

Vývoj v riadení robotických systémov – swarm systémy

Radko Biľ, Miroslav Dovica, Peter Kaťuch

Abstrakt

Riadenie a tvorba robotov sa v poslednej dobe stáva objektom intenzívneho záujmu. Pre študovanie rozličných prístupov riadenia a navigácie robotov sa používajú rôzne inžinierske prístupy. Väčšina úsilia sa venuje vývinu samostatného inteligentného správania robotov, špeciálne keď sa tento nachádza v neznámom prostredí. Tento príspevok sa venuje jednotlivým druhom riadenia od tých najjednoduchších až po swarm systémy. Práve táto technológia je v súčasnosti veľmi obľúbená a preto v závere tohto článku sa detailnejšie venujem tvorba swarm systémov.

Kľúčové slová : robot, swarm, software, simulácia

Úvod

Robot je zvyčajne elektromechanický stroj, ktorý je schopný vnímať svoje okolie a to zároveň aj ovplyvňovať. Mobilný robot je taký robot, ktorý sa dokáže presúvať v priestore. Mobilný robot môže mať rozdielnu mieru autonómie od tele-operovaného až po plne autonómneho.

Tele-operovaný mobilný robot vykonáva len príkazy ľudského operátora. Robot môže byť ovládaný úplne (podobne ako autíčko na vysielačku) alebo môžu byť niektoré činnosti čiastočne autonómne. Takýto robot býva označovaný ako semiautonómny. Plne autonómny robot je schopný činnosti úplne bez ľudského zásahu prípadne je činnosť ľudského operátora obmedzená na zadávanie cieľov robota, ktorý sám volí najlepší spôsob dosiahnutia zadaného cieľa. V Nasledujúcich častiach budem pod pojmom mobilný robot rozumieť plne autonómny mobilný robot. Tam, kde by hrozila zámena explicitne uvediem, akú mieru autonómie robot má.

1. Kinematika

Mobilný robot môže k presunu využiť rôzne kinematické modely pohybu v závislosti na prostredí, v ktorom sa má pohybovať. Pre pohyb na pevnej zemi sa najčastejšie používajú kolesové roboty. Koleso má oproti iným spôsobom pohybu jednoznačne najlepšiu účinnosť. Pre náročnejšie prostredia, sa dajú využiť pásovité roboty.

Kolesové roboty môžeme ďalej deliť, podľa usporiadania kolies a ich osí na holomické a neholomické. Holonomický robot má riaditeľný rovnaký alebo väčší počet stupňov voľnosti ako je celkový počet generalizovaných súradníc nutných k popisu polohy robota. Typickým príkladom neholonomického robota je automobil, ktorý nie je schopný kontrolovať pohyb v smere kolmom na pozdĺžnu os automobilu. Holonomický robot je vozík vybavený vše smerovými kolesami, ktorý sa môže kontrolované pohybovať v ľubovoľnom smere rovnako tak ako aj otáčať.

Kráčajúce roboty napodobňujú prírodu a snažia sa pohybovať podobne, ako hmyz alebo cicavce. teda po dvoch alebo viac končatinách. Aby bol vôbec pohyb možný, je nutné, aby každá končatina disponovala aspoň dvoma stupňami voľnosti, (najčastejšie zdvih a pootočenie). U kráčajúcich robotov môžeme definovať dva typy pohybu: statickú chôdzu a dynamickú chôdzu. Pri statickej chôdzi je robot v každom

okamžiku v statickej pozícii. U štyri a viacnohých robotov. Pri dynamickej chôdzi sa robot v niektorých fázach pohybu dostáva do nestabilnej polohy, napr. sa nedotýka podlažky vôbec. Príkladom takéhoto pohybu je beh alebo skákanie. Výhodou dynamickej chôdze je možnosť dosiahnutia vyšších rýchlostí, než u chôdze statickej. Nevýhodou je rádo vyššia náročnosť na riadenie takéhoto stroja a nemožnosť zastaviť pohyb v každom okamžiku pohybu.

Pre vzdušný priestor sa využívajú lietajúce roboty. Najčastejšie sa jedná o bez pilotove lietadla (UAV). Ale aj lietadlo s pilotom sa dá považovať za tele-operovaný robot. Často sa využívajú pre robotické účely helikoptéry, u ktorých sa s výhodou využívajú ich schopnosti zostať „na mieste“. Využívajú sa aj robotické vzducholode, ktoré umožňujú výrazne znížiť hluk pri činnosti robota.

Pre pohyb vo vodnom prostredí sa využívajú najčastejšie robotické ponorky. Pohon v tomto prípade obstaráva lodná skrutka. Zaujímavou alternatívou je pohyb robota napodobňujúci pohyb rýb. Ako hlavná motivácia slúži výskum rýb, kde robot napodobňuje rybí pohyb nenarušuje prirodzené chovanie sledovaných rýb. Plánuje sa aj nasadzovanie takýchto robotov v rybolovu, kde robot plávajúci so stádom rýb predáva svoju polohu na rybárskou loď.

2. Riadiaca architektúra

Mobilné roboty môžeme ďalej deliť podľa riadiacej architektúry. Riadiaca architektúra určuje ako robot plánuje svoje akcie na základe vstupov. Týmito vstupmi sú väčšinou údaje zo senzorov sprostredkujúce informácie o okolí aj o vnútorných stavoch robota.

Reaktívna architektúra

Reaktívna riadiaca architektúra je príkladom dekompozície zdola nahor. Sú definované základné moduly robotov predstavujúce najnižšie chovanie robotov. Z týchto modulov sú postupne (zospodu) zostavované zložitejšie štruktúry chovania. Celý prístup je orientovaný na chovanie robotov (behavior based). Jednotlivé moduly majú priamy prístup k senzorickým dátam a výsledné chovanie je dané poskladáním výstupných modulov. Prostredie nie je vôbec alebo len veľmi hrubo modelované. Prostredie samo o sebe slúži ako svoj model a sú preto v najvyššej možnej miere využívané

priamo senzoričné údaje. Paradigma tom reaktívnej architektúry je reťazec sense – act (vnímaj a konaj). Typickým usporiadaním u reaktívnej architektúry je jeden senzor pre každé uvažované chovanie. Ako príklad uveďme úlohu sledovania čiary. Potom môžeme povedať, že jeden senzor farby na ľavej strane robota má na starosti zatáčanie doľava a druhý senzor na pravej strane ovláda zatáčanie doprava. Výsledné chovanie je dané súčtom týchto dvoch vplyvov. Reaktívna architektúra je výhodná hlavne pre jednoduchšie úlohy. Jej výhodou je vysoký stupeň robustnosti a necitlivosti na nepredpokladané zmeny prostredia. Svoju neoceniteľnú rolu hra vo vysoko dynamickom prostredí. Jednotlivé moduly majú vysoký stupeň znovu použiteľnosti. Nevýhodou reaktívneho prístupu je práve neprítomnosť modelu prostredia a teda možnosť uviaznutia v lokálnom extrému riadiacej funkcie. Na mnohé úlohy robotiky sa reaktívny prístup vôbec nedá použiť.

Funkčná dekompozícia

Funkčná dekompozícia je klasickým prístupom dekompozície zhora nadol. Návrh postupuje postupným delením zložitejších úloh na jednoduchšie pod úlohy. Jednotlivé moduly riešiace rozložené pod úlohy sú reťazec nasledujúce po sebe, keď nasledujúci modul využíva výstup z predchádzajúceho. Výsledná akcia ovplyvňuje priamo len posledný modul v reťazci. Prostredie je modelované na rôznych stupňoch abstrakcie. Jednotlivé moduly teda nepracujú priamo so senzoričnými dátami, ale pracujú s modelom, ktorý vytvára predchádzajúci modul. Paradigma tom funkčnej dekompozície je reťazec sense – plan – act (vnímaj, plánuj a konaj). Ak sa pridržime predchádzajúceho príkladu sledovania čiary, potom robot najprv pomocou senzorov, napríklad kamery, vytvorí model sveta (čiary). Na základe tohto modelu vytvorí plán (časový priebeh rýchlosti) a tento plán potom vykonáva. Výhodou funkčnej dekompozície je schopnosť riešiť aj tie najkomplexnejšie úlohy. K riešeniu je možné využiť klasické algoritmy umelej inteligencie, matematiky, teórie grafov apod. Nevýhodou je distribúcia chyb. Chyba v jednom module ovplyvní všetky nasledujúce moduly. Systém sa taktiež obvykle nedokáže prispôbiť situáciám, na ktoré nebol pripravený. Na jednoduchom príklade nasledovania čiary môžeme čiastočne demonštrovať výhody a nevýhody oboch prístupov. Jednoduchosť úlohy zvyhodňuje reaktívny systém, výhody funkčnej dekompozície sa uplatňujú predovšetkým u zložitejších úloh.

U reaktívneho prístupu je robot schopný sledovať čiaru po akomkoľvek povrchu, prípadná križovatka nebude mať na jeho chovanie takmer žiadny vplyv, aj napriek tomu, že v návrhu s existenciou križovatky sa nepočítalo. Na druhej strane nemusí byť schopný prejsť veľmi ostré zatáčky a jeho pohyb určite nebude optimálny. Ak bude čiara prerušená, robot sa stratí. Funkčnej dekompozície budeme klásť na povrch určité požiadavky aby bolo možné vytvoriť model. Ak nebude pri návrhu sa uvažovať s existenciou križovatiek, môžu tie spôsobiť zlyhanie systému. Na druhej strane, je možné naplánovať globálne optimálnu trajektóriu, ktorá nemusí kopírovať čiaru v miestach, ktoré sú pre robota neprejazdné. Vďaka modelu je možné rekonštruovať chýbajúce časti čiary a sledovať jej fiktívnu polohu. Odstrániť nedostatky a využiť prednosti oboch sa snaží hybridná architektúra. Väčšina reálne používaných systémov využíva hybridný prístup. Pri riešení zložitých úloh je možné takéto úlohy dekomponovať a niektoré časti riešiť reaktívne, a zároveň niekde využiť model prostredia

3. Multirobotické systémy

Multirobotické systémy využívajú súčinnosť niekoľkých robotov k dosiahnutiu funkcionality presahujúcej schopnosti

jedného robota alebo tam, kde nasadenie viacerých robotov výrazne zníži časovú, energetickú alebo inú náročnosť úlohy. Komunikácia, koordinácia a kooperácia sú kľúčové činnosti multirobotického systému.

Komunikácia je najčastejšie realizovaná rádiovým spojením, či už sa jedná o technológiu wifi, bluetooth, zigBee alebo proprietárne rádiové spojenie. Často sa taktiež používa optická komunikácia (IrDA). Komunikácia samozrejme nemusí byť explicitná a je možné použiť aj komunikáciu založenou na modifikácii spoločného prostredia, najčastejšie použitím značiek. Ako komunikáciu môžeme využiť aj sledovanie chovania ostatných členov tímu. Koordinácia je zaistenie koherentného správania jednotlivcov v skupine. Cieľom koordinácie je zaistiť, aby činnosť jedného člena tímu negatívne neovplyvnila činnosť iného člena. Typickým príkladom koordinovaného chovania je pohyb vo formácii. K zaisteniu koordinácie je potrebná nutne určitá forma komunikácie akokoľvek však nutne komunikácia explicitná. Pre zabezpečenie pohybu vo formácii stačí komunikácia vo forme pozorovania činnosti ostatných. Informácie o pozícii ostatných spolu s niekoľkými málo pravidlami zaručujú koordinované chovanie celej skupiny.

Kooperácia je najvyššia forma skupinového správania. Kooperácia, respektíve spolupráca, je činnosť pri ktorej sa taktiež vyžaduje komunikácia. Pri spolupráci sa dosahujú ciele, ktoré nie sú dosiahnuteľné jedným robotom. Takéto činnosti môžu byť napríklad spolupráca pri presune veľkého predmetu, ktorý jeden robot nie je schopný pohnúť. V multirobotických systémoch nemusí byť kooperácia prítomná. K dosiahnutiu skupinového správania multirobotického systému sa využívajú dva základné prístupy centralizovaný a distribuovaný.

Centralizovaný prístup

Centralizovaný prístup je výhodný hlavne pri návrhu riešení. Existuje v ňom ako centrálny prvok, ktorý zaručuje komunikáciu, koordináciu a prípadne kooperáciu a ktorý má prístup k informáciám od všetkých členov tímu. To je zároveň aj nevýhoda centrálného prístupu. Tento centrálny prvok je úzkym hrdlom celého systému. Pokiaľ centrálny prvok prestáva fungovať, alebo je len komunikačne nedostupný, prestávajú fungovať všetky prvky systému.

Distribuovaný prístup

Distribuovaný prístup riešenia problému rozprestiera na všetky členy tímu. V prípade zlyhania ľubovoľného prvku systému je zvyšok systému schopný činnosti. Rovnako tak prerušenie komunikácie nenarušuje činnosť systému tak výrazne. Multiagentný prístup je jedným z distribuovaných systémov riadenia skupiny robotov. Rozdeľovanie úloh, koordinácie a kooperácie je riešenie pomocou vyjednávania. Každý agent má svoje individuálne ciele a schopnosti. Tieto schopnosti ponúkajú ostatným a naopak ostatných využíva k riešeniu svojich individuálnych cieľov. Typickým mechanizmom je aukcia a vyjednávanie. Rojová robotika (swarm robotics) je distribuovaný prístup založený na interakcii veľkého množstva veľmi jednoduchých jedincov. Inšpiráciu čerpá zo sociálneho prostredia hmyzu akými sú mravce, termity osy apod. Zložitejšie chovanie pozostáva z interakcie medzi jedincami (emergence behavior). Veľmi často je využívaná nepriama komunikácia prostredníctvom modifikácie prostredia. Prostredie sa v takomto prípade stáva nedeliteľnou súčasťou riadiaceho procesu.

Hybridné tímy

Zaujímavou oblasťou mobilnej robotiky sú hybridné tímy. Členovia tímu sú mobilné roboty spolu s ľuďmi. Metódy

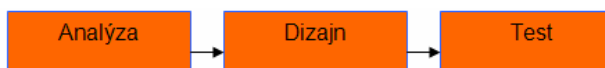
riadenia takéhoto tímu sa výrazne odlišuje od riadenia čisto robotického tímu. Výzvou v hybridnom tíme je hlavne zdieľanie znalostí medzi ľuďmi a strojmi. Jak sprostredkovať informácie robotom ľuďom a opačne. Ľudia a roboty potrebujú odlišné reprezentácie znalostí k tomu, aby s nimi boli schopný pracovať.

Pri prevádzaní informácii od robotov k ľuďom sa spolupracuje aj s psychologou, aby bolo dosiahnuté optimálne predávanie informácii. Informácie je potrebné filtrovať a usporadúvať tak, aby človek bol schopný prijímať a spracovať čo možno najviac relevantných informácií s čo možná najmenšou záťažou. Obrátený postup je rovnako náročný. Človek musí byť schopný predávať svoje znalosti a informácie robotom. Opäť je potrebné navrhnuť spôsob predávania informácii tak, aby pre ľudí bol jednoduchý a pohodlný

4. Swarm

Jedna z najdôležitejších otázok swarm technológie je hodnovernosť. SWARM je jeden komplexný decentralizovaný systém navrhnutý podľa správania roja, ktorý vyhovuje normám a analýzám. Hovoríme že máme hodnoverný swarm ak systém sa dokáže správne zachovať aj v kritických situáciách to znamená udrží si svoju stabilitu. Swarm nie je štandardizovaný, čo pre nás znamená že táto technológia je stále vo fáze vývoja, riadenia, konštrukcie a analýz.

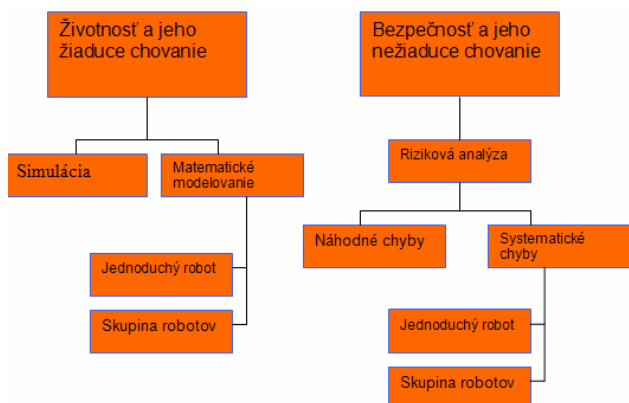
Tvorba swarm systémov



Obr.1 Postup pri tvorbe swarm systémov
Fig.1 The practice for swarm system creation

Swarm technológia je veľmi odlišná od všetkých starších technológií, nesnažíme sa vytvárať komplikované stroje s jednoduchým riadením, ale extrémne jednoduché stroje ktoré samostatne nedokážu zvládnuť skoro žiadnu úlohu ale spoločne vytvárajú funkčný komplex schopný prispôbiť sa akejkoľvek situácii a splniť akúkoľvek úlohu. Systém je dynamický, často až chaotický, ale takýto prístup sa ukazuje efektívnejší. Swarm systém nepreberá informácie ako splniť úlohu, ale len čo je úlohou.

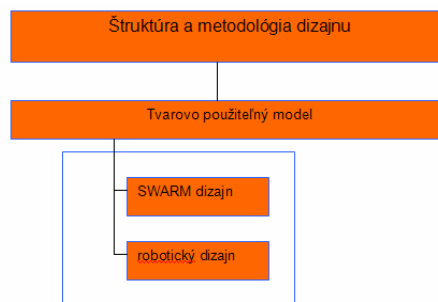
Analýza



Obr.2 Postup pri analýze
Fig.2 The practice for swarm analyze

Dizajn

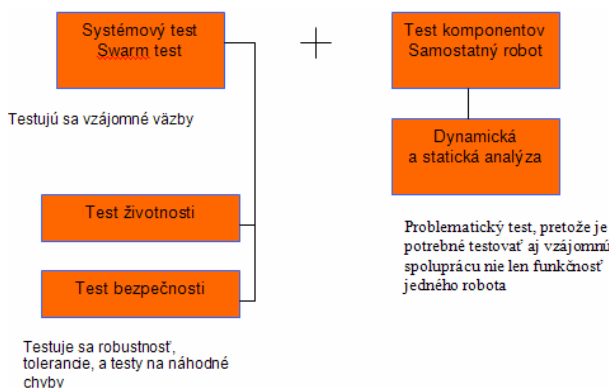
Swarm dizajn je trochu problematický, pretože nie sú vytvorené žiadne prístupy k tvorbe dizajnu, teoretický potrebujeme len množstvo jednoduchých jedincov, ktorý budú tvoriť roj. Títo jednotlivci sú súčasťou robotického návrhu čo znamená, že robotický dizajn a swarm dizajn sú úzko prepojené.



Obr.3 Postup pri tvorbe dizajnu
Fig.3 The practice for swarm design

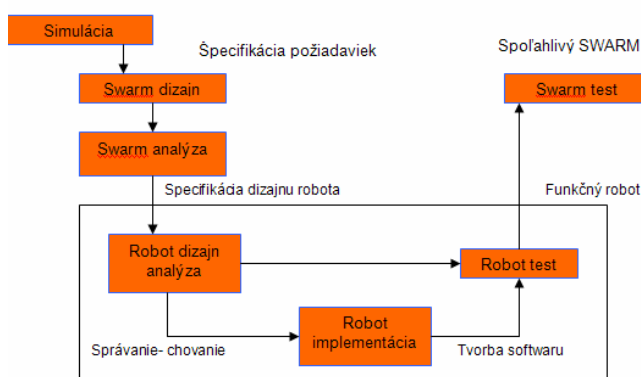
Test

Testovanie prebieha vo viacerých fázach, v každej fáze sa testujú iné komponenty či už sa to týka softwarových, alebo hardwarových. Záverečný test spája ich funkcionálnu dokopy, ako komunikujú spolupracujú a s akou úspešnosťou sa darí spĺňať zadaný cieľ.



Obr.4 postup pri testovaní swarm systému
Fig.4 The practice for swarm system test

Štruktúrovaná tvora swarm systémov



Obr.5 Tvorba swarm systému (detail)
Fig.5 The practice for swarm system creation (detail)

6. Lokalizácia

Každý mobilný robot rieši základné otázky, „Kde som?“, „Kam sa chcem dostať?“ a „Ako sa tam dostanem?“. Aby bol robot schopný si odpovedať na tieto otázky musí byť schopný vnímať svoje prostredie, lokalizovať a plánovať v ňom svoju cestu. K dosiahnutiu skupinového chovania multirobotického systému sú využívané dva základní prístupy centralizovaný a distribuovaný.

Typologická mapa

Typologická mapa je ešte abstraktnejší model prostredia než geometrická mapa. Prostredie je modelované grafom, v ktorom uzly reprezentujú jednotlivé miesta, ktoré sú pre robot určitým spôsobom význačná či zaujímavá. Hrany uzlu reprezentujú spôsob, jak sa robot premiestni z jedného miesta do druhého. Typologické mapy nemusia obsahovať žiadnu z geometrickou informáciou

7. Aplikácie

Najviac aplikácie mobilných robotov nachádzame v priemysle, výskumne a armáde. Všetky tieto prostredia majú spoločnú vlastnosť, že sa v ňom nepohybujú osoby nepoučené o možnostiach daného robota. To znižuje nároky na použitého robota, ktorý nie je nútený sa vyrovnávať s nepredvídateľným chovaním ľudí. V priemysle sa mobilné roboty nasadzujú vo výrobných halách k doprave materiálu. Môžeme nájsť automatické sklady, kde mobilné roboty optimalizujú umiestnenie jednotlivých položiek, automatizovaný rozvoz materiálu k obrábacím strojom apod. Častým dôvodom nasadenia mobilných robotov je v prostredí nebezpečné alebo nevhodné pre človeka, ako sú prevozy s vysokou hladinou hluku, vysokou teplotou, nebezpečnými plynmi apod. Automobilový priemysel využíva značne množstvo robotických prístupov pri vývoji rôznych asistenčných zariadení a uľahčujú šoférovi obsluhu. GPS navigácie, udržovanie odstupu od predchádzajúceho automobilu, sledovania krajnice. Všetky tieto zariadenia sledujú trend vývoja autonómneho automobilu. Paradoxne je pre autonómny automobil najväčší problém človek. Nepredvídateľné reakcie ostatných šoférov a chodcov vytvárajú z projektu autonómneho automobilu náročnú výzvu. Armádne prostredie taktiež nahráva mobilným robotom. Bez pilotné lietadla schopné plniť úlohy v autonómnom alebo tele operovanom režime. Mobilné roboty sa používajú k odstráneniu námorných aj pozemných min, k prieskumu nebezpečných oblastí. Mobilné roboty Sherpa sa používajú k noseniu predmetov ťažko postupným terénom. Tento kráčajúci robot sleduje vojaka rovnako ako pes. Automatické riadenie aut v zásobovacej kolóne prispieva k bezpečnosti vojakov. Stačí riadiť prvé auto kolóny, a ostatné nasledujú autonómne. Výskumné prostredie využíva mobilné roboty všade, kam sa nemôže dostať človek. Mobilné roboty preskúmajú hlbiny oceánu rovnako ako aj hlbiny vesmíru. Diaľkovo riadené ponorky pomáhajú v prieskume vrakov, hlboko morských priekop, pomáhajú sledovať chovanie morských živočíchov bez ovplyvnenia prítomnosti človeka. Pri prieskume Marsu sa tiež využíval mobilný robot. Vzhľadom k časovému one-

skoreniu rádiového signálu musel byť robot vybavený veľkou mierou autonómie. Vedci zadávali ciele, ktoré ich zajímali, ale robot sám vyberal najlepšiu cestu k dosiahnutiu cieľa. Do vedeckého oboru taktiež môžeme zaradiť súťaže ako je Grand Challenge alebo robotický futbal. Takéto súťaže pomáhajú urýchľovať vývoj robotickej vedy. A nejedná sa len o takéto veľké súťaže. Nezabúdajme ani na využitie mobilných robotov v záchranných akciách. Tele operované roboty sa využívajú pri zneškodňovaní náloží. Podobne sa využívajú roboty pri prehľadávaní trosiek a vyhľadávanie obetí. Veľký potenciál má aj vývoj robotov pre zábavu. Robotický pes Aibo alebo Robotsapien sú prvé pokusy o roboty pre zábavu. Z takýchto robotov sa môžu vyvinúť roboti spoločníci, ošetrovatelky, zdravotné sestry.

Podakovanie

Príspevok je vypracovaný v rámci riešenia projektu VEGA/1/3159/06 „Výskum princípov prírodou inšpirovaných pohybov a ich aplikácia pri návrhu ministrojov“.

Literatúra

- [1] <http://alife.tuke.sk/> 15.5.2007
- [2] <http://www.techtydenik.cz/index.php> 15.5.2007
- [3] <http://ndea.jpl.nasa.gov/nasa-nde/biomimetics/bm-hub.htm> 15.5.2007
- [4] D. Kortenkamp, R. Bonasso, R. Murphy: Artificial Intelligence and Mobile Robots, AAAI Press/ The MIT Press, 1998

Abstract

Creation and control of robots becomes an object of strong interest lately. Different engineering approaches are being used to study various accesses of control and navigation of robots. The most effort is devoted to the development of independently and intelligently behaving robots, especially when these robots are in an unknown environment. Many simulations of multiagents systems for this reason were developed. This article deals with modes of control from the simplest to swarm systems. Nowadays this very technology is highly popular and for that reason this paper deals with swarm systems more particularly.

Radko Bil'

Technická Univerzita v Košiciach
Strojnícka Fakulta/Ústav špecialnych technických vied
Katedra Prístrojového a Biomedicínskeho inžinierstva
Letná 9, Košice
e-mail: radko.bil@post.sk