

**RAZVOJ MOBILNE ROBOTSKE PLATFORME ZASNOVANE NA ROS-U
DEVELOPMENT OF A ROS-BASED MOBILE ROBOT PLATFORM**Dušan Jovanović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – MEHATRONIKA**

Kratak sadržaj – Za razvoj novih primena mobilnih robota, potrebno je imati test platforme. Dostupne su komercijalne mobilne robotske platforme, ali usled visoke cene čak i najosnovnijih modela, rad se bavi razvojem jedne nove platforme zasnovane na Robotskom Operativnom Sistemu (ROS). Odabran je skid steer pogon i motor sa direct drive pogonom. Nakon razvoja mehaničke konstrukcije razvijen je motor kontroler za upravljanje pogonskim motorima i izvršeno je povezivanje sa centralnim računarom.

Ključne reči: Mobilna robotika, Robotski operativni sistem, BLDC motori, upravljanje kretanjem, Raspberry Pi kontroler

Abstract – For development of new mobile robot applications, it is necessary to have a test platform. Various commercial mobile robot platforms are available, but due to high price of even base models, in this work development of a ROS-based (Robot Operating System) mobile robot platform is presented. Skid steer drive is selected among with direct drive motor. After development of mechanical construction, motor controller for driving the motors is developed and connected with the main computer.

Keywords: Mobile robotics, Robot Operating System, BLDC motors, Motion control, Raspberry Pi controller

1. UVOD

Robotski manipulatori su široko primenjeni u industriji i zastupljeni u velikom broju različitih aplikacija poput farbanja, sečenja, zavarivanja i rukovanja materijalom. Međutim, u najvećem broju slučajeva roboti su fiksirani u okviru proizvodnih robotskih ćelija i imaju nedostatak mobilnosti [1]. Tok materijala i radnih predmeta u fabrikama obično je obezbeđen primenom pokretnih traka, obrtnih stolova i dodatnih mobilnih robota, poput AGV-a.

AGV (*Autonomous Guided Vehicle* – autonomno vođeno vozilo) vozila autonomno opslužuju robotske manipulatore u fabrikama tako što dostavljaju delove između stanica za montažu prateći specijalne električne žice montirane u podu ili koristeći lasere kako bi se lokalizovali unutar korisnički definisane mape [1].

AGV vozila predstavljaju specijalnu klasu mobilnih robota sa standardizovanim metodama navigacije u fabričkim pogonima.

Međutim, mobilni roboti u širem smislu mogu umesto infrastrukture za navođenje (žice, reflektivni markeri...) da vrše planiranje putanje zasnovano na različitim tipovima senzora, poput LIDAR-a, GPS-a, ultrazvučnih i infracrvenih senzora. Ovo im daje veću fleksibilnost da sami formiraju mapu prostora i izbegavaju prepreke [2].

Kako bi se razvijale nove primene robota, potrebno je imati test platforme. Zbog toga, mobilni roboti se često koriste u istraživačkim laboratorijama i univerzitetima. Danas postoje mnoge komercijalne mobilne robotske platforme ove namene.

Najpopularniji komercijalni roboti za istraživanja su *Adept Pioneer* i *K-Team Khepera* varijante. Često komercijalni roboti nemaju željene karakteristike i teški su za adaptaciju usled namenskog softvera i hardvera. Veći nedostak je njihova cena: osnovni model *Pioneer 3-DX* košta oko 3000 dolara. *K-Team Koala II* košta oko 9000 dolara [3].

Cilj ovog master rada jeste dizajnirati i napraviti mobilnu robotsku platformu za potrebe istraživanja i nastave. Neke od osobina koje robot treba da poseduje su:

- Robustnost na spoljašnje uslove;
- Niska cena;
- Bežična komunikacija sa računarom operatera;
- Mogućnost proširenja dodatnim sensorima i aktuatorima;
- ROS integracija [4];

ROS je set softverskih biblioteka, alata i konvencija koji ima za cilj olakšavanje zadatka kreiranja kompleksnog i robustnog ponašanja robota. Na najnižem nivou ROS omogućava razmenu asinhronih poruka između različitih procesa. Pored ovoga ROS poseduje različite dodatne pakete za navigaciju, lokalizaciju [4].

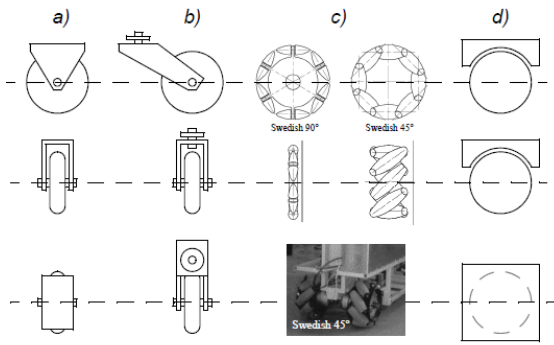
2. MEHANIKA**2.1. Izbor pogona**

Dizajn mehanike je započet od odabira tipa pogona. Pogon se sastoji od aktuatora, odgovarajućih mehaničkih prenosnika i elemenata koji omogućavaju kretanje poput točkova ili gusenica.

Tip pogona definisan jekonfiguracijom, tj. brojem i rasporedom točkova na mobilnoj platformi. Na slici 1 prikazani su osnovni tipovi točkova.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Srđan Savić, docent.

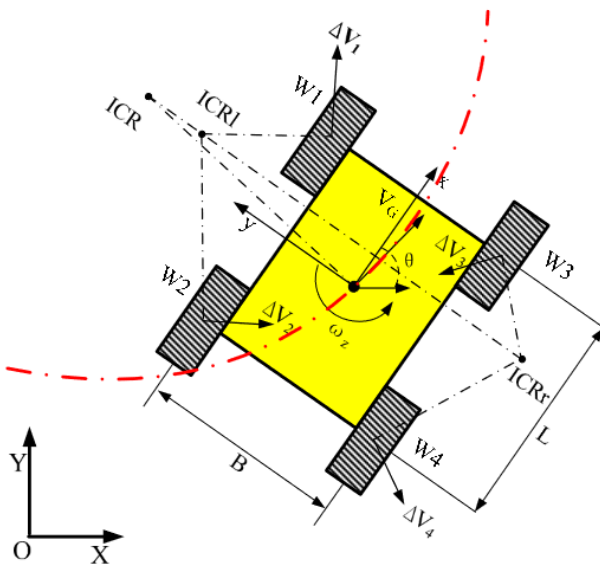


Slika 1. Četiri osnovna tipa točka [1]

Četiri osnovna tipa točka su:

- Standardni točak: dva stepena slobode; rotacija oko (aktuirane) osovine točka i oko vertikalne ose koja prolazi kroz tačku kontakta sa podlogom;
- “Kaster” točak: dva stepena slobode, kao kod standardnog, ali bez pogona i sa ofsetovanom osom rotacije;
- Švedski ili Mecanum točak: omnidirekcionni točak sa tri stepena slobode; rotacija oko (aktuirane) osovine točka, oko valjaka i oko tačke kontakta sa podlogom;
- Sferni točak: težak za tehničku realizaciju.

Kinematski modeli ovih točkova se razlikuju i stoga izbor točkova ima značajan uticaj na celokupnu kinematku robota. Odabrana su 4 standardna točka postavljena u *skid steer* konfiguraciju. Kinematika ovog pogona je prikazana na slici 2.



Slika 2. Kinematika *skid steer* pogona [5]

Ovaj kinematski model podrazumeva sledeće pretpostavke [5]:

- Centar mase robota nalazi se u geometrijskom centru tela robota;
- Dva točka sa iste strane rotiraju se jednakim brzinama;
- Robot se kreće po čvrstoj podlozi i sva četiri točka su uvek u kontaktu sa podlogom.

Definisani su fiksni globalni koordinatni sistem (X, Y) i lokalni koordinatni sistem (x, y) vezan za robota. Pretpostavka je da se robot kreće u ravni sa linearnom brzinom izraženom u lokalnom koordinatnom sistemu kao $\mathbf{v} = (v_x, v_y, 0)^T$ i rotira oko vertikalne z-ose ugaonom brzinom $\boldsymbol{\omega} = (0, 0, \omega_z)^T$. Ako je $\mathbf{q} = (X, Y, \theta)^T$ vektor koji opisuje poziciju i orijentaciju robota preko generalisanih koordinata, onda je $\dot{\mathbf{q}} = (\dot{X}, \dot{Y}, \dot{\theta})^T$ vektor brzina. Veza između koordinatnih sistema data je formulom (1) [5].

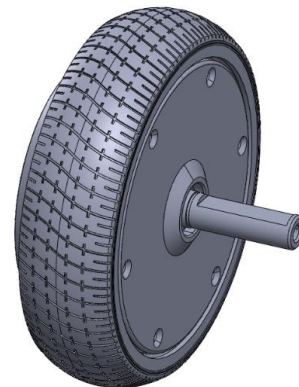
$$\begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

Dok se robot kreće označavamo trenutne centre rotacije (ICR – Instantaneous Center of Rotation) gazišnog sloja levih točkova, gazišnog sloja desnih točkova i tela robota kao ICRI, ICRr i ICRG, redom. Poznato je da ICRI, ICRr i ICRG leže na liniji paralelnoj sa y-osom. Definišimo x-y koordinate za ICRI, ICRr i ICRG kao (x_l, y_l) , (x_r, y_r) i (x_G, y_G) , redom. Primitimo da ugaona brzina ω_z važi za celog robota. Daljom razradom kinematskog modela može se doći do veze linearne i ugaone brzine vozila sa brzinama točkova, što je prikazano izrazom (2). Poluprečnik točka označen je sa r , ω_l i ω_r su ugaone brzine levih i desnih točkova, a $y_0 = \frac{v_x - \omega_l r}{\omega_z} = \frac{v_x - \omega_r r}{\omega_z}$ je trenutni centar rotacije gazišnih slojeva točkova [5].

$$\begin{cases} v_x = \frac{\omega_l r + \omega_r r}{2} \\ v_y = 0 \\ \omega_z = \frac{-\omega_l r + \omega_r r}{2y_0} = \frac{-v_l + v_r}{2y_0} \end{cases} \quad (2)$$

2.1. Izbor motora

U poslednje vreme popularni su “balans skuteri” poznatiji pod imenom “hoverbord” [6]. Radi se o prevoznom sredstvu na koje stane vozač i upravlja ga nagnjanjem napred-nazad. Pogon je diferencijalni (sa dva točka), ali ne postoji kaster točak za oslanjanje već platforma balansira. Na slici 3 prikazan je 3D model točka koji pogoni hoverbord.



Slika 3. Točak hoverborda [7]

Iako zbog pojednostavljenog prikaza na 3D modelu to nije prikazano, kroz centar šuplje osovine prolaze žice koje idu od motora do energetske i upravljačke elektronike. U pitanju je točak sa tzv. direct drive

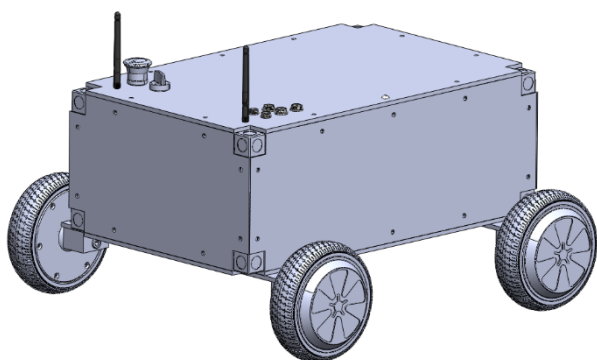
pogonom kod kog motor direktno pogoni opterećenje bez posredstva reduktora. Ovo je tip motora koji pogoni opterećenje direktno, bez reduktora. Posledica je znatno smanjenje broja pokretnih delova i ušteda prostora [8].

Ove motore karakteriše specifična konstrukcija. Naime, kod ovog motora stator se nalazi unutra, a rotor spolja. Na rotor je nanešena guma, te je dobijen motor u obliku točka. Osovina točka se zapravo ne rotira već se fiksira za konstrukciju hoverborda. Motor je snage 250 W, prečnika 165 mm, nominalnog napona 36 V i nominalne brzine 615 obr/min. Motor je bez četkica, i spada u PMSM (*Permanent Magnet Synchronous Motor*) motore, odnosno BLDC (*Brushless DC*) motore sa sinusoidalnom indukovanom kontra elektromotornom silom [9].

Ovaj tip motora pruža niz prednosti za konstrukciju mobilne robotske platforme: poseduje dovoljnu snagu i minimizira troškove mašinske izrade delova poput osovine točkova, prirubnica, nosača motora i remenica. Jedan ovakav direct drive motor moguće je nabaviti za oko 20 evra rasklapanjem rashodovanih, pokvarenih hoverbordova. Niska cena motora i izbegavanje dodatnih troškova mašinske obrade većeg broja delova bila je glavna motivacija za njegov izbor.

2.2. Konstrukcija

Za oblik konstrukcije mobilne robotske platforme izabran je oblik kutije jer je jednostavan za realizaciju i omogućava dobro iskorišćenje unutrašnjeg prostora. Dimenzije kutije bez stranica-poklopaca su 560 x 360 x 200 mm (dužina x širina x visina). Okvir kutije izrađen je od aluminijumskih profila 30 x 30 mm sa kanalima za T navrtke [10]. Nosači osovine motora nisu izrađivani već su iskorišćene aluminijumske konstrukcije rashodovanih hoverbordova sa kojih su brusilicom odsečeni nosači. 3D model robota prikazan je na slici 4.



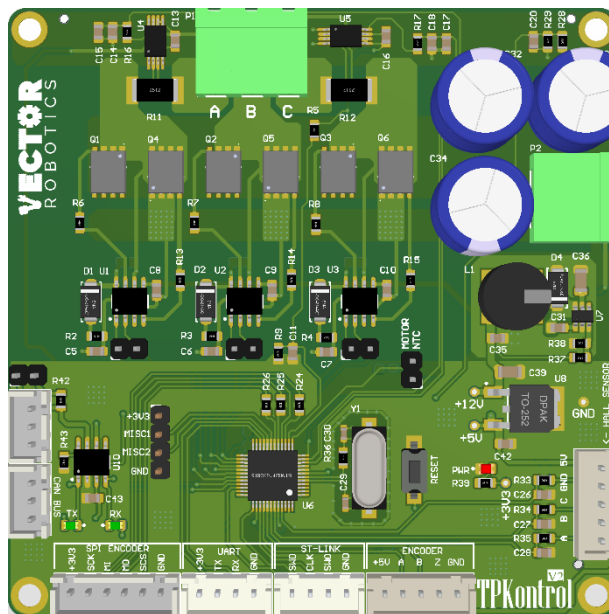
Slika 4. 3D model robota

Na gornjoj ploči nalaze se antene za wifi komunikaciju, prekidač, total stop taster i dodatni konektori.

3. ELEKTRONIKA

Kako bi robot ostvario kretanje, pored pogonskih motora potrebno je dodati sistem koji omogućava upravljanje tim motorima. Svakom motoru je potrebno dodeliti drajver, uređaj energetske elektronike koji će upravljačke signale male snage pretvoriti u signale odgovarajuće snage za pogon motora. Često se sreće i termin motor kontroler jer obično uz motor drajver pridružen je i mikrokontroler koji lokalno izvršava algoritam upravljanja motorom i prihvata

spoljašnje komande putem neke od digitalnih komunikacija. Za potrebe upravljanja motorima razvijen je nov namenski motor kontroler koji omogućava upravljanje jednim motorom. Zasnovan je na *MOSFET* tranzistorima BSC028N06NS [11], mikrokontroleru STM32F103C8T6 [12] i šant pojačavaču INA240 [13]. Motor kontroler podržava rad sa trofaznim motorima, merenje faznih struja, pruža interfejs za inkrementalne enkodere, UART i CAN BUS [14] komunikacije. 3D model kontrolera prikazan je na slici 5.



Slika 5. 3D model motor kontrolera

Četiri ovakva kontrolera umrežena su pomoću CAN BUS-a sa centralnim računarom za koji je izabran Raspberry Pi [15]. Kako bi Raspberry Pi pristupio CAN mreži, razvijena je dodatna prilagodna elektronska ploča. Na računaru je pokrenut ROS u okviru kog su napisani programi za komunikaciju sa motor kontrolerima koji omogućavaju sinhronizovano pokretanje motora i očitavanje trenutnih brzina.

Na osnovu željene brzine i kinematskog modela, softver preračunava potrebne brzine točkova i robot se kreće. Motor kontroleri izvršavaju trapezoidalnu [16] i sinusoidalnu [17] komutaciju motora.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazan je postupak projektovanja jedne mobilne robotske platforme zasnovane na ROS-u. Realizovana platforma prikazana je na slici 5. Kroz rad demonstrirano je i objedinjeno znanje stečeno na prethodnim godinama studija, ne samo na teorijskom nivou, već i na praktičnom.

Realizovana mobilna platforma spremna je za dalji rad sa ROS-om gde se brzine točkova mogu integriti kako bi se pratila pozicija robota.

Usled proklizavanja podatak o poziciji samo preko točkova nije pouzdan i treba ga kombinovati sa drugim izvorima, ali platforma podržava povezivanje dodatnih senzora kao što su LIDAR i žiroskopi preko USB i CAN konektora.



Slika 6. Realizovana robotska platforma

5. LITERATURA

- [1] R. Siegwart, I. R. Nourbakhsh, *Introduction To Autonomous Mobile Robots*. 1967.
- [2] "The Difference Between AGVs And Mobile Robots - CrossCo." <https://www.crossco.com/resources/articles/the-difference-between-agvs-and-mobile-robots/> (pristupljeno Sep. 13, 2021).
- [3] S. Pedre, M. Nitsche, F. Pessacg, J. Caccavelli, P. De Cristóforis, "Design of a multi-purpose low-cost mobile robot for research and education," *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol. 8717 LNAI, no. August 2015, pp. 185–196, 2014, doi: 10.1007/978-3-319-10401-0_17.
- [4] "ROS.org | Powering the world's robots." <https://www.ros.org/> (pristupljeno Sep. 13, 2021).
- [5] T. Wang, Y. Wu, J. Liang, C. Han, J. Chen, Q. Zhao, "Analysis and experimental kinematics of a skid-steering wheeled robot based on a laser scanner sensor," *Sensors (Switzerland)*, vol. 15, no. 5, pp. 9681–9702, 2015, doi: 10.3390/s150509681.
- [6] "Balance Scooter - Zhejiang Yongkang Sportward Enterprises Co., Ltd. - page 1." <https://zjkaid.en.made-in-china.com/product-group/YMExFzIPvgcr/Balance-Scooter-catalog-1.html> (pristupljeno Sep. 14, 2021).
- [7] "6.5" Hoverboard HubMotor wheel | 3D CAD Model Library | GrabCAD." <https://grabcad.com/library/6-5-hoverboard-hubmotor-wheel-1> (pristupljeno Sep. 14, 2021).
- [8] "What is a Direct Drive motor? - Magnetic Innovations." <https://www.magneticinnovations.com/faq/direct-drive-motor/> (pristupljeno Sep. 14, 2021).
- [9] Yedamale Padmaraja, "AN885 Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals," *Microchip Technology Inc.*
- [10] "Telix." <https://www.telix.rs/sr/> (pristupljeno Sep. 14, 2021).
- [11] "BSC028N06NS, Infineon Technologies." <https://www.infineon.com/cms/en/product/power/mosfet/n-channel/bsc028n06ns/> (pristupljeno Sep. 17, 2021).
- [12] STMicroelectronics, "Mainstream Performance line, Arm Cortex-M3 MCU with 64 Kbytes of Flash memory, 72 MHz CPU, motor control, USB and CAN, Datasheet," no. August, pp. 1–117, 2015, [Online]. Available: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f103c8.pdf>.
- [13] "INA240 data sheet, Texas Instruments." <https://www.ti.com/product/INA240> (pristupljeno Sep. 18, 2021).
- [14] S. Corrigan, "Introduction to the Controller Area Network (CAN) Application Report SLOA101B," 2002, www.ti.com (pristupljeno Sep. 15, 2021). [Online]. Available: www.ti.com.
- [15] "Teach, Learn, and Make with Raspberry Pi." <https://www.raspberrypi.org/> (pristupljeno Sep. 15, 2021).
- [16] B. Akin, M. Bhardwaj, J. Warriner, "Trapezoidal Control of BLDC Motors Using Hall Effect Sensors," *Texas Instruments*, 2011.
- [17] ATMEL, "AVR449: Sinusoidal driving of 3-phase permanent magnet motor using ATtiny261," pp. 1–24.

Kratka biografija:



Dušan Jovanović rođen je u Sremskoj Mitrovici 1998. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mehatronika – Robotika odbranio je 2021. god.