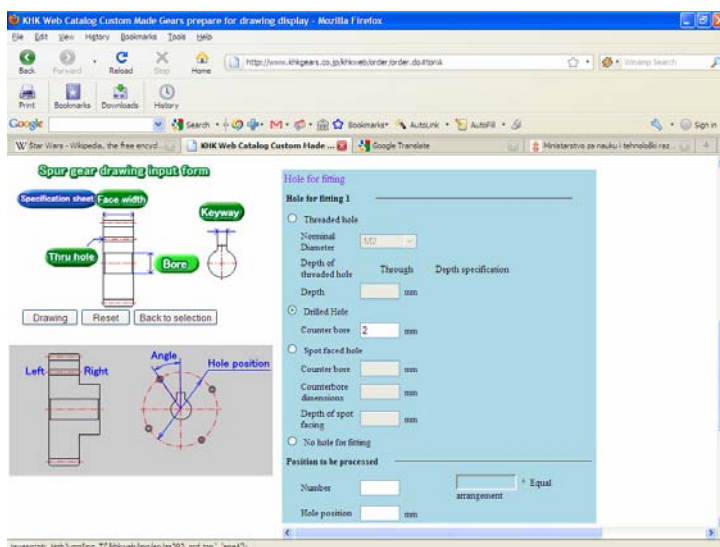
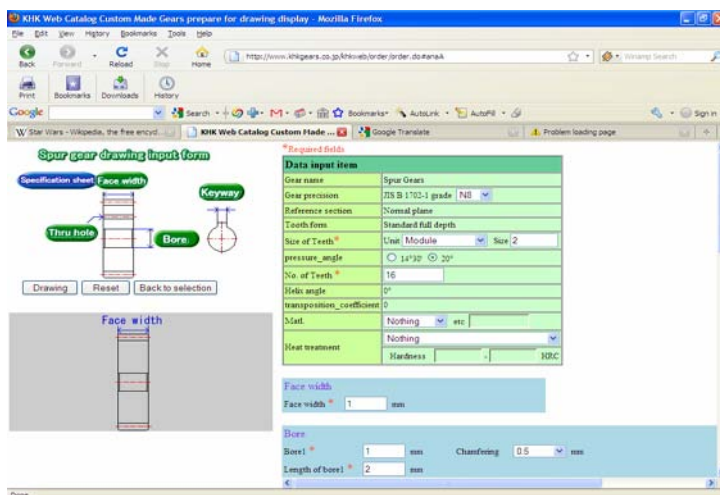
Slika 5.3.3: Robot meduza, (eng. Jellyfish)



Slika 5.3.4: Robot penjač, perač stakla, (eng. Clean ANT)

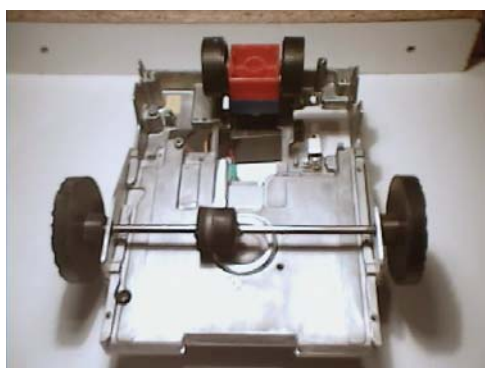
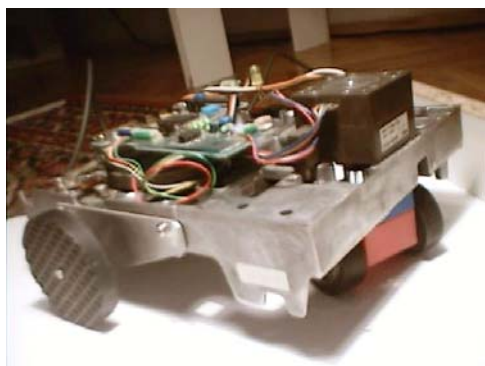
A 5.7.1 Projektovanje zupčanika

Besplatni programi za projektovanje zupčanika mogu se pronaći na mnogo Internet lokacija. Jedna od lokacija (www.khkgears.co.jp/khkweb) ima interaktivnu stranu. Unošenjem odgovarajućih parametara dizajniramo zupčanik. Odmah dobijamo 2D crtež koji može da se koristi u pravljenju alata za plastično izlivanje zupčanika.



A 5.8.2 Prototipovi

Prikazani prototipovi bili su osnova za realizaciju robo platforme opisane u ovom radu.



Puno eksperimenata urađeno je u mehaničkom delu konstrukcije. Probe su se uglavnom odnosile na izbor elektromotora, točkova i reduktora.



Slika 5.8.2.1: Eksperimentalne verzije platforme iz 2006. godine

Prvi kompleti



Slika 5.8.2.2: Prve verzije kompleta iz 2007. godine



Slika 5.8.2.3: Verzija 05 kompleta iz 2008. godine



Slika 5.8.2.3: Verzija 08 kompleta iz 2008. godine

Spisak delova robo platforme

Naziv dela	kom.
Motor sa reduktorom	2
Točkovi	2
Ukrasna traka 0.38m	2
CD ploče	2
Nalepnica CD Robi	1
CD šablon	1
USB kabl	1
PLC V0310	1
PM V 0310	1
Kućište za AA baterije	2
Priključak za 9V bateriju	2
Instalacioni CD	1
Uputstvo za sastavljanje	1
Kutija za pakovanje delova	1

A 6.3 Vežba za čas o primeni interfejsa

U prilogu je vežba koja je izvedena prvi put 16.09.2008. god u osnovnoj školi „Svetozar Marković Toza”. Osnov za vežbu bio je PLC u prvoj verziji.

SITUACIONA PRIPREMA ZA ČAS

ŠKOLA: „SVETOZAR MARKOVIĆ TOZA“ – NOVI SAD

Odeljenje: VIII3 (2,4,5)

Posebne karakteristike odeljenja:

Nastavnik: Danica Gavrilović

Predmet: Tehničko obrazovanje

Nastavna tema: informatičke tehnologije **Redni broj NT:** 1

Nastavna jedinica: Interfejs **Redni broj NJ:** 5

Tip časa: kombinovani (obrađivanje, vežba) **Čas (r.br.):** 5

Datum:

Ciljevi nastavne teme/nastavne jedinice:

interfejs:

obrazovni materijalni: razumevanje pojmova i sticanje znanja vezanih za **prirodu i namenu interfejsa**; analogno-digitalno, pretvarači signala (A/D i D/A), upravljanje pomoću računara (povratna i nepovratna sprega);

obrazovni funkcionalni: razvoj kognitivnog tehničkog mišljenja;

vaspitni: razvoj tehničke kulture, vaspitanje za promene

Očekivani efekti (ishodi) nastavne jedinice:

- Učenik razume izloženo gradivo, zna prirodu, namenu i primenu

Organizacioni elementi:

Nastavne metode: verbalna dijaloška; monološka; ilustraciona; demonstraciona, **vežba**

Organizacioni oblici nastave: frontalni; grupni, individualni

Aktivirani oblici učenja: smisleno verbalno receptivno/ kooperativno (nastavnik-učenik), smisleno praktično

Nastavna sredstva:

radni materijal: prezentacija, interfejs, CD Robi

tehničko tehnološka pomagala: računar, projektor

ostala sredstva:

Mesto održavanja časa: kabinet TO (računarska učionica)

Literatura - za učenike: udžbenik za tehničko obrazovanje za 8. razred

za nastavnike: udžbenik za tehničko obrazovanje za 8. razred;

Računarstvo i informatika, Slobodan B. Vujić

interakcija sa drugim predmetima:

interakcija sa drugim temama:

Aktivnosti:

Planirane aktivnosti učenika:

Učenici iznose svoja saznanja, iskustva i mišljenja vezana za elemente gradiva koje se obrađuje; prate izlaganje; tokom vežbe proveravaju funkciju interfejsa za kontrolu kretanja robota (upravljanje sa tastature – strelice) i, u okviru gotovog softvera, prave jednostavniji program kretanja; za zadati decimalni broj (slučajno odabran sa liste brojeva, do 255) iznalaze binarni ekvivalent (takmičenje slučajno formiranih tročlanih grupa) određujući koje će diode na interfejsu svetleti – proveru ispravnosti rešenja primenom interfejs softvera “**Diode**” .

Planirane aktivnosti nastavnika:

Postavlja pitanja i podstiče učenike na razgovor, usmerava ih ka odgovorima, obrazlaže, ponavlja i objedinjuje zaključke učenika, izlaže gradivo, demonstrira.

Tajming (vremenska organizacija časa):

5` - uvod

15` - obrada

15` - vežba: **Koje diode svetle?** – binarni ekvivalent zadatog decimalnog broja

5` - vežba upravljanja robotom

5` - zaključci

Evaluacija nastavnog časa

Evaluacija postignuća učenika (efekti):

Procena stepena razumevanja i analiza rezultata vežbe.

Evaluacija procesa:

Analiza postignuća učenika – korekcije i usmeravanja.

Interfejs je elektronski uređaj posebne namene, sa odgovarajućim softverom, koji omogućava upravljanje uređajem, sistemom ili procesom pomoću računara .

Pomoću računara moguće je upravljati svim fizičkim pojavama koje se mogu meriti elektronskim putem.

Računar preko interfejsa upućuje upravljački signal ka uređaju, sistemu ili procesu.

Upravljanje računarom omogućuje visok stepen automatizacije i racionalizacije procesa, doprinosi i kontroliše kvalitet procesa, zamenjuje ljude u uslovima nepovoljnim po njihovo zdravlje.

PC računari imaju **programibilne elektronske module** koji mogu vršiti funkciju ulaza ili izlaza (**paralelne – LPT i serijske – COM portove**) preko kojih dobijaju informacije o upravljanoj procesu ili prosleđuju upravljački signal.

Informacije su često u obliku analognih signala koji se, pre ulaska u računar, u **analogno/digitalnom pretvaraču** pretvaraju u digitalni signal razumljiv računaru (niz nula i jedinica – nepostojanje ili postojanje jednosmernog napona).

Upravljački signal se transformiše u obrnutom smeru.

Transformacija signala **iz analogog u digitalni oblik** podrazumeva određenu grešku.

Ukoliko se odstupanje zadatih i ostvarenih vrednosti nalazi u okvirima prihvatljive greške, upravljanje ne mora imati povratnu spregu. Kod strogih zahteva za jednakošću zadatih i ostvarenih vrednosti, **povratna sprega** je neizbežna.

Vežba 1: Sastavljanje CD Robi modela

Uvod:

U ovoj vežbi predviđeno je da učenik sastavi CD Robi model od delova iz priloženog kompleta. Predviđeno vreme za sastavljanje robo platforme je jedan školski čas.

Priprema vežbe:

Za realizaciju predloženog programa od materijala neophodan je CD Robi komplet, obične makaze i super lepak. Predhodno bi bilo dobro prikazati učenicima sastavljen CD Robi model i kako funkcioniše. Slike i video materijal nalaze se na pratećem CD-u.

Učenike bi trebalo podeliti u grupe od po tri učenika na jedan CD Robi komplet. Broj učenika u grupi zavisi od broja raspoloživih CD Robi kompleta u školi.

Vežba:

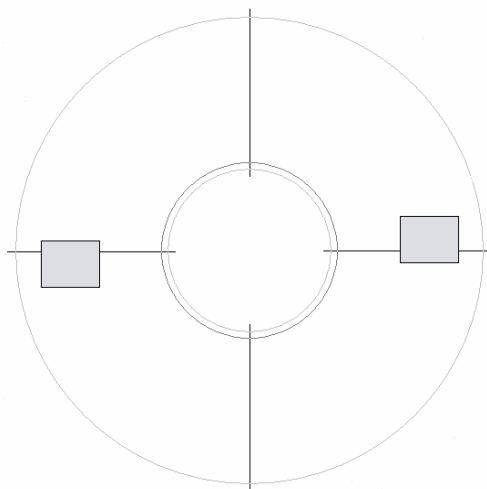
Postavićemo učenicima nekoliko pitanja:

- Da li znate šta je robot?
- Koje funkcije robot treba da ima?

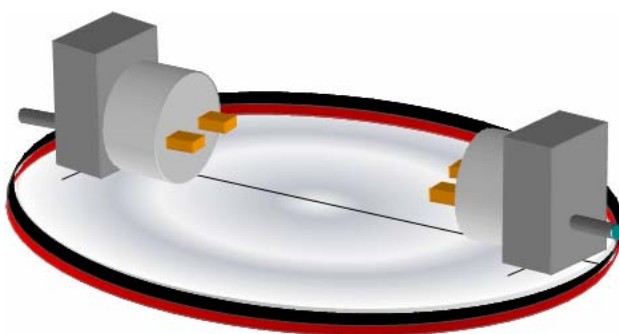
Za odgovore učenika ostavićemo pet minuta. Na kraju vežbe ostavićemo pet do deset minuta da učenici prodiskutuju o svojim odgovorima.

Kada se završi sa odgovorima na postavljena pitanja pristupićemo detaljnom opisu vežbe. Na priloženom Cd-u nalazi se fajl sa imenom ***Sklapanje CD Robi modela.ppt***. Ova prezentacija pokazuje učenicima, korak po korak, kako se sklapa CD robi model.

1. Vežbu počinjemo tako što jednu od CD ploča postavite na priloženi šablon. To je potrebno da bi zalepili reduktore sa motorima na tačno predviđena mesta.

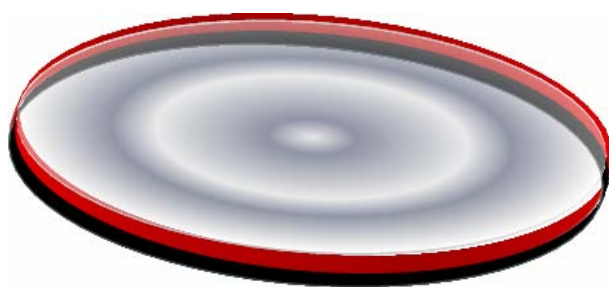


Slika 1.1: priprema CD ploče za lepljenje motora



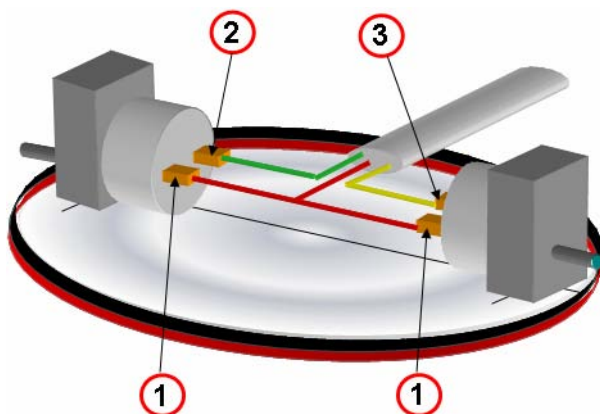
Slika 3.2: prikaz postavljanja motora sa reduktorima

2. Obe CD ploče oblepite po rubu sa ukrasnom trakom koja je sastavni deo kompleta.



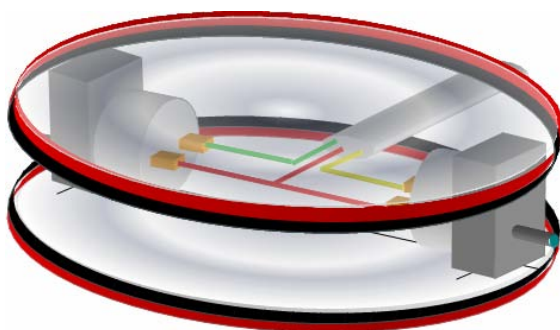
Slika 2.1: lepljenje ukrasne trake na obe CD ploče

3. Sada sledi povezivanje oba motora sa kablom. Kleme na kablju obeležene su brojevima i treba da se priključe na motore prema crtežu kao što je prikazano na slici 4.1. Kabl zalepiti za kraj ploče.



Slika 4.1: povezivanje motora sa kablom

4. Kada su motori zalepljeni i povezani postavljamo drugu ploču kao što je prikazano na slici 5.1.



Slika 5.1: dodavanje druge CD ploče

5. Na redu je lepljenje CD Robi nalepnice na gornju ploču, slika 6.1



Slika 6.1: lepljenje CD Robi nalepnice na gornju ploču

6. Stavljanjem točkova završava se sklapanje CD Robija. Vodite računa da točkovi ne dodiruju CD ploče i da mogu lako da se okreću.



Slika 7.1: dodavanjem točkova CD Robi je završen

A 6.6 Nagrade

CD Robi komplet izlagan je na međunarodnim i domaćim sajmovima intelektualne svojine. Nagrađivan je zlatnim medaljama:

- XI Moscow International Salon of Industrial Property „ARCHIMEDES 2008“..
- Internacionalni salon industrijske svojine „INOS 2008“, Banja Luka, RS,
- EXPO 2008, Međunarodni sajam tehnike i tehničkih dostignuća, Beograd, Srbija,
- INVETICA 2008, Iasi ,Romania,
- Tesla Fest 2008, Novi Sad, Srbija,
- Tesla Fest 2009, Novi Sad, Srbija,
- Beogradski Sajam učila 2009, Beograd, Srbija.



Slika 6.6.1: Zlatne medalje sa domaćih i međunarodnih manifestacija



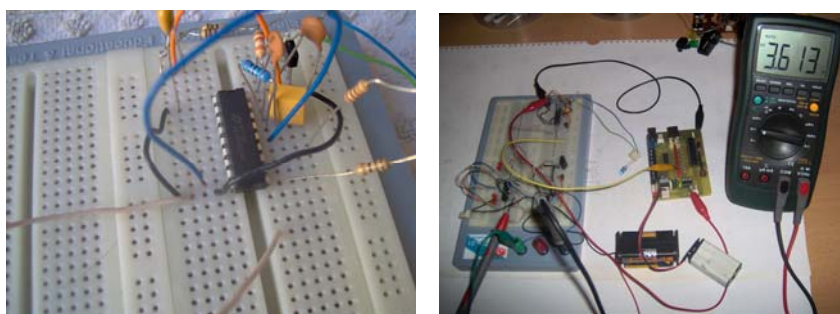
Slika 6.6.2: Diploma sa Moskovskog sajma ARHIMEDES

A 7.3.1 Testiranje platforme i elektronike

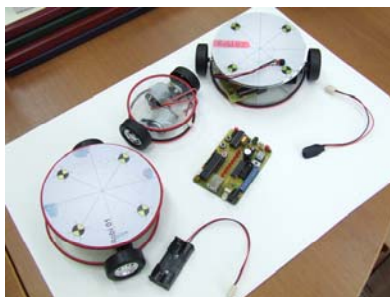
Testiranje robotizovane platforme i pripadajuće elektronike prikazano je na slikama koje slede.



Slika 7.3.1.1: Testni model prilikom testiranja brzine kretanja robo platforme.



Slika 7.3.1.2: Projektovanje i testiranje PLC-a i PM-a.



Slika 7.3.1.3: Pripremljeni testni modeli robo platforme



Slika 7.3.1.4: Robo platforma slikana posle testa „prolaska kroz vatru“.



Slika 7.3.1.5: Prolazak robo platforme kroz vatru



Slika 7.3.1.6: Točak robo platforme posle testa „prolaska kroz vatru“.



Slika 7.3.1.6: Platforma odmah po vađenju iz zamrzivača

A 7.4 Specifikacije robo platforme

U priloženoj tabeli dat je pregled specifikacija robotizovane platforme.

Specifikacije CD Robi platforme	
Elementi	Tehničke informacije
Kretanje	Diferencijalno, 2 DC motora sa četkicama i encoderom, dva točka
Brzina	Max: 0.255m/s
Senzori	4 Infra-red senzora
Komunikacija	IR, Bluetut 2.0
Kontrolni modul	Procesor 18F2550, IR-HT12D, bluetut-MRF24J40
Napajanje	1x9V (6F22), 2x1.5V (AA ili AAA)
Autonomija	2 sata neprekidnog kretanja
Dimenzije	Prečnik: 120/163mm, Visina: 46mm
Težina platforme	432 g
Nosivost	500 g
Max. težina vučnog elementa	1435g.