



Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet

Katedra za signale i sisteme



ISPITNI PROJEKAT IZ PREDMETA ROBOTSKI SISTEMI

Prolazak mobilnog robota kroz proizvoljan lavirint primenom evolutivnih neuralnih mreža

Studenti:

Jakša Jovičić, 2020/3111

Ivan Prelić, 2020/3193

Mentori:

asistent Nikola Knežević

prof dr Kosta Jovanović

Beograd, *februar* 2021. godine

Rezime

Mobilni roboti predstavljaju jednu od najnaprednijih grana elektrotehnike u današnje vreme i predmet su mnogih istraživanja naučnika i inženjera širom sveta. Među ovakvim sistemima veliku pažnju i interesovanje privukli su sistemi na bazi veštačke inteligencije i mašinskog učenja. Ovakvi sistemi su sposobni da sami uče i da se adaptiraju, bez potrebe da budu posebno programirani za izvršavanje određenih zadataka.

Predmet ovog rada će biti implementacija jednog ovakvog sistema, koji će u kombinaciji sa konvencionalnim algoritmom upravljanja kretanjem mobilnih robota rezultovati jednim modifikovanim algoritmom upravljanja. Biće implementirana evolutivna neuralna mreža u kombinaciji sa učenjem s podsticanjem, odnosno učenja iz iskustva. Učenje iz iskustva podrazumeva da će robot istraživanjem i preduzimanjem različitih akcija, a na osnovu nagrade koja mu se dodeljuje uspeti da otkrije šablone akcija koje će mu obezbediti najbolje nagrade. Na osnovu tih iskustava će neuralna mreža svakim korakom evoluirati, kako bi se na kraju dobila adekvatna neuralna mreža, za pre svega izbegavanje prepreka, što je glavni nedostatak kod konvencionalnog algoritma upravljanja.

Kao rezultat će se dobiti i više nego zadovaljavajući algoritam za navođenje mobilnog robota kroz proizvoljan lavirint, a pri tome će biti i ostvareno izbegavanje zidova lavirinta (prepreka).

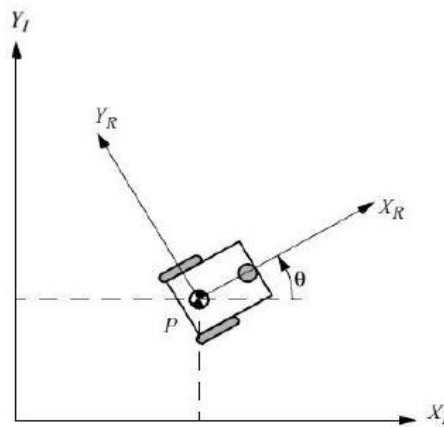
SADRŽAJ

Rezime.....	2
1.AUTONOMNI MOBILNI ROBOTI	4
1.1. Kinematski model	4
1.2. Percepcija.....	5
1.3. Lokalizacija	6
1.4. Korišćen softver	7
2.MAŠINSKO UČENJE	8
2.1. Učenje sa podsticanjem (RL)	8
2.2. Genetski algoritam.....	9
2.3. Neuralna mreža.....	9
3.REZULTATI	11
4.ZAKLJUČAK	13
LITERATURA	14

1.AUTONOMNI MOBILNI ROBOTI

1.1. Kinematski model

Za realizaciju ovog projekta upotrebljen je mobilni robot sa dva točka na diferencijalni pogon. On se modeluje kao kruto telo na točkovima koje se kreće u horizontalnoj ravni. Ukupna dimenzija modela robota je tri, dve dimenzije za poziciju i jedna za orijentaciju oko vertikalne ose. Model mobilnog u horizontalnoj ravni prikazan je na slici ispod.



Pozicija robota kompletno je određena vektorom od ta tri elementa, upotrebljava se oznaka I kako bi se naglasilo da se radi o globalnom koordinatnom sistemu.

$$\xi_I = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix}$$

Formula koja opisuje kinematski model mobilnog robota sa diferencijalnim pogonom je:

$$\dot{\xi}_I = R(\theta)^{-1} \begin{bmatrix} \frac{r\dot{\phi}_1}{2} + \frac{r\dot{\phi}_2}{2} \\ 0 \\ \frac{r\dot{\phi}_1}{2l} + \frac{r\dot{\phi}_2}{2l} \end{bmatrix}$$

gde je:

$$R(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$\dot{\phi}_1$ i $\dot{\phi}_2$ - ugaone brzine točkova,

r - poluprečnik oba točka, l - poluudaljenost između točkova.

Da bi model bio kompletan potrebno je uzeti u obzir i fizička ograničenja. Dva najbitnija ograničenja su da se točak mora kotrljati kada se odvija kretanje u odgovarajućem pravcu i da točak ne sme vršiti bočno proklizavanje.

Ta dva ograničenja u naš kinematski model dodaju još dve jednačine. Jednačina za prvo ograničenje je :

$$[\sin(\alpha + \beta) \quad -\cos(\alpha + \beta) \quad -l \cos \beta] R(\theta) \dot{\xi}_I - r \dot{\phi} = 0$$

A jednačina za drugo ograničenje je :

$$[\cos(\alpha + \beta) \quad \sin(\alpha + \beta) \quad l \sin \beta] R(\theta) \dot{\xi}_I = 0$$

α - je ugao u polarnim koordinatama koji definiše poziciju točka u odnosu na centralnu tačku robota

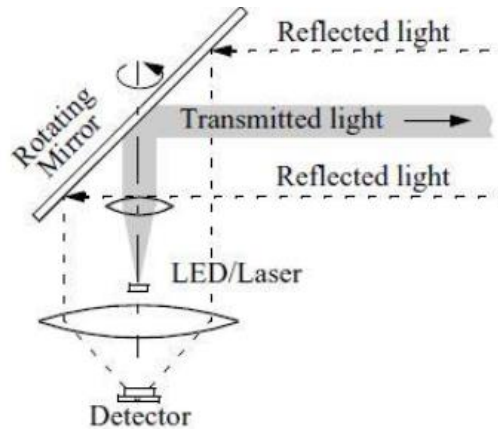
β – fiksiran ugao između ravni točka i šasije robota

1.2. Percepcija

Za svakog mobilnog robota jedna od najvažnijih stvari jeste mogućnost dobijanja informacija o svom okruženju, pomoću senzora iz kojih se izvlači korisna informacija. Senzor korišćen u ovom projektu je senzor udaljenosti (LIDAR).

Laserski senzori daljine poseduju mnogo bolje karakteristike u odnosu na ultrazvučne senzore, baš zbog same prirode laserskog zraka koji je i do milion puta brži od ultrazvučnog talasa.

LIDAR se sastoji se od transmitera, koji emituje laserski zrak, i prijemnika, koji detektuje refletkovanu komponentu zraka koja je koaksijalna sa emitovanim zrakom. Na osnovu izmerenog vremena između slanja i primanja signala, dobija se informacija o udaljenosti.

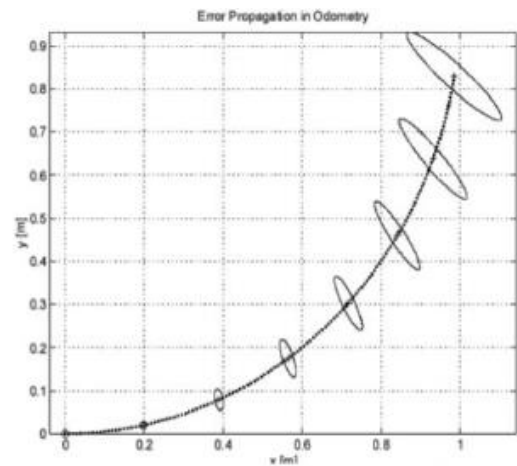
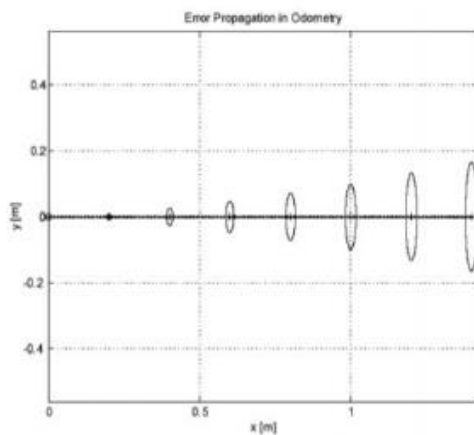


U ovom projektu LIDAR je korišćen tako što su njegova merenja diskretizovana na nekoliko podoblasti. To je urađeno zbog lakšeg obučavanja neuralne mreže i bržeg izvršavanja programa.

1.3. Lokalizacija

Robot koji je korišćen u projektu lokalizaciju vrši korišćenjem odometrije. Kod odometrije se pozicija robota računa na osnovu poznavanja početne pozicije i kretanja robota, korišćenjem enkodera na točkovima za merenje brzine. Za mobilnog robota na diferencijalni pogon pozicija se određuje sumiranjem pređenog puta u kratkim vremenskim intervalima, a na osnovu poznavanja početne pozicije.

Odometrija nije savršen način za lokalizaciju, jer varijansa greške raste proporcionalno sa apsolutnom vrednosti pređenog puta. Iako ima svoje mane, ona je dovoljno dobar način za lokalizaciju robota u ovom projektu. Na slici ispod se vidi kako greška raste sa vremenom pri pravolinijskom i kružnom kretanju.



1.4. Korišćen softver

U ovom projektu korišćen je ROS (robot operative system) operativni sistem, koji poseduje alate i biblioteke za razvoj, kompajliranje i pokretanje softverskih paketa kroz više računara. ROS moduli mogu biti napisani u bilo kom programskom jeziku za koji postoji klijentska biblioteka, a najčešće korišćeni su C++ i Python.

Osnovni činioci ROS sistema su ROS node –program (skriptu) koji se izvršava pod ROS-om, ROS master – upravlja komunikacijom između nodova I ROS topic – kojim se vrši međusobna komunikacija između nodova.

U okviru ROS-a u simulaciji je korišćen model TurtleBot3-Burger.



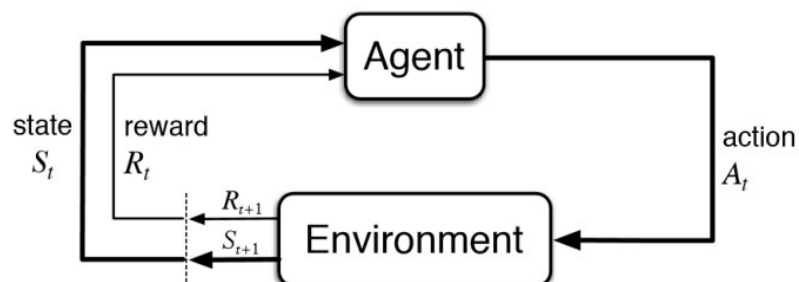
2.MAŠINSKO UČENJE

U ovom projektu je korišćen koncept mašinskog učenja. Poenta tog pristupa je da se pravi model koji nije programiran za jednu situaciju, nego je robustan i može se primeniti u raznim okruženjima.

Glavni koncepti korišćeni u ovom projektu su učenje sa podsticanjem (RL-reinforcement learning), neuralne mreže, genetski algoritam. Kombinacijom tih koncepata zajedno sa konvencionalnim upravljanjem robota, ćemo razviti jedinstven i napredan algoritam za kretanje mobilnog robota kroz proizvoljan lavirint.

2.1. Učenje sa podsticanjem (RL)

Učenje sa podsticanjem predstavlja kombinaciju učenja sa supervizijom i učenja bez supervizije, gde se algoritmu govori koliko dobro funkcioniše, ne znajući kakav bi tačan izlaz sistema trebalo da bude. Sistem mora da istraži i isproba različita rešenja i akcije kako bi saznao kako se dolazi do adekvatnih akcija. Jedina informacija koju agent dobija od algoritma obučavanja jeste pozitivna ili negativna nagrada ukoliko je akcija povoljna ili ne. Sistem učenja sa podsticanjem prikazan je na slici ispod:



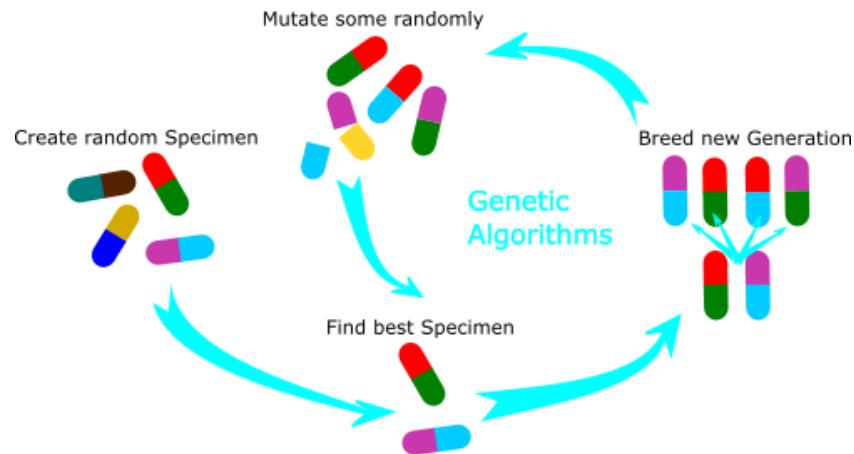
Konkretno, u ovom projektu, učenje s podsticanjem je korišćeno sa manjom izmenom. Umesto dobijanje nagrade nakon svake učinjenje akcije, agent je nagrađivan ili kažnjava na kraju interakcije sa okruženjem (dolazak u cilj, sudar s preprekom, prekoračenje limita za vreme interakcije sa okruženjem).

2.2. Genetski algoritam

U oblasti veštačke inteligencije genetski algoritam je pretraživačka heuristika koja oponaša proces prirodne selekcije.

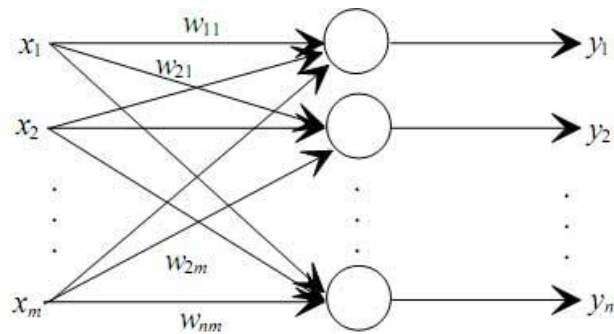
Rad genetskog algoritma (GA) se može opisati nekoliko koraka:

1. Formiranje početne populacije
2. Određivanje cena hromozomima (fitnes funkcijom)
3. Odabir selekcije hromozoma koji će opstati za parenje
4. Parenje — obično se iz boljeg dela populacije odabiru roditelji koji će na neki način ukrstiti svoj genetski materijal i dati jednog ili više potomaka koji obično zamene nekog od lošijih hromozoma
5. Mutacije, pri kojima se menja genetski sadržaj hromozoma
6. Ispitivanje konvergencije, da bi se utvrdilo da li ima osnova da se tok algoritma prekine. Ukoliko nije ispunjen uslov konvergencije, vratiti se na korak 2.



2.3. Neuralna mreža

Neuralne mreže (Neural Networks – NN) predstavljaju novu generaciju sistema za informaciono procesiranje koje pokazuju osobinu učenja, memorisanja i generalizacije na osnovu podataka kojima se obučavaju. Neuralne mreže se sastoje od velikog broja gusto povezanih procesorskih elemenata (takozvanih čvorova, 'nodes') koji uobičajeno rade u paraleli (jednovremeno) i koji su organizovani po nekim regularnim arhitekturama. Informacije neuralne mreže se nalaze u težinama (w) pojedinačnih neurona u okviru različitih slojeva.

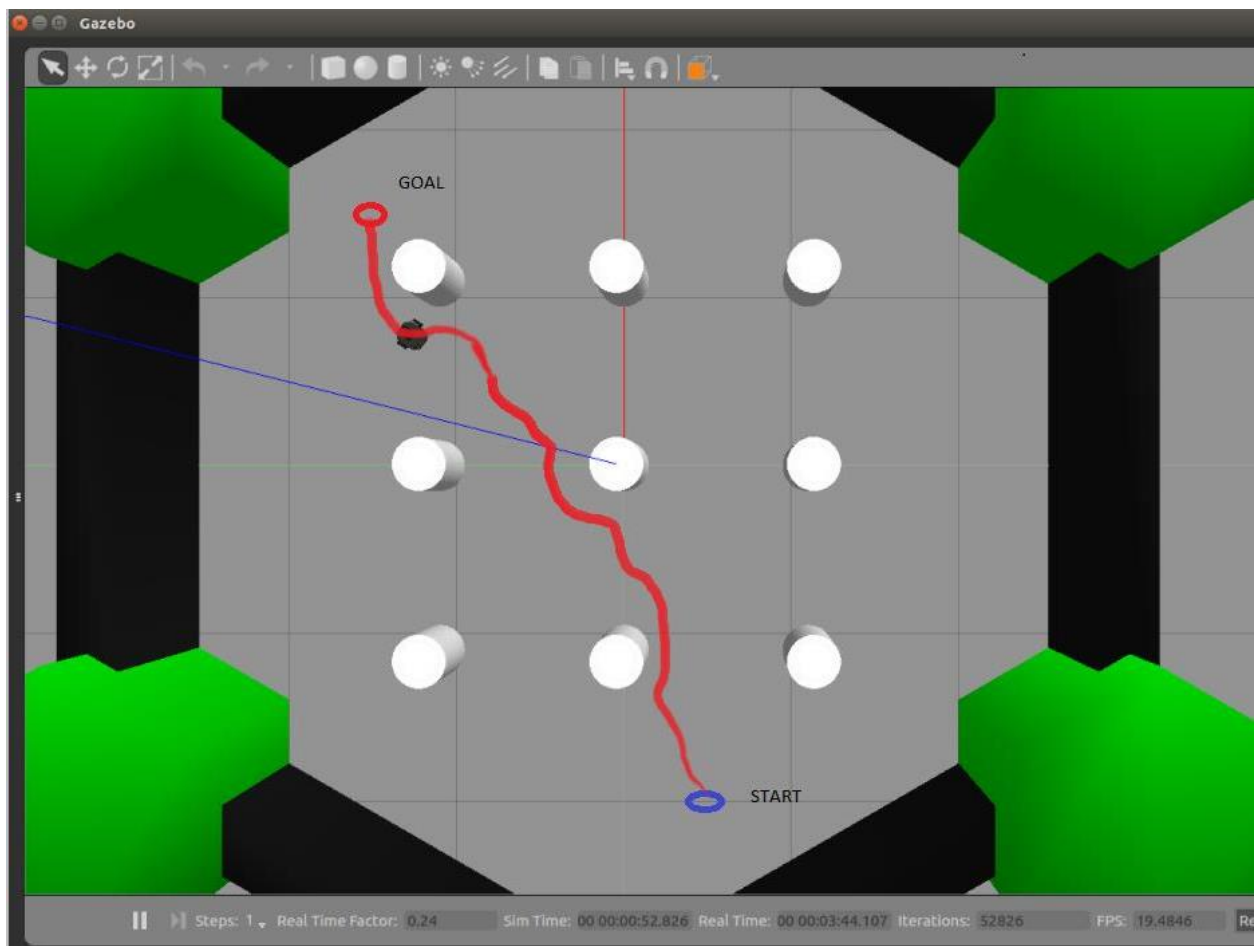


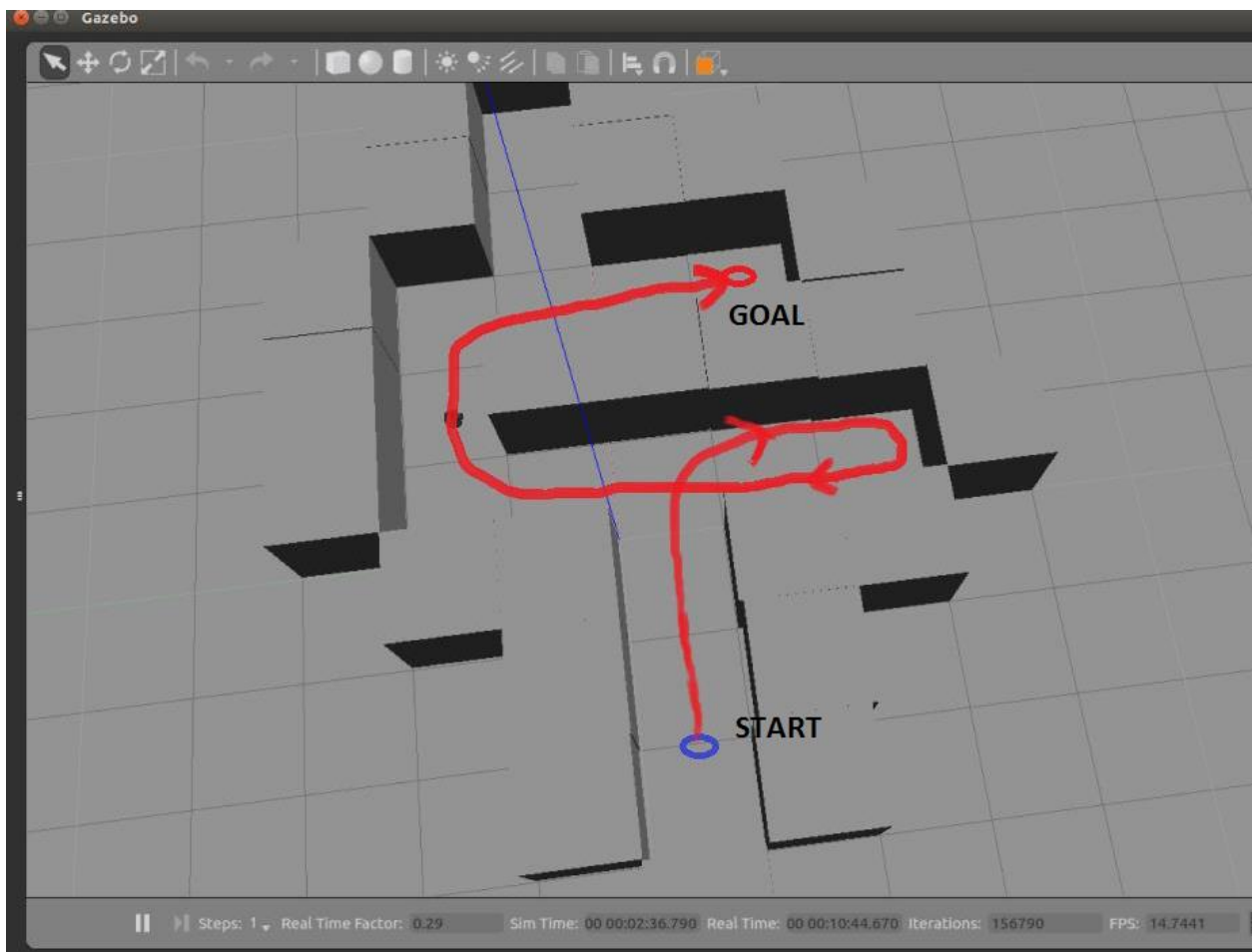
U ovom projektu kao model jedinke za genetski algoritam je korišćena klasična neuralna mreža. Neuralne mreže su korišćene tako što se kao ulaz koristio diskretizovan lidar signal, a kao izlaz akcija koju agent pravi. Fitness funkcije, potrebne za izbor najkvalitetnijih jedinki (roditelja) kod genetskog algoritma, su dobijene korišćenjem učenja sa podsticanjem.

Delovi gentskog algoritma su mutacije i crossover. Crossover je urađen tako što su dva roditelja vršili zamenu svojih nasumično izabranih težina, time dobijavši kvalitetnije jedinke. Mutacija se dešava pri stvaranju novih jedinki, tako što se nasumično izabrane težine malo promene.

3.REZULTATI

U nastavku će biti dato par slika na kojima će biti prikazana putanja robota u različitim situacijama. U prvoj situaciji robot će imati za zadatak da dođe od starta do cilja, a da pri tome se mimiođe sa raznim preprekama ovalnog oblika. U drugoj situaciji robot će imati za zadatak da dođe od starta do cilja u okviru lavirinta, gde će se suočiti i sa nekim „slepim ulicama”.





4.ZAKLJUČAK

U ovom radu je prikazana primena evolutivnih neuralnih mreža za navigaciju mobilnog robota. Algoritam evolutivnih neuralnih mreže je dobijen kombinovanjem gentskog algoritma, klasičnih neuralnih mreža i učenja sa podsticanjem (RL).

Korišćenje klasičnog algoritma upravljanja nije bila zadovoljavajuća za ovaj problem. Njegova glavna mana je bila izbegavanje prepreka, što je jedan od primarnih ciljeva prilikom rešavanja problema koji smo imali pred nama. Međutim, njegova vrlina je vrlo lako obezbeđivanje željene pozicije i rotacije robota. Stoga, kombinacija algoritma evolutivnih neuralnih mreža, koji smo razvili, i klasičnog algoritma upravljanja je bila pravi način pristupanja ovom izazovu.

Najpre je razvijen optimalan algoritam evolutivnih neuralnih mreža, sprovođenjem velikog broja simulacija. Kada su dobijeni adekvatni parametri neuralne mreže, primenjen je hibridni algoritam autonomne vožnje, koji je imao odlične performanse. Hibridni algoritam je testiran u simulacionom okruženju, u velikom broju situacija i izazova. U svim slučajevima su performanse bile na zavidnom nivou.

U radu su konkretno dati primeri snalaženja robota u dva okruženja. U jednom je imao za zadatak da pronađe put od starta do cilja, a pri tome da izbegava veliki broj prepreka ovalnog oblika. U drugom je imao pred sobom lavirint, morao se snaći u njemu za što kraće vreme, a pri tome, naravno, izbegavajući zidove.

Nakon navedenih testiranja ustanovljeno je da projektovani algoritam ima zadovoljavajuće performanse i da robot bez problema stiže u ciljnu tačku izbegavajući pritom sve prepreke koje mu se nađu na putu.

Ovaj rad je istakao osobine algoritama veštačke inteligencije da uče i da se adaptiraju na osnovu iskustva, omogućavajući agentu da savlada zadatak za koji nije eksplicitno programiran. Demonstrirao je i kako se dati sistemi mogu primeniti u oblasti mobilne robotike i autonomne vožnje i daje dobru osnovu za dalji razvoj ove oblasti, koji nas u budućnosti sigurno očekuje.

LITERATURA

- [1] Master rad-Primena mašinskog učenja u mobilnoj robotici I autonomnoj vožnji, Luković Aleksa, 2020.
- [2] Genetski algoritam - https://sr.wikipedia.org/sr-el/Genetski_algoritam
- [3] Neuralne mreže - <https://www.automatika.rs/baza-znanja/neuralne-mreze/uvod-u-neuralne-mreze.html>
- [4] Učenje s podsticanjem - https://en.wikipedia.org/wiki/Reinforcement_learning
- [5] Materijali za pripremu kursa Teorija Robotskih Sistema (OS4TRS) - <http://automatika.etf.bg.ac.rs/sr/13e054trs>
- [6] Materijali za pripremu kursa Robotskih Sistema (13M051RS) - <http://automatika.etf.bg.ac.rs/sr/13m051rs>