

# Reaktívne riadenie mobilného robota

Ladislav Jurišica  
Roman Murár

Riadenie mobilných robotov je stále témou, ktorá je riešená na mnohých pracoviskách. K vážnym problémom pritom patrí výber sensorového systému, ktorý umožňuje autonómny pohyb robota aj v neznámom prostredí. Dôležitou úlohou v neznámom prostredí je vytváranie mapy prostredia. V článku sa pozornosť venuje reaktívnemu riadeniu robota s využitím ultrazvukového snímača vzdialenosti.

## Úvod

Navigačné stratégie mobilných robotov možno rozdeliť do dvoch kategórií, a to plánovanie globálnej cesty a reaktívna navigácia.

Plánovanie globálnej cesty zabezpečí, že navrhnutá cesta bude bezkolízna a optimálna. V tomto prípade sa používajú metódy: umelé potenciálové polia, Voronoiov diagram, metóda napnutého vlákna atď. Pri tomto prístupe je však potrebné mať apriórne znalosti o prostredí, predovšetkým veľmi široké vedomosti o prekážkach, napríklad o ich polohe, tvare, orientácii, prípadne aj ich o ich pohybe v prostredí.

V reálnom svete sa však veľmi zriedka vyskytujú aplikácie, kde je k dispozícii detailná informácia o prostredí. Väčšinou sa prostredie, v ktorom sa má robot pohybovať, navyše mení aj v čase. Autonómny robot musí byť teda schopný reagovať na rôzne situácie v premenlivom prostredí, a na to sa využíva reaktívna navigácia. Tento typ navigácie je dôležitý aj pri vytváraní mapy prostredia počas prvotného prieskumu. Takto vytvorená mapa sa potom môže neskôr využiť na optimalizáciu trajektórie na dosiahnutie určeného cieľa.

## Reaktívne riadenie

Reaktívna navigácia je vlastne mapovanie sensorových údajov z daných akcií. Sensorové údaje môžu predstavovať informácie o vzdialenosti od prekážok z infračervených, ultrazvukových alebo laserových sensorov, vizuálne informácie z kamier CCD alebo spracované informácie, získané po fúzii výstupov viacerých sensorov. Riadenými veličinami je uhol natočenia a translačná rýchlosť mobilného robota.

Väčšinou používané reaktívne metódy možno rozdeliť do dvoch skupín – na navigáciu založenú na modeli a navigáciu založenú na prostredí.

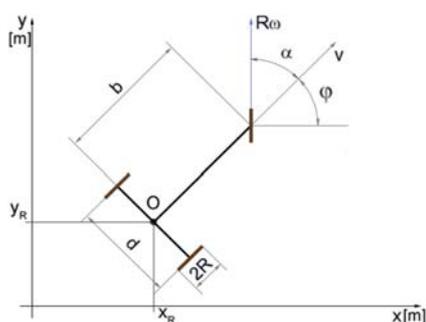
Reaktívne metódy založené na modeli, metóda umelého potenciálového poľa, metódy detekcie hrán, detekcie hraníc prekážok atď., sa používajú pri rozhodovaní o akcii

robota a majú určitú formu aktuálneho modelu prostredia.

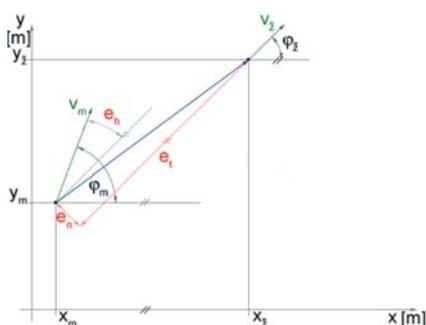
Reaktívne metódy založené na prostredí väčšinou mapujú prichádzajúcu sensorovú informáciu priamo z akcie, čo sa podobá skôr na prejavy reflexívneho správania vyskytujúceho sa v biologických systémoch. V tomto prípade sa zväčša využívajú adaptívne systémy založené na fuzzy logike, nerovných sieťach alebo ich kombinácie.

Ak sa uplatňuje úplne reaktívne správanie, ktoré využíva iba lokálne informácie o prostredí bez akejkoľvek pamäti predchádzajúcich situácií, môže sa autonómny robot dostať do situácie tzv. lokálneho minima. Tento stav je chápaný ako „pascová“ situácia a dochádza v nej k zastaveniu robota na mieste, ktoré nie je cieľom alebo k vykonávaniu trás v tvare uzavretých slučiek.

V nasledujúcom texte sa opisuje mobilný robot – trojkolka – s predným hnacím aj smerovým kolesom. Pre snímání vzdialeností od prekážok sa predpokladá použitie ultrazvukového snímača.



Obr.1 Model mobilného robota



Obr.2 Zobrazenie vzťahu medzi štartom a cieľom

Rovnice opisujúce mobilný robot sú:

1. v spojitej oblasti

$$\dot{x}_R = v \cos \varphi$$

$$\dot{y}_R = v \sin \varphi$$

$$\dot{\varphi} = \frac{R}{b} \omega \sin \alpha$$

$$v = R \omega \cos \alpha$$

(1)

2. v diskretnej oblasti

$$x_{k+1} = x_k + v_k T_v \cos \varphi_k$$

$$y_{k+1} = y_k + v_k T_v \sin \varphi_k$$

$$\varphi_{k+1} = \varphi_k + \frac{R}{b} \omega_k T_v \sin \alpha_k$$

$$v_k = R \omega_k \cos \alpha_k$$

(2)

## Heuristické riadenie

Heuristické riadenie sledovania priamkovej trajektórie je založené na nasledovných rovnicach výpočtu odchýlok:

$$e_t = (x_z - x_m) \cos \varphi_z + (y_z - y_m) \sin \varphi_z$$

$$e_n = -(x_z - x_m) \sin \varphi_z + (y_z - y_m) \cos \varphi_z$$

$$e_h = \varphi_z - \varphi_m$$

$$e_v = v_z - v_m$$

(3)

Tieto odchýlky sa využívajú na určovanie hodnoty uhla natočenia smerového kolesa  $\alpha$  a uhlovej rýchlosti smerového kolesa  $\omega$  v nasledujúcom kroku. Vzťahy na ich určenie sú:

$$\alpha_{k+1} = \alpha_k + c_1 e_n + c_2 e_h$$

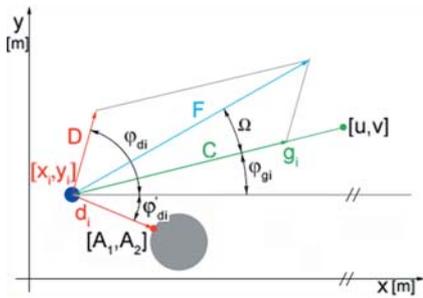
$$\omega_{k+1} = \omega_k + c_3 e_t + c_4 e_v$$

(4)

Grafické znázornenie aj so zobrazením odchýlok je uvedené na obr. 2.

## Lokálna metóda umelého potenciálového poľa

Metóda umelého potenciálového poľa je založená na princípe príťažlivej a odpudivej sily. Príťažlivou silou na mobilný robot pôsobí cieľový bod, odpudivou silou naň pôsobia prekážky. Princíp metódy teda spočíva vo výpočte výslednej sily a bezkolízneho smeru pohybu mobilného robota. Na obr. 3 je znázornený princíp určovania výslednej sily  $F$ . Odpudivá sila  $D$  pôsobí v smere siločiar a príťažlivá sila  $C$  pôsobí smerom k cieľu. Na výpočet výslednej sily je však potrebné poznať aj vzdialenosť od cieľa ( $g_j$ ) a minimálnu vzdialenosť od prekážky ( $d_i$ ).



Obr.3 Lokálna metóda umelého potenciálového poľa

**Realizácia systému**

Realizácia bola zameraná na zabezpečenie bezkolízneho prieskumu prostredia mobilným robotickým systémom, ktorý je ovládaný operátorom. Ide o systém, ktorý má operátorovi umožniť teleprítomnosť v neprístupnom prostredí. Použil sa na to mobilný robotický systém MIRO, ktorý bol pôvodne realizovaný ako operátorom ovládaný inšpekčný robot. Je to trojkoľka s predným hnaným aj smerovým kolesom. Robot je vybavený odometrickými snímačmi: inkrementálnym snímačom LARM s 3 600 inkr./otáčku na zisťovanie rýchlosti pohybu hnaného kolesa a s precíznym potenciometrom 4000 Ω 4 W na zisťovanie uhla natočenia tohto kolesa. Hnacími a smerovými motormi sú jednosmerné motory s prevodom 1:98, 24 V, 0,64 Nm a riadené sú pomocou šírko-impulznej modulácie. Maximálna rýchlosť robota je 0,4 m/s. Vizuálny systém má ČB kameru Watec s 380 televíznymi riadkami. Prenos videosignálu je na frekvencii 2,4 GHz rádiovým modulom VTQ Videotronic Gigalink.

V mobilnom robotickom systéme je použité priemyselné PC Advantech POS-563, ktoré má integrované všetky vstupno-výstupné rozhrania. Je vybavené pamäťovým modulom SDRAM 128 MB a modulom DiskOnChip® 2000 (obr. 4) s veľkosťou 24 MB. Toto priemyselné PC predstavuje vyš-



Obr.4 Modul DOC® 2000

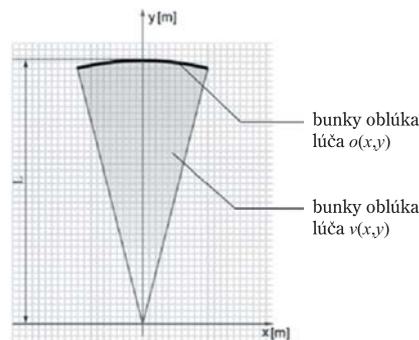
šiu úroveň riadenia, pričom nižšiu úroveň tvorí modul s mikroprocesorom SIEMENS SAB 80C517 (obr. 5). Mobilný robotický systém MIRO je vybavený ultrazvukovým snímačom, ktorý je otočný, takže umožňuje snímanie okolia mobilného robota.

Operačným systémom je systém reálneho času QNX. Je ideálny pre aplikácie reálneho času, ktoré vyžadujú od systému obsluhu viacerých udalostí s pevnými časovými obmedzeniami. QNX poskytuje multitasking, priority riadené preemptívne plánovanie a rýchle kontextové prepínanie – všetky základné súčasti systému reálneho času.

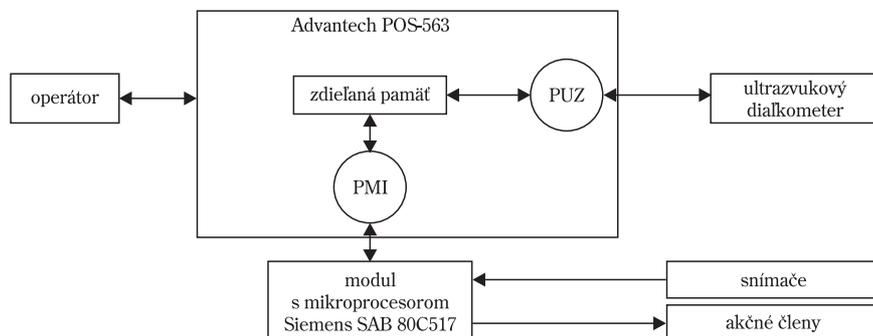
Činnosť vyššej radiacej úrovne je rozdeľovaná do viacerých procesov. Riadiacim programom je program pre obsluhu ultrazvukového snímača (PUZ) a program pre komunikáciu s modulom s mikroprocesorom Siemens SAB 80C517 (PMI).

Program komunikácie s mikroprocesorom zabezpečuje najmä vytváranie modelu mobilného robota – trojkoľky a heuristické riadenie sledovania priamkovej trajektórie. Na obchádzanie prekážok sa použila lokálna metóda umelého potenciálového poľa.

Program komunikácie s ultrazvukovým snímačom zabezpečuje snímanie a vytváranie lokálnej ultrazvukovej mapy, ako aj hľadanie minimálnych vzdialeností od prekážok, ktoré sú potrebné v metóde umelého potenciálového poľa. Lokálna ultrazvuková mapa predstavuje mriežkovú mapu blízkeho okolia mobilného robota. Je viazaná na polohu a natočenie robota. Jednotlivé body tejto mriežkovej mapy môžu nadobúdať hodnoty v rozsahu (0,255). Hodnota bodu mriežkovej mapy 127 predstavuje ne-



Obr.6 Model ultrazvukového lúča



Obr.5 Bloková schéma riadiacej časti

preskúmané body a zároveň slúži ako hraničná hodnota na rozhodovanie o tom, či je daný bod s väčším predpokladom voľný, alebo obsadený.

Model ultrazvukového lúča je znázornený na obr. 6. Obnovujú sa len bunky vo vnútri lúča a na konci lúča.

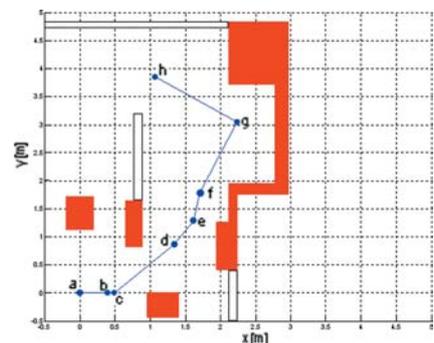
Komunikácia medzi mobilným robotickým systémom a operátorom sa realizuje prostredníctvom protokolu TCP/IP. Využíva sa prepojenie káblom, avšak tento protokol možno využiť aj na bezdrôtovú komunikáciu.

Výhodou protokolu TCP/IP je, že samotný protokol zabezpečuje kontrolu a potvrdzovanie správnosti prijatých dát, takže používateľ nemusí riešiť otázku správnosti prijatých údajov. Toto rozhranie navyše možno využiť na riadenie mobilného robota z akéhokoľvek PC na sieti.

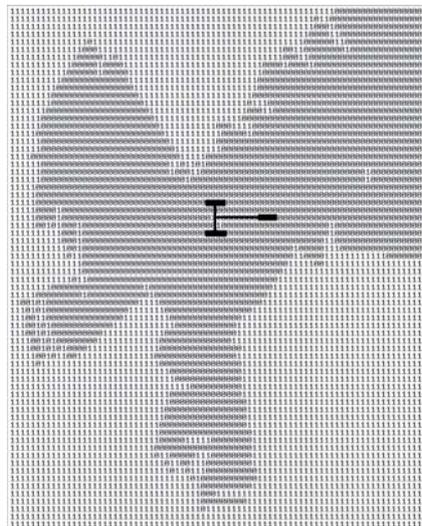
Využitím sieťového rozhrania je možné vytvoriť mobilný robot – server, na ktorý sa dá pripojiť z akéhokoľvek počítača internetovej siete, dá sa ovládať a sledovať jeho činnosť. V takomto prípade je potrebné riešiť otázku prístupových práv. Navyše toto sieťové rozhranie umožňuje vytvárať skupiny robotov, vykonávajúcich prieskum prostredia, ktorí takýmto spôsobom môžu zdieľať spoločne získané informácie a vytvárať tak omnoho efektívnejší systém.

**Výsledky experimentov**

Na obr. 7 je znázornená trajektória pri obchádzaní prekážok. Výplňou sú znázornené prekážky s predpokladaným odrazom ultrazvukového lúča, bez výplne sú znázornené potenciálne prekážky, pri ktorých nemohol byť presne špecifikovaný smer odrazu lúča (napr. stoličky). V bodoch a až i bola zosnímaná lokálna ultrazvuková mapa v rozsahu 360°. Body a až g predstavujú body, v ktorých bol operátorom zadaný nasledovný relatívny cieľový bod, a v ktorých využitím lokálnej metódy umelého potenciálového poľa bol určený bezkolízny smer pohybu robota. Pri sledovaní tohto smeru sa po prejdení určitej vzdialenosti (0,5 m) zosnímal lokálna ultrazvuková mapa v rozsahu 180°. Na základe tejto čiastkovej lokálnej ultrazvukovej mapy v prípade de-



Obr.7 Výsledné body pri obchádzaní prekážok (reálny experiment)

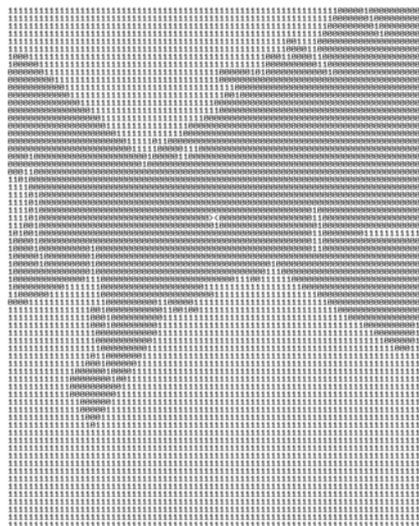


Obr.8 Lokálna ultrazvuková mapa v bode  $d$  (natočenie robota v globálnom súradnicovom systéme:  $45^\circ$ )

tekcie prekážky v smere pohybu robota bol robot zastavený tak, aby sa zaistila bezpečná vzdialenosť od prekážky. Lokálne ultrazvukové mapy sú viazané na súradnicový systém robota (situácia je znázornená na obr. 8 a 9).

### Záver

Reaktívne metódy riadenia mobilného robota s ultrazvukovým meracím systémom sú jednoduché a bezpečné z hľadiska apli-



Obr.9 Lokálna ultrazvuková mapa v bode  $e$  (natočenie robota v globálnom súradnicovom systéme:  $50^\circ$ )

kácie v priemyselnom prostredí. Vyžaduje sa väčší počet snímačov, aby informácia o prostredí mala vyhovujúcu dynamiku a potrebné rozlíšenie. Na spracovanie signálov zo snímačov a generovanie riadiacich signálov je vhodný systém, ktorý sa uvádza v článku.

### Literatúra

[1] JÖRG, K. W.: World modeling for autonomous mobile robot using heterogenous

sensor information. Robotics and Autonomous Systems, 14, 1995, pp. 159 – 170.

[2] CHATTERJEE, R., MATSUNO, F.: Use of single side reflex for autonomous navigation of mobile robots in unknown environments. Robotics and Autonomous Systems, 35, 2001, pp. 77 – 96.

[3] VARVEROPOULOS, V.: Robot localization and map construction using sonar data. The Rossum Project 2002. <http://rossum.sourceforge.net/papers/Localization>

[4] WINFIELD, A. F. T., HOLLAND, O. E.: The application of wireless local area network technology to the control of mobile robots. Microprocessors and Microsystems, 23, 2000, pp. 567 – 607.

[5] VITKO, A., MARKUSEK, J.: Autonomous navigation and control of mobile robot. Int. Conf. Mechanical Eng. Bratislava. Slovakia 1999, pp. 178 – 182.

[6] [www.qnx.com](http://www.qnx.com)

[7] [www.advantech.com/epc](http://www.advantech.com/epc)

21

**prof. Ing. Ladislav Jurišica, PhD.  
Ing. Roman Murár**

**Katedra automatizácie a regulácie  
FEI STU  
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava**