Prof. dr hab. inż. Jan Maciej Kościelny
Politechnika Warszawska
Wydział Mechatroniki
Instytut Automatyki i Robotyki
ul. św. Andrzeja Boboli 8
02-525 Warszawa

Warszawa, 19.11.2011

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA w Gliwicach

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Wawrzyńca Panfila

pt. „System sterowania grupą inspekcyjnych robotów mobilnych bazujący na zachowaniach"

Opracowano na prośbę prof. dr hab. inż. Jerzego Świdra - Dziekana Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej

1. Ocena wyboru tematyki pracy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pana mgr inż. Wawrzyńca Panfila „*System sterowania grupą inspekcyjnych robotów mobilnych bazujący na zachowaniach*". Problemy sterowania grupą robotów są bardzo aktualnym tematem badawczym. Autor bardzo trafnie koncentruje swoje badania na zagadnieniach sterowania grupa robotów przeznaczonych do zadań inspekcyjnych. Systemy wieloobrotowe mogą prowadzić monitorowanie i rozminowywanie terenu, wykrywanie wycieków z instalacji chemicznych, montaż i demontaż obiektów, przenoszenie obiektów, zbieranie śmieci, odpadów, koszenie trawy, odkurzanie mieszkań i wiele innych. Stosowane mogą być zatem do zadań wojskowych, przemysłowych i domowych. Nadają się do realizacji działań niebezpiecznych dla ludzi. Angażowanie grupy robotów, posiadających niejednakowe możliwości działania (kwalifikacje) rodzi wiele problemów badawczych, wymagających rozwiązania. Dlatego wybór tematu należy uznać za bardzo trafny.

2. Struktura pracy

Praca składa się z pięciu rozdziałów, ponadto zawiera: wykaz ważniejszych skrótów i oznaczeń, bibliografię oraz streszczenie w języku polskim. Rozprawa liczy ogółem 118 stron.

Rozdział pierwszy ma charakter wstępu. Zawiera przegląd głównych problemów oraz analizę stanu badań w zakresie tematyki pracy. Sformułowano w nim także cel pracy „*opracowanie podstaw teoretycznych i praktyczna weryfikacja metodyki konstruowania systemów sterowania grupą robotów mobilnych przeznaczonych do realizacji działań inspekcyjnych*" oraz tezy:

BIURO DZIEKANA
RMT 2011 -11- 21
L. dz. 82/006/D/2011/12

1. *Alokacja zadań w grupie robotów bazująca na aukcjonowaniu robotów zapewnia efektywniejsze realizowanie misji w porównaniu do alokacji zadań bazującej na aukcjonowaniu zadań.*
2. *Metody alokacji zadań w grupie robotów mobilnych bazujące na wielokryterialnej analizie stanu robotów oraz ich otoczenia umożliwiają wzrost efektywności realizacji misji w porównaniu z powszechnie stosowanymi metodami aukcyjnymi.*

W rozdziale drugim opisane zostały stosowane obecnie podejścia do sterowania ruchem robotów, tj. reaktywne, deliberatywne i hybrydowe oraz podejście bazujące na zachowaniach. W drugiej części rozdziału przedstawiono metody aukcjonowania i przydzielania zadań w grupie robotów. Ponadto zaakcentowano potrzebę opracowania nowych metod alokacji zadań.

Zasadnicze znaczenie w pracy ma rozdział trzeci, dotyczący opracowanej metody sterowania grupą robotów inspekcyjnych. Przedstawiono w nim podstawowe założenia, jak również opracowany przez Autora sformalizowany sposób opisu systemu sterowania. Zaprezentowano znane metody alokacji zadań w grupie robotów heterogenicznych, jak również autorską wielokryterialną ocenę przystosowania robotów do zadań. Przedstawiono także podejście behawioralne do sterowania ruchem robotów, wykorzystujące pola potencjalne jako podstawę algorytmów sterowania.

Rozdział czwarty dotyczy weryfikacji działania systemu oraz wykazania słuszności sformułowanych tez. Obiektem badań była grupa robotów wirtualnych, stanowiących odpowiedniki robotów opracowanych w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Śląskiej. Określono miary umożliwiające ocenę działania systemu. Dokonano porównania działania systemu stosującego aukcjonowanie zadań i aukcjonowanie robotów. Przeprowadzono badania porównawcze metod alokacji zadań stosujących wielokryterialną ocenę przystosowania robotów do zadań oraz znanych aukcyjnych metod alokacji zadań. Podano wnioski wynikające z badań eksperymentalnych.

Rozdział piąty – podsumowanie zawiera wnioski końcowe potwierdzające tezy pracy oraz propozycje kierunków dalszych badań.

Kompozycja pracy jest czytelna i logiczna a jej redakcja jest staranna. Pewnym mankamentem redakcyjnym jest posługiwanie się w tekście wprowadzonymi oznaczeniami. Jest ich wiele i utrudnia to czytanie pracy. Wykaz cytowanej literatury zawiera najważniejsze publikacje związane z tematem rozprawy.

3. Ocena merytoryczna pracy

Praca ma charakter teoretyczno-badawczy. Przedmiotem badań opisanych w rozprawie był system sterowania grupą robotów bazujący na zachowaniach, a w szczególności zagadnienia aukcjonowania zadań. Założenia wynikające z przyjętej funkcjonalności systemu są racjonalne. Zaproponowany formalny opis systemu jest oryginalnym osiągnięciem Autora. Wejściem systemu jest aktualna konfiguracja misji, na którą składają się: zbiór robotów R(t), zbiór zadań Z(t), model środowiska działania robotów TO, parametry misji MP. Działanie systemu opisane jest przez algorytmy sterowania ruchem robotów (sterownik behawioralny) oraz algorytmy alokacji zadań w grupie robotów. Wyjściem systemu są zmodyfikowane w wyniku działania systemu zbiory robotów R'(t) i zadań Z'(t).

Zasadniczym tematem rozprawy są zagadnienia alokacji zadań dla grupy robotów. Rozwijane były dwie grupy metod przydziału zadań: metody alokacji zadań oparte o Contract-Net Protocol oraz wielokryterialne metody alokacji zadań (MCFV).

Autor wprowadził nową metodę aukcjonowania robotów, dualną do znanej metody aukcjonowania zadań. Jej istotą jest dobór dla każdego robota z kolejki robotów niezajętych najkorzystniejszego zadania. Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów wykazano, że metody alokacji zadań, stosujące aukcjonowanie robotów, dają lepsze wyniki w stosunku do metod alokacji zadań, stosujących aukcjonowanie zadań. W ten sam sposób dowiedziono słuszności pierwszej tezy pracy.

Najistotniejszym osiągnięciem Autora rozprawy jest opracowanie metody wielokryterialnej oceny przystosowania robota do zadania. Jest ona wyznaczana na podstawie dwóch ocen składowych: pozycji konkurencyjnej robota dla zadania oraz atrakcyjności zadania dla robota. Stosowane kryteria dotyczą:

- czasu wykonywania misji przez grupę robotów,
- ilości energii koniecznej do zrealizowania misji (z podziałem na energię zużytą na dojazd do miejsca realizacji zadania, energię zużywaną przez roboty pozostające w stanie bezczynności oraz energię zużywaną na wykonanie zadań wchodzących w skład misji),
- nadmiarowości wyposażenia robotów w układy wykonawcze i pomiarowe.

Zalety metody zostały potwierdzone w badaniach eksperymentalnych. Wykazano, że metody alokacji zadań w grupie robotów mobilnych bazujące na wielokryterialnej analizie stanu robotów oraz ich otoczenia umożliwiają wzrost efektywności realizacji misji w porównaniu z metodami aukcyjnymi. Tym samym potwierdzono słuszność drugiej tezy.

Weryfikację opracowanych metod alokacji zadań przeprowadzono dla wirtualnej grupy robotów na drodze symulacji. Cechy wirtualnych robotów zostały określone na podstawie realnie istniejących robotów opracowanych w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn. Jako środowisko programowe wybrano Microsoft Robotics Developer Studio. Do weryfikacji zastosowano środowisko symulacyjne opracowane w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn. Autor opracował odpowiednie oprogramowanie stanowiące implementację metod aukcjonowania zadań. Poprawna była także metodyka badań. Aby wykazać słuszność wysuniętych tez na drodze indukcji niezupełnej, opracowano plan badań weryfikacyjnych, obejmujący wykorzystanie dwóch konfiguracji środowisk testowych i konfiguracji misji. Stopień złożoności konfiguracji i misji testowych odpowiadał inspekcji rzeczywistych obiektów.

W stosunku do rozprawy nie mam istotnych zarzutów o charakterze merytorycznym. Można jednak sformułować następujące uwagi krytyczno-dyskusyjne:

1. W pracy przyjęto, że system sterowania robotów ma strukturę scentralizowaną, tzn. istnieje centralna jednostka zarządzająca zbiorem robotów i zadań? Jakie jest uzasadnienie takiej decyzji? Jaka jest opinia Autora na temat perspektyw rozwoju zdecentralizowanych, wieloagentowych struktur sterowania grupy robotów?

2. Opracowując system sterowania bazujący na zachowaniach przyjęto, że koordynacja kilku zachowań realizowana będzie z wykorzystaniem tzw. pól potencjałów. Rozwiązanie to jest znane od wielu lat. Obecnie powstały koncepcje koordynatorów zachowań, wykorzystujące np. rozmyte dyskretne systemy zdarzeń (zob. np. Jayasiri, A. et al., Behavior Coordination of Mobile Robotics Using Supervisory Control of Fuzzy Discrete Event Systems, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B:

Cybernetics, vo. 41, no 5, Oct. 2011). Czy doktorant ocenia zastosowane przez siebie rozwiązanie jako wystarczające do koordynacji zachowań robota mobilnego poruszającego się w rzeczywistym środowisku? Jakie ograniczenia pociąga za sobą zastosowane rozwiązanie dotyczące kontrolera zachowań?

3. Weryfikację opracowanej metody ograniczono do badań symulacyjnych (co było uzasadnione). Proszę o scharakteryzowanie prac koniecznych do implementacji opracowanego systemu sterowania dla grupy robotów znajdujących się w laboratorium Katedry Podstaw Konstrukcji Maszyn. Jak ocenia Autor pracochłonność tego przedsięwzięcia?

5. Wnioski końcowe

Podsumowując wyniki pracy należy stwierdzić, że:

- tematyka pracy dotyczy ważnego technicznie zagadnienia i jest zgodna kierunkami prac badawczych prowadzonych w zakresie rozwoju systemów sterowania grupą robotów.
- metoda (podana w kilku wariantach) aukcjonowania zadań i robotów z wykorzystaniem wielokryterialnej oceny przystosowania robotów do zadań stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i technicznego,
- oryginalnym rozwiązaniem jest także opracowany formalny opis reprezentujący system sterowania grupy robotów,
- opracowane metody zostały zweryfikowane symulacyjnie,
- ogólna wiedza teoretyczna Autora z zakresu robotyki nie budzi wątpliwości, a umiejętność prowadzenia samodzielnej pracy naukowej została potwierdzona w rozprawie.

Powyższe cechy rozprawy decydują o jej pozytywnej ocenie. Autor wykazał umiejętność rozwiązywania trudnych problemów badawczych i technicznych.

W świetle powyższych uwag stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Wawrzyńca Panfila pt. *System sterowania grupą inspekcyjnych robotów mobilnych bazujący na zachowaniach* spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim w zakresie nauk technicznych i wnoszę o dopuszczenie do jej publicznej obrony **w dyscyplinie Budowa i Eksploatacja Maszyn**.