

# Simulácia indoor navigácie vozidla

## Simulation of the indoor navigation for vehicle

Peter Girovský<sup>1</sup>

<sup>1</sup>[peter.girovsky@tuke.sk](mailto:peter.girovsky@tuke.sk)

<sup>1</sup>Katedra elektrotechniky a mechatroniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Letná 9, 04200 Košice, Slovenská Republika

**Abstrakt**—Tento príspevok sa zaoberá problematikou simulácie indoor navigácie a autonómneho pohybu vozidla. V príspevku sú uvedené viaceré možnosti indoor navigácie autonómnych vozidiel ako aj algoritmy využívané pri určovaní polohy vozidiel. V závere článku je prezentovaná simulácia autonómneho pohybu vozidla v programe Matlab.

**Príučové slová**— *autonómne vozidlo, riadenie, simulácia, navigácia*

**Abstract**— This paper deals with simulation of indoor navigation and vehicle autonomous movement. In the paper are listed some of options for indoor navigation of autonomous vehicles as well as algorithms used for vehicle positioning. At the end of the paper is presented a simulation of autonomous motion of the vehicle in the Matlab program.

**Keywords**— *autonomous vehicle, control, simulation, navigation*

### I. ÚVOD

V súčasnosti sa mnoho vedeckých tímov zaoberá problematikou autonómneho pohybu vozidiel. Za zmienku stojí projekt tímu učiteľov a študentov Stanfordskej Univerzity v USA, ktorý v spolupráci s koncernom Volkswagen v roku 2010 predstavili a úspešne otestovali autonómne vozidlo Audi TT. Ich ďalším cieľom je vývoj a zdokonaľovanie aktívnych bezpečnostných prvkov tohto automobilu. Pre rozvoj mobilnej robotiky je veľmi dôležitá autonómnosť mobilného robota, ktorá sa ale nedá dosiahnuť bez presnej lokalizácie polohy robota v jeho pracovnom prostredí. Predovšetkým pri autonómnych mobilných robotoch je veľmi dôležitá presná navigácia. To vyplýva predovšetkým z ich využitia. Mobilné roboty sa dnes používajú napríklad k odstraňovaniu výbušnín alebo k záchranným prácam. Vo všetkých týchto odvetviach je veľmi dôležitá presnosť pohybov a orientácia systému v priestore. Čoraz častejšie nahradzujú ľudí v priemyselnom odvetví a tiež na pracoviskách s vysokým zdravotným rizikom pre zamestnancov. V blízkej dobe môžu vozidlá s auto-pilotom nahradiť klasické vozidlá, ktoré sa dnes bez vodiča nezaobídu. [1]

### II. NAVIGÁCIA A POHYB AUTONÓMNEHO VOZIDLA

Problematika navigácie autonómnych vozidiel sa v posledných desaťročiach tešila pomerne veľkému záujmu výskumníkov. Navigácia môže byť v prvom priblížení definovaná ako proces určenia vhodnej a bezpečnej cesty medzi počiatočným bodom a cieľom, po ktorej sa má vozidlo pohybovať.[2],[3]

V praxi sa k riešeniu tejto úlohy používajú najrôznejšie druhy senzorov, ktoré si vyžiadali vyvinutie množstva rôznych

prístupov. Medzi jedny z najbežnejších senzorov (vd'aka ich veľkej dostupnosti a pomerne nízkej cene) patria kamery, a tak niet divu, že práve spracovaniu vizuálnej informácie sa v posledných desaťročiach venovalo množstvo ľudí. Tento druh vnímania je človeku najbližší, keďže ľudia získavajú prevažnú časť informácie o okolí práve pomocou zraku. Aj preto existujú snahy navrhnúť a implementovať rôzne prístupy, metódy a algoritmy, ako vizuálnu informáciu spracovávať a využiť v procese navigácie autonómnych vozidiel. Takéto aplikácie by potom v praxi mohli byť implementované napríklad ako asistenti pri šoférovaní vozidiel, ako autonómne prostriedky pre prepravu ľudí a nákladu, prípadne k samotnému bezpečnému pohybu robotov v reálnom prostredí. Navigáciu autonómnych vozidiel môžeme rozdeliť podľa rôznych kritérií na niekoľko druhov.

Podľa prostredia, v ktorom sa navigácia odohráva:

- navigáciu v uzavretých priestoroch – budovách (indoor navigation)
- navigáciu vo vonkajšom prostredí (outdoor navigation)

Obe prostredia majú svoje špecifiká a vyžadujú riešenia mierne odlišných množín problémov. Na druhej strane, existuje mnoho prístupov, ktoré sú použiteľné v oboch oblastiach. Podľa kritéria, či dané metódy používajú nejakú formu mapy alebo nie:

- prístupy, ktoré mapu využívajú, sú v anglickej literatúre označované ako map-based navigation systems.
- prístupy, ktoré mapu v žiadnej forme nevyužívajú, sú označované ako mapless navigation systems.

Systémy založené na mape sa ďalej môžu rozdeliť:

- systémy využívajúce existujúcu mapu (map-using systems)
- systémy budujúce si mapu (map-building systems)
- systémy, ktoré využívajú topologickú mapu (topological map-based systems) [4].

#### A. Pohyb vozidla po určenej ploche

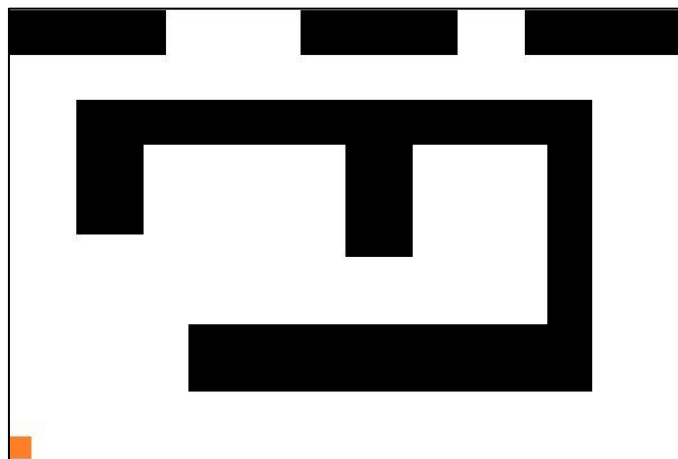
Určená plocha bude znamenať, že poznáme priestor, po ktorom sa vozidlo môže pohybovať a tiež je známa poloha prekážok, ktorým sa treba vyhnúť. Keďže predpokladáme, že vozidlo sa bude musieť pohybovať z bodu do bodu podľa nejakých vstupných požiadaviek, je nutné vyriešiť problém akou cestou sa bude pohybovať. Chceme, aby daná požiadavka bola vybavená čo najskôr. Z toho vyplýva, že je potrebné nájsť

optimálnu, teda najkratšiu cestu medzi dvoma bodmi a vyhnúť sa zároveň prekážkam. Navigácia a hľadanie najkratšej cesty je jedným zo základných problémov plánovania cesty. Existuje viacero niekoľko prístupov k riešeniu tohto problému pomocou algoritmov na zistenie najmenej vzdialenosti medzi dvoma bodmi. Medzi 3 najpoužívanejšie patria: [4],[5],[6],[7],[8]

- Dijkstrov algoritmus - predstavuje jeden z najznámejších vyhľadávacích algoritmov pre hľadanie cesty. Úlohou algoritmu je nájsť najkratšiu cestu medzi dvoma vrcholmi v grafe a nájdená cesta je považovaná za optimálnu. Vstupom algoritmu je ohodnotený orientovaný alebo neorientovaný graf s kladnými ohodnoteniami hrán a vrcholom A, ktorý je považovaný za počiatočný vrchol v grafe. [9] Výstupom pre vrchol X je potom dĺžka najkratšej cesty z vrcholu A do vrcholu X, ktorý predstavuje cieľový vrchol grafu.
- A\* (A star) algoritmus, je založený na prehľadávaní do šírky. Pracuje na podobnom princípe ako Dijkstrov algoritmus, no oproti nemu, využíva heuristický odhad vzdialenosti vrcholu od koncového bodu. [10],[11]
- Best-First algoritmus je algoritmus, ktorý hľadá cestu len za pomoci heuristiky. Rozdiel medzi Best-First search a Dijkstrovym algoritmom je, že vrcholy ohodnocuje podľa predpokladanej vzdialenosti od cieľa a najprv ohodnocuje vrcholy bližšie k cieľu podľa heuristiky. Best-First algoritmus pracuje na princípe, že máme nejaký odhad (heuristický) a ko ďaleko je od cieľa nejaký vrchol. Namiesto výberu vrcholu, ktorý je najbližšie k počiatočnému uzlu, algoritmus vyberá vrchol, ktorý je najbližšie k cieľovému uzlu. Viac-menej oproti Dijkstrovu algoritmu pracuje oveľa rýchlejšie, pretože využíva heuristickú funkciu k seba-navádzaniu, čím v prípade pohybu po ploche bez prekážok dosiahne cieľ veľmi rýchlo, podobne ako A\* algoritmus. Nevýhodou Best-First je, že nájde vždy najkratšiu cestu medzi dvoma bodmi. Ďalší veľký problém môže nastať, keď je potrebné vyhnúť sa a obísť prekážky a pri tom stále nájsť najoptimálnejšiu cestu. Plusom využitia tohto algoritmu je oveľa nižší počet navštívených políček ako tomu je pri Dijkstrovom algoritme, ale veľký mínus spočíva v nájdení ceste, ktorá v porovnaní s predošlými dvoma príkladmi určite nie je optimálna.

### III. SIMULÁCIA POHYBU A SLEDOVANIA POZÍCIE VOZIDLA NA URČENEJ PLOCHE

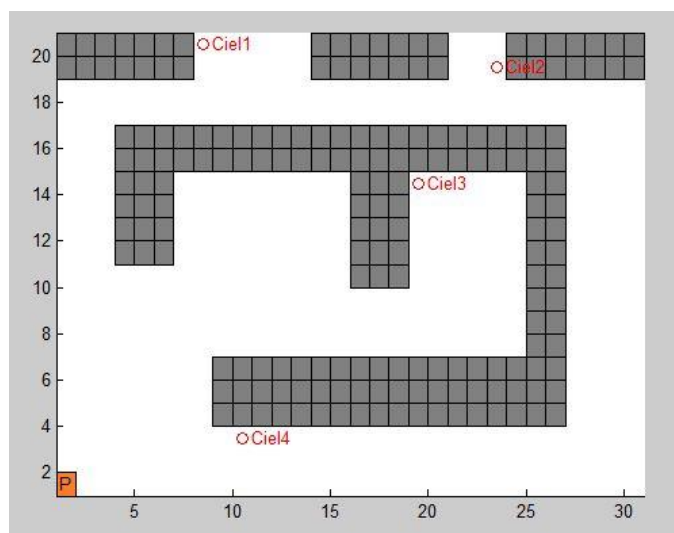
Pre simuláciu sledovania pozície vozidla a jeho pohybu z miesta do miesta najkratšou cestou bol použitý program MATLAB. [12] V simulácii bol pre hľadanie najkratšej cesty využitý A\* algoritmus, ktorý bol vybraný na základe porovnania najpoužívanejších algoritmov uvedených vyššie v článku. A-star algoritmus predstavuje kompromis medzi spomínanými algoritmi, nakoľko rýchlosť nájdenia cesty je vyššia ako pri Dijkstrovom algoritme a s BF algoritmom by sme sa k výsledku za určitých okolností dopracovali možno skôr, no nebolo by zaručené nájdenie najkratšej cesty.



Obr. 1. Príklad vstupného obrázku skladu.

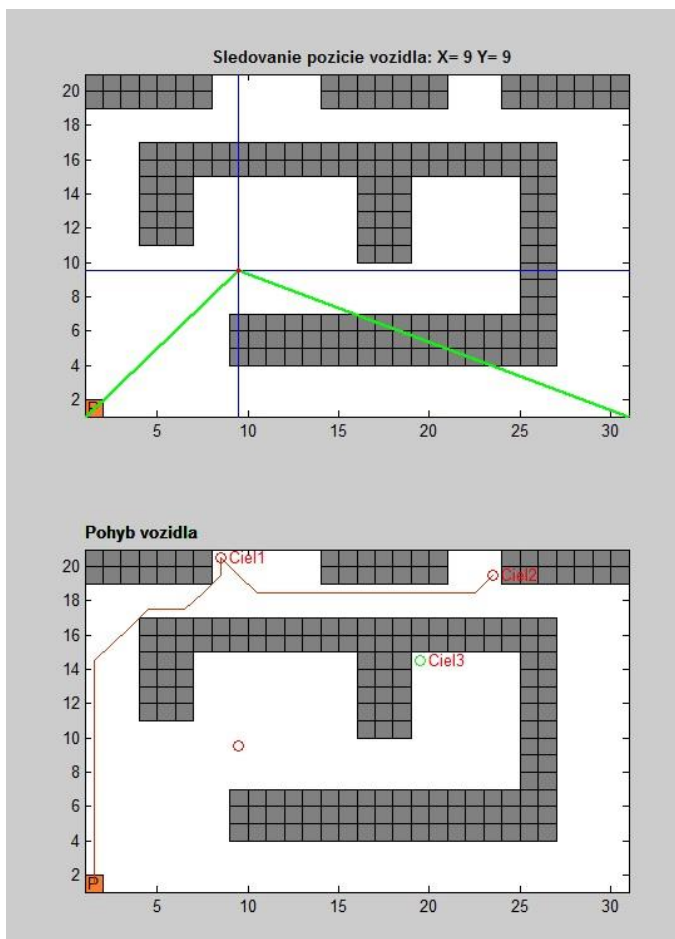
Sklad na obrázku má svoju východziu (parkováciu) polohu, z ktorej vychádza a do ktorej sa po vykonaní požiadaviek opäť vráti. Program z obrázka získava časť vstupných informácií, ako napr. kde sa nachádzajú prekážky, preto sa pri tvorbe vlastného obrázka musia dodržať nasledujúce kritériá:

- všetky prekážky, pevné súčasti skladu ktoré má vozidlo obísť pri svojom pohybe je nutné nakresliť čiernou farbou
- parkovacie pozícia musí byť nakreslená oranžovou farbou
- zvyšná plocha, po ktorej je vozidlu povolený pohyb tvorí biela farba



Obr. 2. Zadanie požiadaviek – výber cieľov.

Za predpokladu, že máme vytvorený obrázok "sklad.bmp", spustíme simuláciu pomocou súboru "START.m". Tento program načíta náš obrázok a zobrazí ho na výstupe, pričom následne potrebujeme zadať ďalšie vstupné informácie, t.j. polohy miest, ktoré má vozidlo navštíviť. Program najprv vykreslí pohyb vozidla po ploche od bodu k bodu a následne vykreslí cestu medzi bodom, ktorý už dosiahol a pokračuje k ďalšiemu cieľu. Po splnení všetkých požiadaviek, teda prejdení všetkých požadovaných miest sa vozidlo vráti na svoju parkováciu polohu (oranžové políčko).



Obr. 3. Priebeh simulácie.

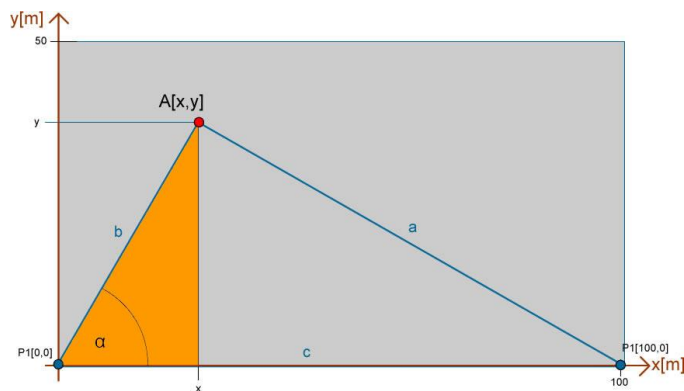
Ak máme zadané požiadavky pre vozidlo podľa obr. 2, t.j. vozidlo má ísť do bodu 1 (Cieľ 1) vyzdvihnúť materiál a zaviesť ho do bodu 2 (Cieľ 2) a potom má ísť do bodu 3 (Cieľ 3), vyzdvihnúť iný materiál zaviesť ho do bodu 4 (Cieľ 4) a vrátiť sa do počiatočnej - parkovacej polohy. Následný priebeh simulácie je zobrazený na obr. 3. Pri zobrazení simulácie sa k pôvodnému oknu zobrazí ďalšie, ktoré simuluje sledovanie pozície. Zelené čiary simulujú prenos signálu, pre zistenie vzdialenosti od vozidla k dvom pevným bodom. Modré čiary vykresľujú prepočítanú polohu vozidla, pričom súradnice sa zobrazujú v hornej časti okna, takže počas simulácie sú zobrazené dva grafy, jeden pre simuláciu sledovania polohy a druhý pre simuláciu hľadania a pohybu vozidla po najkratšej ceste medzi dvom bodmi.

Na obr. 3 vidíme že vozidlo dorazilo do bodu 1 a 2 (Cieľ 2). Ďalej bude vozidlo pokračovať do bodu 3 (Cieľ 3), čo je naznačené zeleným sfarbením krúžku pri Ciele 3. Po splnení všetkých požiadaviek sa vozidlo vráti do svojej štartovacej pozície, pričom na grafe ostanú vykreslené všetky absolvované cesty. Pre výpočet polohy vozidla bola použitá metóda triangulácie, ktorej princíp vyplýva z obr. 4.

$$\alpha = \cos^{-1} \left( \frac{a^2 - b^2 - c^2}{-2 \cdot a \cdot b \cdot c} \right) \quad (1)$$

$$x = \cos \alpha \cdot b \quad (2)$$

$$y = \sin \alpha \cdot b \quad (3)$$



Obr. 4. Trojuholník pre výpočet kosinovej vety.

#### IV. ZÁVER

Cieľom tohto príspevku bolo predstaviť návrh modelu autonómneho pohybu vozidla. Za plne autonómne vozidlá môžeme považovať všetky vozidlá, ktoré spĺňajú tieto základné podmienky autonómnosti: musí byť schopný voľne sa presúvať v priestore bez zásahu operátora, musí mať schopnosť zberu a spracovania informácií o okolí, kde sa pohybuje a v neposlednom rade sa musí vedieť vyhýbať stacionárnym aj pohybujúcim sa prekážkam. Ak vozidlo nespĺňa jednu z týchto podmienok, považujeme ho za čiastočne autonómne. Spôsoby navigácie rozdeľujeme podľa toho či na reprezentáciu prostredia používajú metrické mapy, topologické mapy, alebo mapy vôbec nepoužívajú, vtedy si vozidlo cestu neplánuje, len reaguje na okolité prostredie. Pre simuláciu autonómneho pohybu bol použitý algoritmus A\* (A-star), z dôvodu, že vždy nájde optimálnu cestu a oproti ostatným podobným algoritmom je najrýchlejší. V praktickej časti práce bol navrhnutý a otestovaný model autonómneho vozidla. Model obsahoval len jedno autonómne vozidlo, preto by bolo v budúcnosti vhodné doplniť ho o ďalšie vozidlá, ktoré by vedeli spolupracovať a rozdelili by si zadané úlohy.

#### POĎAKOVANIE(PODAKOVANIE)



Európska únia

Družstvo štátov, napodobňujúceho



Operatívny program

VÝSKUM A VÝVOJ

Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/ Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ. Tento článok bol vypracovaný v rámci projektu "Centrum excelentnosti integrovaného výskumu a využitia progresívnych materiálov a technológií v oblasti automobilovej elektroniky", ITMS 26220120055.

#### POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] História systémov na určovanie polohy. Dostupné na internete: [tino.yweb.sk/TP/dokumenty/riesenie06.pdf](http://tino.yweb.sk/TP/dokumenty/riesenie06.pdf)
- [2] Global Positioning System. Dostupné na internete: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Global\\_Positioning\\_System](http://cs.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System)
- [3] Navigacia-uvod. Dostupné na internete: <http://web.tuke.sk/lf-klfp/Ucitelia/Blazek%20Jozef/MONIS/navig%C3%A1cia-%C3%BAvod/navigacia-uvod.doc>
- [4] Brída, P., Dúha, J.: Určovanie polohy v bunkových rádiových sieťach, IEEE Radešín 2004, 22.-25. septembra 2004, ISBN 80-214-2726-4
- [5] Technologie a produkty – RTLS systémy – lokalizácia majetku a osôb. Dostupné na internete: <http://www.barco.sk/?id=produkty&sel=rtls-1>
- [6] RTLS, Systém pro určování polohy, Určování polohy (EPE). Dostupné na internete: [http://www.gaben.cz/katalog\\_datasheet.asp?mlevel=4&i=220&si=225&article=1288](http://www.gaben.cz/katalog_datasheet.asp?mlevel=4&i=220&si=225&article=1288)
- [7] Many Positioning System exist. Dostupné na internete: <http://www.gps-practice-and-fun.com/positioning-systems.html>

- [8] KUPPER, A.: Location-Based Services, Fundamentals And Operation. West Sussex: John Wiley and Sons, Ltd, 2005. ISBN 13 978-0-470-09231-6.
- [9] Dijkstrov algoritmus. Dostupné na internete: <http://dominik.blog.matfyz.sk/p12844-dijkstrov-algoritmus>
- [10] A star vyhľadávaci algoritmus. Dostupné na internete: <http://dominik.blog.matfyz.sk/post-p13663>
- [11] Alogoritmus A-star. Dostupné na internete: <http://voho.cz/wiki/algoritmus-a-star/>
- [12] Matlab – M-súbory a Editor: Dostupné na internete: <http://theory.stanford.edu/~amitp/GameProgramming/AStarComparison.html>

**P. Girovský** sa narodil v roku 1979 vo Vranove nad Topľou. V roku 2003 získal titul Ing. a v roku 2009 získal titul PhD. na Fakulte elektrotechniky a informatiky TU v Košiciach v od-bore Silnoprúdové inžinierstvo. V súčasnosti pracuje ako odborný asistent na Katedre elektrotechniky a mechatroniky FEI TU v Košiciach.