

Navigacija mobilnog robota

Jasmin Nišić, Damir Nišić,

Fakultet elektrotehnike

Univerzitet u Tuzli

Bosna i Hercegovina

jasmin.nisic@gmail.com, damir.nisic@live.com

Sažetak— U radu je predstavljen način vođenja robota prema orijentiru određene boje korištenjem *CMUcam* vizijskog senzora. Kretanje se odvija u 2D prostoru uz pretpostavku da između orijentira i robota ne postoji prepreka. Prije započinjanja kretanja potrebno je detektovati objekat zadate boje, a što se vrši rotacijom robota oko vertikalne ose sve dok se u vidnom polju kamere ne pojavi traženi objekat. Nakon detekcije boje orijentira započinje kretanje robota prema istom. Da bi se održavao pravac kretanja potrebno je održavati što bližim osu centra snimanog objekta i uzdužnu osu robota, za što su korišteni dvopoložajni i P regulator. Udaljenost između robota i praćenog objekta određuje se korištenjem IC senzora postavljenog na robotsku platformu i izračunavanjem udjela boje praćenog objekta na zaslonu kamere. Na osnovu tih podataka vrši se i zaustavljanje robota, zavisno od međusobne udaljenosti robota i praćenog objekta.

Ključne riječi - *Boe Shield Bot* robot; *CMUcam* kamera; IC senzor; orijentir; P regulator;

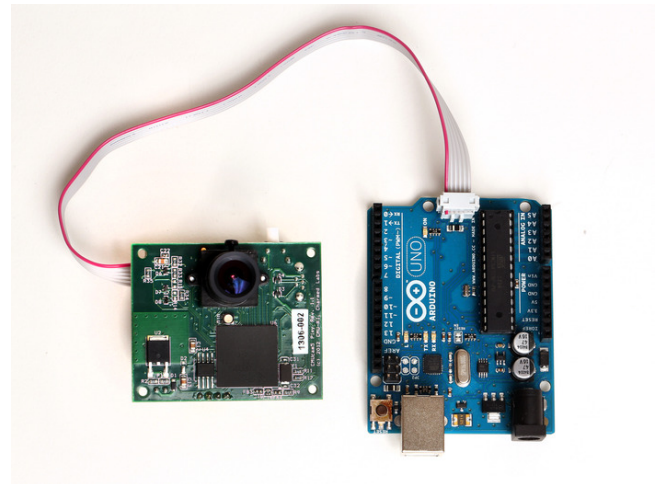
I. UVOD

U radu je opisano rješavanje problema navigacije *Boe Shield* robota korištenjem *CMUcam* senzora.

Robot *Boe Shield Bot* ("Board of Education Shield Bot") je mobilni robot baziran na *Arduino Uno* platformi (sl. 1.). Za pokretanje koristi dva servo motora, a koji obezbjeđuju diferencijalni pogon robota [1].



Slika 1. Mobilni robot *Boe Shield Bot*



Slika 2. *CMUcam* vizijski senzor

Pošto kretanje robota nije unaprijed poznato, robot će se voditi prema orijentirima čija boja i položaj su unaprijed određeni i poznati (sl. 3.). Za ovu svrhu koristi se *Shield* kamera (sl. 2.) koja je fiksirana na robota i koja čini robotski vizijski sistem. [2].

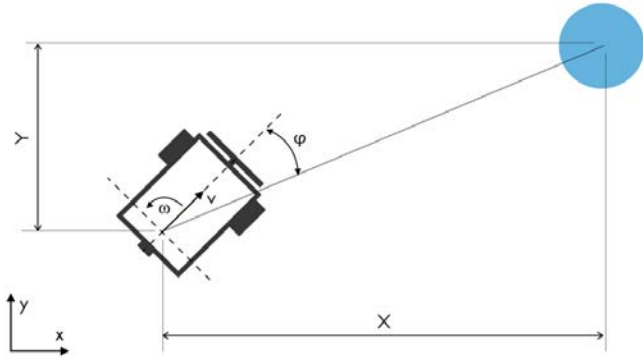
II. PRINCIP RADA

A. Navigacija robota pomoću *CMUcam* senzora

Da bi se doveo robot do posmatranog orijentira koji se nalazi na nekoj udaljenosti u horizontalnoj ravni uz pretpostavku da između robota i orijentira ne postoje nikakve prepreke, dovoljno je osigurati kretanje robota po pravcu prema orijentiru. Algoritam navođenja robota prema orijentiru sastoji se iz 3 faze:

Prva faza je pronalazak i identifikacija orijentira određene boje u vidnom polju kamere. Robot u ovoj fazi rotira oko svoje vertikalne ose simetrije konstantnom ugaonom brzinom ω i ta faza traje sve dok se u vidnom polju kamere ne pojavi objekat zadane boje. Nakon identifikacije orijentira započinje druga faza u kojoj se robot počinje kretati prema detektovanom orijentiru. U ovoj fazi vrši se i zakretanje robota s ciljem poklapanja ose centra objekta sa uzdužnom osom robota, odnosno vrši se minimizacija ugla φ između centra objekta i uzdužne ose robota (sl. 3). Njegova ugaona brzina se reguliše pomoću povratne veze sa kamere kako bi se ugao φ držao što je moguće bliže iznosu 0° , a time i robot što

preciznije kretao prema orijentiru. Ako prilikom kretanja robot izgubi detektovani orijentir iz vidnog polja proces navođenja se vraća na prvu fazu, odnosno ponovo se vrši rotacija robota u cilju pronalaska traženog orijentira, te se nastavlja prethodno opisani proces. Kada robot pride orijentiru na unaprijed zadanu udaljenost robot se zaustavlja. Nakon toga sekvenca kretanja se ponavlja od prve do treće faze pronalaskom drugog orijentira itd.



Slika 3. Kretanje robota prema orijentiru

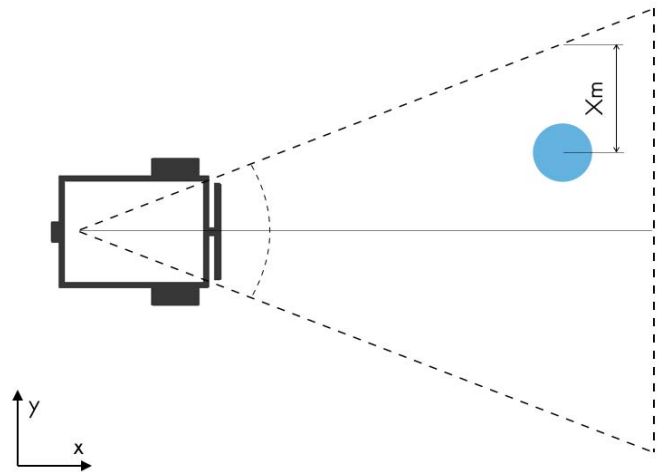
Za mjerenje udaljenosti između robota i ostalih objekata u okolini koristi se analogni infracrveni senzor Sharp GP2Y0A21YK. Ovakvim sistemom za detekciju prepreka moguće je uspješno mjeriti udaljenosti prepreka od robota u rasponu 10-80 cm.

B. Snimanje okoline kamerom i identifikacija orijentira

U ovom slučaju korištena je CMUcam kamera ugrađena na Boe Shield robot. Kamera snima rasterske slike u boji frekvencijom 50 fps (*frames per second*, broj snimljenih slika u sekundi).

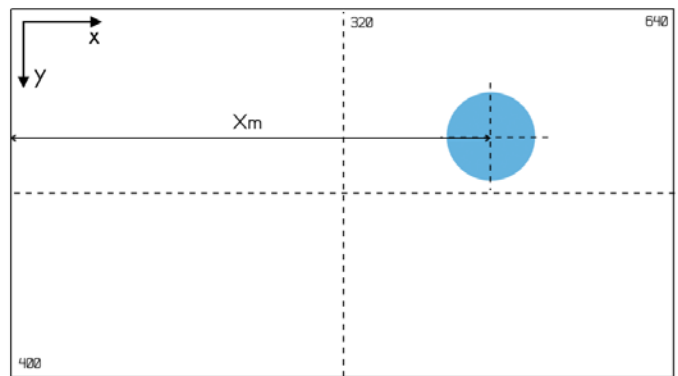
CMUcam je brzi vizijski senzor [5], koji omogućava korisniku jednostavno „učenje“ objekata koje treba da prati i može se direktno priključiti na Arduino kontrolere (sl. 2.). Kako CMUcam posjeduje vlastiti procesor i vrši obradu slike samostalno, njegova upotreba smanjuje opterećenje samog kontrolera. CMUcam kamera omogućava istovremenu detekciju do sedam orijentira različite boje tako što kreira model objekta koji se nalazi ispred sočiva kamere dok je ona u modu „učenja“. Nakon toga te podatke snima u vlastitu flash memoriju na jednu od sedam raspoloživih adresa i koristi ih da prati odgovarajući objekat, uvijek kad se pojavi u vidnom polju kamere. Dobra strana ovakvog pristupa je što omogućava da se u svakom momentu promijeni boja objekta koji se prati, bez rekompajliranja programa, jednostavnom zamjenom modela objekta na odgovarajućoj adresi. Pošto CMUcam za detekciju objekata koristi HSV model boje, nijanse (hue) objekata koji se detektuju moraju biti značajno različite. To smanjuje osjetljivost algoritma za detekciju objekata na promjene ambijentalnog osvjetljenja, te uticaj sjenki. Nakon učitavanja slike sa kamere na slici se traži skup piksela nijanse koja odgovara nijansi prethodno učitano modela, a koji predstavlja traženi objekat. X koordinata težišta

tog objekta na slici uzima se za mjerenu veličinu u regulacijskom krugu X_m . Vidno polje kamere je prostor u okolini koji je moguće vidjeti bez pomicanja kamere i u horizontalnoj ravni je omeđeno jednakokrakim trouglom u čijem se vrhu nalazi kamera [6]. Ugao između stranica određen je žižnom dužinom objektiva kamere i veličinom senzora.



Slika 4. Vidno polje kamere

Na slici 4. je prikazano vidno polje kamere montirane na robota u horizontalnoj ravni i objekat u njemu [6]. Posmatrani objekat na slici se pojavljuje sa tačno određenim koordinatama u pikselima (sl. 5.).

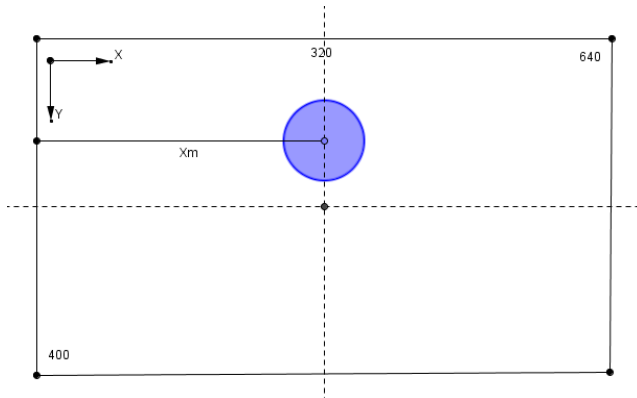


Slika 5. Položaj objekta na slici

Za korištenu kameru uobičajena veličina slike je 640x400 piksela. Koordinate nekog piksela na slici mogu varirati od 0 do 640 u X i od 0 do 400 u Y smjeru. S obzirom da je simetrala vidnog polja postavljena tačno na osi robota, ako bismo željeli robota dovesti do željenog predmeta potrebno je robota rotirati tako da se centar (težište površine) predmeta nalazi na sredini slike, tj. tako da X koordinata odgovara 320 piksela.

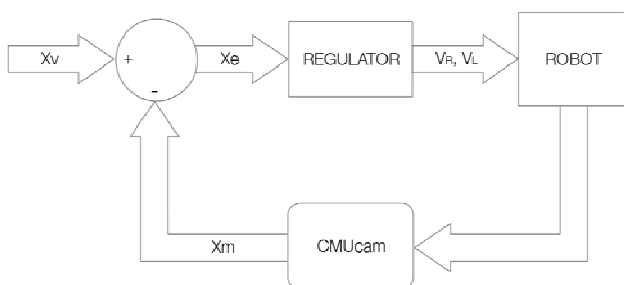
C. Regulacija ugaone i translacijske brzine

Da bi se robot doveo do određenog orijentira pomoću kamere, cilj je održavati centar snimanog objekta (orijentira) što je moguće bliže sredini zaslona kamere. Kako je rezolucija korištene kamere 640x400 pikseli to znači da je potrebno dovesti centar snimanog objekta što bliže koordinati 320 pikseli po X osi (što predstavlja referentnu vrijednost X_v).



Slika 6. Određivanje referentne vrijednosti X_v

Da bi to bilo izvodivo, obzirom da je kamera fiksirana na šasiju robota, potrebno je vršiti rotaciju robota oko vertikalne ose sve dok se ne poklope uzdužne ose robota i orijentira. Kako bi se ostvarila tražena kretanja robota potrebno je pomoću opisane kamere i obrade slike napraviti regulaciju ugaone i translacijske brzine kretanja robota u zavisnosti o položaju orijentira na zaslonu kamere.



Slika 7. Model sistema

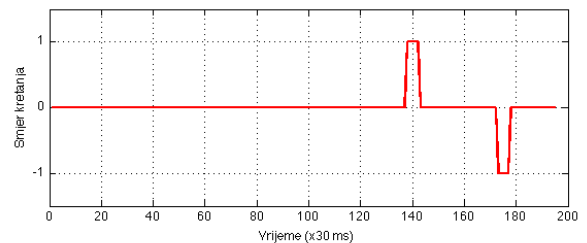
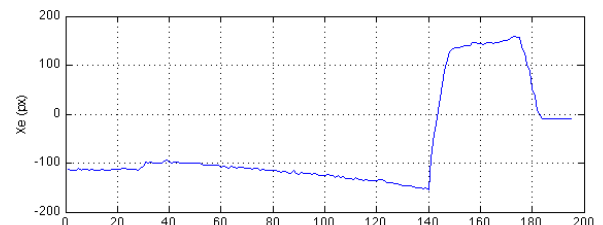
Kao mjerena veličina X_m uzima se X koordinate središta površine zadane boje u pikselima. Kao referentna veličina uzima se $X_v = 320$ pikseli što odgovara položaju orijentira na sredini zaslona.

Sistem je projektovan tako da omogućava pravolinijsko kretanje robota u pravcu orijentira za slučaj da se na upravljačke ulaze pogonskih motora lijevog i desnog točka dovedu impulsi širine 1700 i 1300 μs , što odgovara maksimalnoj brzini *Boe Shield* robota. Promjenom širine ovih impulsa reguliše se brzina motora, odnosno samog robota, a u slučaju da se na oba motora dovedu impulsi širine 1500 μs

robot će se zaustaviti, obzirom da se za pokretanje točkova robota koriste *Parallax* servo motori. Na bazi ovoga izvedeno je i upravljanje robotom. Zavisno od signala greške potrebno je regulisati brzine lijevog i desnog točka (V_r i V_l), odnosno vršiti promjenu širine impulsa koji se dovode na upravljačke ulaze pogonskih motora. Kako se X_m udaljenost objekta (sl. 6.) po X osi u pikselima može očitati sa *CMUcam* kamere, uz poznavanje zadane veličine X_v određuje se signal greške X_e , od čijeg iznosa zavise i brzine okretanja lijevog i desnog točka robota, a samim tim i njegov pravac kretanja. Ako je $X_e = 0$ točkovi robota imaju maksimalne brzine, a povećanjem signala greške X_e brzine točkova V_r i V_l se mijenjaju, što uslovljava i promjenu pravca kretanja robota, odnosno njegovo navođenje ka cilju.

III. ANALIZA REZULTATA

Za rješavanje opisanog problema u radu je izvedeno nekoliko eksperimenata sa različitim vrstama regulatora. U prvom eksperimentu korišten je dvopoložajni (*on/off*) regulator, koji za vrijednosti greške X_e unutar definisanog opsega omogućava kretanje robota u pravcu orijentira, dok vrijednosti greške X_e izvan definisanog opsega, a u cilju korekcije greške, rezultiraju zakretanjem robota u jednu ili drugu stranu, ovisno o predznaku greške. Prilikom određivanja opsega signala greške potrebno je voditi računa o tome da odstupanje uzdužnih osa robota i orijentira bude što manje, ali i da se oscilacije pri kretanju robota (koje nastaju kada je X_e izvan definisanog opsega) svedu na minimum, čime se postiže brže približavanje orijentiru. Eksperimentalno je pokazano da se zadovoljavajući rezultati dobivaju izborom opsega $X_e \in [-150, 150]$. Ovakav pristup dovodio je robota do cilja, ali zbog konstantnih brzina korekcije robot je često mijenjao pravac kretanja, odnosno njegovo kretanje bilo je isprekidano i gubio je puno vremena na promjene pravca kretanja (sl. 8.).

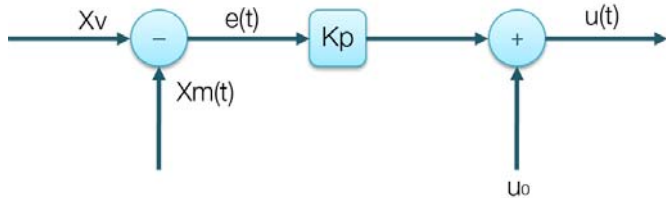


Slika 8. Kretanje robota regulisano dvopoložajnim regulatorom

U drugom eksperimentu kao regulator brzine kretanja korišten je P regulator, koji grešku Xe množi pojačanjem regulatora Kp i na taj način formira izlaz.

$$u(t) = K_p * e(t) + u_0 \quad (1)$$

gdje je u_0 vrijednost izlaza regulatora za slučaj kada je greška $e(t) = 0$.



Slika 9. Struktura P regulatora

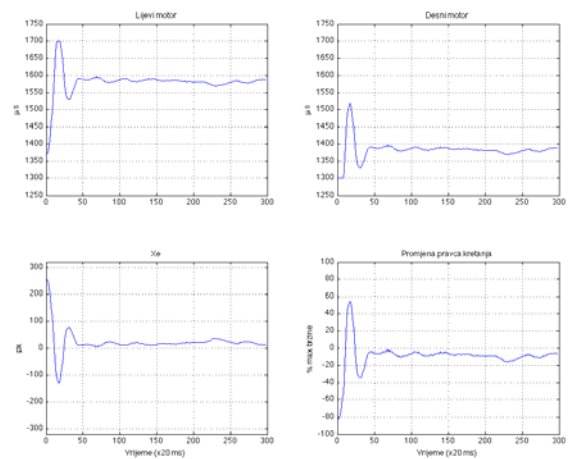
P regulator omogućava glatkiji odziv u odnosu na jednostavni on/off regulator. Obzirom da P regulator računa izlaznu vrijednost koja je proporcionalna iznosu greške, male greške rezultirat će malim izlaznim vrijednostima regulatora, dok velike greške rezultiraju agresivnijim odzivom, odnosno većim vrijednostima na izlazu regulatora.

U eksperimentima u ovom radu korišten je samo P regulator jer, zbog prirode problema (pravolinijsko kretanje prema fiksnom orijentiru), pri kretanju robota ne dešavaju se velike i brze promjene. Navedeni regulator zadovoljava specifikacije zadatka i jednostavan je za implementaciju.

Pojačanje Kp određeno je izvođenjem nekoliko eksperimenata, praćenjem brzine rotacije robota u cilju detekcije orijentira i minimizacije greške Xe .

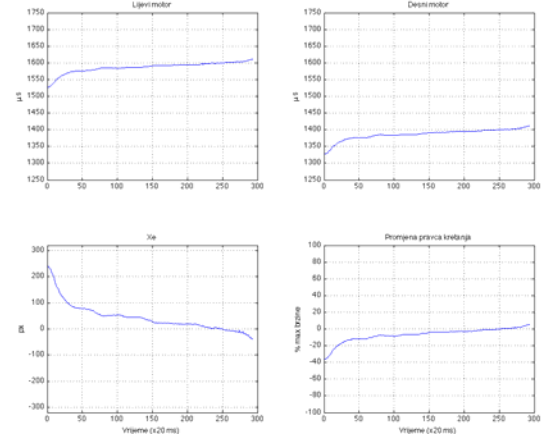
U prvom eksperimentu program je pokrenut sa vrlo malim pojačanjem Kp , koje se u narednim eksperimentima postepeno povećavalo sve dok sistem nije postao oscilatoran, a rotacija robota prebrza za detekciju boje pomoću kamere. Za male vrijednosti pojačanja ($Kp=0.4$) robot je imao spor odziv, pravio veću grešku pri kretanju, ali je kretanje bilo stabilno, bez većih oscilacija. Povećanjem Kp dobija se brži odziv, manja greška pri kretanju, ali dolazi do većih oscilacija robota, usljed češćih promjena pravca kretanja. Npr. pri izboru $Kp=2.5$ oscilacije su bile tako izražene da su onemogućavale translatorno kretanje robota ka cilju. Na kraju je odabrano pojačanje $Kp = 0.9$ koje je u eksperimentima dalo zadovoljavajuće rezultate.

Na osnovu podataka dobivenih u toku eksperimenta nacrtani su dijagrami ponašanja regulacijskih veličina v_r, v_l i Xe . (Sl. 10. - 12.) za različite vrijednosti pojačanja Kp . Jasno se vidi kako se sa promjenom signala greške mijenjaju i širine impulsa koje određuju brzinu rotacije pogonskih motora robota, kao i uticaj pojačanja Kp na kretanje robota.



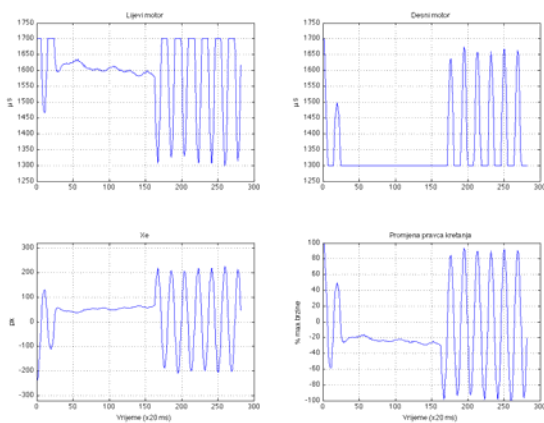
Slika 10. Kretanje robota za $Kp=0,9$

Vidi se da za odabrano pojačanje P regulatora robot vrlo brzo detektuje orijentir i minimizira grešku, a kretanje je bez značajnijih oscilacija.



Slika 11. Kretanje robota za $Kp=0,4$

Izborom male vrijednosti pojačanja Kp kretanje robota je stabilno, ali je odziv spor, pa je i za korekciju greške potrebno značajnije vrijeme.



Slika 12. Kretanje robota za $K_p=2,4$

Izborom velike vrijednosti pojačanja K_p odziv robota je brz, pokreti su agresivniji, što dovodi do nestabilnog kretanja i vrlo često oscilacija koje onemogućavaju kretanje robota ka cilju.

Tokom kretanja robota mjerena je i udaljenosti između robota i orijentira pomoću analognog infracrvenog senzora *Sharp GP2Y0A21YK*. Kada se robot približi orijentiru na unaprijed zadanu udaljenost robot se zaustavlja.

Zbog manje radne memorije u eksperimentima je korišten manji zaslon kamere dimenzija 640x400 piksela. Odabirom ove manje rezolucije *CMUcam* snima slike frekvencijom 50 fps, što omogućava detekciju orijentira i pri većim brzinama kretanja robota. Izborom veće rezolucije snimanja 1280x800 (koju *CMUcam* također podržava) brzina snimanja se redukuje na 25 fps, zbog čega robot ponekad ne uspije detektovati orijentir ako se on kreće prevelikom brzinom, ali se smanjuje osjetljivost kamere na intenzitet okolišnog osvjetljenja što utiče na uspješnost detekcije zadane boje. Takođe, izborom veće rezolucije mijenja se i pojačanje K_p . Eksperimentalno je pokazano zadovoljavajuće ponašanje sistema za ovu rezoluciju sa konstantom $K_p=0.5$.

IV. ZAKLJUČAK

U okviru ovog rada dat je pregled osnovnih principa za navigaciju mobilnog robota, te analizu rezultata navigacije robota dobivene provedenim eksperimentima.

Kako su u zadnje vrijeme mikrokontroleri sve dostupniji za široku upotrebu, to omogućava izradu jeftinih, tzv. edukacijskih robotskih platformi sa velikim mogućnostima nadogradnje i prilagođavanja. Zbog niske cijene i velikih softverskih mogućnosti naročito interesantnim su se pokazali vizijski senzori i tzv. *CMU* kamere koje se mogu jednostavno

montirati i komunicirati sa robotskom platformom, te različitim metodama obrade slike prikupljati podatke od interesa, koji se uspješno mogu koristiti za upravljanje mobilnim robotom. Pokazalo se da se ipak dosta bolji rezultati mogu postići kombinovanje vizijskih sa "klasičnim" senzorima čime se postiže veća fleksibilnost autonomnog mobilnog robota i čini ga upotrebljivim u različitim ambijentalnim uslovima.

LITERATURA

- [1] J. Velagić, „Mobilna robotika“, Štamparija Fojnica, 2012.
- [2] V. Določek, I. Karabegović, „Robotika“, Tehnički fakultet, Bihać 2002.
- [3] John Baichtal, *Arduino for Beginners: Essential Skills Every Maker Needs*, Amazon, 2013.
- [4] <http://learn.parallax.com/> (mart, 2015.)
- [5] <http://www.cmucam.org/> (april, 2015)
- [6] M.Lukas, „Rješavanje problema loptanja pomoću robota eMIR“, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb 2013.
- [7] E.Ivanjko, M.Brezak, I.Petrović „Eksperimentalni postav za automatsko umjeravanje odometrijskog sustava mobilnih robota“, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb.

ABSTRACT

This work represents the way of the mobile robot guidance to an object with specific color, using *CMUcam* vision sensor. The motion is performed in 2D space and it is assumed that there are no obstacles between the robot and the object. Before the motion begins, it is necessary to detect the object with given color, rotating the robot around the vertical axis, until the required object shows up in the field of view of the camera. After the color is detected, robot's motion can begin – the robot can start to follow the object. In order to keep the direction of movement, it is necessary to keep the central axis of the captured object as closer as possible to the vertical axis of the robot. In order to achieve that, On-Off and P-Only controllers have been used. The distance between the robot and followed object is being approximated using IR sensor attached to the robotic platform and calculating the percentage of the object's color on the captured picture. Based on this data, the robot is being stopped when it is too close to the followed object.

MOBILE ROBOT NAVIGATION

Nisic Jasmin, Nisic Damir