



Zložený merací systém na mapovanie mobilným robotom

Článok sa zaoberá problematikou merania viacerými typmi snímačov v prostredí pohybu robota.

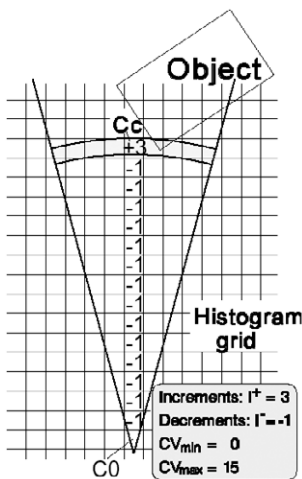
Na snímanie prostredia sú použité ultrazvukové a infračervené snímače vzdialenosti. Na základe spracovania nameraných údajov sa vytvára mapa prostredia s využitím metód fúzie informácie.

Úvod

Autonómna navigácia mobilných robotov v prostredí vyžaduje schopnosť robota dané prostredie určitým spôsobom vnímať. Na to slúži senzorový systém robota. Ten poskytuje aktuálne informácie o okolí prostredí, ktoré spracúva riadiaci systém robota. Riadiaci systém väčšinou vyhodnocuje polohu a vzdialenosť najbližších prekážok a hľadá voľnú cestu v prostredí vedúcu k danému cieľu. Zložitejšou úlohou je tvorba reprezentácie daného prostredia, ktorú nazývame mapou prostredia. Mapa určuje voľné oblasti prostredia vhodné na pohyb robota a prekážkami obsadené oblasti predstavujúce potenciálne nebezpečenstvo kolízie počas pohybu.

HIMM (Histogramic in Motion Mapping) metóda na tvorbu mapy

Množstvo metód tvorby máp pomocou ultrazvukových snímačov využíva interpretáciu priestoru ako dvojrozmerné pole štvorcových buniek určitého rozmeru. Tieto bunky nadobúdajú hodnoty vyjadrujúce určitý stupeň pravdepodobnosti alebo istoty, s akou sa na danom mieste nachádza prekážka. Hodnoty pre jednotlivé bunky sa vypočítajú na základe nameraných údajov, ako aj charakteristiky daného snímača. Keďže senzor má určitý rozptyl šírenia signálu a nemožno určiť, z ktorého smeru ozvena prišla, prideliť sa hodnoty bunkám v oblasti kruhového výseku šírenia ultrazvukovej vlny.



Obr.1 Spôsob tvorby mapy metódou HIMM ([1])

Tieto hodnoty sú určené empiricky tak, aby bol zabezpečený optimálny nárast hodnôt v oblastiach s prekážkami. Ďalšie zjednodušenie spočíva v tom, že políčka môžu nadobúdať hodnoty v určitom obmedzenom rozsahu.

1. Senzorový systém

Senzorový systém umožňuje získavať informácie potrebné pre autonómnu navigáciu robota. Na snímanie prekážok v okolí robota sa pomerne často využívajú ultrazvukové (UZ) snímače vzdialenosti – sonary. Tieto snímače majú rad výhodných vlastností, napríklad jednoduché spracovanie nameraných dát, bezpečnosť a nízka cena. Na druhej strane

merania získané UZ snímačmi sú často zatažené množstvom chýb vyplývajúcich zo samotného princípu činnosti týchto snímačov. Na meranie vzdialeností k prekážkam možno použiť aj infračervené (IR) snímače vzdialenosti. Tie sa vyznačujú tak isto jednoduchým spracovaním meraní, bezpečnosťou aj nízkou cenou. Rovnako však majú aj rad nevýhodných vlastností, ktoré merania komplikujú. Rozhodli sme sa preto pre návrh meracieho systému kombinujúceho výhody oboch typov snímačov za súčasnej snahy o elimináciu ich negatívnych vlastností. Výsledkom je snímacie zariadenie vykonávajúce fúziu informácií získaných meraním vzdialenosti pomocou UZ a IR snímačov. Našou snahou pri realizácii meracieho systému bolo zabezpečenie minimálnych rozmerov a spotreby a zároveň maximálnej presnosti a rýchlosti merania.



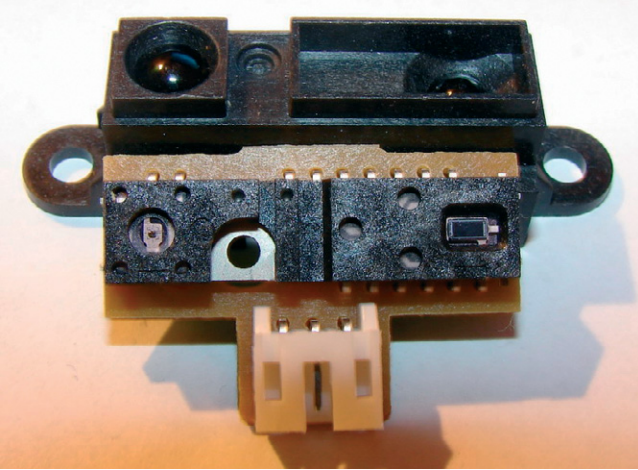
Obr.2 Ultrazvukový snímač R/T 40-16

Momentálne sa na trhu nachádza viacero rôznych UZ snímačov od viacerých výrobcov, vhodných na použitie v mobilnej robotike. Môže ísť o samostatné súčiastky, ale aj hotové riešenia na ultrazvukové meranie. Firma Polaroid je v tomto smere na veľmi dobrej úrovni a má v ponuke veľký výber ultrazvukových snímačov [4]. Takéto riešenie je však finančne náročnejšie a na snímanie malého mobilného robota aj značne predimenzované rozsahom snímania aj veľkosťou. Z tohto dôvodu sme sa zamerali na riešenie obsahujúce snímač a vysielač R40-16, T40-16 od firmy Nippon [3]. Tie sú bežne dostupné v maloobchodnej sieti a dajú sa s nimi dosiahnuť uspokojivé výsledky. Ultrazvukový senzor (obr. 2) je rozdelený zvlášť na vysielač (T40-16) a prijímač (R40-16), každý má tvar valčeka s priemerom 16 mm a výškou 12 mm. Pracujú na rezonančnej frekvencii 40 kHz, zisk vysielača je 119 dB, šírka pásma 2 kHz. Pre prijímač platí citlivosť -65 dB a šírka pásma 2,5 kHz. Konkrétna realizácia UZ dialkomera na báze snímačov R40-16 a T40-16 je uvedená napr. v [2]. Merací rozsah snímača je približne od 10 až 15 cm do 3 až 4 m.

Infračervený snímač

PSD (Position Sensitive Detectors) sú optoelektronické snímače, ktoré umožňujú presne určiť pozíciu dopadajúceho svetelného lúča na aktívnu plochu snímača. Umožňujú tak na diaľku detegovať pohyb, zmerať veľkosť alebo určiť tvar nejakého predmetu. Princípiálne PSD predstavuje fotodiódu s fotocitlivou rezistívnou vrstvou v tvare pásika alebo plôšky. Detektory môžu byť použité na meranie v jednom smere 1D, ako aj na meranie pozície v dvoch súradniciach 2D. 1D detektory sa vyznačujú obdĺžnikovým pásovým tvarom aktívnej citlivej plochy dlhý až desiatky mm.

Ako IR snímač sme použili dvojicu snímačov od firmy Sharp. Konkrétne išlo o typy GP2D120 a GP2Y0A02YK. Tieto snímače majú napätový výstup zodpovedajúci nameranej vzdialenosti. Na obr. 3 vidieť rozobratý snímač GP2D120. V ľavej časti snímača je LED dióda, ktorá vyžaruje svetelný lúč. V pravej časti je PSD snímač, na ktorý dopadá lúč



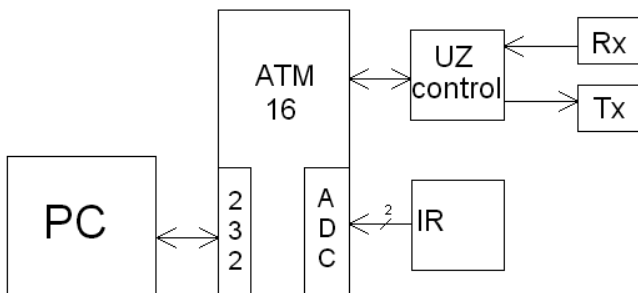
Obr.3 Snímač Sharp GP2D120

odražený od prekážky. Snímač GD2D120 má podľa katalógových údajov rozsah snímania od 4 cm do 40 cm a snímač GP2Y0A02YK rozsah od 20 cm do 150 cm. Snímač GD2D120 sme použili na meranie vzdialeností v rozsahu od 5 cm do 17,5 cm, na meranie väčších vzdialeností sme využili snímač GP2Y0A02YK.

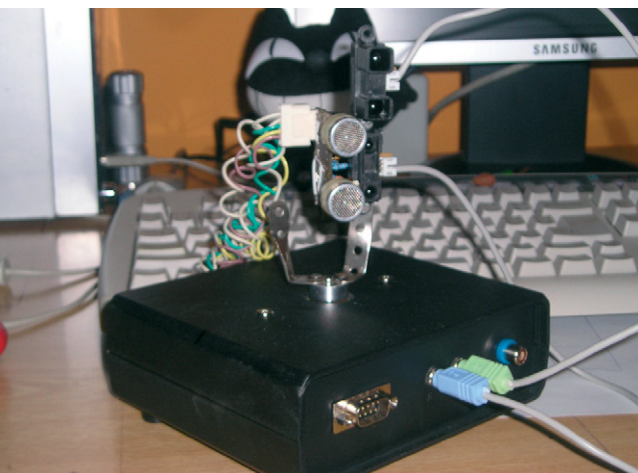
Realizácia snímacieho systému

Celé snímacie zariadenie je postavené na báze mikroprocesora ATmega16, ku ktorému sú pripojené jednotlivé periférie. Základná jednotka ultrazvukového meracieho systému (sonara) obsahuje obvod vysielajúca a obvod prijímača, ktoré sú spojené programovateľným integrovaným obvodom (ATMEGA16) obsluhujúcim vysielanie a spracúvanie prijatého signálu. K mikroprocesoru sú pripojené aj obidva PSD snímače. Mikroprocesor zabezpečuje pre tieto snímače spracovanie ich napätových signálov a rozhodovanie o výbere výstupnej hodnoty podľa nameranej vzdialenosti.

Integrovaný obvod komunikuje s PC po sériovom rozhraní RS-232. Z PC sa posielajú príkazy a zariadenie po ich spracovaní odpovedá a posiela výsledky. Pre naše potreby sme si navrhli jednoduchý komunikačný protokol. Výsledky meraní sa ukladajú do súborov, v ktorých



Obr.4 Bloková schéma zapojenia meracieho systému



Obr.5 Snímacie zariadenie

sa ukladajú hodnoty polohy krokového motora, čas letu UZ signálu (pre prípadné ďalšie spracovanie), vzdialenosť nameraná UZ snímačom, vzdialenosť nameraná IR snímačom a nakoniec kontrolná suma na overenie bezchybnosti prenosu údajov. Neplatné hodnoty meraní snímačmi sme reprezentovali nulovou nameranou vzdialenosťou. Bloková schéma meracieho systému je zobrazená na obr. 4 a realizované zariadenie na obr. 5.

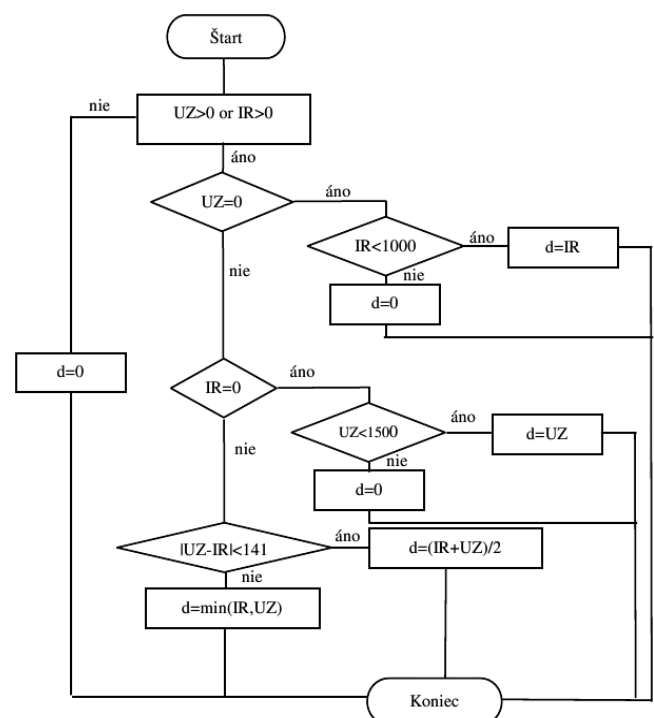
2. Fúzia nameraných údajov

Namerané údaje vzdialenosti poskytované jednotlivými snímačmi majú rôzne charakteristiky vzhľadom na ich presnosť a spoľahlivosť. Pri ich spracovaní bolo potrebné zväžiť a zohľadniť tieto vlastnosti. Navrhnuť správny model fúzie informácií bolo určitým problémom. UZ snímač je síce značne presný, čo sa týka nameranej vzdialenosti, ale má dost veľký rozptyl signálu, čo znemožňuje presné určenie polohy prekážky odražajúcej UZ signál. Na druhej strane IR snímač má rozptyl minimálny, ale jeho presnosť v porovnaní s UZ snímačom je spoľahlivá len po určitú hranicu. Preto bolo potrebné navrhnuť určité kompromisné riešenie spracovania týchto údajov. Meranú vzdialenosť sme z praktických dôvodov, ktorými sú najmä predpokladaná veľkosť mobilného robota a jeho rýchlosť pohybu, obmedzili na 1,5 m. Táto hodnota je hornou hranicou akceptovania merania UZ snímačom, ktorý má aj pri tejto vzdialenosti prijateľnú presnosť merania. Vzdialenosti namerané IR snímačom sme brali do úvahy do vzdialenosti 1 m, keďže presnosť merania týmto snímačom je pri týchto vzdialenostiach už nižšia. V rozsahu meraní oboch snímačov sme získané hodnoty spriemerovali, ak rozdiel nameraných vzdialeností neprekročil určitú hodnotu. Na tvorbu mapy sme používali mriežku s veľkosťou hrany bunky 50 mm. Preto sme za maximum rozdielu nameraných vzdialeností zvolili hodnotu 141 mm, čo je približne dvojnásobná veľkosť uhlopriečky bunky mriežky. Pri jej prekročení sme za správny údaj zvolili menšiu vzdialenosť vzhľadom na väčšiu bezpečnosť pohybu robota. Výsledkom bol model spracovania údajov zobrazený pomocou vývojového diagramu na obr. 6.

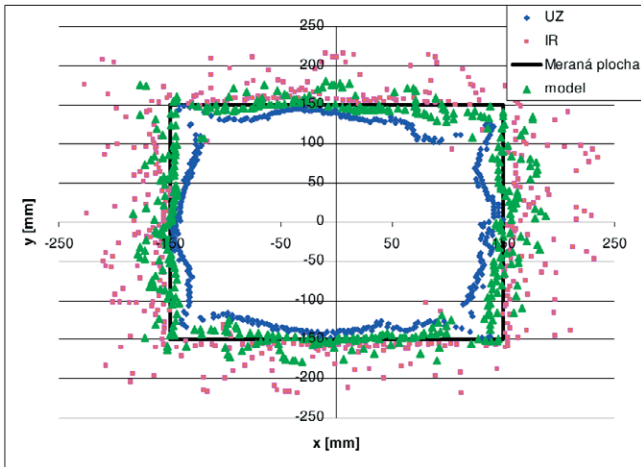
3. Experimentálne výsledky

Experimentálne meranie 1

Prvé testovanie navrhutej sensorovej jednotky sme vykonali umiestnením zariadenia do stredu experimentálneho prostredia štvorcového tvaru oddeleného od okolia pevnými stenami s dĺžkou 30 cm a vyko-



Obr.6 Vývojový diagram modelu fúzie údajov



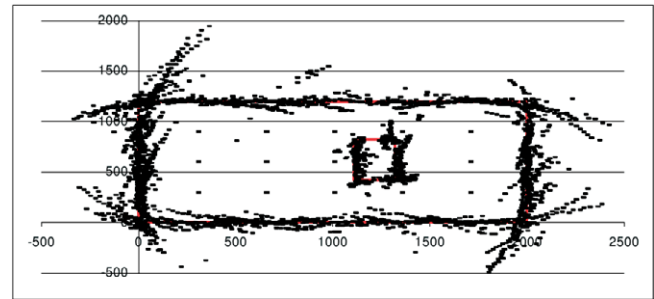
Obr.7 Výsledky prvého experimentu

nali sme meranie nasnímaním údajov v celom rozsahu $0 - 360^\circ$. Pri tomto experimente sa testovala najmä funkčnosť zariadenia a získali sme istú predstavu o reálnych údajoch zo snímačov. Výsledky merania sme spracovali a koncové body merania sme vniesli do grafu (obr. 7). Ako vidieť z obr. 7, ultrazvukový snímač je, čo sa týka nasnímanej vzdialenosti, relatívne presný, ale široký vysielač kužeľ mu neumožňuje presne zmerať rovnú plochu. Je to zapríčinené rozptylom vysielačného signálu a nameranou vzdialenosťou nie je vzdialenosť ležiaca na osi vysielačnej, ale najmenšia vzdialenosť v priestore šíreného signálu. Najmarkantnejšie sa táto vlastnosť UZ snímača prejavila pri snímaní v smere rohov experimentálneho priestoru. Infračervený snímač je naopak v porovnaní s UZ snímačom skoro dokonale smerový bez bočného rozptylu signálu. Na druhej strane však vidieť, že ním nameraná vzdialenosť je značne nepresná. Po aplikovaní algoritmu na fúziu dát s oboch snímačov sa výsledky viac priblížili k realite.

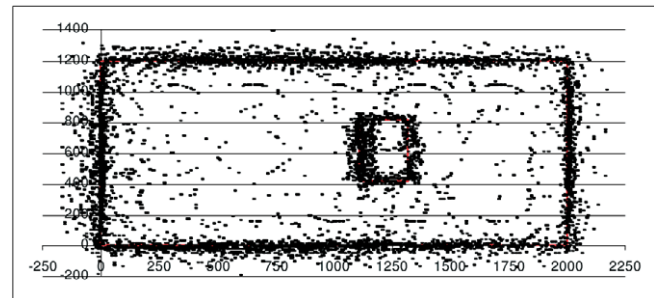
Experimentálne meranie 2

Skonštruovaný merací systém bol navrhnutý na použitie na jednoduchých a rozmerovo relatívne malých mobilných robotoch. Bolo preto potrebné zistiť, či je senzorový systém schopný získať dostatočne kvalitné informácie o prostredí pre potreby bezpečnej navigácie robota. Z tohto dôvodu sme vykonali experiment, ktorý sa svojimi parametrami približoval reálnemu prostrediu vo väčšej miere ako prvý experiment. Na to sme postavili od okolia oddelené umelé prostredie, v ktorom sme na presne definovaných pozíciách uskutočnili merania navrhnutým senzorom. Prostredie malo rozmery približne 200×120 cm a tvorilo ho sadrokartónové dosky. Do vnútra priestoru sme umiestnili navyše jednu prekážku. V celom priestore sme na zabezpečenie jeho dobrého pokrytia meraniami rozmiestnili meracie pozície, ktoré tvorili pravidelnú štvorcovú sieť. Na každú meraciu pozíciu sme umiestnili snímacie zariadenie a vykonali kompletnú otáčku krokového motora, pričom bolo vykonaných 400 meraní vzdialenosti s krokom $0,9^\circ$. Pomerne veľké množstvo nameraných dát nám umožňuje vybrať z tejto množiny údajov určitú nami zvolenú podmnožinu a následne simulovať rôzne trajektórie mobilného robota, ako aj počty nasnímaných údajov pri vytváraní máp prostredia.

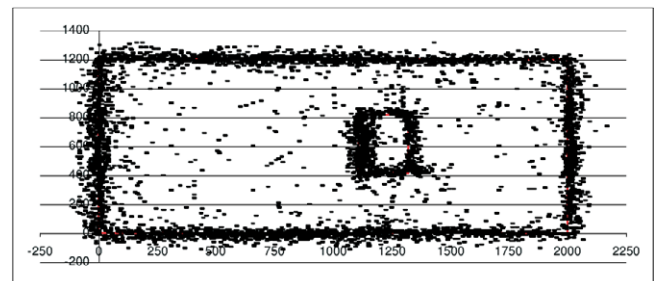
Na nasledujúcich obrázkoch možno vidieť a porovnať všetky nazbierané údaje, ktoré sú reprezentované čiernymi bodmi v danej vzdialenosti a smere merania. Na obr. 8 môžeme vidieť údaje namerané UZ snímačom, na obr. 9 IR snímačom a nakoniec na obr. 10 sú výsledné údaje po spracovaní navrhovaným modelom fúzie dát. Na základe obrázkov možno konštatovať, že UZ snímač odhaduje kontúry prostredia s menšou presnosťou a steny prostredia predlžuje a najmä v rohoch prostredia aj mierne zakrivuje. Vnútri prostredia generuje menej chybných meraní ako IR snímač, zato chybné merania sa vyskytujú častejšie mimo prostredia ako falošné prekážky. Naopak IR snímač dokáže relatívne presne určiť kontúry prostredia, avšak do mapy zanáša pomerne veľký počet chybných meraní nachádzajúcich sa vo voľnom priestore. Mapa vytvorená skombinovaním údajov oboch snímačov pomocou navrhnutého modelu zobrazená na obr. 10 je čistejšia a steny sú zmapo-



Obr.8 Údaje namerané UZ snímačom



Obr.9 Údaje namerané IR snímačom

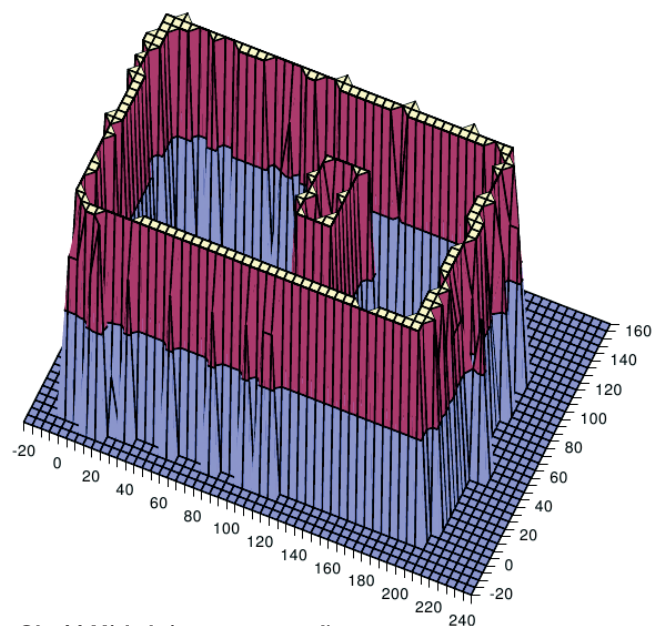


Obr.10 Údaje po vykonaní fúzie dát

vané relatívne dostatočne presne. Pomocou fúzie dát sme dosiahli čiastočné odfiltrovanie chybných meraní.

Spracovanie nameraných údajov do mapy prostredia

Na vytvorenie mapy experimentálneho prostredia sme použili čiastočne modifikovanú metódu HMM [1]. Oproti pôvodnej verzii sme pracovali s väčším množstvom údajov, a preto sme na dosiahnutie lepšieho výsledku pri tvorbe mapy zmenili maximálne a minimálne hodnoty pre bunky mapy. Nami zvolené hodnoty na ohraničenie políček boli



Obr.11 Výsledná mapa prostredia



-100 a 100. Bunku prislúchajúcu nameranej vzdialenosti sme inkrementovali o hodnotu 15. Na určenie buniek ležiacich na osi snímača, medzi snímačom a inkrementovanou bunkou bol použitý Bresenhamov algoritmus na výpočet rovnej čiary známy z oblasti počítačovej grafiky. Tieto bunky boli dekrementované o hodnotu 5. Výstupom z tohto procesu je dvojrozmerné pole buniek, kde v každej bunke je číselná hodnota, ktorá zodpovedá presvedčeniu o obsadenosti prekážkou danej bunky mapy. Čím vyššia je hodnota v bunke, tým je pravdepodobnosť jej obsadenia vyššia. Na znázornenie výsledkov je uvedená 3D grafická reprezentácia mapy experimentálneho prostredia na obr. 11. Pre prehľadnosť sú v grafe zobrazené iba hodnoty z intervalu (0 – 100).

Metóda HMM sa osvedčila ako vhodný spôsob tvorby máp pracovného priestoru pre mobilné roboty. Jej silnou stránkou je jednoduchosť a rýchlosť tvorby mapy, keďže neobsahuje žiadne zložité numerické výpočty. Vhodnosť jej použitia závisí od platformy mobilného robota, jej výpočtového výkonu a, samozrejme, od cieľa reprezentácie daného prostredia. Táto jednoduchá metóda môže byť veľmi vhodná pre menšie a pomalšie mobilné roboty s menším výpočtovým výkonom umiestneným na platforme.

Záver

Cielom príspevku bolo prezentovať konštrukciu a overenie činnosti snímacieho systému pre malý mobilný robot. Navrhnutý snímač vzdialenosti má vzhľadom na jednoduchosť riešenia a svoju cenu uspokojivé parametre. Použitím lacných ultrazvukových meničov systém vykazuje

pomerne veľkú šírku snímacieho uhla, avšak túto nevhodnú vlastnosť kompenzujú PSD snímače. Experimentálne overenia v reálnych prostrediach ukázali, že s navrhovaným senzorom možno dosiahnuť relatívne dobré výsledky.

Literatúra

- [1] BORENSTEIN, J., KOREN, Y., 1991: Histogramic in Motion Mapping for Mobile Robot Obstacle Avoidance. IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. 7, No. 4, pp. 535 – 539.
- [2] HANZEL, J., JURÍŠICA, L.: Experimentálna identifikácia parametrov ultrazvukového dialkometra. In: ATP journal Plus č. 2/2006.
- [3] NIPPON CERAMIC CO., LTD., Air Transmission Ultrasonic sensor, Catalog, 2002, http://www.nicera.co.jp/pro/ut/html_e/ut-001e.htm
- [4] Polaroid ultrasonic ranging system handbook – application note/technical papers, 1992.

Ing. Jaroslav Hanzel, PhD.
prof. Ing. Ladislav Jurišica, PhD.

64

Slovenská technická univerzita
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra automatizácie a regulácie
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava
e-mail: jaroslav.hanzel@stuba.sk