

VIRTUÁLNY MODEL AUTONÓMNYCH VOZIDIEL

I. Sekaj, M. Ježo, J. Záborský, S. Kajan

Ústav riadenia a priemyselnej informatiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky,
Slovenská technická univerzita v Bratislave, Slovenská republika

Abstrakt

Príspevok opisuje virtuálny 3-D model autonómnych vozidiel, ktoré sa pohybujú v hale s prekážkami. Dynamický model celého systému je vytvorený v Simulinku a vizuálna časť pomocou VR-toolboxu. Vozidlá sa orientujú v priestore pomocou sonaru s kužeľovou snímacou charakteristikou. Ich cieľom je prejsť z používateľom definovaného počiatku do koncového bodu. Sú riadené reaktívnym spôsobom na základe pravidlového znalostného systému, ktorý pracuje na báze fuzzy logiky. Virtuálny model umožňuje vyvíjať a testovať bázu pravidiel pre riešenie rôznych situácií, pričom výsledok je implementovateľný na reálneho mobilného autonómneho robota.

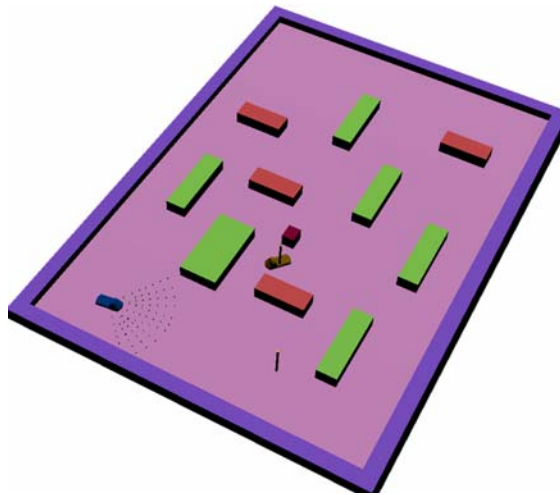
1 Úvod

Naším cieľom je navrhnúť spôsob riadenia autonómneho vozidla, ktoré sa bude schopné pohybovať bez ľudského zásahu a bez pomoci iných navigačných prostriedkov v neznámom prostredí s prekážkami [1]. Výhody takéhoto riadenia sú zjavné. Pevne naprogramované vozidlo je schopné reagovať iba na vopred dané situácie v danom prostredí. Takéto vozidlá bývajú bežne navádzané magnetickými značkami, ktoré sú uložené v podlahe, alebo laserom. Ak sa prostredie zmení je nutné celé toto zariadenie nanovo preprogramovať. Naproti tomu autonómne vozidlo môžeme nasadiť do ľubovoľného prostredia. Autonómne vozidlo je schopné prispôbiť sa zmenám v prostredí bez toho, aby sa muselo nanovo programovať [2]. Je veľmi veľa aplikácií, v ktorých sa môžu tieto autonómne vozidlá využiť. Napríklad v rôznych továrňach, skladoch, v nemocniciach či už ako údržbárske vozidlá, alebo vozidlá ktoré prepravujú nejaký náklad [3]. Keďže reálne prostredie je veľmi neštruktúrované a môže sa meniť v čase, nie je jednoduché navrhnúť riadenie pre takéto vozidlo, ktoré sa bude v tomto prostredí pohybovať. Veľmi dobrým prostriedkom na riadenie v tomto prostredí je fuzzy logika. Pretože nepotrebujeme poznať presné rozloženie prekážok a ich presné vzdialenosti od vozidla, ale na základe jednoduchých lingvistických pravidiel vieme veľmi rýchlo zostaviť pravidlá správania sa. V tejto práci opisujeme vozidlo, ktoré je schopné pohybu v neznámom prostredí, v ktorom sú rozmiestnené rôzne prekážky, z bodu A do bodu B. Riadenie je realizované prostredníctvom fuzzy logiky [4],[5],[7]. Keďže zostrojenie takéhoto vozidla by bolo nákladné, pristúpili sme k realizácii modelu autonómneho vozidla vo virtuálnom prostredí v *Matlabe* prostredníctvom *Virtual Reality toolboxu*. Dynamický model celého systému je vytvorený v Simulinku a vizuálna časť pre rôzne prostredia prekážok pre 3 autonómne vozidlá je realizovaná v 3D virtuálnom svete, ktorý môžeme v prípade našich potrieb veľmi rýchlo upravovať a meniť[6].

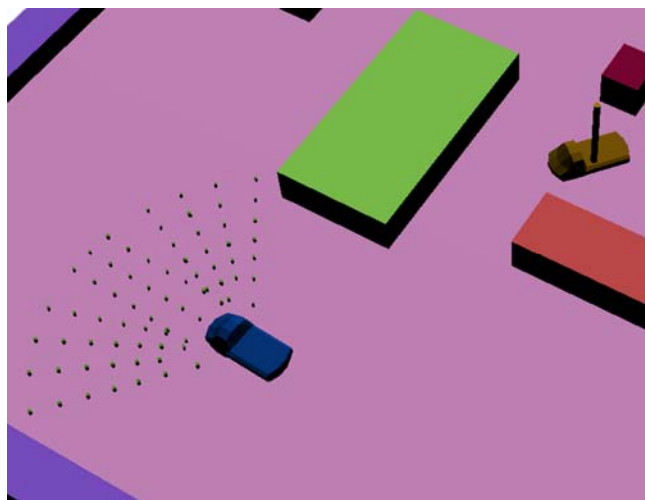
2 Tvorba virtuálneho modelu autonómneho vozidla

Virtuálny model predstavuje halu s prekážkami (Obr. 1 a 2), v ktorej sa reaktívnym spôsobom pohybujú autonómne vozidlá. Bol vytvorený pomocou programu *3ds max* [10]. Model môže obsahovať 1 až 3 autonómne vozidlá, kde každé vozidlo pre orientáciu má 73 senzorov, ale kvôli prehľadnosti sa vizualizujú len senzory jedného vozidla. V pracovnom priestore na obrázku 1 sa nachádza jedenásť prekážok a dva valce, ktoré predstavujú ciele do ktorých sa majú dostať naše autonómne vozidlá. Zmena rozloženia prekážok a počtu vozidiel sa realizuje jednoducho zmenou 3D scény. Do modelu sa vložili štyri kamery, pomocou ktorých si môže používateľ veľmi jednoducho meniť pohľad, z akého sa bude na 3D model pozerat'.

Navrhnutý virtuálny model bol vložený do simulačnej schémy pomocou bloku *VR Sink* z knižnice *Virtual Reality toolbox-u*.



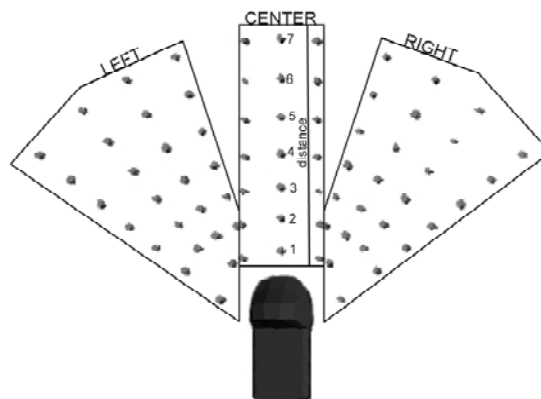
Obrázok 1: Virtuálny model autonómneho vozidla s bariérovým prostredím



Obrázok 2: Detailný pohľad na virtuálny model autonómneho vozidla s prostredím

3 Princíp činnosti autonómneho vozidla

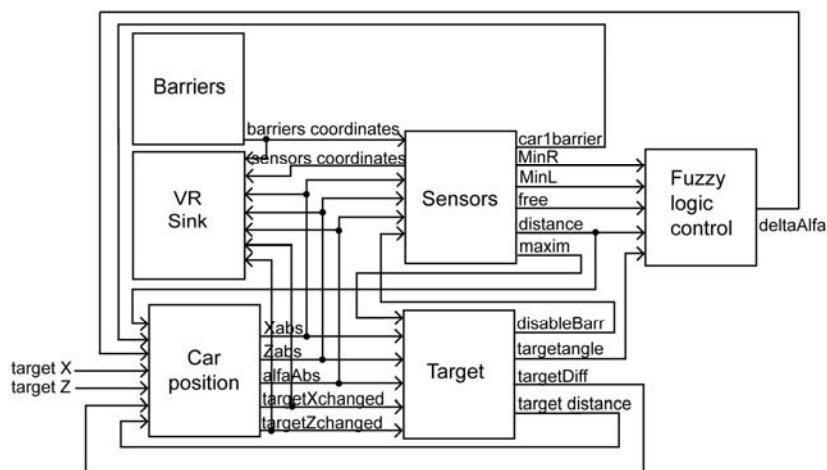
Na obr. 3 je zobrazené navrhnuté autonómne vozidlo, kde pred vozidlom sú body predstavujúce snímané body ako simuláciu reálnych snímačov prekážok. Vozidlo obsahuje 11 radov senzorov, ktoré sú rozdelené do troch častí: ľavé, stredné a pravé. Pomocou senzorov sa zisťuje poloha prekážok. Základný princíp riadenia vozidla spočíva v tom, že ak sa prekážka nenachádza ani v jednom zo stredných senzorov tak vozidlo ide rovno za svojím cieľom. Ak vozidlu v ceste k cieľu bráni prekážka, fuzzy regulátor vyhodnotí informácie zo všetkých senzorov a rozhodne, ktorým smerom sa bude vozidlo pohybovať [8].



Obrázok 3: Pohľad zhora na autonómne vozidlo so senzormi

Dynamický model autonómneho vozidla je realizovaný simulačnou schémou, ktorej bloková schéma je zobrazená na obrázku 4. Na schéme sa nachádzajú nasledovné bloky zabezpečujúce nasledovné základné funkcie:

- Blok *Car position* – na základe pozície cieľa ($targetX$, $targetZ$), zmeny uhla natočenia vozidla ($deltaAlfa$) a najmenšej vzdialenosti od prekážky ($distance$) sa počíta nová poloha vozidla ($Xabs, Zabs$), smer pohybu vozidla ($AlfaAbs$) a ak je potrebné zmenu cieľa ($targetXchanged$, $targetZchanged$)
- Blok *Target* – na základe pozície vozidla ($Xabs, Zabs$), smer pohybu vozidla ($AlfaAbs$) a vynútenej zмене cieľa ($targetXchanged$, $targetZchanged$) počíta vzdialenosť ($targetdistance$) a uhol medzi vozidlom a cieľom ($targetangle$)
- Blok *Sensors* - na základe pozície vozidla ($Xabs, Zabs$), smer pohybu vozidla ($AlfaAbs$) a pozícií prekážok (*barriers coordinates*) vyhodnocuje senzory vozidla a to konkrétne: pozície sensorov (*sensors coordinates*), počet sensorov v prekážke vľavo a vpravo ($MinR$, $MinL$), najmenšiu vzdialenosť vozidla od prekážky ($distance$), strana na ktorej je viacej voľného miesta ($free$), najväčšiu voľnú vzdialenosť ($maxim$)
- Blok *Barriers* – generuje pozície prekážok (*barriers coordinates*)
- Blok *VR Sink* – zabezpečuje zmenu vykreslenia v 3D virtuálnom modeli (pozície vozidla, cieľa, sensorov a prekážok)
- Blok *Fuzzy logic control* – na základe informácií zo sensorov a uhlu medzi vozidlom a cieľom ($targetangle$) vykonáva fuzzy riadenie vozidla, kde výstup fuzzy regulátora je zmena uhlu natočenia vozidla ($deltaAlfa$).

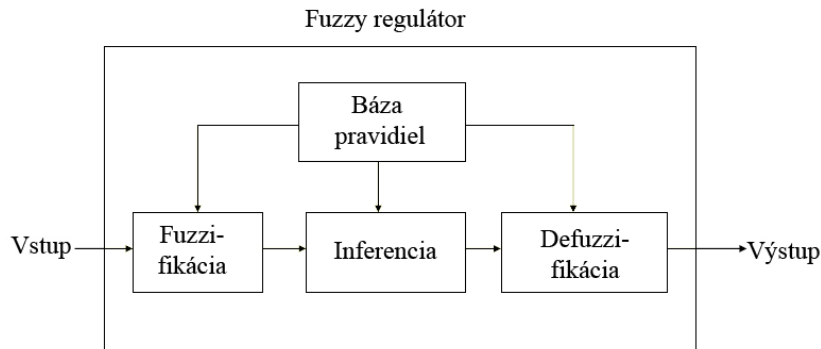


Obrázok 4: Bloková schéma riadenia autonómneho vozidla

4 Fuzzy riadenie vozidla

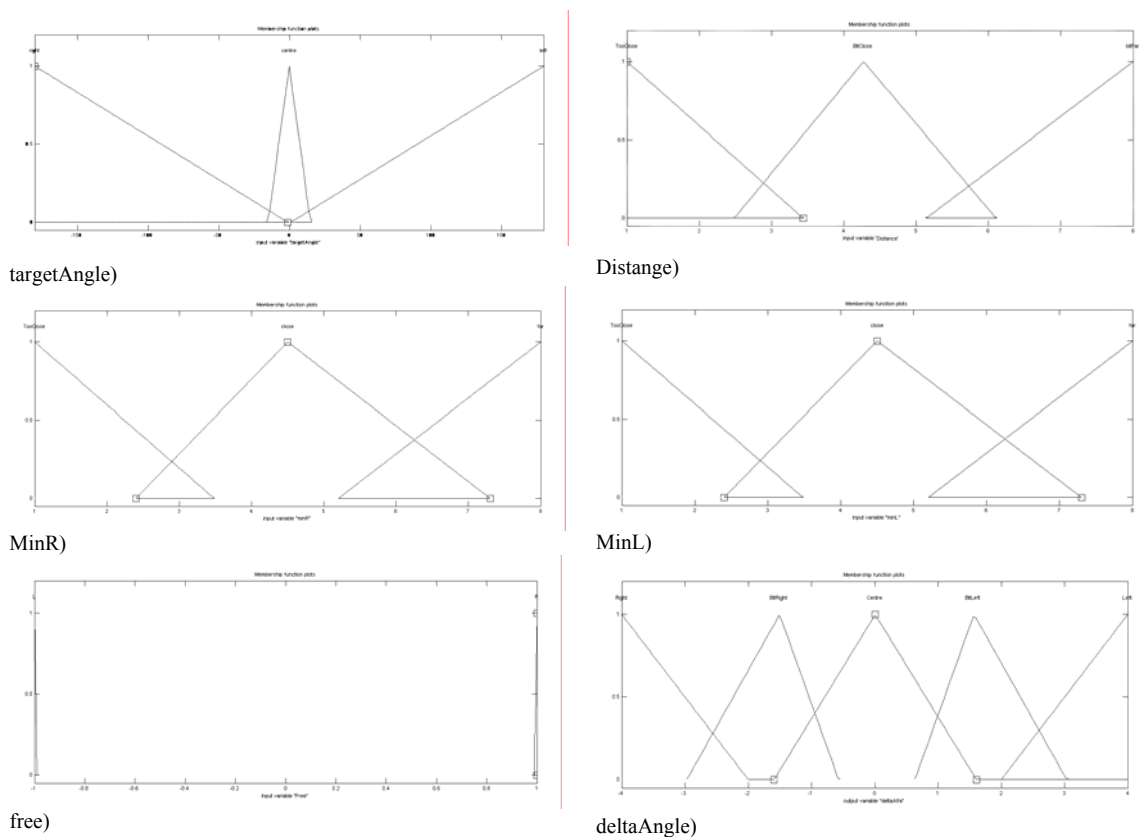
Fuzzy regulátor (*Fuzzy logic controller*) mamdaního typu realizuje riadenie nášho autonómneho vozidla. Je to regulátor, ktorý na prácu s neurčitostami využíva fuzzy množiny. Má pravidlá v tvare produkčných pravidiel *AK* predpoklad \rightarrow *POTOM* záver, kde predpoklad aj záver sú fuzzy množiny jednotlivých zadaných lingvistických premenných [8,9].

Ako je vidieť z obrázku 5, fuzzy regulátor sa skladá zo štyroch častí: *fuzzifikácie*, *inferencie*, *bázy pravidiel* a *defuzzifikácie*. Blok *Fuzzifikácie* zabezpečuje prevod ostrých vstupných hodnôt na funkcie príslušnosti jednotlivých lingvistických premenných. Blok *Bázy pravidiel* obsahuje všetky fuzzy pravidlá, ktoré popisujú správanie fuzzy regulátora. *Inferenčný mechanizmus* zabezpečuje vykonanie aktuálnych pravidiel, ktoré sú v danom okamihu adresované, vstupnými podmienkami. *Defuzzifikácia* je prevod výslednej funkcie príslušnosti výstupov na reálnu hodnotu (ostrú). Často používanou metódou defuzzifikácie je metóda *ťažiska*, u ktorej vypočítavame výslednú ostrú hodnotu ako súradnicu polohy ťažiska plochy výslednej funkcie príslušnosti záverov [9].



Obrázok 5: Fuzzy regulátor

Vstupom do fuzzy regulátora sú premenné vzdialenosť od prekážky - *distance*, azimut k cieľu - *target angle*, pomocné premenné *MinR*, *MinL* a *free*. Výstupom regulátora je premenná *deltaAlfa*. Týmto premenným sú priradené nasledovné lingvistické premenné.



Obrázok 6: Lingvistické premenné fuzzy regulátora

Bázu pravidiel fuzzy regulátora tvorí 29 pravidiel typu:

„ak je prekážka vpravo a v strede a ďaleko, tak zatoč mierne doľava“ a pod.

Vytvorené pravidlá by sa v jednoduchosti rozdeliť do štyroch skupín:

1. skupina pravidiel hovorí o tom ako sa má správať vozidlo keď sa nachádza veľmi blízko pri prekážke.
2. skupinu pravidiel tvoria pravidlá hovoriace o správaní vozidla, keď sa nachádza stredne ďaleko od prekážky.
3. skupina pravidiel sa uplatňuje ak sa vozidlo nachádza ďaleko od prekážok.

4. skupina pravidiel zabezpečuje plynulý priamočiary pohyb keď sa vozidlo pohybuje rovnobežne s prekážkou.

Na obr. 7 je vidieť správanie sa autonómneho vozidla v priestore s prekážkami. V mieste číslo 1. je vozidlo otočené v opačnom smere v akom je cieľ, žiadna prekážka mu nebráni v tom, aby sa otočil, takže v tomto prípade nastane situácia, ktorú definuje nasledovné pravidlo a vozidlo sa začne otáčať doľava.

If (*Distance is not TooClose*) AND (*targetAngle is left*) AND (*minL is not TooClose*) then (*deltaAlfa is left*)

V bode 2. sa dostávame do situácie ktorú definuje nasledujúce pravidlo, kde senzory sú mimo prekážok a vozidlo sa teda začne pohybovať rovno k cieľu.

If (*Distance is not TooClose*) AND (*targetAngle is centre*) then (*deltaAlfa is centre*)

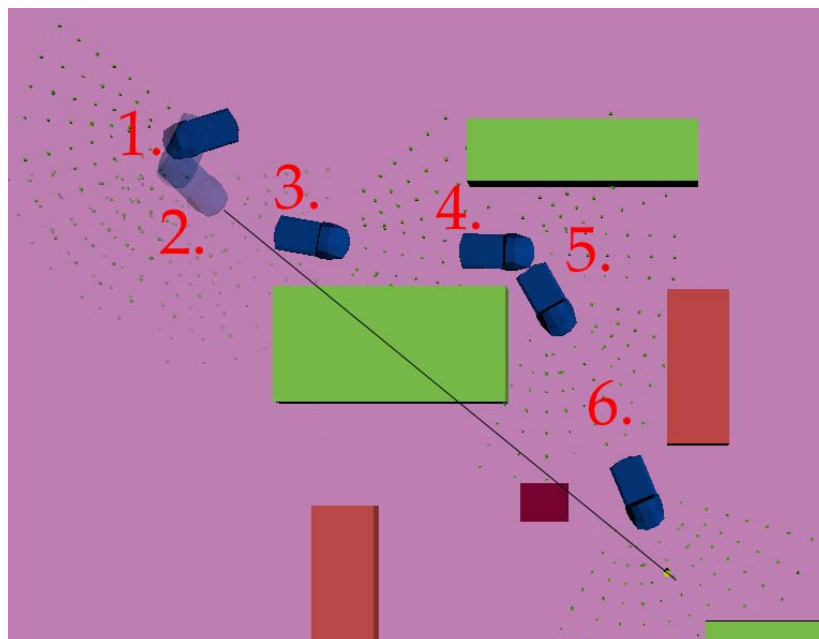
Avšak nie dlho lebo senzory zachytia prekážku, teraz v bode 3. sa uplatní pravidlo, kde vozidlo sa začína vyhybať prekážke a odbočí trochu doľava.

If (*Distance is BitClose*) AND (*targetAngle is centre*) AND (*free is R*) then (*deltaAlfa is BitRight*)

Do bodu 4. sa uplatňuje pravidlo, kde vozidlo sa pohybuje rovnobežne z prekážkou.

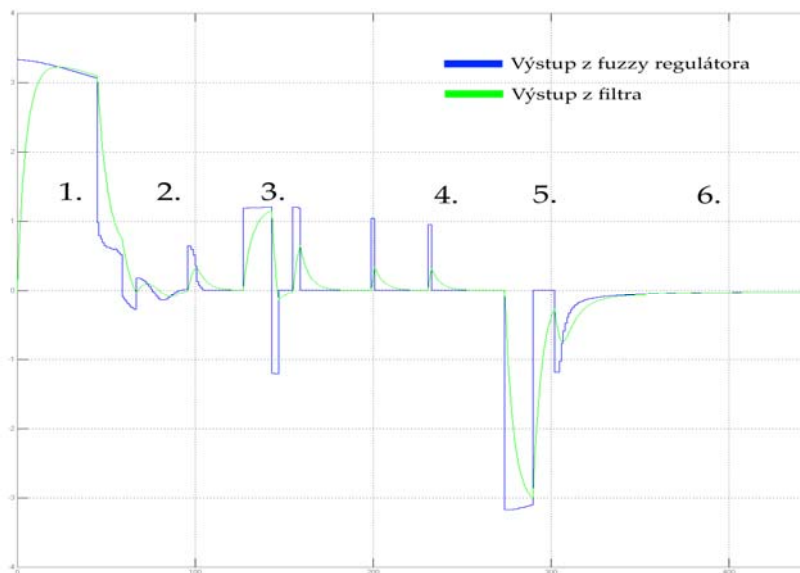
If (*targetAngle is left*) AND (*minL is TooClose*) then (*deltaAlfa is centre*)

V bode 5. keď vozidlo prejde popri prekážke, ktorá jej bránila odbočiť doľava nastane opäť situácia pri ktorej využívame pravidlo ako v bode 1 a vozidlo sa začne otáčať doľava až sa dostane znova do situácie definovanou pravidlom ako v bode 2 a vozidlo ide opäť rovno k cieľu.



Obrázok 7: Vysvetlenie pravidiel - praktická ukážka

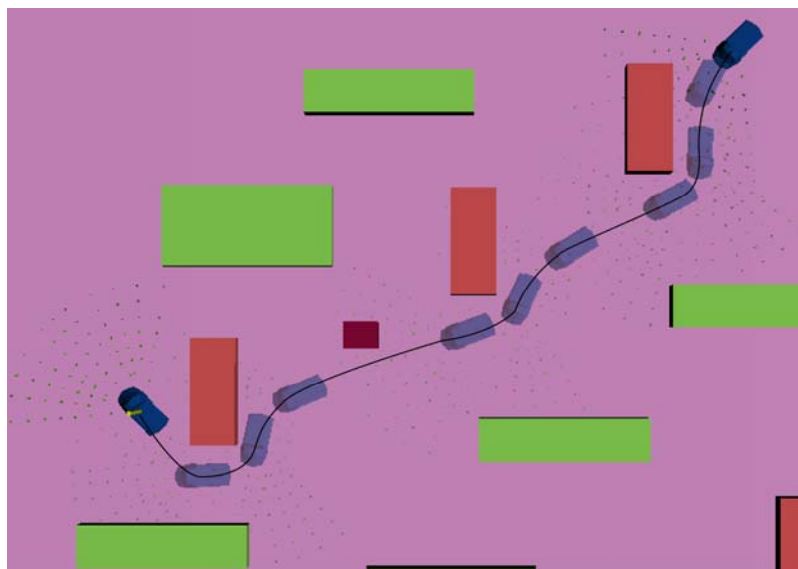
Na obr. 8 sú zobrazené výstupy z fuzzy regulátora a z filtra, ktorý sa používa na vyhladenie priebehu z fuzzy regulátora, aby sa vozidlo pohybovalo plynulejšie bez väčších skokových zmien.



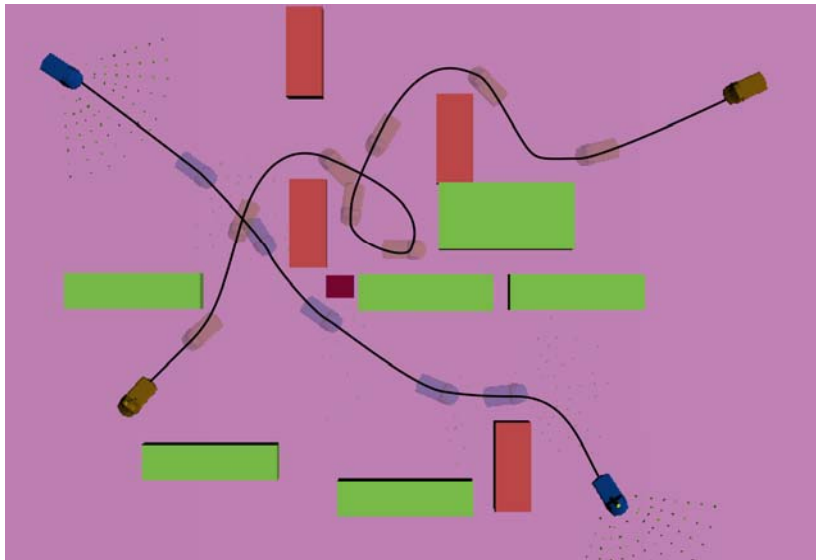
Obrázok 8: Výstupy z fuzzy regulátora a filtra

5 Experimentálne overenie pohybu vozidiel

Navrhnuté riešenie bolo experimentálne overené v prostredí s náhodne rozmiestnenými prekážkami. Na obrázkoch 9 až 12 je vidieť správanie sa autonómnych vozidiel. Napriek tomu, že zakaždým sme vozidlá simulovali v inom prostredí, vždy sa dokázali dostať až do nami určeného cieľa. Na obrázku 12 je vidieť situácia, kedy sa dve vozidlá stretnú. Vozidlá sa berú vzájomne ako pohyblivé prekážky, preto sa na obrázku 12 modré vozidlo otáča na mieste pri strete z hnedým vozidlom.



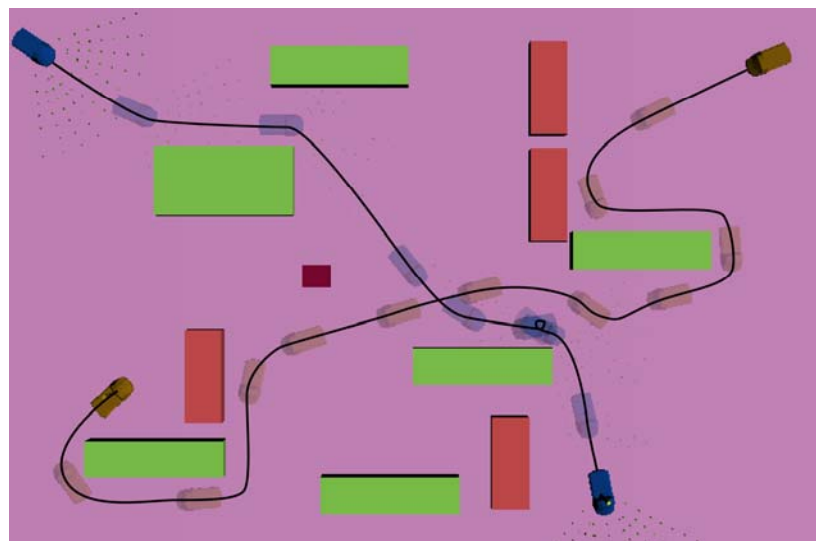
Obrázok.9: Správanie sa autonómneho vozidla v prípade I.



Obrázok.10: Správanie sa autonómnych vozidiel v prípade II.



Obrázok.11: Správanie sa autonómnych vozidiel v prípade III.



Obrázok.12: Správanie sa autonómnych vozidiel v prípade IV.

6 Záver

Cieľom príspevku bolo vytvorenie takého modelu scény autonómnych vozidiel s prekážkami, ktoré sa dokážu pohybovať vo vopred neznámom prostredí a dokážu samostatne riešiť vzniknuté problémy. Ako je vidieť so simulácií, pomocou fuzzy riadenia, bolo docielené funkčné správanie sa vozidla v neznámom prostredí. Dokáže sa vyhýbať prekážkam, ktoré mu bránia na ceste k cieľu. A takisto ostaným autonómny vozidlám, ktoré sa nachádzajú v pracovnom priestore. Vo virtuálnom modeli je možné jednoducho meniť pracovné prostredie, čo nám umožňuje vznik nespočetného množstva rôznych kombinácií pre testovanie a zdokonaľovanie pravidiel fuzzy riadenia autonómneho vozidla, pričom výsledok je implementovateľný na reálneho mobilného autonómneho robota.

PodĎakovanie

Príspevok bol podporený grantovou agentúrou VEGA v rámci grantu č. 1/3100/06.

Literatúra

- [1] A. Saffiotti. *The uses of fuzzy logic in autonomous robot navigation*, 1997
- [2] Ch. E. Kinney, D. N. Edwards. *A Fuzzy Logic Vision and Control System Embedded with Human Knowledge for Autonomous Vehicle Navigation*, 2003
- [3] A. Abreu, L. Correia. *Fuzzy Behaviors and Behavior Arbitration in Autonomous Vehicles*, 1999
- [4] A. Saffiotti, Z. Wasik, *A Fuzzy Behavior-Based Control System for Manipulation*, 2001.
- [5] I. Sekaj, *Evolučné výpočty*, IRIS Bratislava, 2005
- [6] J. Žára, VRML97, Bratislava: Computer press 1999.
- [7] The Mathworks. *Matlab ver. 6.5 (R13), user dokumentation*, 2002
- [8] M. R. Hitchings, *Distance and Tracking Control for Autonomous Vehicles*, 1999.
- [9] The Mathworks. *Fuzzy Logic Toolbox, User's Guide*, 2002
- [10] S. Kenndedy, *3ds max 6 Animace a vizuální efekty*, 2004

Doc. Ing. Ivan Sekaj, PhD.:

Ústav riadenia a priemyselnej informatiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, E-mail: ivan.sekaj@stuba.sk

Ing. Slavomír Kajan, PhD.:

Ústav riadenia a priemyselnej informatiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, E-mail: slavomir.kajan@stuba.sk