

Vyjadrenie vedúceho k dizertačnej práci Petra Krčaha “Evolution and Learning of Virtual Robots”

Dizertácia Petra Krčaha sa zaoberá stále aktuálnejším problémom navrhovania robotov schopných autonómneho pohybu v rôznych prostrediach. Zatiaľčo väčšina literatúry sa venuje špecificky buď designu robotov alebo návrhu ich riadenia, predkladaná práca sa zaoberá simultánnym návrhom tela i riadenia robota evolučnými algoritmami. Evolučný vývoj umelých robotických organizmov modeluje prírodný proces vývoja živých organizmov pohybujúcich sa vo virtuálnom prostredí, kde však platia fyzikálne zákony. Tento vývoj zahŕňa vývoj stavby tela organizmu (morfológie) a vývoj riadiaceho systému, ktorý riadi koordináciu rôznych častí tela tak, aby robot dokázal napr. chodiť, skákať, plaziť sa alebo plávať. Cieľom je zostaviť robota a jeho riadiaci systém tak, aby sa dokázal pohybovať v danom prostredí a prípadne riešiť zadanú úlohu.

Evolučné metódy boli už úspešne využité na vývoj virtuálnych a dokonca i reálnych robotických organizmov skladajúcich sa z niekoľkých stavebných blokov spojených riadenými kĺbmi. Takéto organizmy sa dokázali efektívne pohybovať v danom prostredí a riešiť jednoduché úlohy. Avšak tieto organizmy boli značne obmedzené na prostredie, pre ktoré boli vyvíjané. V niektorých prácach boli vyvíjaní takzvaní plastickí jedinci, ktorí majú nemennú stavbu tela, ale dokážu sa učiť (meniť svoje riadenie) počas svojho života. Takéto roboty často dokážu riešiť danú úlohu lepšie než roboty sa zafixovaným riadením.

Autor mal už skúsenosti s navrhovaním virtuálnych robotických organizmov zo svojho magisterského štúdia a diplomovej práce. Cieľom práce bolo rozvinúť metódy evolučného vývoja robotov a rozšíriť ich schopnosti o učenie počas “života” robota, ktoré by mohlo zlepšiť výkon robota pri riešení danej úlohy a tiež zlepšiť jeho flexibilitu tým, že bude schopný prispôsobiť sa aktuálnemu prostrediu. Navrhnuté metódy mali byť potom implementované a otestované na vývoji virtuálnych robotov v simulovanom prostredí, kde platia fyzikálne zákony.

Práca po úvode predstavuje základy evolučnej robotiky s dôrazom na metódy návrhu virtuálnych robotických organizmov, systém ERO na evolučný vývoj robotov, ktorého je P. Krčah spoluautorom, a algoritmus HierarchicalNEAT vyvinutý autorom práce. Ťažiskom práce sú kapitoly tri a štyri, ktoré sa venujú

- morfologickej adaptácii ako metóde adaptácie robotického organizmu na prostredie, v ktorom sa nachádza, a
- evolučnému riešeniu tzv. zavádzajúcich úloh (deceptive tasks), ktoré skoro vždy končia nájdením iba lokálneho optima cieľovej (tzv. fitness) funkcie, metódou náhrady cieľovej funkcie funkciou, ktorá popisuje novosť správania robota; táto metóda sa nazýva “Novelty search”.

Práca je napísaná veľmi dobrou angličtinou a dobre sa číta. Zahŕňa detailný popis navrhnutých algoritmov, rozsiahlych počítačových experimentov a dôsledné vyhodnotenie dosiahnutých výsledkov. K práci je priložené CD s kompletnou implementáciou, dokumentáciou a výsledkami experimentov tak, aby bolo možné experimenty reprodukovat', prípadne interaktívne testovať vyvinuté virtuálne organizmy.

V tretej kapitole autor navrhol metódu morfologickej adaptácie motivovanú z prírody. Robotický organizmus môže po obmedzení dobu na začiatku svojho života meniť svoju morfológiu variáciami rozmerov blokov, z ktorých sa skladá jeho telo. Týmto môže lepšie prispôsobiť svoje telo pre pohyb v aktuálnom prostredí bez toho, že by menil počet blokov, z ktorých sa skladá, alebo, že by menil svoj riadiaci systém. Doktorand ukázal, že takáto adaptácia je výhodná a vyvinuté organizmy sa, na rozdiel od organizmov vyvíjaných bez takejto adaptácie, dokážu efektívne

pohybovať v rôznych prostrediach. Dokonca sa ukázalo, že aj pri započítaní zvýšených nárokov na množstvo vykonaných výpočtov kvôli morfologickej adaptácii, evolúcia v kombinácii s adaptáciou dokáže rýchlejšie vyvinúť lepšie jedince než samotná evolúcia.

Vo štvrtej kapitole autor ukazuje ako náhrada fitness funkcie funkciou popisujúcou novosť správania robota pomáha prekonať problém s riešením ťažkých zavádzajúcich úloh. Metóda Novelty search už bola inými autormi použitá na riešenie problémov hľadania riadiaceho systému vo forme neurónovej siete, v genetickom programovaní, rojovej robotike a ďalších. Autor využíva Novelty search na hľadanie nových správání robota, ktoré vznikajú pri súčasnom vývoji morfológie a riadenia robota. Táto metóda umožňuje, aby roboty preskúmali aj zložité prostredia, kde pri použití fitness funkcie skoro vždy evolúcia skončí neúspechom. Finálne autor navrhol kombinovať Novelty search a prehľadávanie podľa fitness funkcie.

K práci nemám zásadné pripomienky. Dosiahnuté výsledky sú zaujímavé a uznané odbornou verejnosťou (viz publikácie autora). Na druhú stranu tretia kapitola obsahuje iba veľmi jednoduché učenie robotov, ktoré hľadá vylepšenú morfológiu robota gradientnou metódou. Tam by bolo zrejme možné prácu značne rozšíriť a prehĺbiť uvažovaním učenia aj riadiaceho systému využitím pokročilejších algoritmov učenia.

Celkovo doktorand ukázal, že je schopný systematicky rozvíjať nové metódy v aktuálnej oblasti evolučného návrhu robotov a dosahovať výsledky medzinárodnej úrovne. Jeho práca je podložená 8 článkami v recenzovaných zborníkoch svetových konferencií, dvomi kapitolami v knihách, druhým miestom v súťaži evolučne vyvíjaných robotických organizmov pri konferencii GECCO 2014 a prvou cenou za článok s výsledkami tretej kapitoly práce na SAB 2016. Stanovene ciele sa autorovi podarilo splniť. Vyvinuté metódy sa dajú aplikovať na mnohé ďalšie problémy nielen z evolučnej robotiky. Jeho práca spĺňa všetky kritériá kladené na dizertačnú prácu a preto doporučujem, aby bola uznaná ako dizertačná práca, a Petrovi Krčahovi bol udelený titul Ph.D.

V Prahe, 5.9.2016

RNDr. František Mráz, CSc.
KSVI MFF UK