

VAROVANJE GOVORNO VODENEGA INVALIDSKEGA VOZIČKA Z UPORABO MEHKE LOGIKE

Bojan Brečko, Simon Brezovnik

Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Inštitut za robotiko, Maribor, Slovenija
bojan.brecko@uni-mb.si, simon.brezovnik@uni-mb.si

Summary – The article describes the operation of a module for the protection of movement of a voice-operated intelligent wheelchair (VOIC). The VOIC is used by a handicapped person, who can guide the wheelchair only with his/her voice. A general overview of the tasks of individual modules of the VOIC system, from the voice command recognition to the execution of commands, is given. A security module (SM), which is based on fuzzy logic, is described in detail. Based on the sensor data, the SM controls the safe guidance of the wheelchair through space by stopping the wheelchair at a safe distance from obstacles. The additional task of the SM is to avoid obstacles and to automatically guide the wheelchair through narrow passages, which relieves the user of the difficult voice guidance. The realization of the SM prototype, executed in the 2-D simulator of mobile robots MobotSim, using Visual Basic programming language, is described. The adequacy of choosing fuzzy logic for this application is supported with simulation data.

I. UVOD

Razlog za izdelavo varnostnega sistema (VS) predstavlja premajhna stopnja varnosti uporabnika v primeru, da bi vodenje vozička bilo v celoti prepuščeno uporabniku samo na podlagi razpoznanih govornih ukazov. Testi modula za razpoznavo govora so namreč pokazali, da popolna zanesljivost glede funkcionalne enakosti vhodnega govornega ukaza in izhodnega razpoznanega ukaza ni zagotovljena. VS mora zagotavljati poleg varovanja napačno prepoznanega ukaza še razpoznavo ovir v bližnji okolici vozička, ki jih uporabnik med vožnjo ni

zaznal, ter na podlagi njihove oddaljenosti prilagajati hitrost vozička.

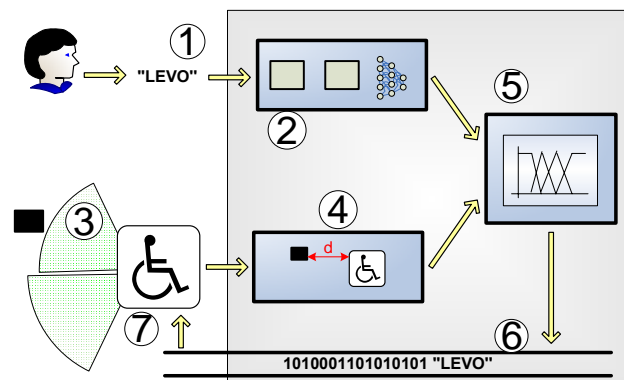
Kot zelo koristna dodatna funkcija VS je umikanje zaznanim oviram, ki jih je mogoče varno obvoziti na poti gibanja vozička in vodenje skozi težavne ozke prehode (vrata, hodnik, ...). S tem se invalidu bistveno olajša zahtevno podajanje govornih ukazov.

Za izvedbo VS so uporabljeni principi mehke logike, s katerimi je najpreprosteje izvesti zahtevne funkcije VS.

Uporaba predstavljene aplikacije ni strogo vezana le na dotični primer, saj jo je možno uporabiti povsod tam, kjer je potrebno zagotoviti varno gibanje mobilnih naprav po prostoru ali njihovo avtonomno vožnjo med ovirami.

II. ZGRADBA SISTEMA VOIC

Osnovni princip delovanja sistema VOIC prikazuje slika 3-1.



Slika 3-1: Osnovni princip sistema VOIC
Podroben opis posameznih elementov slike:

1. uporabnik izreče ukaz za vodenje,
2. sistem za razpoznavo govora razpozna in ovrednoti izrečeni ukaz,

3. sistem senzorjev ves čas meri razdalje do ovir,
4. poseben modul skrbi za pravilno delovanje senzorjev in vrednotenje njihovih podatkov,
5. VS prejme uporabnikov ukaz in podatke o okolici (razdalje do ovir v posamezni smeri) in presodi ali je ukaz varno izvedljiv, sicer ga ustrezno prilagodi ,
6. ukaz se posreduje krmilju vozička in
7. invalidski voziček ukaz sprejme in ga izvrši.

Članek se omejuje le na izvedbo VS (5), izvedenega s pomočjo mehke logike.

III. STROJNA OPREMA

Uporabljen je invalidski voziček STORM3 EURO izdelovalca Invacare, ki je prikazan na sliki 2-1. Vgrajen ima prototip modula za vodenje vozička na podlagi razpoznave govora.

Trenutno je prototip govorno upravljane vozička v fazi, ko ga je možno upravljati samo v povezavi z delovno postajo (PC).



Slika 2-1: Laboratorijski prototip govorno upravljane invalidskega vozička

IV. PROGRAMSKA OPREMA

Ker je VOIC še vedno v prototipni fazi in še ni opremljen z ustreznim številom senzorjev, sta razvoj in testiranje delovanja varnostnega modula potekala v 2-D simulatorju mobilnega robota MobotSim proizvajalca MobotSoft. Oblika delovnega okolja simulatorja bo predstavljena v poglavju z rezultati. Simulator MobotSim realiziran s programskim jezikom Visual Basic

omogoča izgradnjo zadovoljivo dobrega modela invalidskega vozička, saj je možno vključiti realne parametre uporabljenega vozička in okolja (dimenzije vozička in koles, parametre senzorjev ...). Z možnostjo izgradnje lastnega uporabniškega vmesnika je v razvojni fazi VS omogočena simulacija govornih ukazov. Parametre vodenja vozička (hitrost, smer, režim delovanja) je torej možno spreminjati kar med vožnjo.

Motečo pomanjkljivost simulatorja predstavlja le to, da je edina možna oblika vozička krog, s čimer se nekoliko izgubi na podobnosti z realnim vozičkom (pravokotnik), vendar to bistveno ne vpliva na sam princip delovanja VS.

Simulator omogoča natančno nastavitve dimenzij vozička, velikost prostora in parametrov senzorjev. Smer modela vozička torej podajamo s hitrostjo obračanja (rotacijska hitrost) vozička in ne z absolutno vrednostjo kota zasuka, saj se smer spreminja na podlagi razlike hitrosti posameznega kolesa. Na podoben način bo kasneje izvedeno tudi krmiljenje realnega vozička. Zaradi enostavnejše predstave in zapisa bo od sedaj naprej **translacijska hitrost** navedena le kot **hitrost** in **rotacijska hitrost** le kot **smer**.

V. SENZORSKI SISTEM

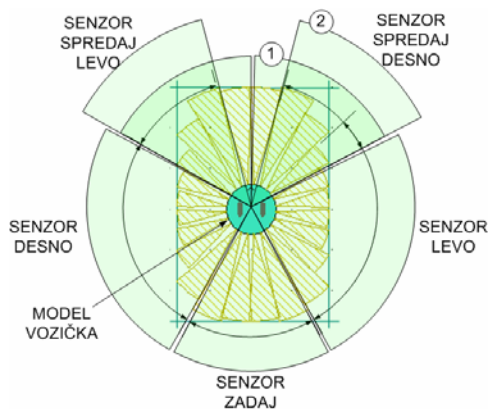
Kvalitetna realizacija varnostnih in funkcij vodenja vozička zahteva pokritost celotne okolice vozička s senzorji.

Model vozička je opremljen s 24-imi senzorji, združenih po posameznih sklopih tako, da vsak sklop pokriva določeno smer, kot to prikazuje slika 5-1.

Aktualno vrednost razdalje v posameznem sklopu senzorjev predstavlja vrednost sensorja z najmanjšo vrednostjo razdalje.

Sklop sprednjih levih in sprednjih desnih senzorjev se obravnava na dva načina. Za potrebe varnostnih funkcij (prilagajanje hitrosti) se za zaznavanje okolice pred vozičkom uporabijo vsi sprednji senzorji, štirje za spredaj levo in štirje za spredaj desno (slika 5-1, oznaka 1). V načinu umikanja oviram pa se iz vsakega sklopa izvzame po en senzor, kot je prikazano na sliki 5-1, oznaka

2. Koristnost takšnega obravnavanja sprednjih sensorjev se je izkazala tekom testiranj. Sklop levih, desnih in zadnjih sensorjev se v obeh načinih delovanja obravnavajo enako.

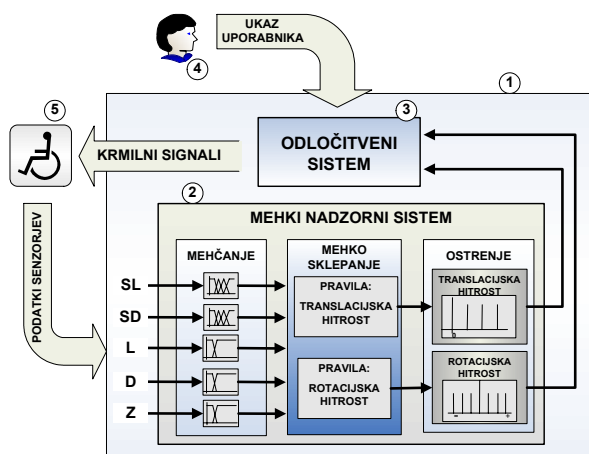


Slika 5-1: Razvrstitev sensorjev in razdelitev na posamezne sklope

Za potrebe simulacij je zagotovljeno, da sensorji pokrivajo celoten prostor okrog vozička. Območje dosega sensorjev v simulatorju je nastavljeno na 3.0 m, saj se je izkazalo, da upoštevanje večjih razdalj pri funkcijah varovanja in umikanja oviram nima posebnega pomena.

V. VARNOSTNI SISTEM

Slika 5-1 predstavlja sistem VOIC z podrobnejšo predstavitevijo VS.



Slika 5-1: Sistem VOIC z podrobnejšo predstavitevijo VS

VS (1) je sestavljen iz mehkega nadzornega sistema - MNS (2), ki je zgrajen s pomočjo

mehke logike in iz **odločitvenega sistema – OS** (3), ki ga predstavljajo pogojni »if« stavki.

Naloga OS je izdajanje krmilnih ukazov krmilju vozička (5) na podlagi zahtev uporabnika (4) in podatkov MNS. Krmilni signali za voziček se izdajajo na podlagi naslednjih preprostih pravil:

- če je zahtevana hitrost uporabnika večja od hitrosti, ki jo je odobril MNS, OS upošteva hitrost MNS-a,
- če je odobrena hitrost uporabnika manjša od hitrosti, ki jo je odobril MNS, OS upošteva hitrost uporabnika,
- če je invalidski voziček v **govornem načinu** upravljanja, se upoštevajo samo uporabnikove zahteve po spremembi smeri, izhod MNS za smer pa se ignorira in
- če je invalidski voziček v **režimu umikanja oviram**, se upošteva izhod za smer MNS, vendar lahko uporabnik v vsakem trenutku preide v govorni način vodenja vozička. To stori s tem, da izda ukaz za spremembo smeri ali z ukazom za izbiro načina delovanja.

Govorni režim delovanja - omogoča govorno vodenje vozička s strani uporabnika. Uporabnik vodi voziček s podajanjem govornih ukazov o hitrosti in smeri. Če se poda le smer brez hitrosti, se voziček obrača na mestu. Ob podani hitrosti, pa se začne voziček gibati po krožni krivulji. Radij zavijanja je odvisen od razmerja hitrosti in hitrosti spreminjanja smeri.

Režim umikanja oviram - je uporabniku v pomoč vodenje pri premikanju na podlagi MNS, ki mu olajša zahtevno podajanje govornih ukazov pri umikanju oviram ali pri vožnji skozi ozke prehode (vrata, hodnik,...). Če voziček naleti na oviro, se mu hitrost zmanjša sorazmerno z bližino ovire, sistem s pomočjo sensorjev preveri primerno smer izogibanja, nato pa jo s primerno varnostno razdaljo obvozi.

Režim umikanja oviram se lahko kombinira z govornim vodenjem tako, da uporabnik med režimom umikanja oviram poda zahtevo po spremembi smeri. S tem sistem samodejno preide v govorni način vodenja. To je uporabno v primeru, ko uporabnik zazna, da se voziček umika

oviri v neželjeno smer. Iz režima umikanja oviram je možno izstopiti tudi z zahtevo po ustavitvi vozička ali z ukazom za prehod v govorni način vodenja vozička.

VI. MEHKI NADZORNI SISTEM (MNS)

Jedro VS predstavlja MNS, zgrajen s pomočjo mehke logike. Vhode predstavljajo podatki petih sklopov senzorjev, predstavljenih že na sliki 5-1: spredaj levo (SL), spredaj desno (SD), levo (L), desno (D) in zadaj (Z).

Izhod iz MNS predstavljata odobrena translacijska hitrost in smer, ki je podana z rotacijsko hitrostjo. Ključno vlogo celotnega VS predstavlja prav odobrena hitrost, ki se spreminja na podlagi oddaljenosti od ovir. Le-ta omejuje uporabnikove zahteve po hitrosti gibanja vozička. Medtem je drugi izhod MNS, ki generira smer umikanja oviram, upoštevan le v režimu umikanja oviram.

Sklop MNS sestavlja mehčanje (fuzzyfication), mehko sklepanje na podlagi baze pravil in baze znanj ter ostrenje (defuzzyfication - prilagoditev mehkih vrednosti realnemu okolju).

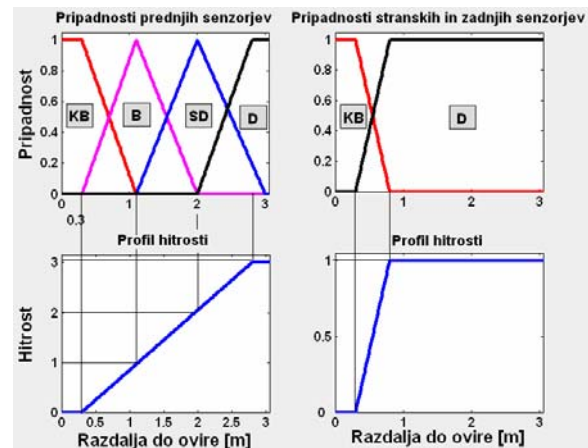
MEHČANJE (slika 5-1, 2A):

Predstavlja postopek prirejanja in doseganja mehкости vhodnih podatkov (prehod iz ostrih na mehke vrednosti), kar je osnova za uporabo tehnik mehke logike. Za mehčanje podatkov senzorjev so zaradi preprostejšega in s tem hitrejšega računanja uporabljene pripadnostne funkcije trikotne in trapezne oblike.

Področje od 0 do 3 m je razdeljeno na različno število pripadnostnih funkcij, ki določajo posamezne lingvistične spremenljivke (npr. kritično blizu, blizu,...). Število lingvističnih spremenljivk je odvisno od pomembnosti dotičnega sklopa za kreiranje mehkih pravil za varovanje vozička.

Ključnega pomena za varovanje gibanja vozička in za naloge umikanja oviram predstavlja sklop sprednjih senzorjev (spredaj levo in spredaj desno). Zato je njihovo področje opisano s štirimi pripadnostnimi funkcijami (kritično blizu-KB, blizu-B, srednje daleč-SD in daleč-D). Za sklop

levih, desnih in zadnjih senzorjev pa se je izkazalo, da je dovolj, da se njihovo področje opiše le z dvema lingvističnima spremenljivkama (kritično blizu in daleč). Oblike in razvrstitev pripadnostnih funkcij so prikazane na sliki 6-1.



Slika 6-1: Oblike in postavitve pripadnostnih funkcij

S takšno postavitvijo pripadnostnih funkcij dosežemo enakomeren trapezni profil hitrosti v odvisnosti od oddaljenosti od ovire, ki je prikazan na sliki 6-1 pod pripadnostnimi funkcijami.

MEHKO SKLEPANJE (slika 5-1, 2B):

Sistem mehkega sklepanja je sestavljen iz pravil za hitrost (translacijska hitrost) in iz pravil za smer (rotacijska hitrost).

Pravila so oblikovana na podlagi karakteristik vodenja invalidskega vozička v prostoru in opisujejo fizično obnašanje vodenja po katerem želimo spreminjati parametre hitrosti in smeri glede na zaznane ovire v prostoru.

Pravila so zapisana v obliki singleton pravil, kar pomeni, da so vhodne vrednosti lingvistične spremenljivke opisane z mehкими množicami, izhodne spremenljivke pa predstavljajo ostre vrednosti, kot to ponazarja tabela (6.1).

Pravila mehkega sklepanja za hitrost (translacijska hitrost) - Osnova za tvorjenje mehkih pravil hitrosti sta sklop sprednjih levih in sprednjih desnih senzorjev, kot to prikazuje tabela 6-1. Pravila so oblikovana za štiri stopnje izhodne hitrosti (0,1,2 in 3).

PRAVILA ZA HITROST		SPREDAJ DESNO			
		KB	B	SD	D
SPREDAJ LEVO	KB	0	0	0	0
	B	0	1	1	1
	SD	0	1	2	2
	D	0	1	2	3

Tabela 6-1: Tabela pravil za hitrost

Iz tabele pravil je razvidno, da je hitrost enaka nič vedno, ko se razdalja vsaj enega izmed senzorjev nahaja v območju KRITIČNO BLIZU (KB). Hitrost 1 je omogočena v kombinacijah s pripadnostmi BLIZU (B), hitrost 2 v kombinacijah s pripadnostmi SREDNJE DALEČ (SD) in hitrost 3 le, ko sta oba senzorja v območju DALEČ (D).

Za vzvratno vožnjo je uporabljena le ena hitrost. Ko so zadnji senzorji v področju DALEČ, je ta omogočena, s približevanjem področju KRITIČNO BLIZU pa se zmanjšuje proti nič.

Pravila mehkega sklepanja za smer (rotacijska hitrost) - Pravila za smer so oblikovana za sedem hitrosti obračanja in sicer 0 (ravno), +/- 1 (počasi levo/desno), +/- 2 (srednje levo/desno) in +/- 3 (hitro levo/desno) kot to predstavlja tabela 6-2.

PRAVILA ZA SMER		SPREDAJ DESNO			
		KB	B	SD	D
SPREDAJ LEVO	KB	0	-3	-3	-3
	B	3	0	-2	-2
	SD	3	2	0	-1
	D	3	2	1	0

Tabela 6-2: Tabela pravil za smer

Iz tabele pravil je razvidno, da se smer ne spreminja, če sta oba senzorja v istem področju. V primeru, da se razdalja enega izmed senzorjev nahaja v območju KRITIČNO BLIZU, se voziček obrača v nasprotno smer s hitrostjo 3. V sklop pravil za hitrost 3 sta vključena tudi sklopa levih in desnih (bočnih) senzorjev. Za primer, da je razdalja sprednjega levega senzorja v območju BLIZU, sprednjega desnega senzorja pa v območju SREDNJE DALEČ ali DALEČ, se voziček obrača v desno s hitrostjo 2, ...

OSTRENJE (slika 5-1, 2C):

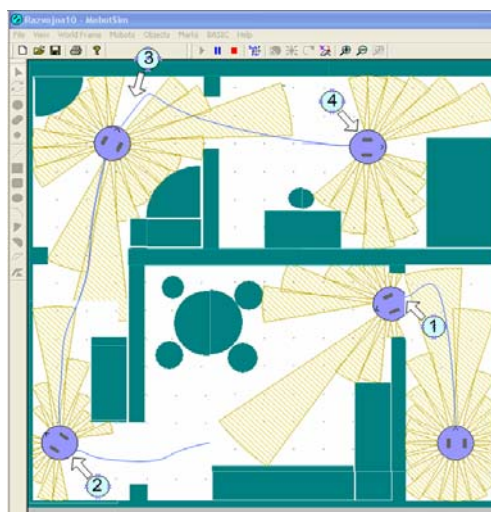
Rezultata mehkega sklepanja ni mogoče neposredno uporabiti za vodenje vozička, ki je del

ostrega sveta, zato je potrebno s pomočjo postopka ostrenja izluščiti ostro vrednost.

VII. REZULTATI

Gibanje po modelu stanovanja

Slika 7-1 prikazuje trajektorijo gibanja invalidskega vozička v shematsko prikazanem stanovanjskem prostoru. Pomembnejše ugotovitve so predstavljene po točkah.



Slika 4: Umikanje oviram



Slika 4-1: Uporabniški vmesnik za simuliranje govornih ukazov

Točka 1: uporabnik izreče govorna ukaza »umikanje« in »hitrost 3« (ukazi simulirani z ukazno konzolo),

- VOIC se usmeri proti sredini hodnika,
- s približevanjem steni VS voziček upočasnjuje,
- VS ugotovi možni prehod skozi vrata in vodi voziček skozi vrata na varni razdalji,
- po izvršenem manevru uporabnik izklopi funkcijo umikanja oviram in vodi voziček skozi

prostor z govornimi ukazi VM je medtem vedno aktiven in varuje uporabnika pred trkom ob ovire.

Točka 2: Prikazano je gibanje skozi ozek prehod stanovanja, kjer je voziček težko upravljati z govornimi ukazi:

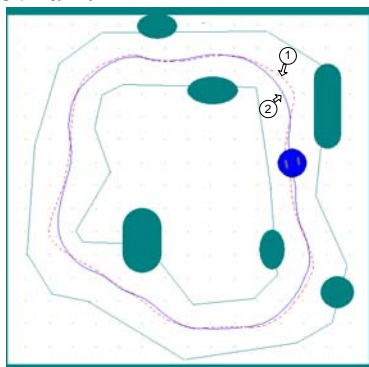
- uporabnik vključi funkcijo umikanja oviram,
- VS sam poskrbi za vodenje vozička skozi prehod s hitrostjo, prilagojeno razpoznanemu prostoru.

Točka 3: Prikazano je vodenje vozička samo z govornimi ukazi uporabnika:

- sledilna črta prikazuje pot, kjer je VS uporabnika z zmanjševanjem hitrosti ustavil pred steno,
- uporabnik nato z govornim ukazom »srednje desno«, »hitrost 2« zasuče voziček v desno,
- voziček se obrača dokler sistem ne dovoli vožnje naprej,
- takrat se začne voziček gibati v izbrani smeri s hitrostjo, prilagojeno glede na razdaljo do ovir.

Točka 4: Predstavljeno je gibanje uporabnika v prostoru samo z govornimi ukazi, s katerimi lahko pride do pohištva, mize oziroma zelenega položaja v prostoru.

Testiranje vpliva napačnega branja senzorjev na zanesljivost delovanja VS – Slika 7-2 prikazuje simulacijo vpliva motenj, pri delovanju senzorjev na varnostne funkcije in funkcije umikanja oviram.



Slika 7-2: Test robustnosti varnostnega sistema

S sledjo 2 je prikazana pot vozička v načinu umikanja oviram pri normalnem delovanju senzorjev. V tem primeru se voziček zelo dobro

odziva na ovire v prostoru, brez odvečnega ustavljanja pred ovirami.

Sled 1 prikazuje pot vozička pri zgornji meji 37% nepravilnosti branja senzorjev. S sledi 2 je razvidno, da varnostne funkcije še vedno delujejo, funkcija umikanja oviram pa že nekoliko peša. Nad zgornjo mejo odpovejo zraven funkcije umikanja oviram tudi varnostne funkcije.

Iz navedenega se kaže dobra lastnost VS izvedenega s pomočjo mehke logike – robustnost, saj lahko deluje zanesljivo kljub visokemu odstotku nepravilnih podatkov senzorjev.

VII. ZAKLJUČEK

Pri razvoju VS se kaže še širok spekter rešitev, ki bodo pripomogle k večji uporabnosti sistema VOIC, ki je namenjen invalidom z zahtevo po visoki stopnji varnosti in pomoči pri njihovem gibanju po prostoru. S tem jim lahko v določeni meri olajšamo vsakodnevna rutinska opravila, ki so jim sedaj zaradi težke gibljivosti onemogočena. V fazi razvoja je že nadgradnja VM, ki bo uporabniku omogočala varno gibanje v vzvratni smeri s funkcijo umikanja oviram. S tem bo premoščeno težavno gibanje invalidov v vzvratni smeri. Naslednji korak predstavlja razvoj aplikacije, ki bo namenjena uporabi v statičnih stanovanjskih prostorih s statičnimi ovirami, kjer bo uporabniku z govornimi ukazi (»kuhinja«) omogočeno samodejno gibanje iz prostora v prostor (iz spalnice v kuhinjo, ...). S tem mu bo gibanje v domačem stanovanju še dodatno olajšano, saj bo razbremenjen podajanja podrobnih govornih ukazov.

VIII. LITERATURA

- [1] Andreja Rojko, *Položajno vodenje nelinearnih mehanizmov z uporabo mehke logike*, doktorska disertacija, FERI Maribor 2002
- [2] S. Thongchai, S. Suksakulchai, D. M. Wilkes, N. Sarkar, *Sonar Behavior-Based Fuzzy Control for a Mobile Robot*, v Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Nashville, Tennessee, oktober 2000.

Mentor študentskega projekta: Gregor Pačnik