



**УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ  
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА**

---



Немања Ракићевић

**Реализација сензорског система и  
управљања кретањем робота према задатку  
EUROBOT 2011. у оквиру екипе MAXIMILIAN**

**ЗАВРШНИ РАД  
- Основне академске студије -**

Нови Сад, август 2011.



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА  
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

## КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, <b>РБР</b> :		
Идентификациони број, <b>ИБР</b> :		
Тип документације, <b>ТД</b> :		Монографска документација
Тип записа, <b>ТЗ</b> :		Текстуални штампани материјал
Врста рада, <b>ВР</b> :		Завршни (Bachelor) рад
Аутор, <b>АУ</b> :		Немања Ракићевић
Ментор, <b>МН</b> :		Проф. др Бранислав Боровац
Наслов рада, <b>НР</b> :		Реализација сензорког система и управљања кретањем робота према задатку EUROBOT 2011. у оквиру екипе MAXIMILIAN
Језик публикације, <b>ЈП</b> :		Српски / ћирилица
Језик извода, <b>ЈИ</b> :		Српски
Земља публикаовања, <b>ЗП</b> :		Република Србија
Уже географско подручје, <b>УГП</b> :		Војводина
Година, <b>ГО</b> :		2011.
Издавач, <b>ИЗ</b> :		Ауторски репринт
Место и адреса, <b>МА</b> :		Нови Сад; трг Доситеја Обрадовића 6
Физички опис рада, <b>ФО</b> : (поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)		6/39/4/2/19/0/0
Научна област, <b>НО</b> :		Мехатроника, роботика и аутоматизација
Научна дисциплина, <b>НД</b> :		Мехатроника, роботика и аутоматизација
Предметна одредница/Кључне речи, <b>ПО</b> :		Робот, управљање кретањем, сензор боје
<b>УДК</b>		
Чува се, <b>ЧУ</b> :		У библиотеци Факултета техничких наука, Нови Сад
Важна напомена, <b>ВН</b> :		
Извод, <b>ИЗ</b> :		У раду је представљен један од могућих начина реализације управљања кретањем робота, уз помоћ сензора. Коришћени су инфрацрвени сензори растојања и сензори боје који, у спреси са програмском подршком чине систем управљања роботом.
Датум прихватања теме, <b>ДП</b> :		18.07.2011.
Датум одбране, <b>ДО</b> :		09.08.2011.
Чланови комисије, <b>КО</b> :	Председник:	проф. др Ласло Нађ
	Члан:	проф. др Драган Шешлија
	Члан, ментор:	проф. др Бранислав Боровац
		Потпис ментора



UNIVERSITY OF NOVI SAD • FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES  
21000 NOVI SAD, Trg Dositeja Obradovića 6

## KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, <b>ANO</b> :	
Identification number, <b>INO</b> :	
Document type, <b>DT</b> :	Monographic publication
Type of record, <b>TR</b> :	Textual printed material
Contents code, <b>CC</b> :	Bachelor Thesis
Author, <b>AU</b> :	Nemanja Rakićević
Mentor, <b>MN</b> :	Branislav Borovac, Ph.D.
Title, <b>TI</b> :	Realization of the robot sensor system and motion control for the EUROBOT 2011. competition, within the team MAXIMILIAN
Language of text, <b>LT</b> :	Serbian
Language of abstract, <b>LA</b> :	Serbian
Country of publication, <b>CP</b> :	Republic of Serbia
Locality of publication, <b>LP</b> :	Vojvodina
Publication year, <b>PY</b> :	2011.
Publisher, <b>PB</b> :	Author's reprint
Publication place, <b>PP</b> :	Novi Sad, Dositeja Obradovica sq. 6
Physical description, <b>PD</b> : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	6/39/4/2/19/0/0
Scientific field, <b>SF</b> :	Mechatronics, robotics and automatization
Scientific discipline, <b>SD</b> :	Mechatronics, robotics and automatization
Subject/Key words, <b>S/KW</b> :	Robot, motion control, color sensor
<b>UC</b>	
Holding data, <b>HD</b> :	The Library of Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia
Note, <b>N</b> :	
Abstract, <b>AB</b> :	The thesis presents one possible realization of the robot motion control, using sensors. Infrared distance sensors and color sensors are used, which combined with the software, make the robot motion control system.
Accepted by the Scientific Board on, <b>ASB</b> :	18.07.2011.
Defended on, <b>DE</b> :	09.08.2011.
Defended Board, <b>DB</b> :	President: Laslo Nađ, Ph.D.
	Member: Dragan Šešlija, Ph.D.
	Member, Mentor: Branislav Borovac, Ph.D.
	Menthor's sign

## САДРЖАЈ

1. Увод.....	1
2. Концепт.....	3
3. Анализа могућих решења.....	8
3.1 Модул за детекцију препрека.....	8
3.1.1 Триангулација.....	8
3.1.2 Ултра-звучни сензори растојања.....	10
3.1.3 SHARP инфрацрвени сензори растојања.....	11
3.1.4 Инфрацрвени сензор са прекидним снопом.....	12
3.2 Модул за управљање кретањем.....	13
3.2.1 Одометрија.....	13
3.2.2 Триангулација.....	14
3.2.3 Корекција путање помоћу RGB сензора.....	15
3.2.4 Корекција путање помоћу пара фотоотпорник - LED.....	15
4. Имплементација.....	17
4.1 Имплементација система за детекцију објеката.....	17
4.2 Имплементација система за корекцију путање.....	21
4.3 Управљање кретањем.....	26
5. Верификација.....	30
6. Закључак.....	33
7. Литература.....	34

## СПИСАК СЛИКА

Слика 1.1	<i>Изглед такмичарског стола</i> .....	1
Слика 2.1	<i>Приказ главне путање</i> .....	4
Слика 2.2	<i>Модел задње и предње хватаљке</i> .....	5
Слика 2.3	<i>Механизам за подизање робота у „funny“ конфигурацију</i> .....	6
Слика 3.1	<i>Приказ карактеристичних углова при одређивању позиције пријемника у односу на фиксне „светионике“</i> .....	9
Слика 3.2	<i>Изглед УЗ сензора (лево) и начин повезивања (десно)</i> .....	10
Слика 3.3	<i>Принцип рада (лево) и дијаграм сигнала (десно)</i> .....	10
Слика 3.4	<i>Излазна карактеристика SHARP сензора</i> .....	11
Слика 3.5	<i>Изглед SHARP сензора</i> .....	11
Слика 3.6	<i>Сензор XUM0APSAL2 (лево) и рефлексивна трака (десно)</i> .....	12
Слика 4.1	<i>SHARP сензори на роботу. Предња страна (лево) и леви бок (десно)</i> ...	18
Слика 4.2	<i>Схема плочице за обраду сигнала са SHARP сензора</i> .....	19
Слика 4.3	<i>Могуће позиције јаких фигура унутар зелене зоне</i> .....	20
Слика 4.4	<i>Положај RGB сензора на роботу</i> .....	21
Слика 4.5	<i>Детаљнији приказ са ознакама постављеног сензора боје</i> .....	22
Слика 4.6	<i>Схема плочице за обраду сигнала са сензора боје</i> .....	23
Слика 4.7	<i>Алгоритам функције кретања</i> .....	25
Слика 4.8	<i>Главни алгоритам кретања</i> .....	27
Слика 4.9	<i>Приказ поступака при скретању робота у лево</i> .....	28

**СПИСАК ТАБЕЛА**

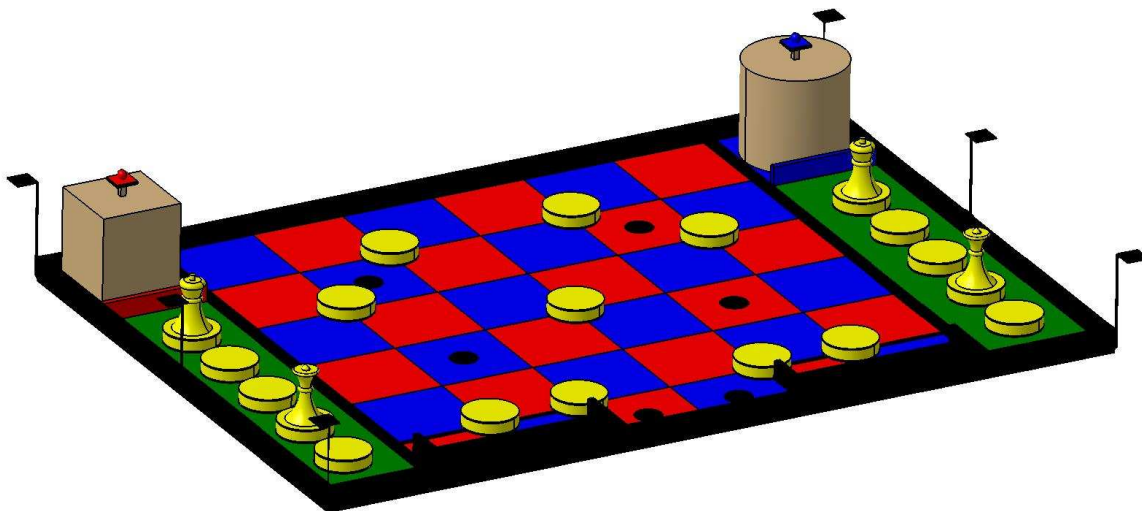
Табела 3.1	<i>Преглед метода и њихових карактеристика .....</i>	13
Табела 3.2	<i>Преглед метода и њихових карактеристика .....</i>	16

## СКРАЋЕНИЦЕ

<b>RGB</b>	- <i>Red Green Blue</i> , Црвено Зелено Плаво (тип сензора боје)
<b>LED</b>	- <i>Light Emitting Diode</i> , Светлећа диода
<b>GND</b>	- <i>Ground</i> , Ознака за сигнал на нултом потенцијалу
<b>А/Д</b>	- Аналогно – дигитална (конверзија)
<b>ПИД</b>	- <i>Пропорционално Интегрално Диференцијални</i> (регулатор)
<b>SMD</b>	- <i>Surface Mount Device</i> , Технологија израде електричних компоненти

## 1. Увод

Међународно такмичење у роботизи EUROBOT сваке године окупља људе различитих профила, али заједничких интересовања, да направе што бољег робота, који ће на креативан, занимљив и лукав начин успешно извршавати одређени задатак. Задатак за 2011. годину је слагање „шаховских“ фигура. Наиме, циљ је био постићи што већи број поена слажући доступне фигуре на одређен начин и на одговарајућа поља.



Слика 1.1 Изглед такмичарског стола

Због саме природе овогодишње теме и терена (Слика 1.1), врло је битна могућност довољно прецизног позиционирања робота, да би се фигура оставила унутар одговарајућег поља, као и могућност избегавања препрека, да не би дошло до колизије и губитка поена.



---

Задатак који овај рад обрађује је реализација сензорског система за управљање роботом за „EUROBOT 2011“ такмичење. У оквир задатка спада одабир одговарајућих сензора на основу спецификација, израда електричних плоча за њихово физичко повезивање и прилагођавање, као и програмска подршка за обраду и имплементацију добијених информација.

У наставку је представљен концепт функционисања робота, након чега је дата анализа могућих решења и теоријски принципи функционисања. Даље је објашњен начин имплементације, верификација реализованог решења и на крају је закључак са освртом на карактеристике решења.

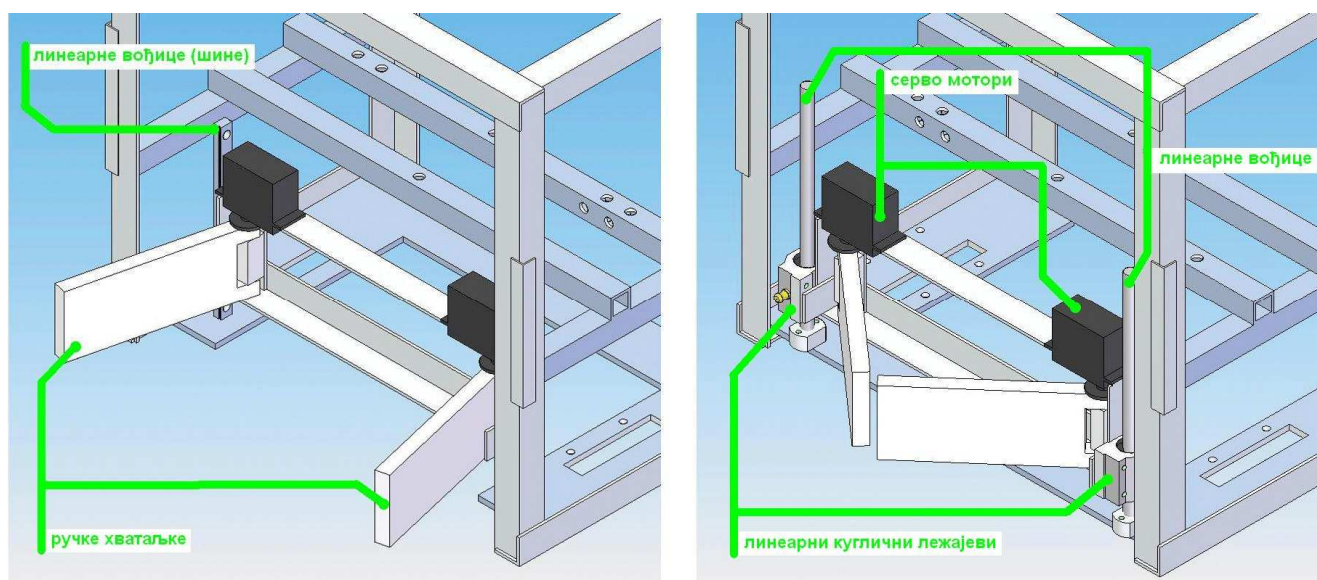
## 2. Концепт

Робот тима „Maximilian“ је замишљен тако да освоји што више поена на најједноставнији начин. То остварује формирањем две куле (два пешака један на другом и краљ или краљица (у даљем тексту - јака фигура) одозго), од којих једна иде на обично а друга на бонус поље; један пешак се евентуално поставља на сигурно поље и меч се завршава у тзв. „funny“ конфигурацији.

Целокупна стратегија се састоји од главне путање коју робот треба да пређе, са различитим процедурама које се извршавају на одређеним местима, где се купе односно остављају фигуре (Слика 2.1). Главна путања омогућава да робот, идући по линији, обиђе своју половину стола пролазећи кроз све тачке од интереса и заврши у почетној позицији где одрађује „funny“ конфигурацију. Поред главне путање која се описује, такође се мора водити рачуна о физичким условима и позицији на терену, као и о фиксним и покретним препрекама. Као помоћ за избегавање овог проблема, уведени су додатни сензорски модули, чији се излази обрађују и користе као подршка при главном кретању.

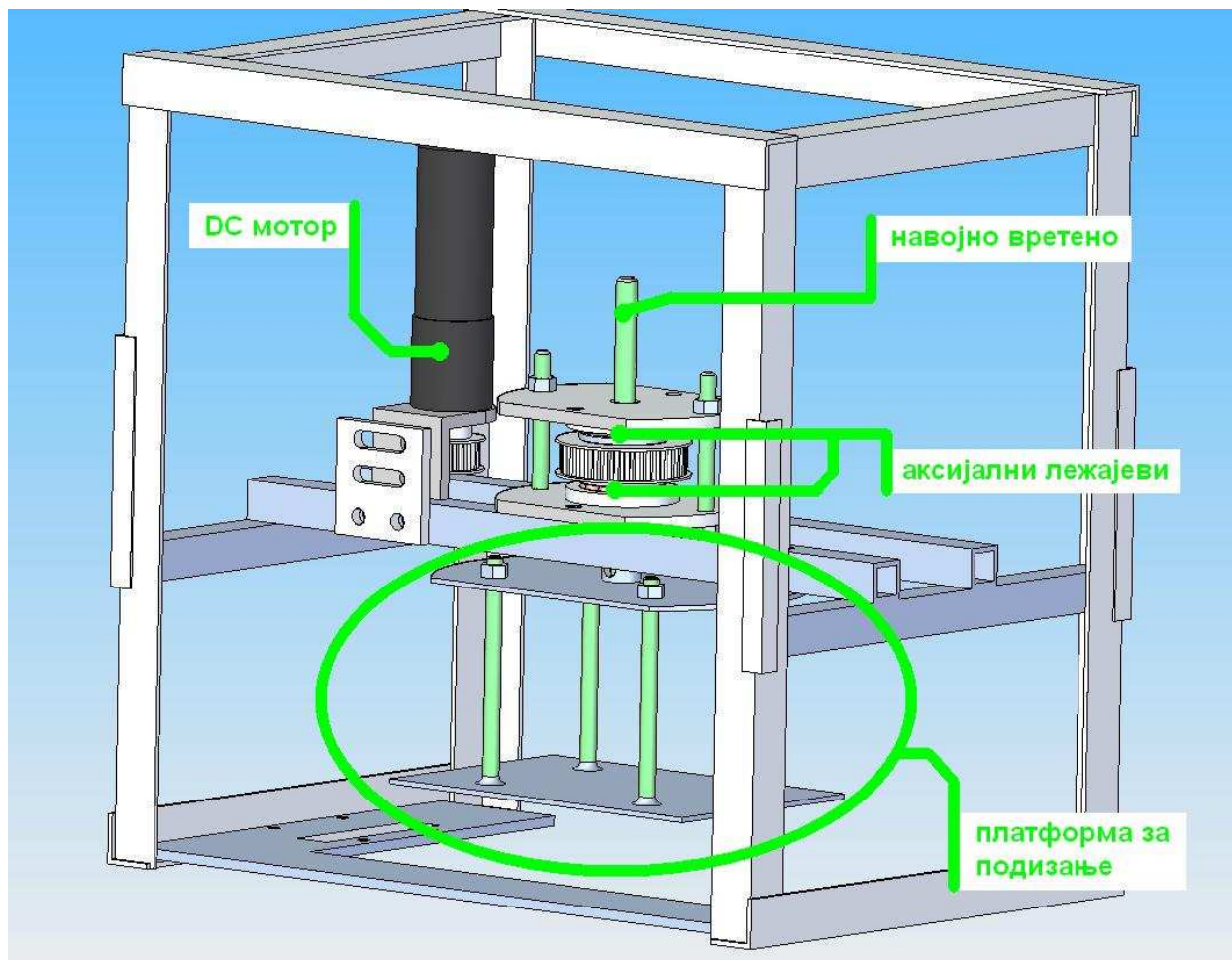
Што се редоследа кретања тиче, након изласка из почетне позиције, робот се поравнава на прву попречну линију са пешацима и њоме иде до супротног краја терена и то сачињава први пролаз. Други пролаз је повратна путања у којој се пребацује на следећу линију, прати је назад и скреће у почетну позицију где се подиже у „funny“ конфигурацију. У првом пролазу се купе јаке фигуре из зелене зоне и два пешака са линије по којој се креће и формира се прва кула. У другом пролазу прва кула се оставља на бонус поље, а преостала јака фигура, под условом да су две покупљене, са још два пешака са линије формира другу кулу која се оставља на пољу пред почетну позицију. Пешак за „funny“ конфигурацију се узима из зелене зоне након остављања друге куле.

Процедуре узимања, слагања и остављања фугура се извршавају помоћу две хватаљке постављене на предњој и задњој страни робота, на начин приказан на слици 2.2. Њих вертикално, дуж линијске вођице, погоне MAXON DC мотори, док затварање и отварање хватаљки врше по два SERVO мотора. Кула се формира по принципу да се прво у хватаљку узме јака фигура и онда се тражи пешак на који се она поставља, након тога још један пешак, на који се поставља претходно формирана комбинација, да би се формирала кула. За ове радње довољан је вертикални ход хватаљке дужине једнаке висини пешака (5cm) + 1cm. Две хватаљке омогућавају да се, уз одговарајуће услове, у једном пролазу формирају две куле и оставе на предвиђене позиције, чиме се значајно штеди време. Сама конструкција хватаљке омогућава извесне толеранције у прецизности навођења на фигури. Када робот иде ка фигури, хватаљке су максимално отворене и даљи крај је размакнут толико да је пар центиметара шири од пречника фигури, што омогућава сигурно хватање чак и при малим одступањима са путање.



Слика 2.2      Модел задње и предње хватаљке

Извршавање „funny“ конфигурације се остварује подизањем робота на пешака који се у њему тренутно налази, да би се конструкција одвојила од пода и ово се врши искључиво у почетној позицији. Механизам за подизање робота (Слика 2.3) је остварен помоћу једног DC мотора, навојног вретена, редуктора и платформе за подизање. На навојно вретено, у крајњим положајима су постављени гранични прекидачи, који одређују спуштenu и подигнуту позицију.



Слика 2.3 Механизам за подизање робота у „funny“ конфигурацију

Погонски точкови се налазе на средини робота, јер такав распоред обезбеђује најлакше ротирање са најмањим ходом.

Због непрецизности система управљања кретањем и позиционирања базираног на коришћењу само повратне спреге добијене обрадом сигнала са интегрисаних енкодера мотора, уведени су сензори који омогућавају да се робот креће дуж праве линије. Ти сензори се постављају поред погонских точкова и користе се тако што се робот помоћу њих поравнава са линијом која раздваја поља и на тај начин се враћа на праву путању уколико је скренуо са ње. Овај алгоритам је примењив само на делу терена где су црвена и плава поља, под условом да се робот креће по линијама разграничења поља и скреће под

---

правим углом, што су прихватљива ограничења. У ситуацијама када се улази у зелену зону или се закреће за углове који нису прави, то се чини „на слепо“, али са обзиром на то да су та кретања мала, могу се контролисати и настале грешке се могу касније исправити поравнавањем.

Да би се избегли казнени поени због судара са противничким роботом, а самим тим и механичка оштећења услед тога и осталих физичких препрека као што су ограде терена, водило се рачуна о начинима избегавања оваквих ситуација. Први проблем је решен постављањем сензора растојања на предњој и задњој страни робота на висини довољној за детекцију супарничког робота. Што се другог проблема тиче, он је посредно елиминисан пажљивим постављањем главне путање на безбедно растојање од тих унапред познатих фиксних препрека.

За детекцију јаких фигура у зеленој зони, односно за њихово разликовање од пешака, такође се користе сензори растојања постављени на бок робота на висини довољној за поуздано разликовање ове две фигуре.

### **3. Анализа могућих решења**

Сензорски систем „Maximilian“-а се може поделити на две целине – модул за детекцију противника и модул за управљање кретањем. Њихово функционисање је међусобно независно, али су оба неопходна за правилно и прецизно остваривање контролисаног кретања.

#### **3.1 Модул за детекцију препрека**

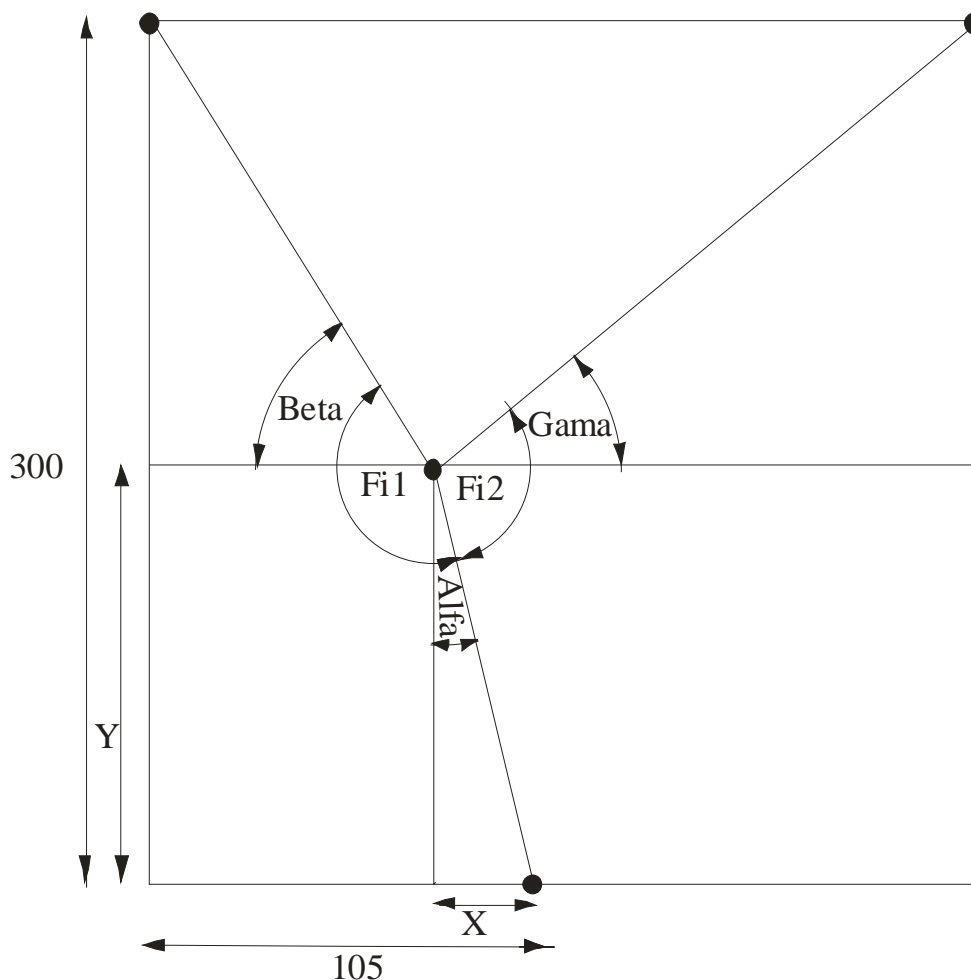
Овај модул је одређен да врши функцију препознавања присуства супарничког робота унутар дозвољених граница, односно на растојању од робота таквом да би у тренутном правцу и смеру кретања, наставак тог кретања довео до неминовног судара. Након регистровања овог догађаја, обрађена информација се користи да би се предузеле одговарајуће мере и избегла непожељна ситуација. Други део модула се бави детекцијом јаких фигура у зеленој зони и сигнализира микроконтролеру главне плоче да робот треба да стане и изврши процедуру скупљања. Оба дела модула се састоје из сензорског дела и дела за обраду информација што у ствари врши микроконтролер на главној плочи.

Одговарајући сензори за овај задатак су они који могу да детектују објекат на опсегу растојања од 10cm до 50cm. У наставку је дат упоредни преглед сензора и метода које испуњавају ове услове и који су доступни студентима.

##### **3.1.1 Триангулација**

Ова метода користи три фиксна светионика распоређена на ивици терена и ротационог пријемника који се налази на противничком роботу. Принцип рада је заснован на слању кодираних сигнала са сваког од три светионика, где се кодови међусобно разликују и усмереном пријемнику који тумачи ове сигнале и током ротације памти у

којој позицији се налазио када је примио одређени сигнал, тако да се ту мора користити мотор са енкодером добре резолуције. Емитован сигнал може бити ултразвучни, инфрацрвени, ласерски и сл. зависно од одабране технологије. Добијене позиције пријемника се тумаче као углови и даљим прорачунавањем углова под којим пријемник види сваки од светионика, одређује се позиција пријемника, односно супарничког робота, у референтном координатном систему. Принцип прерачунавања је приказан на слици 3.1.



Слика 3.1 Приказ карактеристичних углова при одређивању позиције пријемника у односу на фиксне „светионике“

Пошто се на овај начин може одредити тачна позиција пријемника, он се може поставити на било који објект чија се позиција тражи. Уколико се један систем постави на супарничког робота, а други на сопственог, нема потребе за додатним сензорима, јер се њихово међусобно растојање стално прорачунава програмски. Проблем би био код препознавања и прикупљања јаких фигура. Њихове се позиције у зеленој зони мењају пред сваку утакмицу, тако да би се морали убацити додатни сензори задужени само за то.

Недовољан број људи у тиму, као и мањак времена потребног за развијање целог система, спречили су нас у коришћењу ове методе. Потребно је да се бар једна особа у потпуности посвети томе.



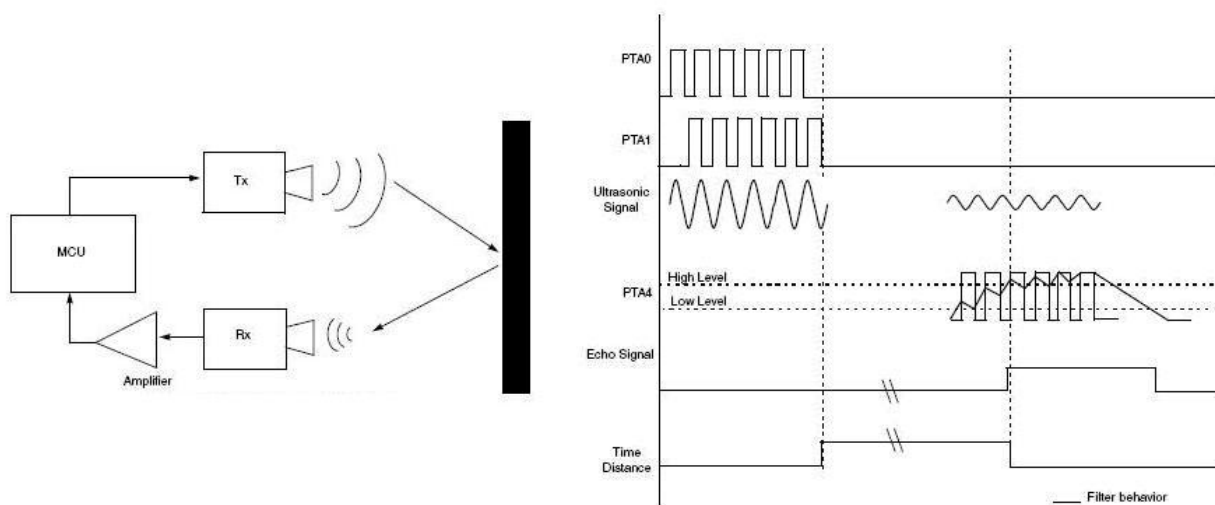
### 3.1.2 Ултра-звучни сензори растојања

Улразвучни сензори одређују растојање од препреке по принципу ехолокације. Одређена кодирана секвенца се као улразвучни талас шаље са предајника и на пријемнику се чека њен ехо који се одбио о препреку. Мерењем времена протеклог између тренутка слања и пријема секвенце, познавајући брзину улразвучних таласа, лако се прорачунава растојање. Изглед и конфигурација излаза ових сензора су дати на слици 3.2.



Слика 3.2 Изглед УЗ сензора (лево) и начин повезивања (десно)

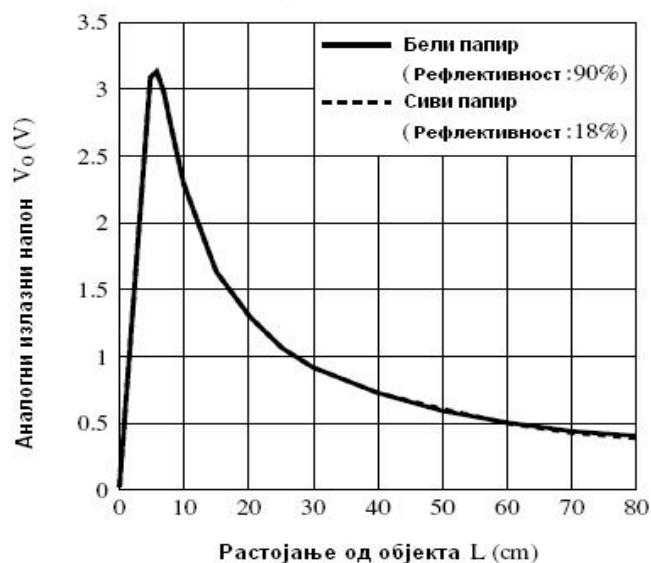
Због великог угла ширења таласа са пријемника, простор испред робота који један сензор покрива је широк. Захваљујући овој особини, они су можда чак и најбољи избор за примену детекције наилаaska противничког робота, и било би довољно користити један напред а други позади. Мана им је што су мало скупљи и теже доступни. Поред тога, не би се могли искористити за бочну детекцију јаким фигура, јер је за то потребна много већа прецизност. За ту сврху би се морала користити нека друга врста сензора. Принцип рада са временским дијаграмом сигнала који се шаљу и примају приказани су на слици 3.3



Слика 3.3 Принцип рада (лево) и дијаграм сигнала (десно)

### 3.1.3 SHARP инфрацрвени сензори растојања

Инфрацрвени сензори растојања раде на сличном принципу као ултразвучни; емитују кодиран сигнал, који се рефлектује о препреку. Разлика је у томе што се користи други медијум – светлост, дакле, уместо мерења времена путовања сигнала, што је немогуће јер би због брзине светлости те вредности биле веома мале, мери се угао под којим светлост доспева на пријемну страну сензора. Због природе сензора излазна карактеристика (напонски излаз у односу на растојење од предмета) има звонасти део у левом делу, што значи да се за две различите удаљености добија исти излаз (Слика 3.4).



Слика 3.4 Излазна карактеристика SHARP сензора

Да би се ово избегло, у овом случају сензор се користи само за опсеге од 10cm до 80cm. Ширина снопа којим се препреке детектују није много велика, тако да уколико је потребно поуздано знати да ли робот наилази на препреку која може бити чак и мало лево или десно у односу на правац кретања, морају се користити два сензора на једној страни. Ова особина снопа је корисна за бочну детекцију, јер узак сноп чини да читавања буду прецизнија што је и пожељно. На слици 3.5 је приказан изглед коришћеног сензора.

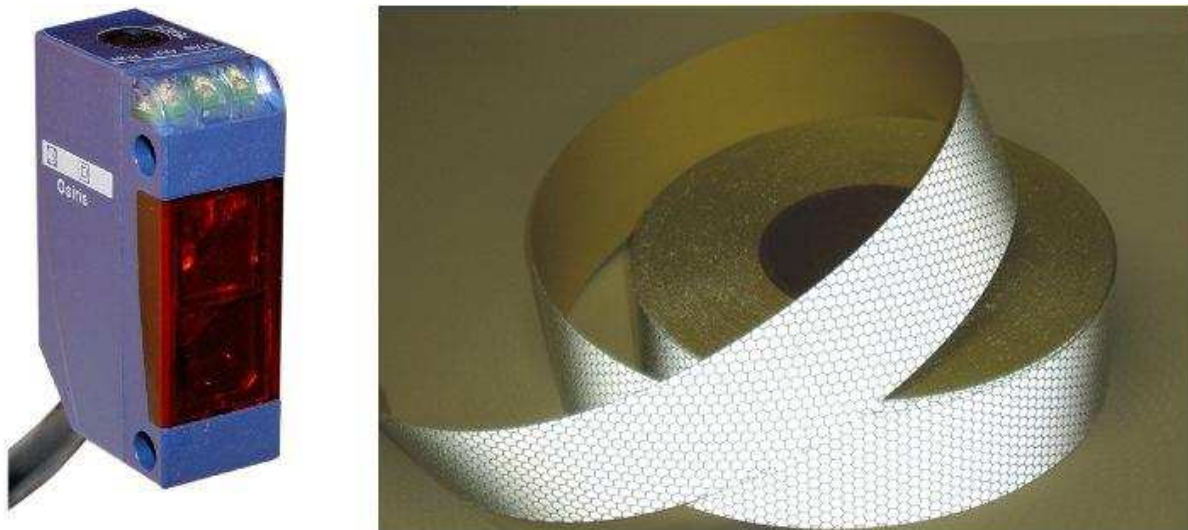


Слика 3.5 Изглед SHARP сензора

Главни недостак је осетљивост на јаку спољашњу светлост (јаки рефлектори, дневна светлост и сл.), али та ограничења су за ову примену подношљива.

### 3.1.4 Инфрацрвени сензор са прекидним снопом

Овај индустријски сензор носи ознаку XUM0APSAL2 (Слика 3.6), има два режима рада. Први је сличан као и код SHARP сензора, и овај режим функционише за растојања до 15cm. У другом режиму сензор даје дигитални излаз, мења логичко стање, уколико сигнал са предајника наиђе на рефлективну траку (Слика 3.6) и ово се може користити до максималног растојања од око 3m. Сензор ради на напону напајања од 12V до 24V.



Слика 3.6 Сензор XUM0APSAL2 (лево) и рефлективна трака (десно)

Замисао је била да се монтира на серво мотор и тако описује одређени угао са предње, односно задње стране робота, зависно од кретања, а на супарничког робота, у истом нивоу би се поставила рефлективна трака. Наравно, на овај начин би се тешко могла добити информација о растојању. Мерењем крајњих углова под којим се види катадиоптер на супарничком роботу, и знајући димензије катадиоптера, може се прерачунати растојање, али та информација није много прецизна. Са друге стране, поуздано се може знати угао под којим се противник налази у односу на правац кретања, тако што кад добије сигнал да је рефлективна трака детектована, главни програм проверава позицију у којој се серво налази и прерачунава тражени угао. Са друге стране, овај систем би био користан као помоћ неком другом систему да разабира да ли је препрека на коју је робот наишао супарнички робот или кула, пошто је оваква забуна могућа. Због ограниченог временског рока и потребе за прављењем засебног напајања, овај систем није имплементиран.

У наставку, у табели 3.1, дат је упоредни приказ представљених метода и њихових главних карактеристика.

Табела 3.1 *Преглед метода и њихових карактеристика*

Метода	цена	сложеност	потребно време за имплементацију	ефективност
Триангулација	средња	виша	велико	добра
УЗ сензори	виша	средња	средње	висока
SHARP ИЦ сензор	средња	средња	средње	висока
ИЦ сензор са снопом	виша	средња	средње	осредња

За функцију детекције препрека и бочну детекцију јаких фигура одабрани су SHARP инфрацрвени сензори растојања. Упркос својим недостацима, предности као што су једноставност употребе, поновљивост и поузданост су ипак превагнуле. Такође, ови сензори су били на располагању што је донекле утицало при одлучивању.

## 3.2 Модул за управљање кретањем

Задатак овог модула је да управља кретањем робота тако да робот тачно прати предефинисану путању. Уколико услед спољних утицаја или несавршености механичке конструкције и компоненти дође до одступања са путање, систем мора бити способан да ову грешку исправи и врати робота на прави пут.

Неке од могућих метода које се могу користити у ову сврху су представљене у наставку.

### 3.2.1 Одометрија

Одометрија је метода управљања кретањем мотора на принципу повратне спреге. Физички део се састоји из два пара точкова – погонских и енкодерских, који су повезани на драјвер. Разлог овог раздвајања је што енкодери интегрисани у мотору, дају информацију о позицији са осовине мотора што често није поуздан податак јер се дешава да точкови погонског мотора при наглостарту или заустављању проклизају и не изврше задато кретање, док енкодер то прослеђује као нормално извршено кретање. Због овога се уводе пасивни енкодерски точкови. На ивице точкова се стављају специјални материјали, гуме са високим коефицијентом трења и користи се опруга која их додатно притиска на доле да би се остварило што боље пријањање уз подлогу, те да се вероватноћа проклизавања спусти на минимум.

Код одометрије је боље да су точкови што мањег пречника, да би се за исти пут направило што више инкремената јер се тиме повећава резолуција, а самим тим и прецизност повратне спреге. Обрада енкодерских сигнала и управљање је слично као и код драјвера за моторе са интегрисаним енкодером. Може се управљати позицијом или брзином, тако што се постави референтна вредност, нпр. жељена позиција, параметри ПИД регулатора и остали потребни параметри, и зада се команда за старт. Програмски се прати пређени пут точкова и на основу тога врши корекција. На овом принципу се задају кретања од којих се формира цела путања. Такође се на основу информације о пређеном путу сваког од точкова може одредити апсолутна позиција робота у координатном систему стола.

Систем наравно има и својих мана. Упркос специјалним начинима имплементације пасивних точкова који поспешују пријањање, ипак се некада догоди да точкови проклизају, иако у малој мери. Акумулацијом оваквих грешака може доћи до проблема и погрешне информације о позицији, тако да је потребно с времена на време освежити бројаче одласком на познату позицију, нпр. поравнавањем уз ивицу стола и ресетовањем координате по оси управној на ту ивицу. При колизији или другом утицају који узрокује бочну translацију робота, систем не може да препозна ову ситуацију и понаша се као да је на исправној путањи. Без додатних сензора, ово се не може исправити и грешка остаје.

Главни разлог зашто није изабрана ова метода је недостатак теоријског и практичног знања, као и времена да се систем развије и тестира у ограниченом року, што је уједно и услед малог броја чланова тима. Други разлог би био висока цена појединих компоненти које се користе, од којих су ту међу првима енкодери који морају бити прецизни и поуздани.

### **3.2.2 Триангулација**

Принцип позиционирања методом триангулације је представљен у одељку 3.1.1 овог рада. Иста технологија се може корисити за управљање кретањем, само што би имплементација била другачија, односно, уместо одређивања позиције противничког робота користила би се за позиционирање сопственог робота. Информација о позицији добијена овим путем би служила као повратна спрега при навођењу и на тај начин би се и управљало кретањем робота и спречило одступање од задате путање.

Ова метода у зависности од примењене технологије предајно-пријемног пара (ултразвучни, инфрацрвени, ласери и сл.) и квалитета израде система, функционише са различитим степеном прецизности. Тачност позиционирања код система базираних на инфрацрвеној и ултразвучној технологији је дата у толеранцији од око 10cm што није

довољно у овом случају за сто димензија као што је такмичарски (300cm x 210cm) и за тип жељеног кретања. Ова карактеристика, заједно са разлозима датим у одељку 3.1.1, спада у узроке због којих ова метода није прихваћена

### **3.2.3 Корекција путање помоћу RGB сензора**

Идеја на којој је базирана ова метода је коришћење сензора боје, постављених са доње стране робота поред точкова, два код левог и два код десног, који читавају боју поља непосредно испод себе и на тај начин детектују линију која раздваја поља различите боје. По препознавању ове ситуације, добија се информација о релативном положају погонских точкова и о броју пређених поља. Главна функција оваквог система је поравнање уз линију прелаза да би се правац кретања изравнавао и поклапао са жељеним. Код ове методе није потребна додатна повратна спрега, типа тачне тренутне позиције, да би се кретање кориговало, већ овај фактички периферни систем делује аутономно и врши континуалну корекцију задате путање. Предвиђени сензори носе ознаку HDJD-S822-QR999 произвођача „AVAGO technologies“ и то су RGB сензори. То значи да имају излазе за три канала, где је сваки од канала даје аналогну вредност регистрованог удела једне од боја: црвене, зелене или плаве.

Ограничење ове методе је тачно одређен начин на који се робот мора кретати. Дозвољена су само линијска кретања и закретање под правим углом и та кретања морају бити паралелна са ивицама терена односно линијама поља, јер овај принцип није примењив код дијагоналног и других криволинијских кретања.

### **3.2.4 Корекција путање помоћу пара фотоотпорник - LED**

Идеја је потпуно иста као у претходном случају, разлика је само у врсти сензора. Наиме, овде се уместо RGB сензора, користе беле LED које осветљавају подлогу и фотоотпорници, који су преградом одвојени од LED-овки и они прихватају одбијену светлост, односно детектују рефлексију светлости о неку површину. На основу интензитета одбијене светлости одређује се која је боја у питању. Реализација оваквог система је једноставна и компоненте су јефтине и лако доступне, али поузданост је дискутабилна. Наиме, код фотоотпорника је критична брзина реаговања, односно одзив, што је у нашем случају битна карактеристика. Поред тога, излаз фотоотпорника је нелинеаран, односно није пропорционалан интензитету светлости на улазу, што је непожељна особина.

Упоредни преглед представљених метода за управљање кретањем дат је у табели 3.2.

Табела 3.2 *Преглед метода и њихових карактеристика*

Метода	цена	сложеност	потребно време за развој	ефективност
Одометрија	висока	виша	велико	висока
Триангулација	средња	виша	велико	добра
RGB сензори	мало виша	мало виша	осредње	осредња
Фотоотпорник - LED	ниска	мала	мало	мала

На крају је изабрана метода управљања која имплементира сензоре боје ради корекције путање. Поред наведених предности и мана овог решења, у корист избору иде и чињеница да су ови сензори добијени као спонзорство. Пре свега изабрани су због тога што је било занимљиво развити овакву методу позиционирања која раније није била виђена и то је уједно и први подухват оваквог типа са којим се студенти сусрећу.

## 4. Имплементација

Процес имплементације се састоји од пројектовања и израде електричних плочица за прилагођење и обраду сигнала са сензора и писања програма за микроконтролер који добијену информацију тумачи и прерачунава. Основу плочица чине микроконтролери на чије се аналогне улазе прикључују излази сензора, а дигитални излази микроконтролера се даље повезују са главном плочом, којој шаљу одређене сигнале. Главна плоча информације добијене овим путем користи и усаглашава са претходно испрограмираном путањом да би остварила контролисано кретање робота.

### 4.1 Имплементација система за детекцију објеката

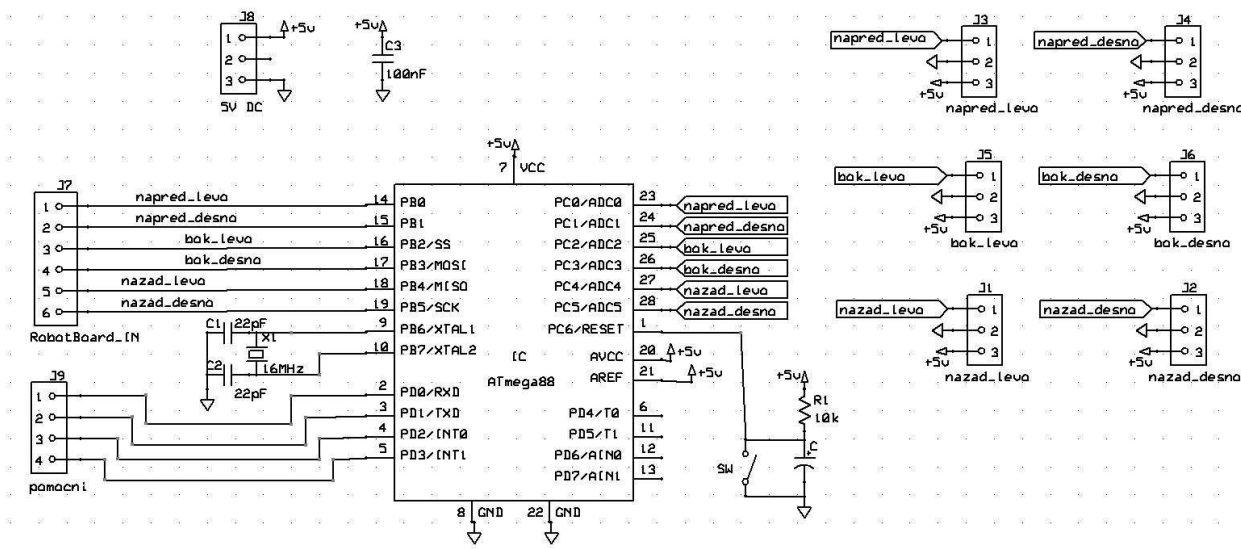
Овакав уопштени назив поглавља је дат јер овај систем обухвата и модул за детекцију противника при кретању унапред и уназад, као и бочни модул за диференцијацију јаких фигура у зеленој зони. Детекција противника се врши са по два SHARP сензора постављена на предњу и задњу страну робота на висини од 25cm и међусобном хоризонталном растојању од 20cm (Слика 4.1) што онемогућава погрешна читавања кад робот наиђе на неку од фигура. Препознавање јаких фигура такође врше SHARP сензори растојања постављени на средину левог и десног бока робота на висини за пар центиметара већој од висине пешака, јер је то довољно за поуздано разликовање. Ради побољшања прецизности сензора, односно смањења угла видљивости, што је нарочито битно код бочних сензора, на пријемник је постављена цевчица пречника око 7mm и дужине око 15mm, како би хватање одбијене светлости било усмереније.





Слика 4.1 *SHARP сензори на роботу. Предња страна (лево) и леви бок (десно)*

Плочица која опслужује ове сензоре се базира на микроконтролеру ATmega88 компаније Atmel. То је 8-битни микроконтролер AVR фамилије са 8KB програмабилне флеш меморије и 6 улаза за аналогне сигнале, А/Д конверзију. Као што се може видети на схеми (Слика 4.2) свих 6 аналогних улаза су искориштени за пријем сигнала са 6 SHARP сензора постављених на роботу. За сваки прикључак обезбеђени су +5V напајања са напајања саме плочице, GND и дотични излаз. Програмски обрађени сигнали се прослеђују главној плочи паралелном везом, која је остварена директним везивањем дигиталних излаза плоче за сензоре и дигиталних улаза главне плоче. За ову сврху алоцирано је 6 дигиталних излаза на плочи за сензоре, док су још 4 излаза остављена као помоћни, за случај даљег проширења.



Слика 4.2 Схема плочице за обраду сигнала са SHARP сензора

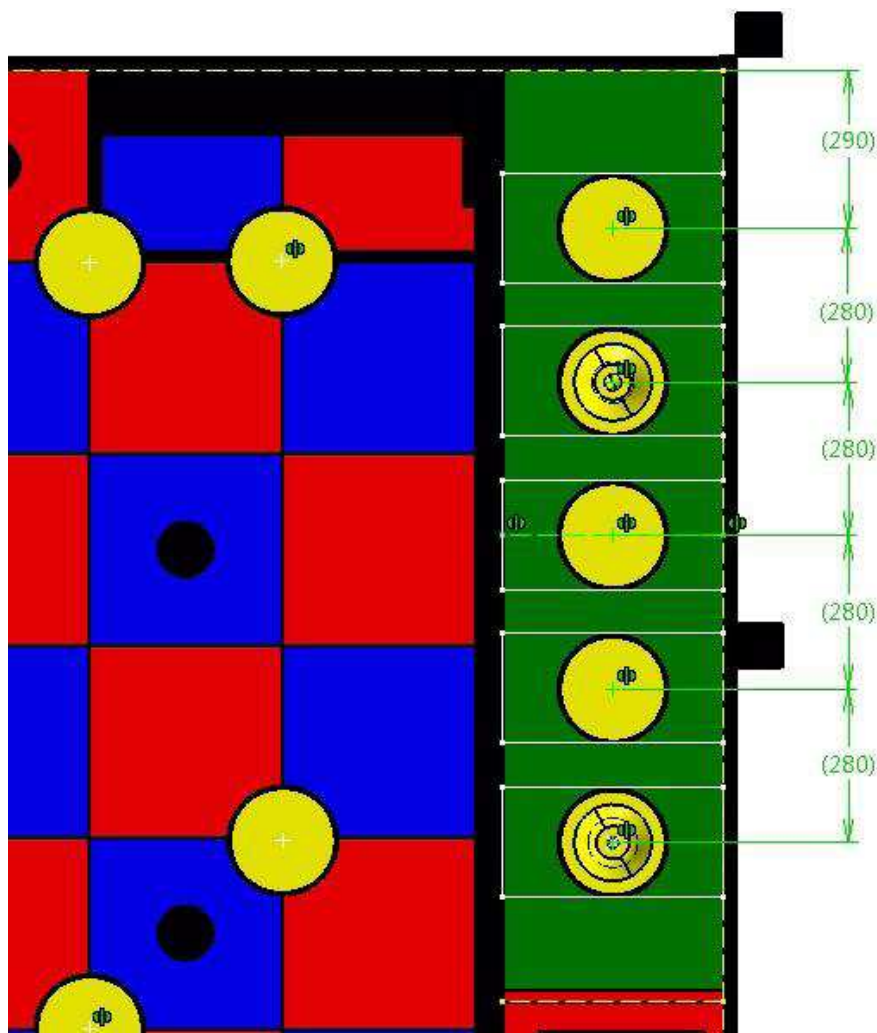
Програмски код који управља микроконтролером ове плочице се у основи састоји од итеративне А/Д конверзије и провере добијених вредности са сваког од прочитаних канала. У зависности од тих резултата, одговарајући дигитални излази се постављају на висок односно низак логички ниво. Сваки од сензора (предњи леви, предњи десни, задњи леви, задњи десни, бочни леви, бочни десни) је везан на један од А/Д канала.

Након читавања канала, добијена вредност се смешта у низ. Кад се ишчита свих 6 аналогних улаза, приступа се тумачењу вредности чланова низа, односно вредности излаза сваког од сензора. Наиме, проверава се да ли се те вредности налазе унутар опсега, чије се границе за сваки од сензора добијају експерименталним путем.

Нулти и први канал су резервисани за предње сензоре, леви и десни, респективно. Исто је и код задњих, с тим што су они везани за четврти и пети канал. И код предњих и код задњих сензора разликују се две зоне у којима се објекат у односу на робота може наћи, „ближа“ и „даља“, што се у програму тумачи као два опсега вредности. „Даља“ зона обухвата простор даљи од 25cm од робота и док је активна робот се нормално креће, док „ближу“ чине позиције препреке ближе од ове вредности и у њој робот активира процедуру за избегавање судара. Акције процедуре су заустављање кретања и чекање да се препрека склони да би робот наставио кретање. Уколико је још увек присутна након 3 секунде чекања, робот се одмиче 15cm уназад и поново враћа унапред у претходну позицију. Имплементација је идентична и код задњих сензора, с тим што је процедура за избегавање судара обрнутог смера. При обради сигнала леви и десни сензор се посматрају заједно и спрегнути су ИЛИ везом, односно ако било који од та два да вредност унутар опсега, сматра се да су оба у опсегу, јер није потребно да оба сензора региструју препреку

истовремено, већ чим један региструје сматра се да је препрека присутна у дотичној зони. На овај начин је превазиђено ограничење услед уског снопа. Даље, уколико сензори региструју препреку један у ближој један у даљој, зона „ближа“ има већи приоритет у односу на „даљу“. Дигитални излази 0 и 1, 4 и 5 се користе као сигнализација за ове две зоне код предњих и задњих сензора. Иако је ово могло бити учињено са по једним битом, коришћена су по два због сигурности и да би се оставио простор за даља проширења.

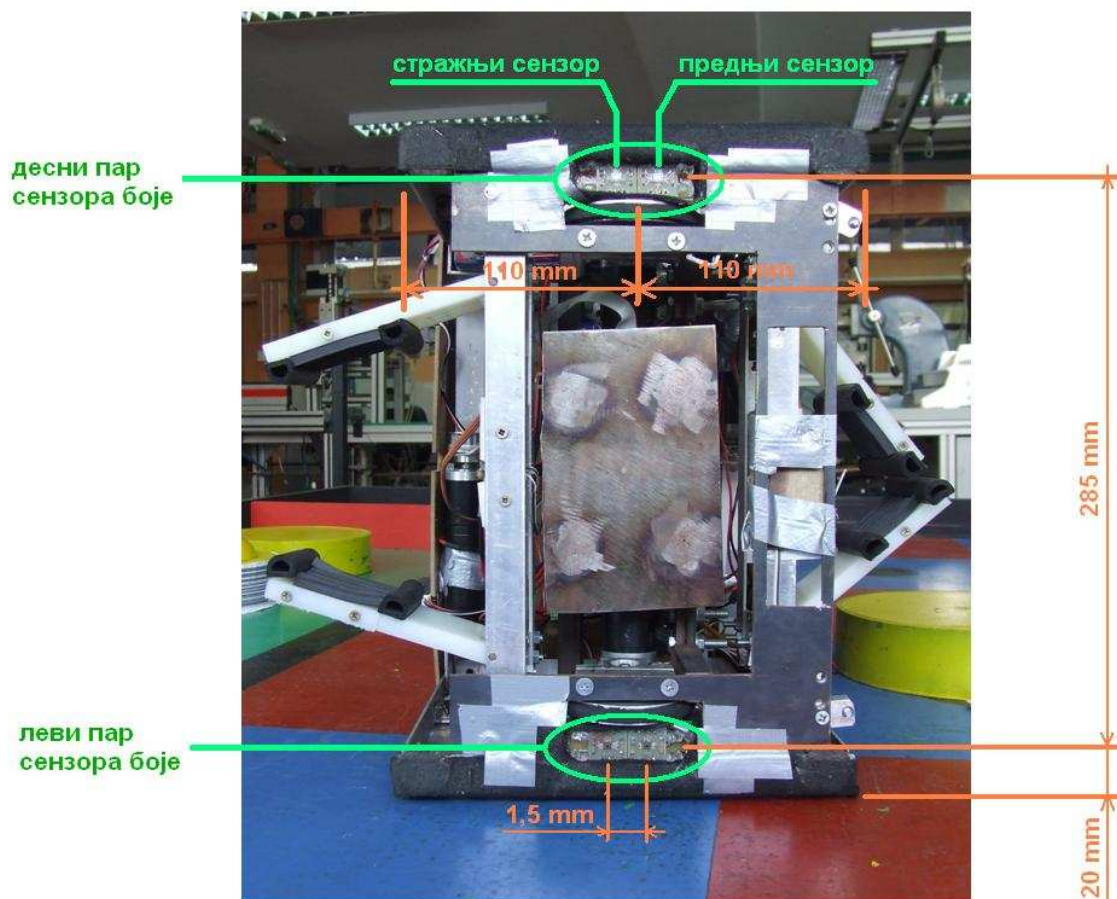
Леви и десни бочни сензори су везани на други и трећи А/Д канал. Код њих, ситуација је једноставнија у том што постоји само једна зона и њу скенирају при тражењу јаких фигура. У њој се фигуре могу налазити у одређеним областима као што је приказано на слици 4.3. Бочна зона се простира са десне, односно леве стране робота, у зависности од додељене боје и обухвата простор у зеленој зони у којој је могуће да се налазе јаке фигуре. Бочна зона се испитује при кретању робота у првом пролазу, паралелно са правцем простирања зелене зоне, и уколико се јака фигура детектује поставља се одговарајући дигитални излаз, што даје знак микроконтролеру главне плоче да покрене наменску процедуру.



Слика 4.3 Могуће позиције јаких фигура унутар зелене зоне

## 4.2 Имплементација система за корекцију путање

Намена овог система је да омогући роботу да се у случају скретања са праволинијске путање, на првом следећем прелазу између поља, поравна уз линију прелаза и даље настави са жељеним кретањем. Да би то било могуће, по два сензора боје су постављена са доње стране робота поред точкова, по два на једној електричној плочи, тако да су предњи 5mm испред замишљене средине доње плоче, а задњи исто толико иза, као што се може видети на слици 4.4.

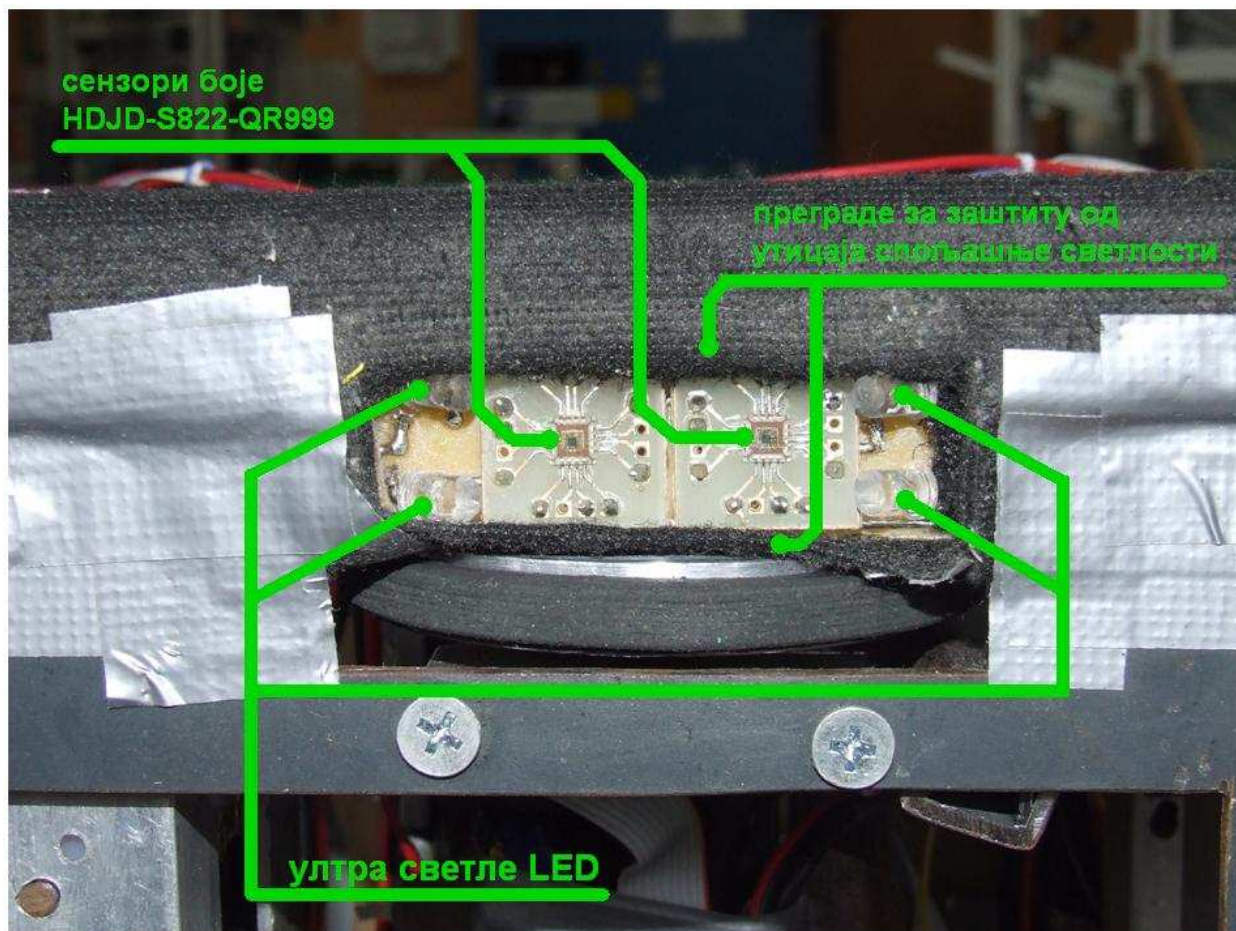


Слика 4.4 Положај RGB сензора на роботу

Коришћени су сензори боје ознаке HDJD-S822-QR999 произвођача „AVAGO technologies“ који имају 16 пинова од којих 3 служе као аналогни излази. Сваки канал има интегрисан трансимпедансни појачавач, чије је појачање променљиво и подешава се за сваки канал посебно преко два селекциона бита за тај канал. Сензор је иначе израђен у SMD технологији, тако да је морала бити израђена прилагодна плочица, да би његови пинови били компатибилни са остатком електронике која је „Through hole“ типа. Да би сензори исправно функционисали и да би се избегла нетачна читавања, потребно их је заштитити од спољног осветљења (дневна светлост, рефлектори итд). Такође, ради ефикаснијег функционисања, сваки сензор осветљавају по две ултра светле LED, које се



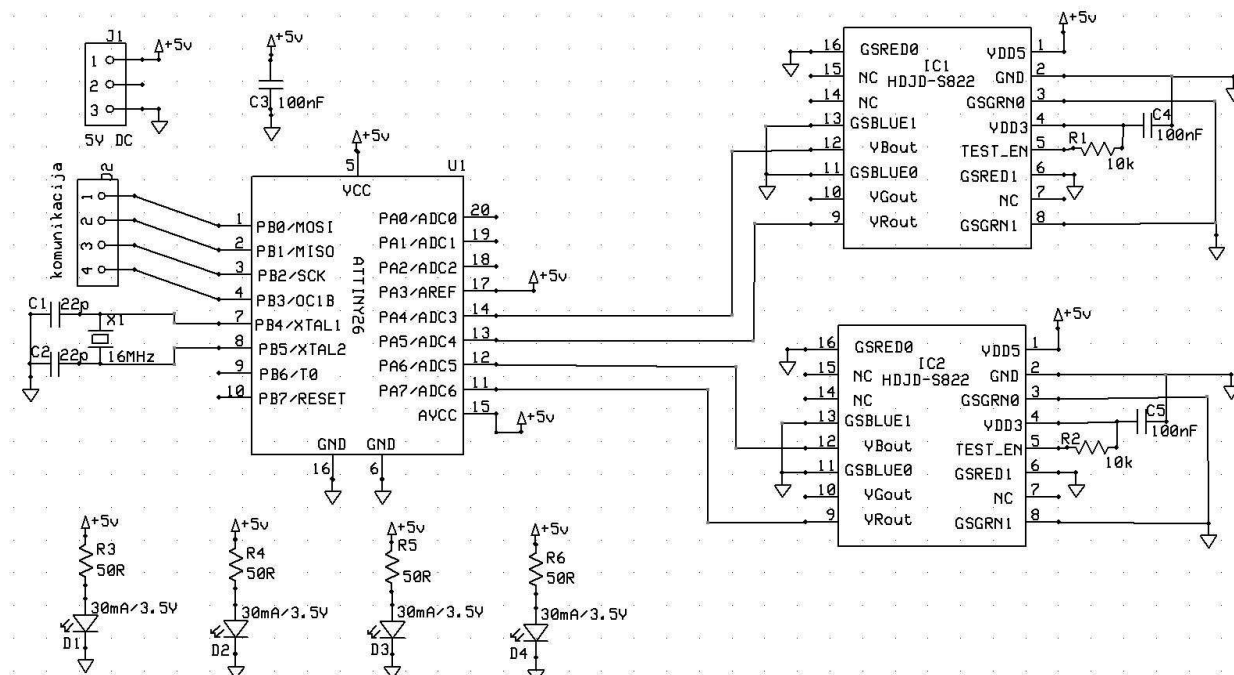
налазе на истој плочи као и сензори (Слика 4.5). Две плоче које садрже ове сензоре су у функционалном смислу идентичне, разликују се у пар механичких корекција на самој плочи, да би се могле адекватно поставити у конструкцију. Ради поједностављења, у наставку ће се представити особине једне плочице и подразумеваће се да се односе на обе.



Слика 4.5 Детаљнији приказ са ознакама постављеног сензора боје

Електрична плоча за обраду информација са сензора боје (Слика 4.6) је пројектована по сличном принципу као и плоча за обраду сигнала са SHARP сензора. Заснива се на микроконтролеру Attiny861, такође из AVR фамилије, који има 8KB програмабилне флеш меморије и 10 аналогних улаза, од којих се у овом случају користе 4. Комуникација са микроконтролером главне плоче је такође остварена паралелним везивањем пинова, с тим што су у овом случају извучена 4 дигитална излаза од којих се 2 користе а друга два су остављена за даља проширења. Плочица се напаја са +5V, и тај напон је искоришћен и за напајање и 4 LED које се налазе на плочици. Начин на који су сами сензори повезани на плочу и додатне компоненте које су се користиле су постављене у складу са препорукама произвођача датим у упутству за кориснике. Само физичко повезивање је извршено лемљењем прилагодне плочице, на којој се сензор налази, на адекватно распоређене пинове на плочи. Ово је такође допринело смањењу растојања сензора од пода. С обзиром

на ограничење кретања на део терена где су само црвена и плава поља, нема потребе користити зелени канал RGB сензора. На аналогне улазе микроконтролера су повезани црвени и плави канали предњег и задњег сензора, редоследом приказаном на схеми на слици 4.6. Коришћени микроконтролер има интерну напонску референцу од 2,56V која је искоришћена, јер у обезбеђеним условима, максималан излаз који су RGB сензори давали на било ком од канала није прелазио 2V. Ово је веома корисно, јер да се користила стандардна референца од 5V резолуција би била веома мала и одређене границе боја можда не би биле довољно поуздане.

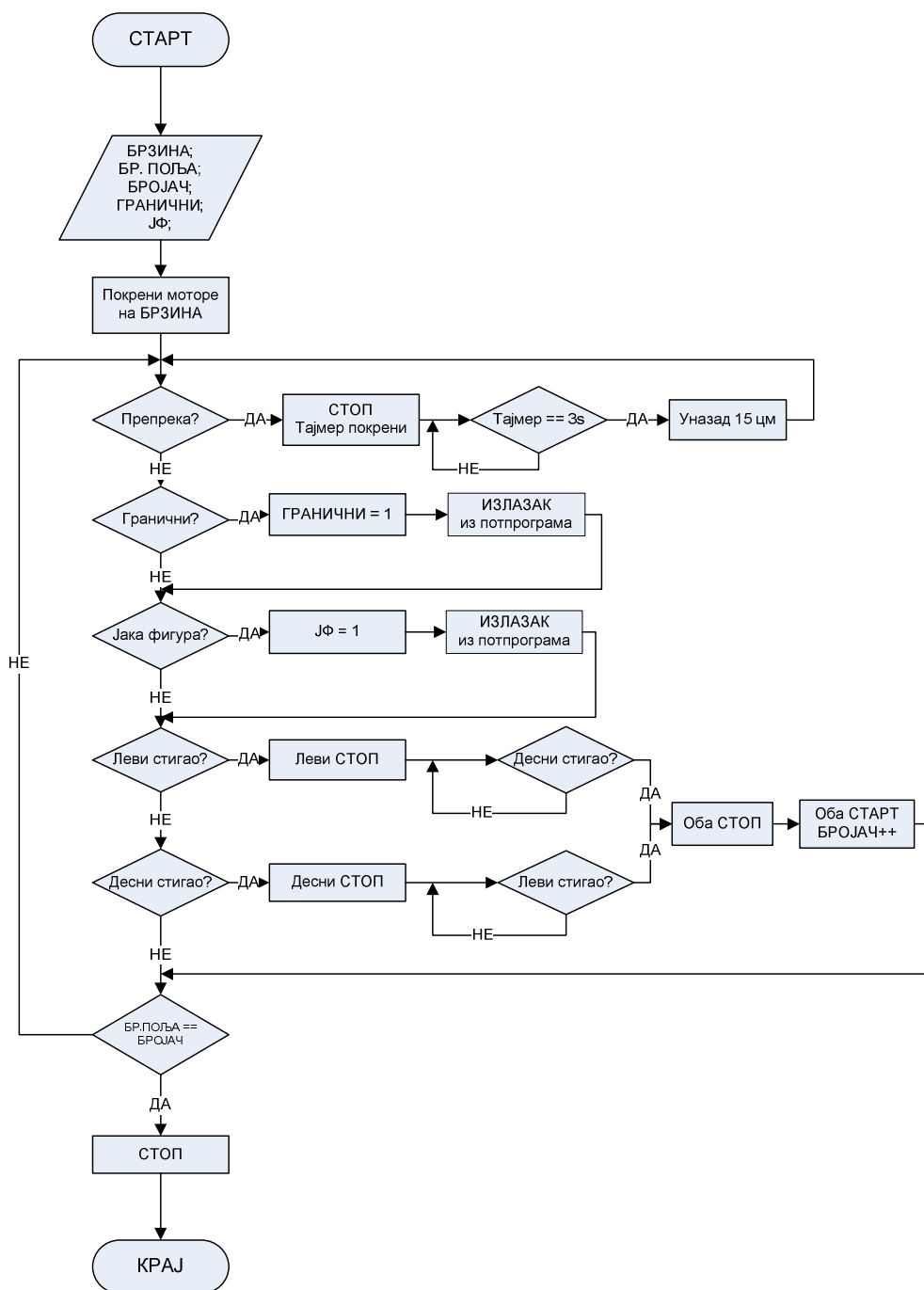


Слика 4.6      *Схема плочице за обраду сигнала са сензора боје*

Што се програма припадајућег микроконтролера тиче, нешто је сложенији у односу на програм код плочице за SHARP уколико што је сама обрада прочитаних информација мало сложенија. Основни принцип рада је исти, јер се ради о читању и тумачењу аналогних сигнала. Да би се реализовала предвиђена функција, неопходно је поуздано одредити изнад које боје се у току кретања налази сваки од сензора. Боја поља испод сензора се одређује упоређивањем вредности сигнала добијених са црвеног и плавог канала дотичног сензора са експериментално утврђеним вредностима. Логика одређивања боје на основу вредности са одређеног канала је следећа:

- ПРЕДЊИ\_ЦРВЕН > x1 И ПРЕДЊИ\_ПЛАВ < x2 => ПРЕДЊИ ЈЕ НА ЦРВЕНОМ
  - ПРЕДЊИ\_ПЛАВ > y1 И ПРЕДЊИ\_ЦРВЕН < y2 => ПРЕДЊИ ЈЕ НА ПЛАВОМ
  - ПРЕДЊИ\_ПЛАВ < z1 И ПРЕДЊИ\_ЦРВЕН < z2 => ПРЕДЊИ ЈЕ НА ЦРНОМ
- (где су x1, x2, y1, y2, z1, z2 експериментално утврђене вредности)

Након што су боје одређене, наредна активност је препознавање прелаза. Уколико предњи и задњи сензор читавају исту боју, значи да се робот креће кроз поље те боје. У случају читавања различитих боја, сматра се да се робот налази на прелазу између два поља различитих боја. У овом случају се дигитални излаз намењен сигнализацији у случају прелаза поставља на логичко „1“, док је иначе на „0“. Као потенцијални проблем је узета у обзир ситуација наилазак на црни круг који означава бонус поље, и тумачење те ситуације као прелаза. У тој ситуацији један сензор би регистровао црно, што би на високу вредност поставило други дигитални излаз намењен за то и даље се оставља програму главне плоче да протумачи да је то лажан прелаз. Друга сврха детекције црне боје је при уласку и изласку из зелене зоне, јер ово препознавање омогућава поравнавање уз црну траку на ивици зелене зоне и раван улаз при скупљању фигура, а такође и раван излаз и елегантно враћање на претходну путању. Преостала два дигитална излаза су служила као заставице за боју на којој се налазе предњи и задњи сензор, али пошто ове информације нису од значаја за функционисање система, оне се не прослеђују главној плочи.



Слика 4.7 Алгоритам функције кретања

Алгоритам за корекцију путање (Слика 4.7) одржава путању робота паралелном са одговарајућом ивицом стола, односно жељеним правцем кретања са периодом корекције, тј. ажурношћу од дужине једног поља. Овај алгоритам је имплементиран у програму главне плоче. Плоча за сензоре само шаље одговарајуће сигнале главној плочи која их тумачи и употребљава. Реализује се на следећи начин. Када робот скрене са жељене путање под неким углом због неког спољашњег фактора (колизија, проклизавање точкова и сл.) он наставља да се креће том поремећеном путањом док један од точкова не наиђе на прелаз два поља. Точак који први наиђе се зауставља, што узрокује да робот започне

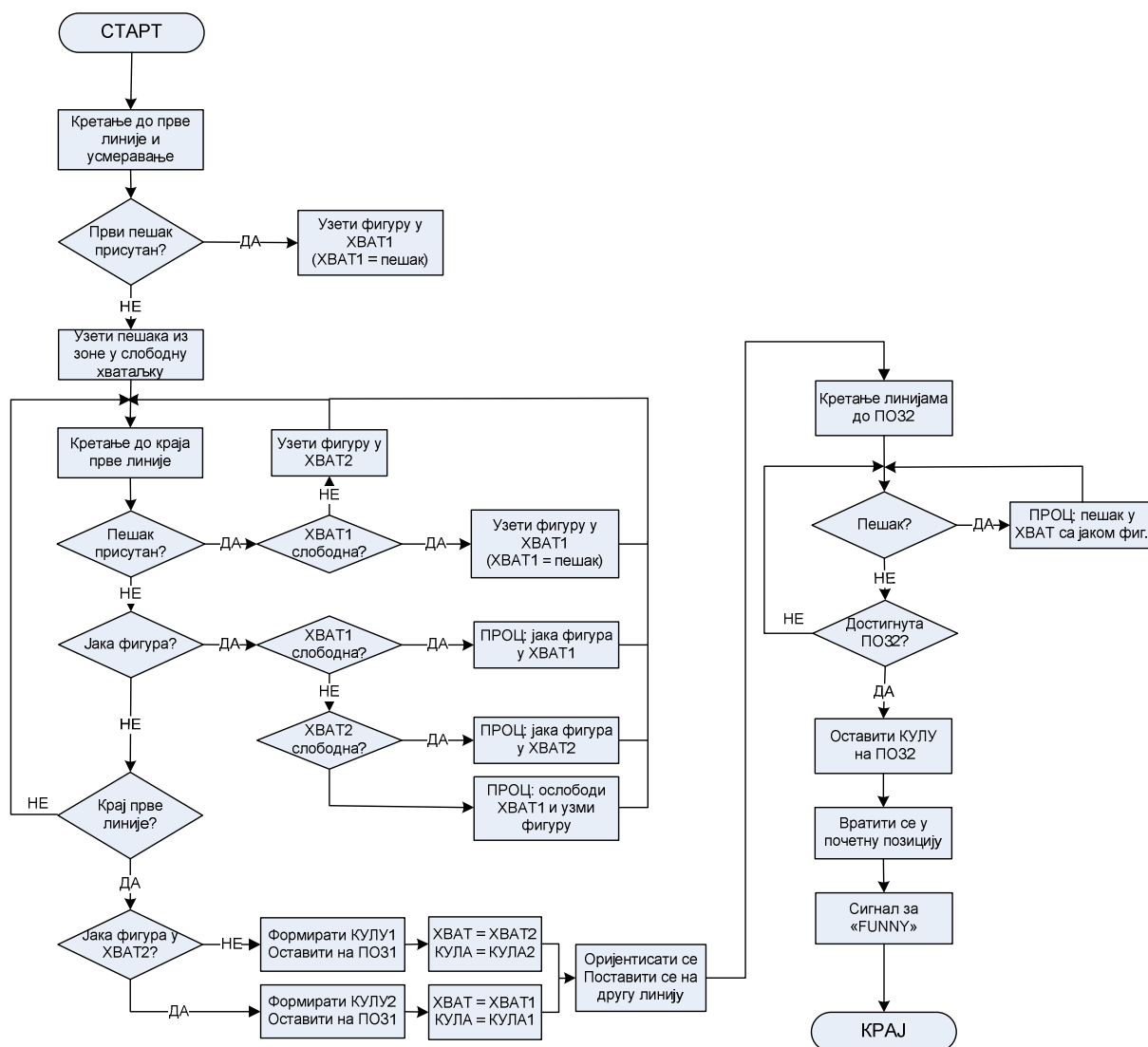


ротацију око вертикалне осе која пролази кроз заустављен точак, у смеру ка том точку, све док и други точак не наиђе на прелаз. Тада, робот је у ствари извршио закретање за исти угао за који је првобитно скренуо са предвиђене путање и налази се поравнат по линији прелаза и паралелан са линијом управном на линију прелаза. Након тога, може да настави нормално кретање које је поново равно. Овај алгоритам такође служи и при закретању за прав угао, да се након закретања „на слепо“ поравна са првом наредном линијом и настави равно кретање.

### 4.3 Управљање кретањем

Главна плоча се заснива на микроконтролеру ATmega32, задуженог за управљање драјверима за погонске моторе, драјверима мотора за дизање и спуштање хваталки и сервоима за њихово отварање и затварање, активацију механизма за „funny“ конфигурацију, такође и за прихватање и обраду информација са плочице за SHARP-ове, плочица за сензоре боје, граничних прекидача, прекидача боје тима и пина за покретање.

Сам алгоритам на ком се заснива код је линеаран и разгранат. Линеаран, односно секвенцијалан јер робот има задату путању коју треба да пређе, док у одређеним деловима, од ње одступа и извршава подпроцедуре након којих се враћа где ју је напустио и наставља даље (Слика 4.8).

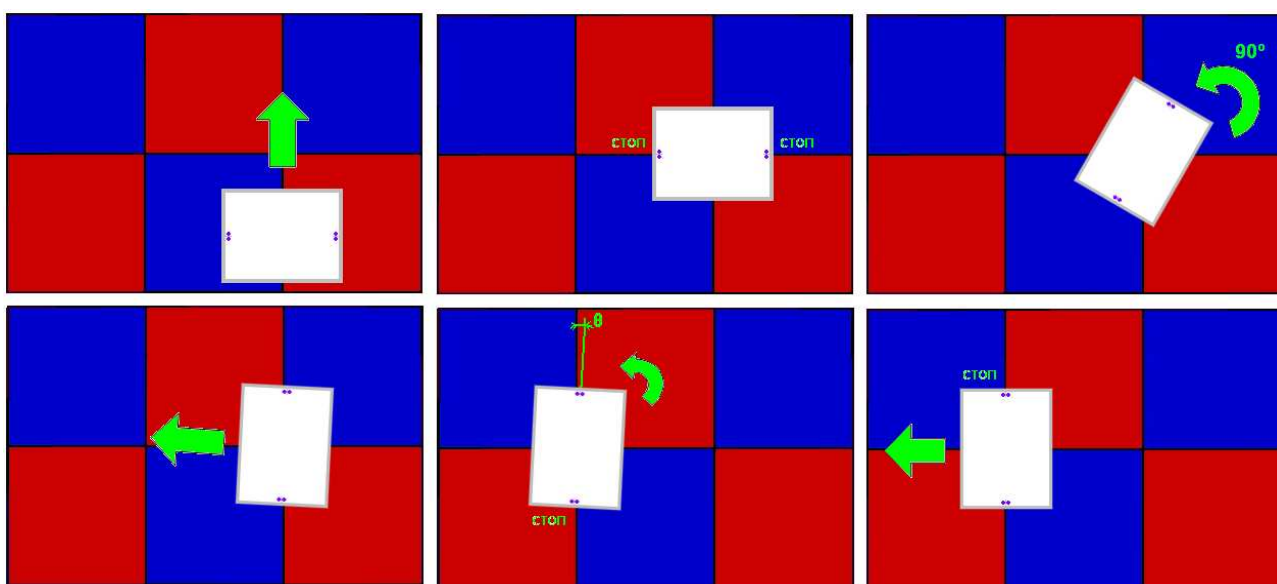


Слика 4.8 Главни алгоритам кретања

Основу алгоритма и система управљања чини функција кретања, која узима у обзир сигнале добијене са енкодера и осталих помоћних модула, за детекцију препрека, корекцију путање и са бочних сензора (Слика 4.7). Ове информације се користе за ефикасно и безбедно кретање при тренутним околностима. Петља се врти све док се не испуне поједини услови који узрокују излазак. Постоје два случаја напуштања петље: кад је путања завршена и када путања није завршена до краја. Први случај уједно представља крај задате путање и испуњење главног услова функције кретања, а то је управо завршетак путање. Други случај је занимљив за анализу. Дешава се или када робот наиђе на пешака испред себе или када детектује јаку фигуру у зеленој зони. У оба случаја функција кретања се завршава пре достизања крајње позиције задате путањом, зато је важно да се запамти тренутна позиција непосредно пре напуштања функције, да би се касније путања могла завршити. Код прекида ради скупљања пешака, не одступа се значајно од запамћене

позиције, евентуално долази до ротације за  $180^\circ$  да би се искористила друга хватаљка, и не долази до грешке приликом наставка кретања. Уколико се активира процедура за скупљање јаке фигуре из зелене зоне, приступа се кретању „на слепо“, ово може узроковати грешке у позиционирању, али пошто су таква кретања мала, претпоставља се да до тога неће доћи. Пошто се позиционирање врши пребројавањем прелаза, довољно је да се робот врати у исто поље са ког је кренуо да не би било грешке. Као могући проблем јавља се ситуација када се дотична процедура активира на самом прелазу или непосредно пре или после, јер се може десити да се спорни прелаз не региструје или региструје два пута уколико се робот погрешно врати. Ово је решено тако што је као додатна мера сигурности уведена и провера броја инкремената са енкодера.

На неким деловима путање нису потребне неке од информација, нпр. бочни сензори у другом пролазу, тако да се у тим ситуацијама користе мало модификоване функције кретања, где се овај део избацује.



Слика 4.9 Приказ поступака при скретању робота у лево

При скретању за  $90^\circ$  за заустављање се не користе сензори боје, јер би грешка била велика због растојања од 1cm између сензора на једној плочи, што није довољно прецизно. Закретање се врши задавањем одређеног, експериментално утврђеног, броја инкремената који мотори треба да опишу, али на супротне стране, тако да се робот окреће око средишње вертикалне осе и изврши ротацију за  $90^\circ$ . Након овога робот се прилично прецизно позиционира, а уколико и има одступања она ће се елиминисати на следећем прелазу, јер након закретања иде равно кретање. Специфичне позиције при скретању су приказане на слици 4.9.

---

Кретање „на слепо“ се ради при скупљању фигура из зелене зоне, и при остављању кула. Код овог кретања, управљање се врши искључиво прерачунавањем пређеног пута на основу инкремената добијених са енкодера мотора. Ова метода је подложна акумулацији грешке, али с обзиром на то да су кретања на овај начин кратка и пређени путеви мали, настале грешке се могу занемарити.

## 5. Верификација

Примењена решења су се углавном добро показала на терену. Иако нису били подвргнути свеобухватним тестовима, сваки модул је функционисао на жељени начин. Да би се поспешео рад, морало се прибећи ситним импровизацијама, као што су цевчице на SHARP сензорима и закривање сензора боје и додатно осветљавање пода испод њих.

Са друге стране, дошло је и до неких грешака које су углавном последица мањка искуства. Наиме, дешава се да на плочици за SHARP сензоре, због лоше израде понекад дође до губитка контакта, што доводи до погрешног читавања или изостанка регистровања неких препрека. Још једна непожељна ситуација, која се могла избећи, јесте лажно регистровање супарничког робота када робот наиђе на кулу која је, иако доста ужа, довољно висока да је сензор региструје, а пошто су упарени сензори су спрегнути ИЛИ функцијом, ако један види нешто, активира се процедура за избегавање. Ово се могло избећи коришћењем инфрацрвеног сензора са прекидним снопом представљеног у 3. делу овог рада. Упркос овоме, модул је добро реаговао у случајевима кад се на препреку наилази, или она наилази, из правца који је смакнут у односу на правац кретања и на тај начин избегава бочне сударе и чешање о препреку. Ово је било могуће због ширег угла који сензори „гледају“, јер су упарени и на њих нису стављане цевчице за усмерење.

Бочни сензори су такође прилично прецизно детектовали јаке фигуре, што је битно јер се робот при кретању у првом пролазу мора зауставити чим их они спазе. Ако се заустави мало касније због инерције, то одступање се надокнађује јер су хватаљке максимално отворене и купе фигуру чак и ако је померена мало латерално у односу на правац прилаза. Једна ситуација која је превиђена, мада се није ни догодила, јесте случај када робот заврши на путањи паралелној са предвиђеном, услед поравнања након скретања проузрокованог поремећајем, јер тада јака фигура у зеленој зони, иако у

предвиђеној области, може изаћи ван простора који се проверава SHARP сензорима и даље узроковати погрешна читавања.

Генерални проблем инфрацрвених сензора су сметње које настају при спољашњем осветљењу. Ови модули су тестирани под осветљењем рефлектора и при сунчевој светлости у затвореном простору, али поменути проблеми се нису испољавали.

Код сензора боје највећи проблем је био мали опсег излазног сигнала  $\sim 1V$ , што смањује резолуцију сензора, јер се не користи пун опсег А/Д конвертора. Овај проблем се могао решити додавањем појачавача на сваки од излазних канала сензора, који би развукли излаз на цео опсег. Наравно, то за собом повлачи заузимање додатног простора. Упркос овом проблему, модул се сјајно показао, и на сваком прелазу се поравнавао и течно настављао кретање. Уколико се експериментално добијене, фино подешене границе промене, поставе толерантније или обрнуто, систем почиње да се понаша на непредвиђен начин. Главни узроци овог проблема су мали опсег сигнала са сензора, а самим тим и мали број расположивих вредности за тумачење и лоше стање стола за такмичење. Други узрок се јавио након учесталих испробавања рада робота свих екипа, од којих су неки роботи гребањем оштетили сто и скинули боју. Систем није обучен да препозна ову ситуацију и на таквим деловима стола неће обављати функцију на жељени начин. Једно решење које би можда решило овај проблем је додатна обрада добијених резултата са сензора, тако што се не би користио сваки резултат конверзије, већ би се чували у низу и након прикупљања одређеног броја узорака, њихове вредности би се усредњавале и та добијена вредност би се користила. Оптимални број узорака се мора адекватно одредити, јер треба избалансирати довољан број узорака и да тај процес траје довољно кратко, јер је при кретању робота изузетно битно да потребна информација буде прослеђена на време.

Сама природа овог решења не дозвољава скретање са путање за велики угао, јер то доводи до велике промене правца и чак могућег губитка контроле над роботом. Максималан угао закретања који се може кориговати зависи од позиције робота унутар поља. Једноставно, битно је да док се креће на поремећеној путањи не пређе на суседно бочно поље пре него што се поравна са прелазом на наредно поље које се налази испред.

Такође, због уздужне размакнутости два сензора исте плоче од 1cm, модул није могуће искористити код закретања за прав угао у месту, на принципу унакрсног поравнања. Идеја код овог принципа је да кад наиђе на прелаз, робот започне ротацију око средње вертикалне осе у жељеном смеру. Ротација се врши све док сваки од точкава не наиђе на први наредни прелаз, који је у ствари линија прелаза управна на линију са које је кретање започето. У идеалном случају робот би завршио на правцу управном на правац са ког је започео ротацију и паралелно смакнут са главне линије раздвајања поља коју

„прати“, за онолико колико је био и пре ротације на претходном правцу. Због претходно поменутог уздужног растојања сензора, на овај начин би се јавило одступање од поравнате позиције за угао  $\theta$ :

$$\theta \approx (d/2) * x$$

У овој формули  $d$  представља попречно растојање између електричних плочица на којима се налазе сензори, а  $x$  уздужну размакнутост сензора боје на једној плочи, која у овом случају износи 1,5cm. Угао  $\theta$  се може видети на петој илустрацији на слици 4.9.

## 6. Закључак

У овом раду је приказано једно од могућих решења система за управљање коришћењем сензора боје. Наравно, постоји много различитих могућности од којих свака има своје добре и лоше стране што у ствари и чини ово такмичење занимљивим.

Овај тип система за управљање кретањем, посебно модул за корекцију путање са сензорима боје, је направљен сврсисходно за EUROBOT такмичење за 2011. годину. Није универзалан, али у појединим ситуацијама са сличним условима, уз одређене корекције, овај принцип би се могао применити. Сврха развоја била је више едукативна, ради упознавања са радом сензора и микроконтролера, а не ради развоја универзалног система позиционирања.

Што се одабраних сензора растојања тиче, њихово кључно ограничење је то што су применљиви искључиво у затвореном простору. Као и у претходном случају ово ограничење је прихватљиво јер улази у оквир правилима допуштених ограничења.

Реализација овог система, те и робота као целине, представља једно веома корисно искуство. То је у суштини први велики пројекат на коме студенти имају могућност да примене знања стечена у току студија и да то учине у оквиру тима, што само по себи представља посебан изазов.

Гледајући са ове дистанце, са стеченим искуством, доста ствари бисмо урадили на другачији начин, али то и јесте поента ове вежбе. Критичко посматрање и анализа изабраних решења проблема и њихове имплементације омогућава да се увиде грешке и могућа унапређења што се даље може употребити или представљати основу при синтези решења за неки наредни задатак.



## 7. Литература

- [1] Милан Николић, Калман Бабковић: *Практикум из предмета Дигитални микроконтролери*, Универзитет у Новом Саду, Факултет Техничких наука, 2008.
- [2] Вељко Малбаша: *Микропроцесорска електроника – белешке са предавања*, Универзитет у Новом Саду, Факултет Техничких наука, 2008.
- [3] Упутства за кориснике (datasheet), коришћених компоненти, [www.alldatasheet.com](http://www.alldatasheet.com)
- [4] EUROBOT, званична интернет презентација, [www.eurobot.org](http://www.eurobot.org) (новембар 2010.)