

Koordinácia skupiny mobilných robotov s využitím biologicky inšpirovaných metód

Relatívne nový smer v oblasti výskumu a vývoja mobilných robotických systémov je tzv. swarm robotika. Názov je odvodený z anglického slova *swarm* – roj, krdel' – a poukazuje na princípy kolektívneho správania spoločenstva jedincov v prírode, napr. krdla vtákov, roja včiel či húfov rýb. Táto oblasť robotiky sa zameriava na výskum koordinácie a kooperácie v rámci skupiny mobilných robotov, pričom výsledné správanie celej skupiny vzniká emergenciou jednoduchého správania jednotlivých členov skupiny, ich vzájomnou interakciou a interakciou robotov s prostredím. Väčšinou ide o homogénnu skupinu relatívne malých mobilných robotov (UAV – z angl. Unmanned Aerial Vehicle, AGV – Automated Guided Vehicle a pod.), ktorých pohyb je navzájom koordinovaný.

Hoci sa v súčasnosti týmto prístupom zaoberá veľa výskumných pracovísk, stále neexistuje dostatočne zrelé riešenie, ktoré by bolo možné použiť v praxi. Pritom možnosti na praktické využitie takehoto prístupu sa naskytá veľmi veľa. Ide najmä o úlohy monitorovania a prehľadávania rozsiahlych území, odľahlých oblastí, strategických objektov a podobne. Koordinovaná skupina mobilných robotov by sa dala využiť aj na vyhľadávanie zranených po prírodných katastrofách a všade tam, kde je nebezpečné, resp. nemožné, použiť na plnenie úloh ľudí.

K riadeniu skupiny robotov sa dá pristupovať dvoma spôsobmi. Prvým spôsobom je centralizované riadenie, kde má skupina hierarchické usporiadanie a každý člen skupiny má predpísané správanie. Druhý spôsob je založený na tom, že jednotlivé členy skupiny sú autonómne a zároveň svoju činnosť koordinujú s ostatnými členmi skupiny na základe spoločne využívaných informácií, napríklad vo forme spoločnej mapy. Prvý prístup nie je vhodné použiť napríklad pri hľadaní strategických objektov, kde je nežiaduce, aby sa roboty pohybovali po vopred určených trasách. Takéto správanie je ľahko odpozorovateľné, a preto z bezpečnostného hľadiska nepostačujúce. Práve pre takéto prípady je vhodné použiť skupinu autonómnych agentov s minimálnou vzájomnou komunikáciou. Na koordináciu skupiny autonómnych agentov preto navrhujeme distribuované algoritmy z oblasti tzv. kolektívnej inteligencie. Cieľom je vytvoriť decentralizovaný systém pozostávajúci z autonómnych entít schopných samostatnej cieľavedomej činnosti, pričom správanie jednotlivých elementov je silne podmienené faktom, že ide o prvok celku a nie samostatný akčný člen. S využitím toho možno dosiahnuť inteligentné správanie na úrovni skupiny, ktoré svojimi možnosťami presahuje hranice možností jednotlivých prvkov.

Úloha riadenia

V tomto článku predstavujeme použitie skupiny autonómnych mobilných robotov na prvotné preskúmanie neznámej oblasti (vytvorenie mapy) a následne na jej monitorovanie. Každý z mobilných agentov je vybavený senzormi, ktorými vníma svoje najbližšie okolie. Na splnenie prvej časti úlohy (prehľadanie oblasti) je nutné, aby bola celá oblasť postupne preskúmaná senzormi robotov. Následne je úlohou riadenia zabezpečiť rovnomerné monitorovanie všetkých oblastí. Pri riadení sa snažíme aj o minimalizáciu prekrývania prehľadávania, t. j. aby nedochádzalo k viacnásobnému prehľadávaniu tých istých oblastí v krátkom časovom rozpätí, čím sa optimalizuje práca celej skupiny mobilných agentov.

V oblasti umelej inteligencie sa často používajú algoritmy, ktorých základné pravidlá a princípy sú čiastočne odvodené zo vzoru správania zvierat, mravcov, včiel atď. Algoritmy motivované biologickými systémami bývajú zvyčajne pomenované podľa prirodzeného systému, ktorý bol inšpiráciou pre ich vývoj^[1]. Ide napríklad o optimalizáciu pomocou virtuálnej mravčej kolónie (angl. ACO – Ant Colony Optimization)^[2] alebo vyhľadávanie pomocou včelieho algoritmu (angl. Bee Algorithm). Ďalším takýmto príkladom je práca Reynoldsa z roku 1987^[3], v ktorej navrhol simuláciu krdla umelých vtákov. Jednotlivé vtáky v krdli sa riadili jednoduchými pravidlami. Výsledné správanie celého krdla vzniklo emergenciou z jednoduchého správania všetkých jednotlivcov v skupine.

Naše riešenie využíva kombináciu modifikovanej PSO metódy (angl. Particle Swarm Optimization) a metódu optimalizácie pomocou mravčej kolónie (ACO)^[4].

PSO je metóda z roku 1995, vyvinutá na hľadanie optimálneho riešenia v priestore možných riešení^[5]. Pôvodným zámerom bolo vytvorenie simulácie správania sa vtákov v krdli, no po čase sa zistilo, že navrhovaná metóda je prakticky optimalizačný algoritmus. Jeho podstatou je pohyb virtuálnych častíc, riadený tromi silami: zotrvačnosťou, kognitívnou zložkou a sociálnou zložkou. Pohyb každej častice v n -rozmernom priestore je v každej iterácii vypočítaný ako vektorový súčet týchto síl. Zotrvačnosť (angl. momentum) núti časticu pohybovať sa v doterajšom smere, kognitívna zložka pôsobí v smere najlepšieho riešenia, ktoré daná častica doposiaľ našla, a sociálna zložka pôsobí v smere najlepšieho riešenia, ktoré bolo doposiaľ dosiahnuté v rámci celej populácie častíc.

Z metódy ACO sme prebrali princíp stygmergie^[6]. Tento princíp, známy z biológie, využívajú mravce pri označovaní svojich ciest. Tie počas svojho pohybu rozmiestňujú pachové značky (feromóny), ktoré cítia ostatné mravce a sú tak schopné nasledovať označenú trasu.



Obr. 1 Grafické znázornenie matematického princípu. Robot uprostred (hnedý bod) je odpudzovaný od dvoch robotov, ktoré sú v tzv. zóne odpudzovania (vnútorná kružnica), a priťahovaný k robotom, ktoré sú v zóne priťahovania (vonkajšia kružnica). Na výpočet týchto síl je použité geometrické ťažisko pozícií robotov v dvojrozmernom priestore (čierny bod medzi robotmi). Keďže robot sa má od robotov v zóne odpudzovania vzdalovať, k čiernemu vektoru je vypočítaný vektor opačný (zelený vektor). Modrý vektor určuje polohu najvyššej feromónovej značky v okolí robota, určujúcej najdlhšie nepreskúmaný bod jeho aktuálneho okolia.

Pôvodnú metódu PSO sme modifikovali a využívame tak, že virtuálna častica v priestore možných riešení je symbolickou reprezentáciou skutočného mobilného robota v reálnom priestore. V našom prípade sú sily pôsobiace na časticu definované takto. Častica je odpudzovaná od častíc, ktoré sú príliš blízko (aby sa zabránilo kolízií robotov), a priťahovaná k časticiam, ktoré sú vo vymedzenej vonkajšej zóne – aby sa udržala celistvosť skupiny. Princíp stygmergie sme modifikovali tak, že virtuálne varianty feromónových značiek sú rozmiestňované v prehľadávanom priestore a pridávajú ďalší vektor, ktorý ovplyvňuje pohyb častíc, a teda aj roboty. Plnia však inverznú funkciu ako v prípade skutočných mravcov, pretože roboty od preskúmaných oblastí odpudzujú. Ide vlastne o abstraktný model, kde je pohyb robota v reálnom priestore vypočítaný na základe spomínaných síl pôsobiacich na virtuálnu časticu reprezentujúcu robota v priestore virtuálnom.

Mobilné roboty sú teda priťahované do priestoru, ktorý je nepreskúmaný, a pri monitorovaní do priestoru, ktorý bol neprehľadný najdlhšie.

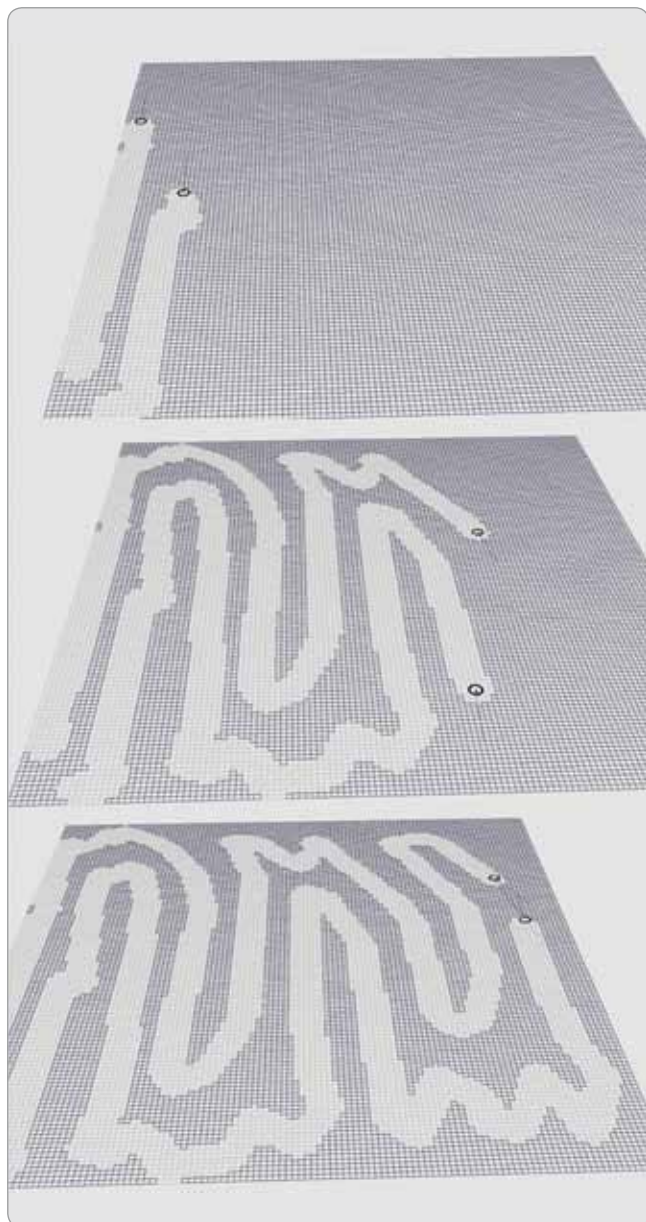
Postup robota sa v každom kroku počíta na základe nasledujúceho vzťahu:

$$\vec{v}_{id}(t+1) = c_1 * (\vec{p}_{ap}(t) - \vec{x}_{id}(t)) + c_2 * (\vec{p}_{c1}(t) - \vec{x}_{id}(t)) + c_3 * (\vec{p}_{c2}(t) - \vec{x}_{id}(t)),$$

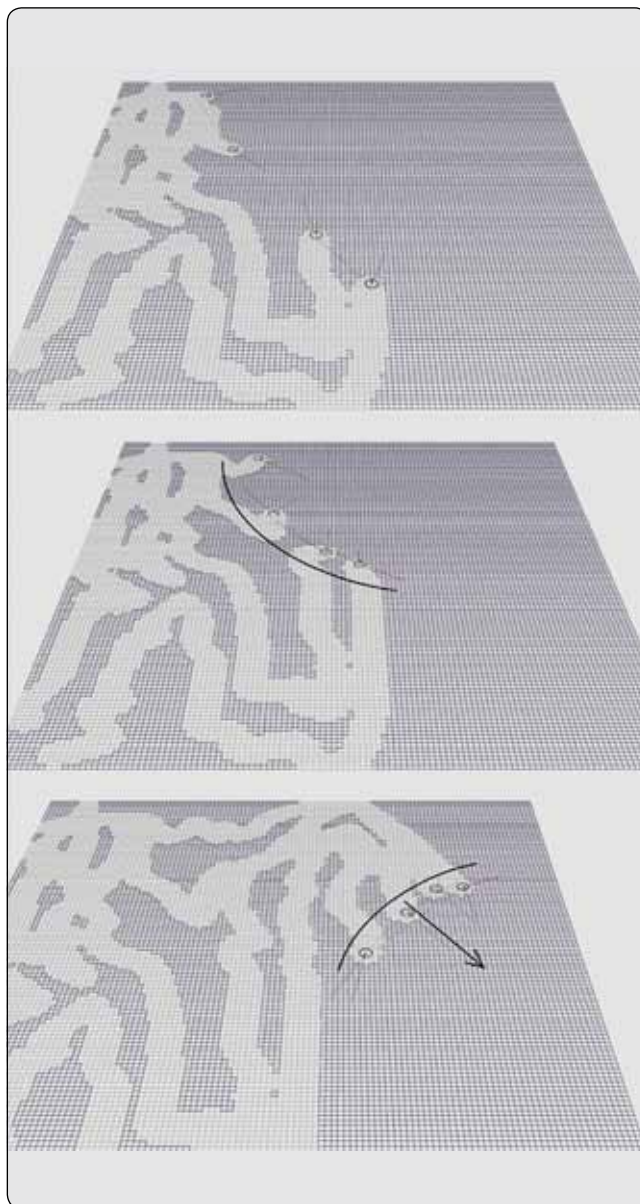
kde \vec{x}_{id} označuje pozíciu mobilného agenta a c_1, c_2, c_3 sú váhy jednotlivých vektorov. Výsledný pohyb robota sa následne vypočíta ako súčet vektora \vec{v}_{id} a vektora určujúceho aktuálnu polohu robota. Vhodným nastavením váh sa docieli rôzne správanie celej skupiny. Napríklad posilnením sociálnej zložky sa docieli silnejšia väzba vo formácii, zvýšením vplyvu feromónových značiek a kognitívnej zložky sa dosiahne zasa väčšia disperzia robotov v priestore.

Simulačné experimenty na robotoch Lego

Na simuláciu sme v jazyku C++ a s využitím knižníc OpenGL vyvinuli simulačný nástroj VERA, ktorý umožňuje vizualizovať činnosť robotov v dvojrozmernom priestore.



Obr. 2 Proces prehľadávania priestoru a tvorby mapy s použitím dvoch robotov



Obr. 3 Ukážka emergentného správania – roboty postupujú v línii, pričom toto správanie vzniklo spontánne.

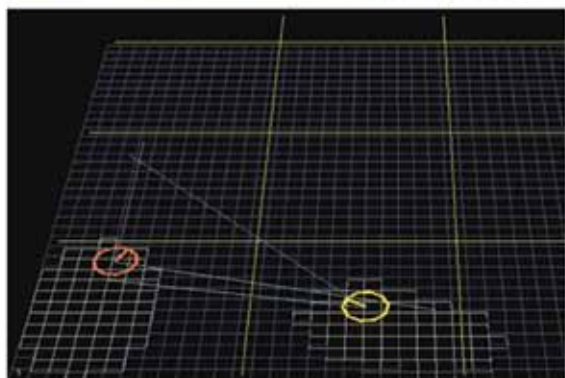
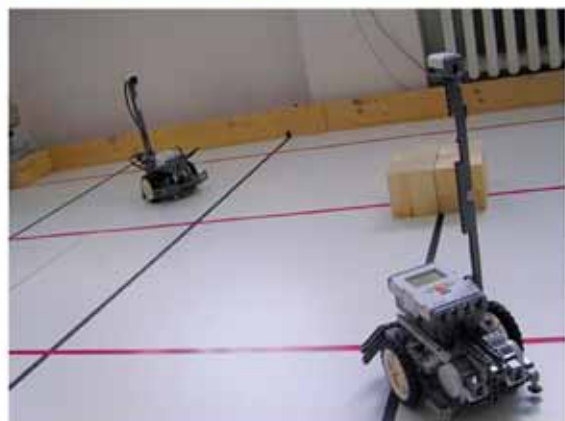
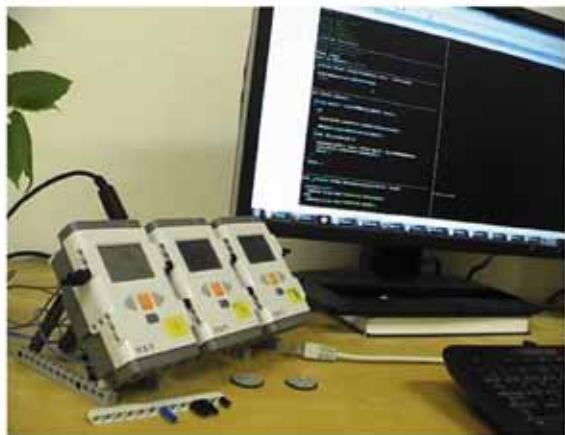
Závery a ďalší vývoj

Na základe simulácií a experimentov so skutočnými robotmi môžeme predpokladať, že testované princípy môžu byť efektívne aplikované na roboty, ktoré majú plniť úlohy monitorovania a stráženia priestoru. Opísané riešenie má viacero výhod v porovnaní s klasickými postupmi. Z nich najvýznamnejšie sú: odolnosť (zlyhanie jedného robota nevedie k zlyhaniu systému), flexibilita (odlišným nastavením parametrov sa dosiahnu rôzne druhy správania celej skupiny), platformová nezávislosť a predovšetkým možnosť distribuovaného riadenia jednotlivých akčných členov – robotov.

Poďakovanie: Výskum je podporovaný vedeckou grantovou agentúrou APVV v rámci projektu BioMRCS, číslo APVV 0261-10.

Referencie

- [1] Hereford, J. M. – Siebold, M. A.: Bio-inspired search strategies for robot swarms. Swarm Robotics From Biology to Robotics. Ester Martinez Martin (ed.). InTech 2010. ISBN 978-953-307-075-9.
- [2] Dorigo, M. – Stutzle, T.: Ant Colony Optimization. MIT Press 2004. ISBN 0-262-04219-3.
- [3] Reynolds, C. W.: Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model, Computer Graphics, 21(4), 1987, p. 25 – 34. ISBN 0-89791-227-6.



Obr. 4 Simulačný nástroj VERA zbiera dáta z reálnych robotov a vizualizuje ich v trojrozmernom modeli priestoru.

- [4] Masár, M. – Zelenka, J.: Modification of PSO algorithm for the purpose of space exploration. In: SAMI 2012: proceedings. - Piscataway: IEEE. p. 223 – 226. ISBN 978-1-4577-0195-5.
- [5] Kennedy, J. – Eberhart, R.: A new optimizer using particle swarm theory. Proceedings of the IEEE Sixth International Symposium on Micro machine and Human Science, 1995, p. 39 – 43. ISBN 0-7803-2676-8.
- [6] Kalivarapu, V. – Winer, E.: Implementation of Digital Pheromones in Particle Swarm Optimization for Constrained Optimization Problems, 49th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference, Schaumburg, IL, 2008.

Ivana Budinská

budinska@savba.sk

Marek Masár

marek.masar@savba.sk

Ústav informatiky SAV
Dúbravská cesta 9, 845 07 Bratislava