

**UPORABA VIZUALNOG SENZORA ZA DETEKTIRANJE ORIJENTIRA KOD
NAVIGACIJE MOBILNOG ROBOTA U ZATVORENOM PROSTORU**

**USE OF VISUAL SENSOR FOR LANDMARKS DETECTION IN MOBILE ROBOT
INDOOR NAVIGATION**

STRUČNI ČLANAK

Boris Crnokić, dipl. inž. stroj.
Fakultet strojarstva i računarstva, Sveučilište u Mostaru
boriscrnokic@hotmail.com

Mr. sc. Miroslav Grubišić
Fakultet strojarstva i računarstva, Sveučilište u Mostaru
miroslav.grubisic@gmail.com

Sažetak:

Navigacija mobilnog robota predstavlja elementarni uvjet autonomije robota, a samim time i temelj za efikasno i kvalitetno obavljanje traženih zadaća. Različiti senzori se koriste za tu svrhu, tako da postoji veliki broj različitih rješenja za problem navigacije mobilnih robota. Primjena senzora vizije (kamere) pruža veliki broj korisnih informacija, koje navigacijskom sustavu predstavljaju strukturu okoline kroz različite boje i oblike. U ovome radu su prikazani sustavi navigacije bazirani na praćenju linija i obojenih predmeta (orijentira), kroz primjenu različitih programskih sučelja za kreiranje i implementiranje navigacijskih algoritama. Kroz nekoliko primjera u ovome radu, primjenom RobotinoView i MATLAB/Simulink programskih paketa, dizajnirani su navigacijski sustavi koji mogu obavljati identične zadaće navigacije, a da se pritom ne koriste isti principi i metode detektiranja i praćenja orijentira. Ovakvi sustavi navigacije mogu imati vrlo široku primjenu za obavljanje zadaća u kojima je potrebno praćenje točno određene trajektorije prilikom kretanja robota.

Ključne riječi: mobilni roboti, navigacija, senzor vizije, detektiranje orijentira

Abstract:

Mobile robot navigation represents elementary precondition for robot autonomy, and thus the basis for the effective and efficient implementation of the required tasks. Different sensors are used for this purpose, so there are a number of different solutions to the problem of mobile robots navigation. Application of the vision sensor (camera) provides a number of useful information, which represent the structure of the environment to the navigation system through a variety of colors and shapes. This paper presents navigation systems based on line and colored objects (landmarks) tracking, through the application of different programming interfaces for creating and implementing of navigation algorithms. Through several examples in this paper, applying RobotinoView and MATLAB/Simulink programming packages, navigation systems were designed for performing identical navigational tasks, but without using same principles and methods for detection and tracking of landmarks. This type of navigation systems can have widespread use for performing tasks that require tracking of specific trajectory during movement of the robot.

Key words: Mobile Robots, Navigation, Vision Sensor, Landmarks Detection.

1. UVOD

U posljednje dvije decenije mobilni roboti privlače sve više pozornosti znanstvenika jer njihov spektar uporabe je sve veći u različitim poljima kao što je istraživanje svemira, podvodna istraživanja, autoindustrija, vojna industrija, medicina, servisni roboti, roboti za posluživanje i zabavu, itd. Mobilni roboti moraju posjedovati sposobnosti autonomije i inteligencije, pa je sposobnost navigacije u nepoznatoj okolini za svakoga mobilnog robota fundamentalni problem. Navigacija je jedan od osnovnih problema kod dizajniranja i razvoja inteligentnih mobilni robota. Robotska navigacija zahtijeva vođenje, odnosno usmjeravanje mobilnog robota željenom putanjom ka željenom cilju izbjegavajući prepreka i opasnosti na koje nailazi kroz nepoznatu okolinu. Detektiranje i izbjegavanje prepreka, sudara i opasnih situacija je na prvome mjestu, međutim planiranje putanje i dolazak na željeni cilj je također vrlo važan segment pouzdane i sigurne navigacije mobilnog robota. Razvijeni su različiti sustavi navigacije, bazirani na jednoj ili više vrsta senzora, a zajednički problemi svih tih sustava su samolociranje robota, planiranje putanje i izgradnja mapa okoliša. Za rješavanje tih problema potrebne su točne i pouzdane informacije o statusu okoline u kojoj se robot nakazi, odnosno točna i pouzdana očitavanja senzorskog sustava mobilnog robota.

Pojam autonomije mobilnih robota obuhvata mnoga područja, znanja, metode, i u konačnici algoritme dizajnirane za kontrolu putanje, izbjegavanje prepreka, lokalizaciju, izradu mapa, itd. Praktično, uspjeh planiranja putanje i mogućnosti navigiranja autonomnih mobilnih robota ovisi o dostupnosti i dovoljno pouzdanoj procjeni pozicije i točnom prikazu područja kretanja robota.(Crnokić & Grubišić 2014)

U ovome radu će biti prikazana uporaba vizualnog senzora (kamere) za detektiranje orijentira kod navigacije mobilnog robota u zatvorenom prostoru. Kao primjeri su uzeti slučajevi detektiranja linija i objekata različitih boja. Detektirajući različite orijentire, mobilni robot realizira svoje kretanje u odnosu na njih, te na taj način navigira kroz zatvoreni prostor (prostoriju).

2. NAVIGACIJA MOBILNIH ROBOTA

Navigacija je znanost o vođenju mobilnog robota u smislu načina kretanja kroz okolinu. Problemi vezani uz navigaciju robota mogu se sažeti u tri pitanja: „Gdje se robot nalazi?“, „Gdje robot ide?“ i „Kako će robot doći do tamo?“. Odgovore na prva dva pitanja moguće je dati adekvatnim senzorskim sustavom, dok je za odgovor na treće pitanje potreban efektivan sustav planiranja (Lizarralde et al. 2003). Navigacijski sustavi i algoritmi direktno su vezani uz senzore dostupne na robotu i strukturu okoline u kojoj se robot kreće. Načini kreiranja navigacijskih sustava i tehnike planiranja navigacije uvelike ovise od ograničenja senzorskog sustava i okoline, kao i od namjene i vrste mobilnog robota. Navigaciju je moguće realizirati sa nekim od tri sustava, i to (Barrera 2011; Fahimi 2009):

- sustava temeljenog na koordinatama,
- sustava temeljenog na ponašanju, i
- hibridnog sustava.

Sustav temeljen na koordinatama, kao pomorska navigacija, koristi poznavanje pozicije robota u globalnom koordinatnom sustavu u prostoru, a baziran je na modelima (mapama) okoliša. Neke od tehnika koje se najčešće koriste u ovim sustavima su mapiranje, mreže zauzeća i potencijalna polja. Sustav temeljen na ponašanju zahtijeva od robota da razaznaje značajke i pronalazi ciljeve koristeći senzore. Robot mora biti sposoban da razaznaje bilo koje prepreke, te da poznaje pravila koja će ga odvesti do željenog cilja. U ovome slučaju koordinatni sustav je lokalni. Za oba navedena sustava jako su važne

informacije o položajnim značajkama prostora. Modeliranje okoline odnosi se na predstavljanje objekata i strukture podataka korištenih za spremanje informacija (mape). Dva načina za izgradnju mapa su geometrijsko i fenomenološko predstavljanje. Prednost geometrijskog predstavljanja je u tome što ima jasnu i intuitivnu vezu sa stvarnim svijetom, međutim predstavljanje nepouzdanе geometrije nije na zadovoljavajućoj razini. Fenomenološko predstavljanje koristi topološki prikaz mape sa relativnim pozicijama koja je bazirana na lokalnim referentnim okvirima radi izbjegavanja akumuliranja relativnih pogrešaka. (Berns & von Puttkamer 2009)

3. SENZORI VIZIJE U SUSTAVIMA NAVIGACIJE MOBILNIH ROBOTA

Navigaciju je moguće ugrubo opisati kao proces određivanja najpogodnije i najsigurnije putanje, između početne i krajnje točke, kojom će se robot kretati. Različiti senzori se koriste za tu svrhu, tako da postoji veliki broj različitih rješenja za problem navigacije. U posljednja tri desetljeća primjena senzora robotske vizije (robotskog vida) postala je jako raširena, jer navigacijske strategije bazirane na viziji uvelike su povećale dosege primjene autonomnih mobilnih robota. Najveća primjena navigacijskih rješenja baziranih na sensorima vida je kod kopnenih mobilnih robota, međutim, vizualni senzori sve su popularnija i u razvoju navigacijskih strategija podvodnih i zračnih mobilnih robotskih sustava, kao osnovni senzor sustava ili kao nadomjestak drugim sensorima (infracrveni senzori, ultrazvučni, odometrija, itd.). Neke od prednosti navigacijskih sustava baziranih na viziji su niska cijena senzora, mogućnost detaljnog istraživanja karakteristika okoline, kao i mogućnost detektiranja vizualnih orijentira u realnom vremenu.

U ovisnosti od tipa autonomnog mobilnog robota, sustave koji koriste viziju za navigaciju ugrubo je moguće podijeliti na one koji *trebaju prethodno znanje o cijeloj okolini* (mapu) i one koji razaznaju okolinu krećući se kroz nju. Sustave koji trebaju mape moguće je podijeliti na (Bonin-Font et al. 2008):

- sustave koji koriste metričke mape,
- sustave koji izgrađuju metričke mape, i
- sustave bazirane na topološkim mapama.

Sustavi koji koriste metričke mape moraju biti opremljeni sa cjelovitom mapom okoliša prije nego što zadaća navigacije započne. Sustavi koji izgrađuju metričke mape imaju sposobnost kreiranja mapa okoline i korištenja istih za naredne korake navigacije. Ovakvi sustavi imaju sposobnost simultanog samolociranja u okolini tijekom izgradnje mapa. Sustavi bazirani na topološkim mapama izgrađuju i/ili koriste topološke mape koje se sastoje od čvorova povezanih linijama, gdje čvorovi predstavljaju najkarakterističnija mjesta u okolini, a linije predstavljaju razdaljinu ili vrijeme među njima. (Bonin-Font et al. 2008; Azizi & Houshangi 2011)

U ovisnosti od vrste senzora, postoje različite strategije vizualne navigacije koje koriste nekoliko konfiguracija za pribavljanje informacija iz okoline potrebnih za navigaciju. Većina sustava je bazirana na monokularnim i binokularnim (stereo) sustavima, iako postoje i sustavi bazirani na trinokularnim konfiguracijama. Struktura koja dobiva sve češću uporabu zbog svojih prednosti je svesmjerna (engl. omnidirectional) kamera koja ima vidno područje od 360°, a najčešće se dobije kombinirajući konvencionalnu kameru sa konveksnim, konusnim, sferičnim, paraboličnim ili hiperboličnim zrcalima. (Guzel 2003)

Kada je slika uhvaćena od kamere svjetlo prolazi kroz leće i pada na senzor slike. Senzor slike se sastoji od elemenata slike (piksela) koji registriraju količinu svjetlosti koja pada na njih, zatim pretvaraju tu zaprimljenu količinu svjetlosti u odgovarajući broj elektrona. Elektroni se pretvaraju u voltažu, a voltaža se transformira u brojeve preko A/D pretvornika.

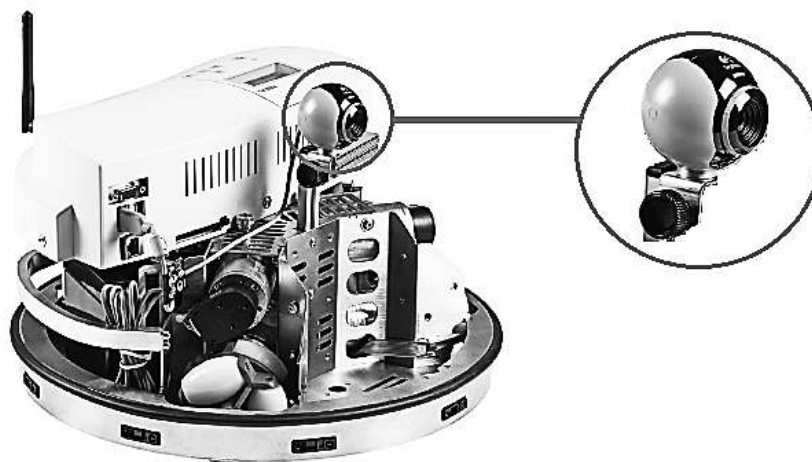
Dva su najvažnija poluvodička senzora koja se koriste za računalni vid, a to su CCD (engl. Charge-coupled Device) i CMOS (engl. Complementary Metal-oxide Semiconductor). Poluvodičke kamere se temelje na unutarnjem fotoelektričnom efektu, odnosno na zakonitosti da se u određenim materijalima elektroni oslobađaju kod apsorpcije fotona (svjetla), gdje je količina elektrona u korelaciji sa količinom fotona. (Bigas et al. 2006)

4. KORIŠTENI HARDVER I SOFTVER

Hardver korišten u ovome radu uključuje mobilnog robota Robotino 2 (Slika 1.) i pokretno računalo (laptop), dok su aplikacijski algoritmi implementirani u programskom okruženju MATLAB/Simulink i kroz programski paket RobotinoView2.

MATLAB (MATrix LABoratory) je multifunkcionalno numeričko računalo okruženje koje omogućava manipuliranje matricama, crtanje funkcija, stvaranje korisničkih sučelja i sučelja programa pisanih u drugim programskim jezicima. Višestruka je primjena ovoga programskog okruženja, između ostalog, i za kreiranje programskog algoritma za upravljanje kretanjem mobilnog robota, kao što je prikazano u ovome radu. Simulink je grafičko programsko okruženje za modeliranje, simuliranje i analizu dinamičkih sustava. Njegovo primarno sučelje su alati grafičkih blok dijagrama i prilagodljivih skupova blokova različitih funkcija. Integriran je s MATLAB-om, te omogućava integriranje MATLAB algoritama u modele blok dijagrama i izvoz rezultata simulacije u MATLAB na daljnju analizu. (P.H. Pawar R.P. Patil 2014)

RobotinoView2 je intuitivno grafičko programsko okruženje osmišljeno isključivo za kreiranje i implementiranje upravljačkih algoritama za mobilnog robota Robotino. Ovaj program kombinira moderne operativne koncepte, nadogradnje od strane korisnika i intuitivnu uporabu kroz jednostavno sučelje i veliki broj različitih funkcija, od kojih je jedna i primjena vizualnog senzora za detektiranje različitih orijentira u prostoru kretanja mobilnog robota.



Slika 1. Mobilni robot Robotino 2 i VGA kamera

Robotino je potpuno funkcionalan, visokokvalitetan mobilni robotski sustav sa višesmjernim (svesmjernim) pogonom (eng. omnidirectional). Takav pogonski sustav omogućava kretanja u svim smjerovima: naprijed, natrag, bočno i rotaciju. Sustav može raditi samostalno ali i vezan za vanjski računalni sustav (Wi-Fi veza). Upravo ova karakteristika omogućava vezivanje upravljačke jedinice Robotina sa vanjskim računalom na kojem se obavljaju sve zadaće obrade i procesuiranja informacija u predloženom sustavu navigacije. Kao što je već navedeno, Robotino posjeduje različite vrste senzora. Neki od tih senzora

dolaze kao serijska oprema, kao što su: 9 senzora razdaljine (infracrveni senzori), VGA kamera, inkrementalni enkoder i senzor odbojnik za zaštitu (eng.: anti-collision sensor). Drugi senzori dolaze kao dodatna nadogradnja, kao što su: analogni induktivni senzor razdaljine, žiroskop ili sustav navigacije. Aplikacije na Robotinu je moguće programirati u različitim programskim jezicima kao što su: .Net, C++, C, C#, JAVA, sa MATLAB ili Lab View, odnosno proizvođač Festo je omogućio nadogradnje koje pružaju Robotinu kompatibilnost sa svim navedenim programskim paketima. (Festo Didactic 2012)

Robotino je opremljen sa kamerom čiju je visini i nagib moguće podešavati. Kamera se spaja na Robotino preko USB 2.0 priključka. Karakteristike vizualnog senzora Robotina, odnosno kamere, prikazane su u Tablici 1.

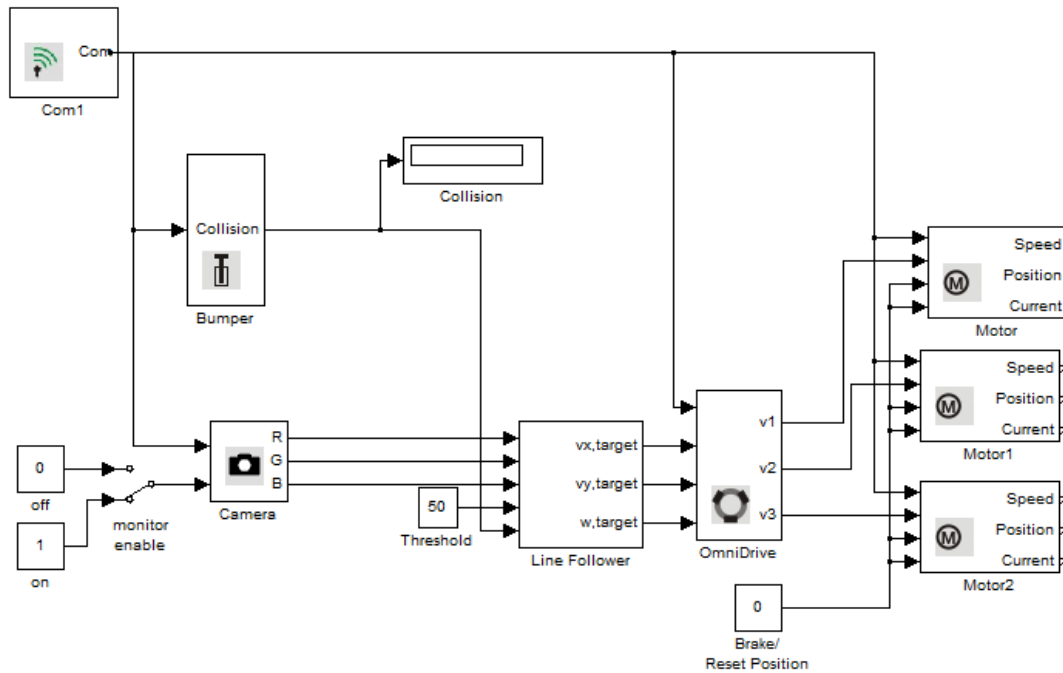
Senzor prikaza slike	CMOS senzor u boji sa VGA rezolucijom
Dubina boje	24 bita
Sučelje	USB 2.0 (kompatibilan sa USB 1.1)
Rezolucija videa	320 x 240 (QVGA), 30 slika / sekundi 640 x 480 (VGA), 30 slika / sekundi 800 x 600 (SVGA, programski interpolirano), 30 slika / sekundi
Rezolucija mirne slike	640 x 480 (VGA) 800 x 600 (SVGA) 1280 x 1024 (SXGA, programski interpolirano)
Formati snimanja slike	BMP, JPG

Tabela 1. Tehničke specifikacije VGA kamere (Festo Didactic, 2012)

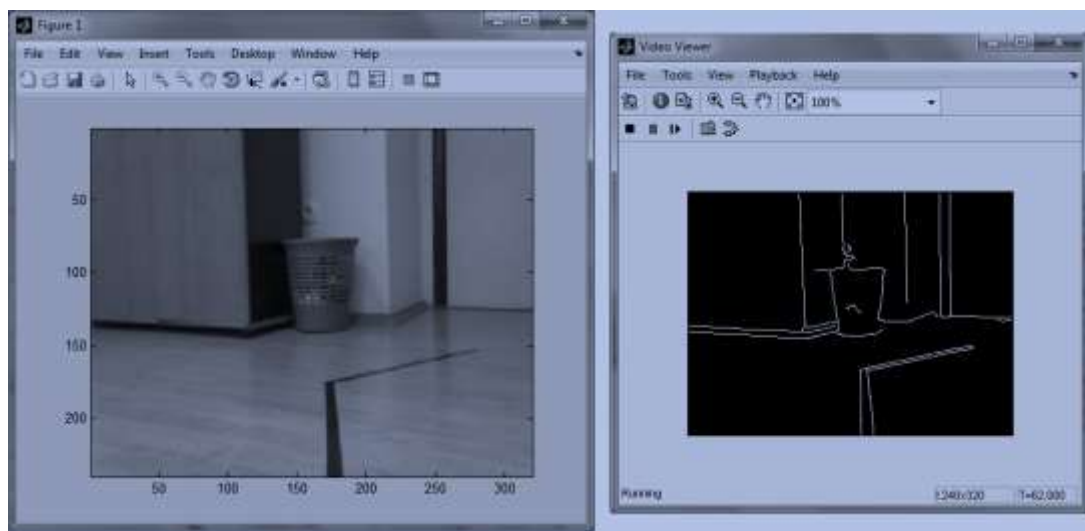
5. IMPLEMENTIRANJE ALGORITAMA I REZULTATI

Prvi slučaj praćenja orijentira u ovome radu je praćenje linije detektirane kamerom montiranom na Robotinu. Ovi primjeri su urađeni na dva načina. Prvi način koristi programsko sučelje Simulink (Slika 2.) dok je za drugi način korišten RobotinoView2 (Slika 4.).

Korištenjem kamere u boji na Robotinu i Simulink bloka „Camera“ omogućeno je prikupljanje slika iz okoline. Nakon dobivanja slika u RGB vrijednostima, slike se šalju u „Line Follower“ blok, gdje se vrši detektiranje rubova linije uporabom Prewitt filtra. Nakon detektiranja rubova, blok izračunava x i y pozicije linije, te nakon toga x komponentu brzine robota (v_x), y komponentu brzine robota (v_y) i kutnu brzinu robota (w). Vrijednosti brzina se nakon toga šalju u „OmniDrive“ blok koji upravlja sa tri motora i omogućava optimalno praćenje linije. Na Slici 3. je prikazano praćenje trake zalijepljene na pod, kroz Simulink model.

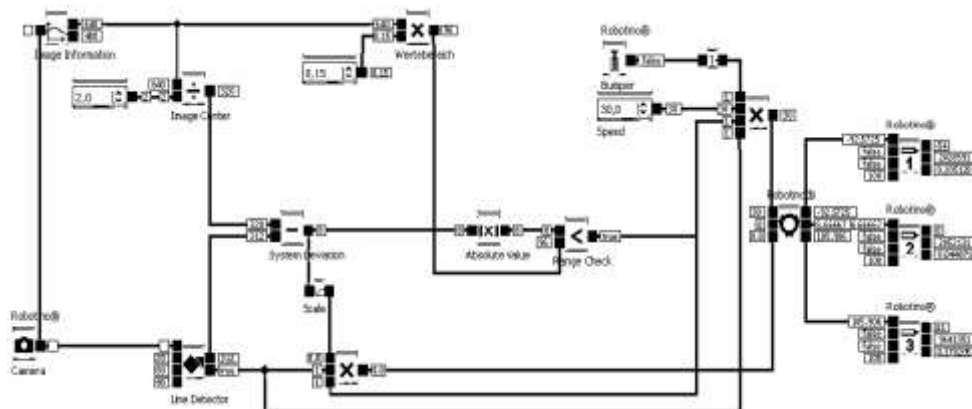


Slika 2. Simulink model sustava za praćenje linija

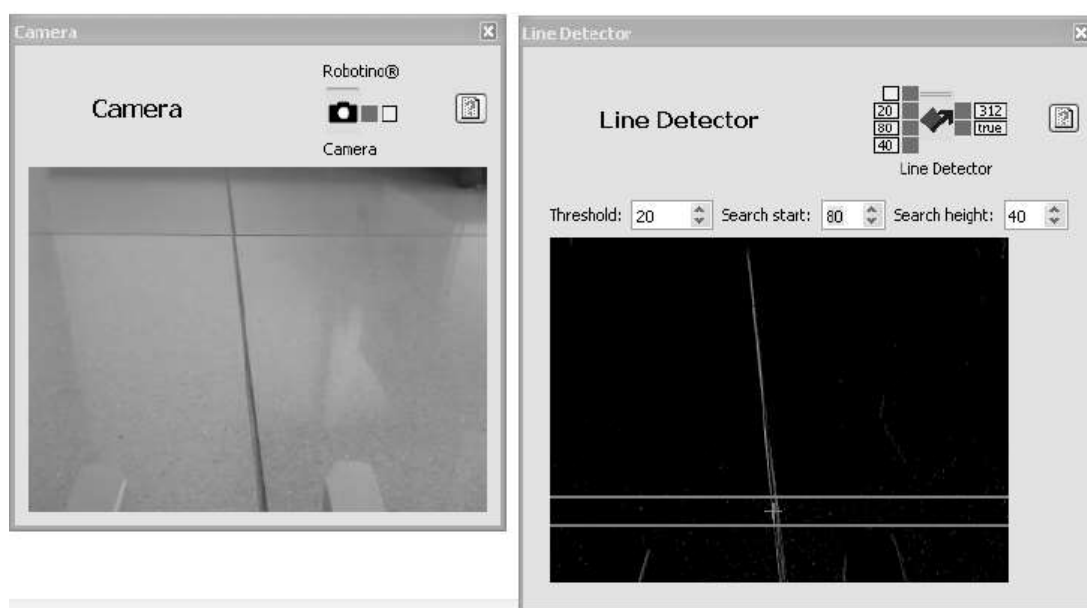


Slika 3. Praćenje linije na podu (Simulink model)

Kod RobotinoView modela Robotino šalje komprimirane JPEG slike koje se dekodiraju u RGB vrijednosti. Detektirane linije su prikazane crvenim križićem kao što je što se može vidjeti u sljedećim primjerima. Obradena dva primjera praćenja linija kroz RobotinoView. Prvi primjer (Slika 5.) prikazuje praćenje linije između dvije pločice na podu, dok drugi primjer prikazuje praćenje linije (zalijepljene crne trake) na podu (Slika 6.)



Slika 4. RobotinoView model sustava za praćenje linija



Slika 5. Prikaz detektirane linije između pločica (RobotinoView model)

Da bi bilo omogućeno praćenje linije potrebno je definirati koje se izlazne vrijednosti iščitavaju u slučaju detektiranja linije. X pozicija detektirane linije se iščitava sa X izlaza. Lijevi rub je specificiran kao vrijednost „0“, a desni rub je specificiran kao X vrijednost rezolucije slike (npr. 640 ili 320), dok je sredina slike određena kao polovina X vrijednosti rezolucije slike (npr. 320 ili 160). Ako se za primjer uzme ulazna slika rezolucije 640x480 detektiranje linija je moguće definirati kao što je prikazano u Tablici 2. Kada je vrijednost senzora manja od 320 (polovina X vrijednosti rezolucije slike) Robotino se rotira u smjeru kazaljke na satu, ako je vrijednost senzora veća od 320 Robotino se rotira suprotno od kazaljke na satu. Područje vrijednosti mora biti ograničeno na uski pojas oko sredine područja jer velike vrijednosti detektiranih linija mogu rezultirati prekomjernim rotiranjem robota u lijevo ili desno, pa može doći do prekida praćenja linije ili zaustavljanja robota. Veličina područja ovisi od krivudavosti putanje i od brzine kretanja robota.



Slika 6. Prikaz detektirane trake na podu (RobotinoView model)

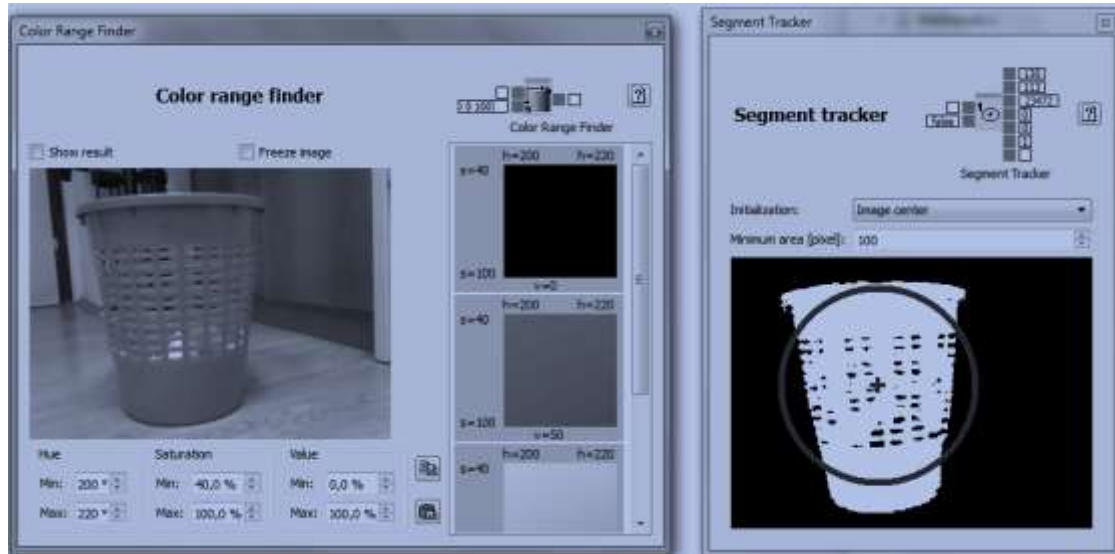
Pozicija linije	X vrijednost kod rezolucije 640x480
Linija se nalazi na lijevom rubu	0
Linija se nalazi u sredini	320
Linija se nalazi na desnom rubu	640

Tabela 2. Detektiranje linije za rezoluciju slike 640x480 (Nan & Xiaowen, 2011)

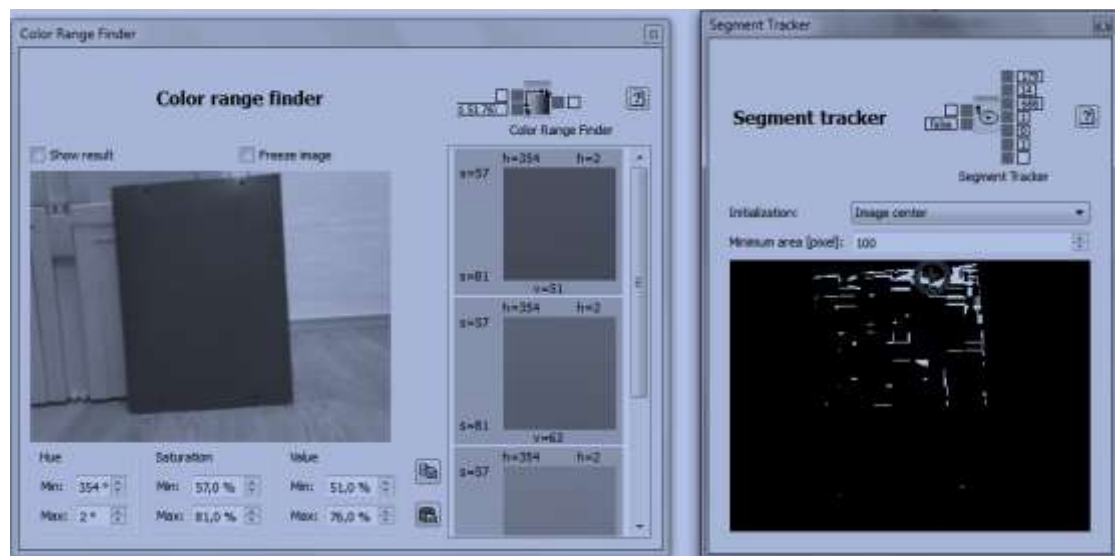
Drugi slučaj u ovome radu je detektiranje, praćenje i prilazak objektu u boji. Kao orijentiri (objekti) uzeta su dva različita objekta, plava korpa za otpatke (Slika 7.) i crvena ploča (Slika 8.). Orijentiri su uzeti zbog karakteristika, kao što su boja i oblik, i koji se ističu u odnosu na okolinu. Ova dva primjera su urađeni u programskom sučelju RobotinoView2. Uz kameru, u korišten je i jedan infracrveni senzor razdaljine za mjerenje razdaljine prilikom prilaska objektu. Detektiranje boje objekta vrši kroz funkcijski blok „Color range finder“. Za praćenje objekta korišten je blok „Segment tracker“ kod kojeg izlazi X i Y daju koordinate glavnog fokusa detektiranog segmenta, odnosno razdaljinu od objekta i visinu objekta.

Algoritam za praćenje objekata po boji je podijeljen u dva dijela. Prvi dio algoritma je pronalazak objekta (Slika 9.), a drugi dio je prilazak objektu (Slika 10.).

Prilikom pronalaska objekta Robotino se rotira dok glavni fokus segmenta dođe u sredinu slike, odnosno dok izlaz X na segmenteru ne dosegne polovinu vrijednosti rezolucije X pravca. Kod kretanja naprijed uključen je i jedan infracrveni senzor koji ima zadaću mjeriti udaljenost od objekta kojem robot prilazi da ne bi došlo do sudara prilikom prilaska objektu. U ovome primjeru ta udaljenost od objekta je podešena na 8 cm. Nakon detektiranja obojenog objekta, robot se usmjerava i kreće prema objektu, te nakon što dosegne razdaljinu 8 cm od objekta, robot se zaustavlja.



Slika 7. Detektiranje i praćenje korpe za otpatke plave boje



Slika 8. Detektiranje i praćenje ploče crvene boje

Iz primjera detektiranja i praćenja ploče crvene boje moguće je vidjeti da je sustav sposoban detektirati objekt iako nijansa boje nije posve točno i precizno definirana. Podešavanje boja vrši se kroz zadavanje vrijednosti u naredbenim recima „Hue“ (nijansa), „Saturation“ (zasićenost) i „Value“ (vrijednost). U odnosu na boju orijentira, različite boje je moguće dobiti podešavanjem postotka zastupljenosti nijanse određene boje, zasićenosti i vrijednosti svjetline ili zatamnjenosti određene boje.

6. ZAKLJUČAK

Kroz prethodne primjere prikazane su neke od mogućnosti primjene robotskog vida kod navigacije i kretanja mobilnih robota u okolini koja sadržava orijentire kao što su linije ili objekti različitih boja. Primjenom RobotinoView i MATLAB/Simulink programskih okruženja dizajnirani su različiti navigacijski sustavi, koji obavljaju identične zadaće navigacije, iako pri tome nisu korišteni isti principi i metode detektiranja i praćenja orijentira. Praćene linije zahtijeva primjenu jednostavnijih algoritama nego u slučaju praćenja obojenih 3D objekata. Linija je jednostavan orijentir i dovoljna je primjena neke od metoda za detektiranje rubova (Roberts, Prewitt, Canny, ...), te je na osnovu tih informacija vrlo lako izračunati poziciju, brzinu i smjer kretanja robota. Detektiranje boje i oblika 3D objekta predstavlja složeniji problem, gdje uz detektiranje rubova objekta, treba detektirati i boju objekta pa te informacije sjediniti u jedinstvenu oblik koji će predstavljati orijentir za robota.

Iako kamera pruža jako veliki broj informacija iz okoline, ograničenja sustava navigacije baziranih na senzoru vizije ogledaju se kroz složenost obrade slike i izdvajanja informacija iz slika koje su potrebne za navigaciju. Tu se radi o vrlo složenim algoritmima čija je računalna kompleksnost vrlo visoka, te je neophodno posjedovati računala koja su sposobna obavljati sve te složene i kompleksne izračune. Nadalje, tu se pojavljuje i problem uvjeta osvjetljenosti radnog prostora robota, kada zbog lošeg osvjetljenja orijentiri gube na kvaliteti i nemoguće je točno i precizno obavljati navigaciju i tražene zadaće.

Daljnjim razvojem i usavršavanjem ovakvih sustava navigacije, mobilne robote će biti moguće koristiti za obavljanje različitih zadaća u strukturiranim okruženjima, kada je potrebno da robot dođe od startne do ciljne pozicije prateći određene znakove u okolini (orijentire) različitih oblika i boja. Primjeri primjene ovakvog sustava mogu biti u sklopu proizvodnih linija ili unutarnjih prekrcajnih sustava, gdje roboti mogu, prateći određene orijentire, opsluživati određene postaje na proizvodnoj liniji, odnosno, transportirati i prekrcevati određene robe u skladu sa definiranim orijentirima koje robot treba da prati duž transportne trajektorije. Prednosti ovakvih navigacijskih sustava, baziranih na viziji, su niska cijena senzora, mogućnost detaljnog istraživanja karakteristika okoline, kao i mogućnost detektiranja vizualnih orijentira u realnom vremenu.

LITERATURA:

1. Azizi, F. & Houshangi, N., 2011. Mobile Robot Position Determination. Recent Advances in Mobile Robotics, p.15.
2. Barrera, A., 2011. Advances in Robot Navigation First Edit., Rijeka: InTech.
3. Berns, K. & von Puttkamer, E., 2009. Autonomous Land Vehicles 1st Editio., Wiesbaden: Vieweg+Teubner.
4. Bigas, M. et al., 2006. Review of CMOS image sensors. Microelectronics Journal, 37(5), pp.433–451. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0026269205002764> [Accessed July 15, 2014].
5. Bonin-Font, F., Ortiz, A. & Oliver, G., 2008. Visual Navigation for Mobile Robots: A Survey. Journal of Intelligent and Robotic Systems, 53(3), pp.263–296. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s10846-008-9235-4> [Accessed November 7, 2013].
6. Crnokić, B. & Grubišić, M., 2014. Usporedba rješenja simultane lokalizacije i mapiranja kod mobilnog robota. Zbornik radova Fakulteta strojarstva i računarstva, Sveučilište u Mostaru, p.8.
7. Fahimi, F., 2009. Autonomous Robots: Modeling, Path Planning, and Control, New York: Springer Science+Business Media, LLC.
8. Festo Didactic, 2012. Robotino-Workbook With CD-ROM Festo Didactic 544307 en., p.124.
9. Guzel, M.S., 2003. Mobile Robot Navigation using a Vision Based Approach. Computer.
10. Lizarralde, F. et al., 2003. Mobile Robot Navigation using Sensor Fusion. Robotics and Automation, 2003., 3(IEEE International), pp.458–463.
11. Nan, X. & Xiaowen, X., 2011. Robot experiment simulation and design based on Festo Robotino. 2011 IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks, pp.160–162. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6013566>.
12. P.H. Pawar R.P. Patil, 2014. Image Edge Detection Techniques using MATLAB Simulink. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 3(6), pp.2149–2153.