

## Prieskumné a záchranárske roboty

Duchoň František · Elektrotechnika

31.10.2011



Záchranárske roboty slúžia ako predĺžená ruka záchranárov pri živelných pohromách, pričom často poskytujú video reálneho času a iné senzorkové informácie monitorujúce vzniknutú situáciu. Napriek nadštandardnému možnému využitiu, na záchranárske roboty sa stále pozerá ako na novinku. Uplatnenie si nachádzajú predovšetkým v nebezpečných prostrediach alebo v nebezpečných situáciách.

Príkladom môžu byť požiare, záplavy, zemetrasenia, hľadanie stratených osôb v divočine apod. Záchranárske práce pri živelných pohromách sú vždy pretekmi s časom. Je snahou záchranárov pohybovať sa čo najrýchlejšie, aby mohli zachrániť čo najviac preživších a zároveň čo najpomalšie, aby nespôsobili ďalšie škody alebo ohrozenie životov. Primárnym cieľom je záchrana ľudských životov. Robot môže pomáhať pri týchto úlohách formou interakcie s obeťami, interakcie so stavbami alebo formou automatickej podpory. Záchranárske roboty sa v mnohom podobajú robotom vojenským, napriek odlišným úlohám, ktoré plnia.



*Obr. 1 Japonský záchranársky robot nasadzovaný pri požiaroch.*

Historicky prvé záchranárske roboty boli nasadené v roku 1995 pri zemetrasení v japonskom Kobe a pri bombovom útoku na federálnu budovu v Oklahome. Od tohto roku vzniklo na svete nespočetné množstvo robotických súťaží zaoberajúcich sa touto problematikou. Podľa štatistík sa väčšina (80%) preživších pri prírodných katastrofách nachádza pri povrchu, čiže sú dobre viditeľní. Zvyšných 20% sa nachádza napríklad v interiéroch budov, ktoré sú ťažko dostupné.

Práve v týchto vnútorných priestoroch sa nachádza väčšina obetí. Z tohto dôvodu sa

ukazuje uplatnenie záchranárskych robotov v týchto priestoroch ako kľúčové. Mortalita sa pri prírodných katastrofách zvyšuje po 48h, z čoho vyplýva, že na záchranu ľudských životov je kľúčových práve prvých 48h po prírodnej katastrofe. Z tohto hľadiska sa rýchlosť, schopnosť dostať sa do neprístupných priestorov, analyzovať ľudskými zmyslami nepostrehnuteľné vlastnosti prostredia a vytrvalosť javia ako dôležité vlastnosti záchranárskych robotov.

### Kategórie záchranárskych robotov

Záchranárske roboty možno rozdeliť do viacerých kategórií, podľa typu úlohy, na ktoré sú určené:

1. **Prehľadávanie.** Ide o roboty prehľadávajúce vnútorné priestory za účelom nájdenia obete alebo potencionálneho nebezpečenstva. Motiváciou týchto robotov je rýchlosť a splnenie úlohy bez ohrozenia obetí alebo záchranárov.
2. **Prieskum a mapovanie.** Roboty vykonávajúce túto úlohu majú širšie hľadisko pôsobenia ako prehľadávajúce roboty. Pre záchranárov tieto roboty poskytujú všeobecný prehľad o situácii a analyzujú možné riziká. Všeobecným cieľom tejto skupiny robotov je rýchle pokrytie čo najväčšieho priestoru s odpovedajúcim rozlíšením.
3. **Odstraňovanie trosiek.** Motiváciou týchto robotov je presun ťažkých trosiek rýchlejšie ako by to dokázal človek, avšak s menším zásahom do prostredia ako by to vykonával tradičný stavebný žerjav.
4. **Inšpekcia stavieb.** Inšpekcia stavieb môže byť vykonávaná v interiéri (za účelom zabránenia ďalšieho kolapsu budov) alebo v exteriéri (či je bezpečný vstup do budovy). Takéto roboty majú lepší prístup k zónam záujmu ako človek, v mnohých prípadoch sa k nim dokážu priblížiť bližšie a v lepších zorných uhloch.
5. **Medicínske záchranárske roboty.** Tieto roboty zasahujú na mieste nešťastia a umožňujú lekárom verbálne komunikovať s obeťami, vizuálnu inšpekciu obetí alebo aplikovanie diagnostických snímačov. V mnohých prípadoch poskytujú aj lieky a tekutiny obeťami, pokým trvá ich záchrana.
6. **Medicínsky citlivé vyslobodenie a evakuácia obetí.** Takéto roboty poskytujú medicínsku asistenciu obeťami v prípade chemických, biologických alebo rádioaktívnych katastrof. Odhaduje sa, že počet obetí pri takýchto katastrofách je vysoký z dôvodu nedostatočnej ľudskej záchranárskej kapacity v špecializovaných oblekoch, čo robí roboty pre túto problematiku vysoko atraktívne. Využitie týchto robotov je aj v takých prípadoch, keď doktor nemôže vstúpiť do ohrozenej zóny, pričom robot je schopný niesť odpovedajúce medicínske vybavenie aj niekoľko kilometrov.
7. **Maják alebo retranslátör.** Takéto roboty poskytujú rozšírenú komunikáciu, umožňujú lokalizáciu rádiových signálov a slúžia ako orientačné body pre lokalizáciu záchranárov.
8. **Zástupca v tíme záchranárov.** Takýto robot pracuje bok po boku so záchranármi, obvykle slúži ako bezpečnostný alebo logistický člen tímu. Zároveň môže poskytovať rozšírenú oblasť komunikácie s inými záchranármi alebo ako "predĺžená ruka" záchranárov. Úlohou takýchto robotov je zrýchliť a redukovat požiadavky na zásah, ktorý je vykonávaný ľuďmi.
9. **Adaptívne podpíeranie.** Úlohou takýchto robotov je adaptívne podpíeranie nestabilných trosiek za účelom predĺženia času možnej záchrany obetí.
10. **Poskytovanie logistickej podpory.** Plnenie tejto úlohy spočíva v automatizovanom

transporte zariadení, nástrojov alebo zásob zo skladov k záchranárskym tímom alebo k vopred určeným miestam v ohrozenej oblasti.

Záchranárske roboty sa delia podľa formy na: pozemné, vzdušné, plávajúce a hladinné. Voľba formy záchranárskeho robota vplýva na samotný dizajn a schopnosti robota. Podľa veľkosti sa záchranárske roboty delia na: človekom zbaliteľné, človekom prenosné a maxi. Veľkosť robota určuje úlohy, na ktoré môže byť nasadený a ako rýchlo po nešťastí môže byť použitý. Robot človekom zbaliteľný je taký robot, ktorého celý systém vrátane riadiaceho systému, batérií alebo nástrojov sa musí vojsť maximálne do dvoch batohov.

Tieto roboty sú nasadené ihneď po nešťastí, keďže sú ľahko prenosné. Roboty človekom prenosné sú také roboty, ktoré je možné preniesť na krátke vzdialenosti dvoma ľuďmi alebo v malom vozidle. Tieto roboty sú používané na lepší prístup do zóny nešťastia alebo na logistickú podporu záchranárskych tímov. Roboty triedy maxi vyžadujú na prenos prívesné vozy alebo inú väčšiu transportnú logistiku. To zamedzuje ich priamemu nasadeniu v zóne nešťastia.



Obr. 2 Záchranársky robot V2 nasadzovaný pri banských nešťastiach.

### Obmedzenia záchranárskych robotov

Výber typu záchranárskeho robota určuje aj typ nešťastia, pri ktorom sú nasadené. Nešťastia alebo katastrofy možno rozdeliť na prírodné katastrofy a havárie spôsobené človekom. Kým prírodné katastrofy pokrývajú rozsiahle územia, havárie spôsobené človekom sa koncentrujú v úzkej geografickej lokalite a ich dosah je obvykle ukrytý pod troskami. Pri prírodných katastrofách sa uplatňujú roboty s veľkým dosahom, pri haváriách spôsobených človekom majú uplatnenie malé pozemné roboty schopné vstupovať do trosiek a veľké roboty pomáhajúce odstraňovať trosky. Pri prehľadávaní budov treba myslieť na neschopnosť komunikovať bezdrôtovým princípom, keďže štruktúra budov je železobetónová.

Z tohto dôvodu sa zvykne používať komunikačný kábel, ktorý zároveň slúži aj ako bezpečnostný kábel pri zaseknutí robota v troskách. Zároveň treba myslieť na nutnosť možnosti pohybu robota aj pri prevrátení a dostatočnú odolnosť voči vode. Všeobecnou úlohou záchranárskych robotov je vyhľadávanie obetí a všeobecných informácií o mieste nešťastia, z čoho vyplýva, že dôležitou súčasťou týchto robotov sú komunikačné moduly. Čo sa týka senzorového vybavenia, za minimum záchranárskeho robota sa považuje vizuálny systém s obojsmerným prenosom zvuku. V poslednom čase sa

uplatňujú na robotoch aj termovízne kamery.

Pri záchranárskej robotike platí porekadlo "V jednoduchosti je krása.". Roboty sa pohybujú v nevlúdnych a pohybovo náročných prostrediach. Navyše, často sa tu vyskytuje prach, voda, korózne materiály, cement a mnoho rôznych prekážok, čo znemožňuje robotu "bezproblémový" pohyb. Záchranárske práce stresujú a významne zaťažujú aj samotných operátorov, takže roboty by mali riešiť aj problematiku neadekvátnych zásahov operátora do činnosti robota. Dôležitým aspektom výskumu záchranárskych robotov je umožnenie robotickým tímom operovať na mieste nešťastia aj po ukončení záchranárskych prác. Práve takáto skúsenosť predstavuje neoceniteľný súbor dát pre rozvoj záchranárskej robotiky.

Napriek tomu, že bolo navrhnutých veľké množstvo záchranárskych robotov, len malé množstvo z nich bolo nasadených v akcii. Nie je dokonca ani známe, že by robot objavil preživšieho človeka, napriek tomu si záchranárske roboty zaslúžili vysoké ocenenia pri záchranárskych prácach. V súčasnosti existuje len niekoľko agentúr a úradov využívajúcich záchranárske roboty. Väčšina z nich sa nachádza v USA a Japonsku.

### **Kinematické štruktúry záchranárskych robotov**

Vzhľadom na špecifické úlohy, ktoré musia záchranárske roboty plniť pri svojej činnosti, existuje a predpokladá sa vznik rôznych typov robotov. Väčšina záchranárskych robotov pracuje samostatne, v praxi sa však ukazuje, že by záchranárske roboty mali pracovať v tímoch. Avšak realita je taká, že súčasné záchranárske roboty nie sú schopné pracovať v tímoch. Ďalšími širokými oblasťami výskum v záchranárskej robotike sú komunikačné a senzorové siete, inteligentné nástroje a robotizované zvieratá (napr. kamery na psoch a potkanoch).

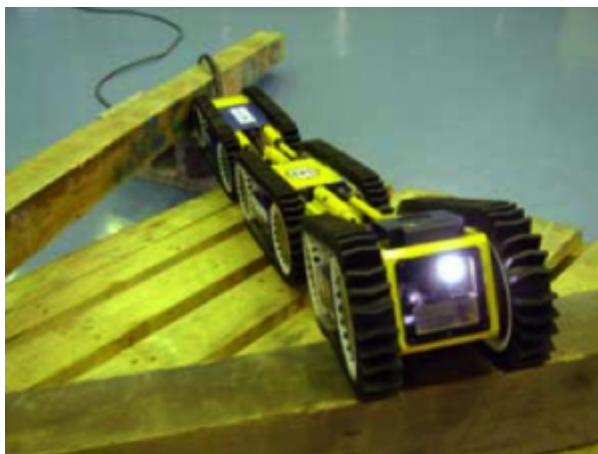


*Obr. 3 Záchranársky robot RHex.*

Medzi nasadzované pozemné kinematické štruktúry patria polymorfické pásové roboty, ktoré dokážu prekonať väčšiu množinu prekážok a terénov ako kolesové roboty. Inou alternatívou sú hadie a kráčajúce roboty, ktoré sa z hľadiska prekonania prekážok ukazujú ešte efektívnejšie. Niektoré lezúce roboty dokonca dokážu liezť po stenách, čo im umožňuje dosiahnuť oblasti, kam by sa iné roboty nedostali. Malú skupinu tvoria skáčuče a valivé roboty, ich efektívnosť je však menšia.

Kinematické štruktúry záchranárskych robotov sa úspešne rozširujú o manipulátory, ktoré umožňujú robotom skúmať prostredie, vykonávať interakcie s preživšími, presúvať ľahké predmety a poskytovať unikátne pohľady na scénu nešťastia. Kamery

na manipulátoroch sú často využívané ako stožiare pre kamery, čím je operátorovi umožnené vidieť ďalšiu časť prostredia, preskúmať vyvýšené plochy alebo určiť, či je robot zaseknutý. Avšak pridanie manipulátora na servisný robot rozširuje náklady na robot v hardvérovej aj softvérovej časti. Navyše je potrebné rátať s fyzikálnymi obmedzeniami od ramena.



Obr. 4 IRS Soryu záchranný robot, vybavenie: kamera, termokamera a iné biologické senzory.

### Štandardizácia záchranných robotov

V súčasnosti neexistuje žiadna platná norma hodnotiaca alebo zaraďujúca záchranné roboty. Na hodnotenie robotov môžu byť použité simulácie (opakovateľnosť, dostupnosť, redukcionizmus), demonštrácie (primárny zdroj spätnej väzby, nie sú opakovateľné, vysoká podobnosť s katastrofami) a technologické zapojenie (aktuálne katastrofy, cenné informácie, nie sú opakovateľné, nie je skoro nič známe, úspešnosť závisí od operátorov). Záchranné roboty možno ohodnotiť podľa štyroch kategórií:

1. fyzikálne atribúty robota
2. potrebný výkon operátora
3. výkon tímu robot-operátor
4. dopad robotického tímu na preživších alebo na nečlenov robotického tímu

V súčasnej fáze vývoja záchranných robotiky vznikajú metriky a metódy pre ohodnotenie výkonov fyzikálnej, operátorskej a tímovej súčasti záchranného robotického tímu. Na testovanie záchranných robotov sa využívajú počítačové simulácie alebo laboratórne testovacie zariadenia. Počítačové simulácie poskytujú nízko-nákladový mechanizmus schopný skúmať veľkú skupinu správání, robotov alebo celých systémov. Vo všeobecnosti poskytujú vysokú testovaciu presnosť pre softvérové prostriedky, avšak fyzikálna presnosť závisí od použitého modelu, ktorý aj tak nikdy nebude totožný s realitou.

Príkladom môže byť simulovanie snímačov alebo prostredí, ktoré vznikli po katastrofe. V súčasnosti existujú viaceré simulačné prostriedky pre záchrannú robotiku. Medzi najznámejšie patria Robocup rescue simulation project (simulácia monitorovania katastrofy, distribuované senzory, roboty, komplexné interakcie až na úrovni telemedicíny) a USARSim (snímače, aktuátory, spracovanie dát, umelé prostredia,

štandardný testovací nástroj).



*Obr. 5 Simulačný nástroj USARSim.*

Laboratórne testovacie zariadenia poskytujú realistickejší spôsob testovania záchranárskych robotov, avšak ich prístupnosť nemusí byť rovnaká pre všetky robotické záchranárske tímy. Takéto testovacie zariadenie sa obvykle delia na požiarňické a štandardné pre záchranu a prehľadávanie.



*Obr. 6 Testovacie zariadenie pre súťaž RoboCup Rescue.*

Pravdepodobne najznámejším testovacím zariadením pre štandardnú záchranu a prehľadávanie je práve to, ktoré je používané pri súťažiach RoboCup. Toto zariadenie sa považuje už za štandard záchranárskej robotiky. Kladie dôraz na mobilitu, mapovanie, predvídanie situácií, snímanie, zdieľanú autonómiu apod.

Cieľom robotických tímov v tomto zariadení je získanie informácií o obetiach (existencia, stav a pozícia) pomocou senzorov monitorujúcich zdravotné informácie (teplo, tvar, farba, pohyb, zvuk, CO<sub>2</sub> atď.) a tvorba mapy prostredia obsahujúcej informácie o obetiach. Napriek mnohým podobnostiam s prostrediami, ktoré vznikajú po katastrofách, takéto testovacie zariadenie reálne nereprezentuje skutočné možné situácie. Navyše netestuje ani fyzickú a psychickú odolnosť ľudskej časti záchranárskych tímov.

### **Vývoj a výskum záchranárskych robotov**

Medzi základné výzvy záchranárskej robotiky patrí znižovanie času záchranu, lokalizácia, mapovanie a integrácia informácií z robotov do systému geografických informácií a zväčšenie spoľahlivosti záchranárskych robotov. Posledné štatistiky

ukazujú, že záchrannárske roboty pohybujúce sa vo vnútri zrútených budov sú v pohybe iba 51% času nasadenia v budove a iba 44% operátorských aktivít sa venuje navigácii. Z toho vyplýva, že do budúcnosti je potrebné zlepšiť navigačné schopnosti robotov a senzorické systémy robotov. Záchrannárske roboty vykonávajú také misie, v ktorých by geografické údaje o skutočnostiach v prostredí mali pomôcť samotným záchrannárom.

Napríklad ak robot objaví preživšieho, je užitočné ak oznámi jeho pozíciu, cestu k nemu a podmienky prostredia. Takéto záchrannárske roboty sa obvykle pohybujú v prostrediach, kde nie je možné použiť GPS prijímače, čo kladie zvýšené nároky na iné senzorické systémy. Spôľahlivosť záchrannárskych robotov je dôležitým aspektom. V roku 2004 sa od záchrannárskych robotov požadovala 20 hodinová prevádzka bez hardvérových porúch, momentálne sa tento limit pohybuje na úrovni 96tich hodín.



Obr. 7 Záchrannársky robot teleAX.

Hlavné úlohy, ktoré sa očakávajú od záchrannárskych robotov možno rozdeliť na:

**Mobilita.** Pre roboty pohybujúce sa po zemi to predstavuje vnímanie komplexnosti prostredia pozostávajúceho z nepredvídateľnej kombinácie vertikálnych a horizontálnych elementov.

**Komunikácia.** Pre teleoperačné roboty to znamená najmä spoľahlivý prenos obrazu, ktorý robot aktuálne vidí. Tento prenos musí byť zabezpečený v reálnom čase. Vo väčšine prípadov je pri katastrofách zničená aj komunikačná infraštruktúra, preto je dôležité riešiť nielen otázku komunikácie medzi robotom a operátorom, ale aj medzi robotickým záchrannárskym tímom a nadradenou úrovňou riadenia záchranných operácií. Navyše, treba si uvedomiť, že pri záchrannárskych robotoch je bezdrôtová komunikácia medzi robotom a operátorom obtiažna.

Roboty sa obvykle pohybujú v priestore, ktorý sa dá považovať za podzemný. Riešením komunikácie v takýchto prípadoch je celá sieť robotov, kde niektoré roboty slúžia ako retranslátory komunikácie. Iným problémom je dátová priepustnosť bezdrôtových technológií, ktorá je obmedzená, a nie je napríklad možné prenášať veľké kvantum dát ako sú údaje z vizuálneho systému robota. Z tohto dôvodu sa používajú rôzne dátové komprimácie.

Iným aspektom bezdrôtového prenosu údajov je zabezpečenie prenosu voči neoprávnenému použitiu, kedy by napríklad médiá mohli prerušiť dátový tok za účelom poskytnutia citlivých informácií verejnosti. Z vymenovaných dôvodov vyplýva, že napriek rozvoju technológií sa stále používajú záchranárske roboty pripojené k operátorom pomocou komunikačných káblov.

**Riadenie.** Riadenie záchranárskych robotov možno rozdeliť na riadenie samotného robota a na riadenie aktivít robota. Pri riadení záchranárskych robotov sa používajú klasické riadiace štruktúry, ale aj štruktúry s využitím umelej inteligencie. Aktivita záchranárskych robotov je obvykle riadená operátorom, teda človek robot usmerňuje a vykonáva riadiace zásahy.

**Snímanie.** Bez vhodného snímania prostredia a vnútorného stavu robota, robot nemusí byť schopný zvládnuť požadované úlohy. Vlastnosti jednotlivých snímačov predurčujú snímače na použitie v rôznych prostrediach a pre rôzne roboty. V súčasnosti neexistujú žiadne štandardy pre robotické snímače, preto nie je možné snímače ľubovoľne meniť medzi robotmi.

Dôležité je roboty vybaviť aj odpovedajúcim softvérovým vybavením pre spracovanie údajov zo snímačov. V súčasnosti sa vyžaduje prítomnosť človeka na vyhodnotenie údajov zo záchranárskeho robota. Človek je však limitovaný fyziologickými faktormi, obvykle malými zornými poľami snímačov a únavou. Navyše výstupy z niektorých snímačov môžu byť pre človeka neintuitívne. Práve preto sa v súčasnosti vyvíjajú systémy spolupráce človek - počítač, ktoré by umožnili operátorom lepšie vnímať situácie v prostredí.

**Napájanie.** Veľkosť a váha zdroja napájania sú dôležité z hľadiska splnenia záchranárskej úlohy robotom. Nemenej dôležitou problematikou je aj umiestnenie napájacieho zdroja. Platí, že batérie by mali byť umiestnené tak, aby maximalizovali stabilitu robota, ale ich výmena by nemala dlho trvať a nemala by si vyžadovať špeciálne nástroje.

**Interakcia robot - človek.** Záchranárske roboty sú súčasťou systémov orientovaných na človeka. Aj keď sú v mnohých prípadoch autonómne, operátor má možnosť vidieť informácie v reálnom čase, prípadne zadať robotu nové úlohy. Existujú štyri kľúčové problémy pri riešení rozhrania robot - človek. Prvým je pomer príkazov operátora k robotu. Aktuálne záchranársky robot vyžaduje dvoch alebo troch operátorov pre bezpečnú prevádzku.

Druhým problémom je, že operátori musia byť trénovaní na obsluhu robota. Tretí predstavujú samotné rozhranie robot - operátor, ktoré nemusí poskytovať všetky potrebné informácie. Zlepšením rozhraní možno dosiahnuť aj menšie nároky na tréning operátorov. Vo všeobecnosti sa za dobré rozhranie považuje také, ktoré umožňuje robotu posilať vstupy, teda príkazy, a poskytuje tri typy informácií, teda výstupy: výhľad robota (napr. výstup z kamery doplnený o informácie zlepšujúce pohľad na situáciu), stav robota a snímačov (kritické informácie o vnútornom stave robota a jeho vonkajších snímačov) a mapa prostredia.

Posledným kľúčovým problémom je tzv. emocionálna robotika. Robot pri záchrane ľudí



nekomunikuje len s operátorom, ale aj so zachraňovanými a mal by na tieto situácie vedieť adekvátne reagovať. Ideálne by mal záchranársky robot interagovať so zachraňovanými ľuďmi a poskytovať im starostlivosť a komfort. Robot však môže byť nasadený aj ako člen záchranárskeho tímu a mal by vedieť spolupracovať s ostatnými záchranármi. Štúdie ukazujú, že roboty sú považované za strašidelné a neprospešné na základe výzoru a pohybov robota. Preto sa ukazuje dôležité spolupracovať v tejto oblasti aj s dizajnérmami.

**Hodnotenie robotov.** Hodnotenie výkonov záchranárskych robotov je stále problematické. Roboty existujú na rôznych platformách a navyše aj katastrofy sa svojim charakterom výrazne odlišujú. Roboty nie je možné hodnotiť ani na základe počtu zachránených ľudí, pretože často sú nasadené do oblasti, kde sa žiadni ľudia nenachádzajú.

## Podakovanie

Článok vznikol vďaka podpore Programu na podporu mladých výskumníkov a v rámci projektu Riadenie servisného robota.

## Literatúra

1. A. Davis: Urban search and rescue robots: from tragedy to technology. *Intelligent Systems, IEEE*, March-April 2002, Volume: 17 Issue:2, pp. 81 - 83. ISSN: 1541-1672.
2. J. A. Barbera, M. D. Facep, C. DeAtley, A. G. Macintyre, D. H. Perks: Medical Aspects of Urban Search and Rescue. *Fire Engineering* 148, pp. 88-92. Dostupné z: <http://www.fireengineering.com/articles/print/volume-148/issue-11/features/medical-aspects-of-urban-search-and-rescue.html>
3. R. R. Murphy, E. Steimle, C. Griffin, C. Cullins, M. Hall, K. Pratt: Cooperative Use of Unmanned Sea Surface and Micro Aerial Vehicles at Hurricane Wilma. *Journal of Field Robotics*, 25(3), 2008, pp. 164-180. DOI: 10.1002/rob.20235.
4. J. Casper, R. R. Murphy: Human-Robot Interactions During the Robot-Assisted Urban Search and Rescue Response at World Trade Center. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics, Cybernetics*, vol. 33, no. 3, 2003, pp. 367-385. DOI: 10.1109/TSMCB.2003.811794.
5. F. Matsuno, S. Tadokoro: Rescue Robots and Systems in Japan. *Robotics and Biomimetics*, 2004. ROBIO 2004. IEEE International Conference on, 22-26 Aug. 2004, pp. 12-20. ISBN: 0-7803-8614-8.
6. A. Birk, S. Carpin: Rescue Robotics - a crucial milestone on the road to autonomous systems. *Advanced Robotics*, Volume 20, Number 5, 2006, pp. 595-605.
7. T. Fincannon, L. E. Barnes, R. R. Murphy, D. L. Riddle: Evidence of the need for social intelligence in rescue robots. *Intelligent Robots and Systems*, 2004, 28 Sept.-2 Oct. 2004, pp. 1089 - 1095. ISBN: 0-7803-8463-6.
8. R. R. Murphy, J. Carlson: How UGVs physically fail in the field. *IEEE Transactions on Robotics*, Vol. 21, Issue 3, June 2005, pp. 423-437. ISSN: 1552-3098.
9. I. R. Nourbakhsh, K. Sycara, M. Koes, M. Yong, M. Lewis, S. Burion: Human-Robot Teaming for Search and Rescue. *Pervasive computing*, January - March 2005, pp. 72-78. ISSN: 1536-1268.
10. V. Kumar, D. Rus, S. Singh: Robot and Sensor Networks for First Responders. *Pervasive computing*, October - December 2004, pp. 24-33. ISSN: 1536-1268.

11. A. Ikeuchi, T. Takamori, S. Kobayashi, M. Takashima, S. Takashima, M. Yamada: Development of Mobile Robots for Search and Rescue Operation Systems. Springer Tracts in Advanced Robotics, 2006, Volume 24/2006, pp. 519-528. DOI: 10.1007/10991459\_50.
12. I. Erkmen, A. M. Erkmen, F. Matsuno, R. Chatterjee, T. Kamegawa: Snake robots to the rescue! Robotics & Automation Magazine, Sep 2002, Vol. 9 Issue 3, pp. 17 - 25. ISSN: 1070-9932.
13. Ľ. Miková, M. Kelemen, T. Kelemenová: Four wheels inspection robot with differential wheels control. Acta Mechanica Slovaca, roč. 12, č. 3-B (2008), pp. 548-558. ISSN: 1335-2393.
14. R. König, M. Kelemen: Inšpekčný robot GTR2006. Strojárstvo, roč. 10, č. 10 (2006), pp. 60-61. ISSN: 1335-2938.
15. R. König, M. Kelemen: Robot pre inšpekciu rozmerovo obmedzených priestorov. AT&P journal Plus, č. 2 (2006), pp. 78-82. ISSN: 1336-5010.

---

Spoluautormi článku sú Martin Dekan a Marian Klúčik, ÚRPI FEI STU v Bratislave

---