

## **ROBOCAR - mobilný robotický vozíkový systém**

Svetlík Jozef · Elektrotechnika, Strojárstvo

22.02.2010



V článku sa nachádza krátky prehľad vybraných prístupov návrhu mobilných robotov. Hlavná časť je venovaná analýze parametrov, návrhu mobilného robotického vozíkového systému a možnostiam jeho uplatnenia. Praktické použitie mobilných robotických vozíkových systémov môže predstavovať prínos pre riešenie rôznych manipulačných problémov.

### **Úvod**

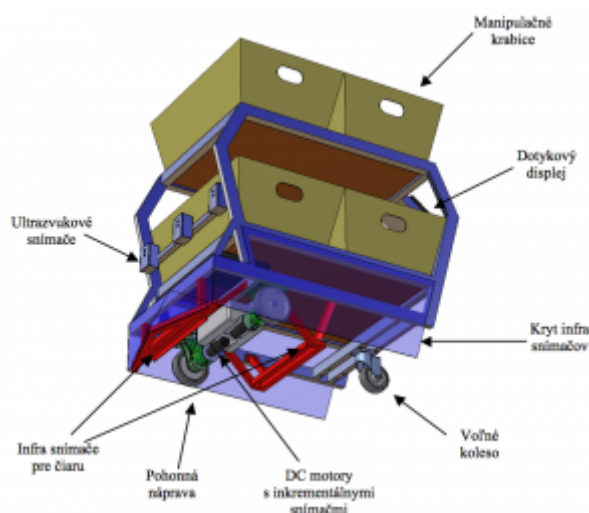
Kolektív pracovníkov „Katedry výrobnéj techniky a robotiky“ na Strojníckej fakulte TU Košice známy pod hlavičkou „TUKE robotics“ ako tím robotického futbalu hlavne na medzinárodnej scéne zožal niekoľko významných úspechov a ocenení. Za všetky možno spomenúť len dvojnásobný titul majstra Európy za roky 2006 a 2007 a štvrté miesto z majstrovstiev sveta z roku 2006. Snahou riešiteľského kolektívu však nie je len vyvíjať samotný robofutbalový tím, ale zároveň aj hľadať uplatnenie vyriešených vysokosofistikovaných čiastkových problémov do praktických aplikácií a taktiež prispievať k rozvoju príslušného vedného odboru. Po niekoľkých rokoch fungovania tímu možno konštatovať, že sa tento zámer začína postupne naplňovať a dokonca už bol realizovaný prvý projekt do praxe, ktorý stojí na základoch vývoja pre robotický futbal. Konkrétne sa jedná o ocelkový systém pohonového ústrojenstva automatizovaných samohybných mobilných kolesových robotov pre obsluhu skladu (ďalej len „robocar“).

Robocar má za úlohu odbremeňovať pracovníkov skladu od každodenného prekonávania neúmerne veľkých vzdialeností vo väčšom sklade spojeného s nesením bremena na rukách, resp. tlačením ručného vozíka po skladových koridoroch. Namiesto uvedeného riešenia bola navrhnutá myšlienka pevnej dráhy po podlahe skladu so stanovenými stanovišťami. Každé stanovište má pridelené svoje číslo a pracovník skladu pomocou dotykového displeja navolí konkrétne cieľové stanovisko kam má robocar ísť. V ďalšom vývoji sa bude riešiť plne automatizované navádzanie pomocou centralizovaného skladového databázového systému bez potreby zadávania požadovaného stanovišťa pracovníkom.

### **Všeobecné informácie**

Robocar je pracovný názov pre systém skladových vozíkov projektovaných primárne pre firmu SOS electronic s.r.o. Košice. Riešiteľom boli vyvinuté dve konštrukčné vyhotovenia prototypu, podľa meniacich sa požiadaviek zadávateľa, a zároveň zohľadňujúc nové poznatky pri vývoji. V tejto technickej správe bude uvádzaný len druhý prototyp s konštrukciou prispôbenou na nesenie štvorice otvorených kartónových krabíc v tvare zrezaného ihlana so štvorcovou podstavou.

Pohyb vozíka je presne definovaný, rovnako ako aj miesta pre zastavenie - zastavovacie stanice. Prototyp robocararu je navádzaný čiarou na podlahe. Čiara predstavuje dráhu po ktorej sa má robocar pohybovať. Dá sa voľne meniť za predpokladov určených nižšie. Zastavovanie je riešené kolmou krátkou čiarou pretínajúcou čiaru dráhy. Maximálny počet zastavovacích staníc je limitovaný. Samotná jazda robocararu sa programuje prostredníctvom dotykového displeja umiestneného v zadnej vrchnej časti. Ďalej je prototyp vybavený ultrazvukovými senzormi kvôli dodržiavaniu odstupu medzi jednotlivými robocararmi a z dôvodu bezpečnosti pracovníkov pred pohybujúcim sa vozíkom. Robocar je napájaný dobíjateľným akumulátorom, ktorý musí byť dobíj na min. požadovanú kapacitu. Prototyp je navrhovaný pre budúcu spoluprácu s ľubovoľným počtom ďalších robocararu. Navrhnutý model robocararu v programe Solid Edge V19 v 3D s popisom jednotlivých subsystémov je vyobrazený na obr. 1.



Obr. 1. Popis robocararu

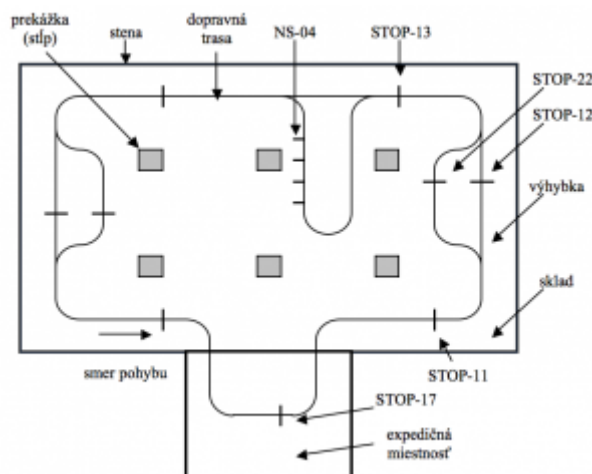
## Popis prototypu

Prototyp bol navrhnutý tak, aby vyhovoval požiadavkám zadávateľa. Po analýze zadania a možností technického riešenia sme pristúpili k nasledujúcim korekciám:

- Nosnosť robocararu 40kg
- K riadeniu robocararu je zvolený optický princíp snímania čiar na nalepenej, resp. nafarbenej na podlahe
- Predbiehanie a míňanie robocararu je riešené pomocou výhybiek (obr. 2)
- Zabezpečenie pred nárazom do predmetu (človeka) bude realizované ultrazvukovými senzormi
- Rýchlosť robocararu bude cca 1m/s
- Miesta pre zastavenie budú označené kolmou čiarou cez vodiacu čiaru (STOP-XX), (obr.

2)

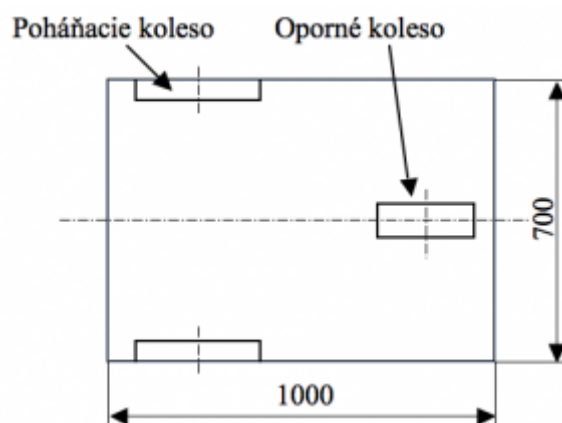
- Prenos dát na diaľku bude riešený až v druhej etape projektu, po overení funkčnosti a spoľahlivosti



Obr. 2. aplikačné prostredie

## Mechanická časť

Pohybové ústrojenstvo robocararu je navrhnuté strojkolesovým podvozkom, obr. 3. Pohonová dvojica kolies je bez možnosti natáčania a oporné koleso je riešené ako natáčacie. Toto usporiadanie bolo prebraté z robotického futbalu, kde 2 DC motory riadia pohyb futbalistu - hráča po ihrisku. Riadenie rýchlosti a veľkosti prejdenej dráhy je dosiahnuté osadeným integrovaným inkrementálnym snímačom v DC motore. Okrem výhody riadenia dvojice motorov je uvedené konštrukčné riešenie najjednoduchšie, spoľahlivé. Trojica oporných bodov je staticky určitá. Pri dosahovaných rýchlostiach do 1m/s je v zákrutách s polomerom otáčania cca 1m trojica kolies tiež postačujúca. Dôležitým aspektom pri navrhovaní celej konštrukcie robocararu bola požiadavka na pracovnú výdrž (8-9h nepretržitej prevádzky), z čoho sa odvodzuje zníženie statických odporov na minimum a rovnako aj hybnosť celej sústavy, teda čo najnižšia pohotovostná nosnosť robocararu.

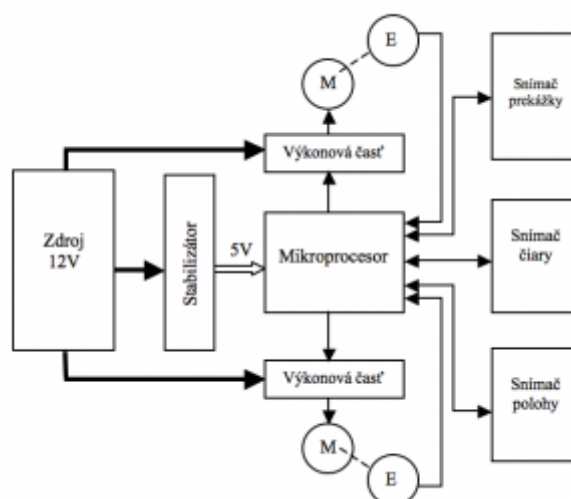


Obr. 3. podvozok robocararu

## Elektronická časť

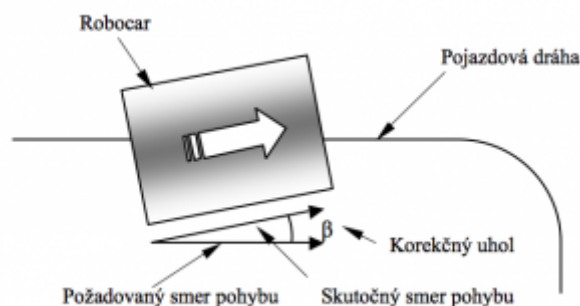
Riadiace ústrojenstvo, teda elektronická časť robocararu je riadená mikroprocesorom, ktorý má na starosti spolu s periférnym ústrojenstvom činnosť chodu celého robocararu

a neskôr aj jeho komunikáciu s okolím a so skladovou databázou. Mikroprocesor je napájaný iným napätím ako motory, preto je zaradený stabilizátor medzi batériu a mikroprocesor, ktorý zabezpečuje požadované napätie a jeho stabilitu v požadovaných hodnotách. Optické snímače čiary sú riešené ako fotodiódy s vlnovou dĺžkou pracovného pásma v infračervenom poli. Tento princíp minimalizuje problémy rušenia vplyvom vstupu iných svetelných zdrojov, prípadne odrazov vo viditeľnom vlnovom pásme. Snímače prekážky sú riešené ako ultrazvukové. Toto riešenie sa javí ako najvhodnejšie z hľadiska stability a spoľahlivosti, nakoľko v pracovnom poli snímača sa môžu nachádzať prekážky rôznych farieb, veľkosti a tvaru. Taktiež je potrebné zabezpečiť vysokú citlivosť na vzdialenosť min. 1,5m, pretože robocar musí byť schopný zastaviť s plným nákladom v plnej rýchlosti pred prekážkou. Každý z dvojice motorov „M“ (obr. 4.) je osadený vlastným enkóderom „E“. Riadenie má teda spätnú väzbu od motora v podobe polohy, rýchlosti a zrýchlenia vzhľadom na prácu riadenia v reálnom čase. Výkonová časť riadenia motorov je napájaná plným napätím z batérií a riadi motory podľa pokynov z riadiaceho mikroprocesora.



Obr. 4 . Bloková schéma robocar

Základným problémom navigácie robocar pomocou čiary je, aby robot nevybehol za žiadnych okolností zo svojej čiary. Robocar v každodennej prevádzke prekonáva určenú dráhu s čo najmenším množstvom energie za najkratší možný čas. Je vyriešený systém odstránenia „kľúčkovania“ okolo vodiacej čiary. Na základe údajov zo senzorov a svojho vnútorného dynamického modelu, kde zohľadňuje aj vlastnú hmotnosť a rýchlosť chodí po navádzacej čiare čo najpriamejšie s čo najmenším počtom korekcií, resp. s mikrokorekciami v plnej rýchlosti, obr. 5.



Obr. 5. Problém riadenia ROBOCARU po čiare

Zdroj:

olovený akumulátor FM1270

- 12V/7Ah
- ak uvažujeme rozbeh vozíka na rýchlosť 1 m/s a zastavenie každých 30 sek, pričom zrýchlenie je 0,5 m/s<sup>2</sup>, potom kapacita batérie postačuje približne na 8,5 hodín takejto prevádzky. (uvažuje sa len spotreba motorov)
- praktické skúsenosti dokazujú bezproblémovú nepretržitú prevádzku približne 2×8 h (2 pracovné zmeny bez nabíjania).

Mikroprocesor:

ATMEL Atmega128-16AU (tieto procesory bežne programujeme)

- taktovacia frekvencia 14.7456 MHz - spotreba okolo 15-20 mA

Úlohy procesora:

- meranie skutočných otáčok motorov
- softvérová PD regulácia motorov
- vyhodnocovanie údajov zo snímačov prekážky
- ovládanie snímača čiary a vyhodnocovanie výsledkov
- korekcia rýchlostí motorov podľa výsledkov zo snímačov
- sledovanie skutočnej polohy vozíka v priestore

Motor:

Faulhaber 5257 012CR, IE2-128

- motor so zabudovaným inkrementálnym enkóderom s rozlíšením 128/ot
- výkon 79W, napájacie nap.12V, max.odber 4,6A, otáčky max. 5700/min
- účinnosť 83%

Podľa indukčnosti a odporu vinutia prepočtom určená frekvencia PWM riadenia otáčok 23.75kHz nevyklučuje použitie ultrazvuku v ďalšom vývoji.

Prevodovka:

Faulhaber séria 32/3 S, 7 Nm.

- prevod 43:1
- účinnosť 70%
- max. vstupné otáčky 4000 min<sup>-1</sup>
- radiálne zaťaženie 200 N
- axiálne zaťaženie 200 N

Snímač prekážky: (pre zabezpečenie zastavenia v prípade priblíženia sa k človeku)

- ultrazvukový

Snímač čiary:

- kombinácia infra LED-FOTOTRANZISTOR (reflexný optočlen CNY70)

Snímač polohy:

RFID značky - absolútna poloha vozíka. Jednoduché značky na vodiacej čiare alebo v tesnej blízkosti - relatívna poloha vozíka.

### **Navádzanie po čiare, zastavovacie stanice**

Čiara slúži ako vodítko pre robocar. Táto čiara môže byť realizovaná formou tmavej nereflexnej lepiacej pásky alebo matnou farbou o šírke cca 6cm. Farebný odtieň čiary by mal byť podľa možnosti čo najkontrastnejší v porovnaní s farbou podlahy. Pre čo najlepšiu voľbu farby a odtieňu čiary je vhodné meranie pomocou snímačov umiestnených na robocare. Pri nanášaní čiary na podlahy treba mať na zreteli niekoľko pravidiel:

- Čiara sa môže nanášať farbou alebo páskou. V každom prípade musí byť farebný pás bez prerušení, v rovnakej farbe a tónine po celej dĺžke dopravnej dráhy
- Podľa možnosti neumiestňovať čiaru do miest s prenikajúcim slnečným svetlom. Najnebezpečnejšie je ostré bočné svetlo, ktoré môže ovplyvniť snímané odrazy od podlahy k infra snímačom
- Úseky voliť čo najrovnejšie s rovnomernými zákrutami o polomere min. 0,8-1 m.
- Čiara musí bezpodmienečne prechádzať v dostatočnej vzdialenosti od prekážok ktoré by mohli kolidovať s robocarom. Obecne cca 0,8 m a viac.
- Podlaha musí mať jednoliatu farbu. Vodiacu čiaru nesmie pretínať iná čiara, ktorú by mohli snímače vyhodnotiť ako vodiacu čiaru.

Zastavovacie stanice sa značia kolmou čiarou na vodiacu čiaru s dĺžkou cca 10 cm. Vodiacu čiaru musí zastavovacia čiara pretínať v polovici svojej dĺžky. Zastavovacie stanice by sa mali nachádzať v dostatočnej vzdialenosti od seba aby nenastávala „zápcha“ v doprave. Zastavovacích staníc môže byť max. 15.

### **Infračervené snímače**

Slúžia na snímanie vodiacej čiary. Nachádzajú sa v spodnej časti podvozku. V prašnom prostredí je nutné vykonávať pravidelné čistenie vo vhodných intervaloch podľa množstva znečistenia. Infra snímače sú citlivé na slnečné a iné silné svetelné zdroje, preto je nutné eliminovať možné prieniky týchto svetelných žiarení na ne. K tomuto slúžia bočné hliníkové kryty. Pri prevádzke a čistení sa musí dbať na citlivosť a jemnosť infra snímačov. Ak sa niektorý z nich predsa len zohne, alebo iným spôsobom poškodí, je nutná oprava. Pri prevádzke s poškodeným infra snímačom môže dochádzať ku kolízii robocarou s okolitým prostredím a zvyšuje sa pravdepodobnosť vybehnutia z vodiacej čiary.

Táto čiara môže byť realizovaná formou tmavej nereflexnej lepiacej pásky alebo farbou o šírke cca 6cm. Farebný odtieň čiary by mal byť podľa možnosti čo najkontrastnejší v porovnaní s farbou podlahy. Pre čo najlepšiu voľbu farby a odtieňu čiary je vhodné meranie pomocou snímačov umiestnených na robocare.

## Ultrazvukové snímače

Na robocare sa nachádzajú 3 ultrazvukové snímače prekážok. Slúžia na zabezpečenia bezpečnosti pracovníkov pohybujúcich sa v pracovnom prostredí pohybujúceho sa robocar. Zároveň splňajú funkciu dodržiavania bezpečnej vzdialenosti robocar od predchádzajúceho vozíka. Ak sa dostane do dráhy robocar prekážka (krabica, vrece, človek,...), robocar okamžite zastaví a čaká na uvoľnenie prekážky. Po odstránení objektu sa dá do pohybu a plynule pokračuje v plnení úloh. Ultrazvukové snímače môžu reagovať na rôzne povrchy, farby, reflexnosť a rýchlosť prekážok s rôznou citlivosťou. Toto sa môže prejaviť skoršou alebo neskoršou reakciou, teda v zastavení v kratšej alebo dlhšej vzdialenosti pred prekážkou. Ak je vodiaca čiara vedená príliš blízko pri prekážkach (napr. krabice v vnútornej strane zákruty), môže sa stať, že vozík zastane z dôvodu zaregistrovania prekážky v snímanom poli ultrazvukového snímača. Každý z trojice snímačov má kuželové zorné pole snímání. Tento fakt treba mať na zreteli pri inštalácii vodiacej čiary na podlahu.

## Údržba

Prototypu robocar (ako každému podobnému mechatronickému zariadeniu) je nutné venovať náležitú údržbu. Popis údržby s predpokladanou časovou náročnosťou je v nasledujúcich bodoch:

- Pravidelné čistenie infračervených snímačov od prachu a nečistôt (v priestoroch skladu SOS electronic odporúčame raz za 2 dni). /čas 3min/
- Kalibrácia infračervených snímačov (v SOS raz za 2dni, najlepšie po čistení). /čas 3min/
- Kontrola mechanických častí (pri testovaní prototypu aspoň raz za týždeň). Kontrola rovnomernosti otáčania sa kolies. Axiálna a radiálna vôľa v kolesách. Kontrola vibrácií sluchom pri prevádzke. Overenie teploty motorov dotykcom ruky (so zvýšenou opatrnosťou). Pri bežnej prevádzke nesmie teplota v prevodovkách a motoroch vystúpiť nad 70°C. (interval údržby cca raz za týždeň). /čas 10min/.
- Mazanie mechanicky pohybujúcich sa častí robocar silikónovým mazacím sprejom. (2x za rok). /čas cca 15min/.

## Literatúra

1. KREHEL, Radoslav: Sensoren in der Prozessautomation und rozesinformatik. In:CO-MAT-TECH 2004 : 12th Internacionol Scientific Conference, Trnava, Slovakrepublic, 14.-15. October 2004. Bratislava : STU Bratislava, 2004. s. 665-672. ISBN80-227-21-7-4.
2. Tendencie riadenia údržby a umelá inteligencia (IT) / Alexander Borovský, Jana Naščáková. In: Trendy v systémoch riadenia podnikov : 10. medzinárodná vedecká konferencia, Vysoké Tatry – Štrbské Pleso, 15.-17. október 2007. – 5 s. – Košice : TU SjF, 2007. – ISBN 978-80-8073-885-3.
3. Animované modely robotických výrobných systémov / Naqib Daneshjo. In: Acta Mechanica Slovaca. – ISSN 1335-2393. – Roč. 10, č. 2-A ROBTEP (2006), s. 97-100.
4. STEJSKAL, T.: Analýza základných pojmov teórie riadenia, In: Automatizace, roč. 45, č. 4 (2002), s. 264-265. ISSN 0005-125X.

---

Jozef Svetlík, KVTaR - SjF TU Košice, Nemcovej 32, 04001, Košice, +421556023238,  
jozef.svetlik@tuke.sk

Spoluautorom tohto článku je Marek Sukop, KVTaR - SjF TU Košice, Nemcovej 32, 04001,  
Košice, +421556023156, mareksukop@szm.sk

---