dr hab. inż. Marian Wysocki, prof. PRz
Katedra Informatyki i Automatyki
Politechniki Rzeszowskiej

Rzeszów 03. 06. 2016

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Macieja Garbacza
„Planowanie trajektorii dla wybranej klasy robotów mobilnych z punktu widzenia ich sterowalności"
przygotowana na zlecenie Dziekana Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie działającego na podstawie uchwały Rady Wydziału z dnia 31. 03. 2016.

PROBLEMATYKA PRACY

Roboty mobilne wspomagają lub zastępują ludzi w wielu sytuacjach. Do najważniejszych trzeba zaliczyć te, w których zagrożone jest bezpieczeństwo. Wtedy, ze zrozumiałych względów, robot pozostaje narażony na uszkodzenia ograniczające jego zdolność do kontynuacji działań. W szczególnym przypadku może to dotyczyć układów pomiarowych, dzięki którym otrzymuje informacje o swoim otoczeniu. Niezależnie od zastosowań, wyposażenie robota w urządzenia zbierające dane o otoczeniu rzutuje z jednej strony na jego zdolności poruszania się i wykonywania zadań, z drugiej zaś na zużycie energii i koszt. Z tego powodu uzasadnione są rozważania dotyczące wyposażenia robotów mobilnych w urządzenia pokładowe w zależności od przeznaczenia robota i przewidywanych dla niego zadań. W tym nurcie mieści się recenzowana praca, w której wspomniany problem urządzeń pomiarowych odnosi się do możliwości bezkolizyjnego omijania przeszkód na drodze do celu, z uwzględnieniem wydatku energetycznego.

Autor skupił się na klasie dwukołowych robotów holonomicznych, wyposażonych w działające na zasadzie podczerwieni czujniki odległości od przeszkód. Z zadaniem bezkolizyjnego dotarcia do punktu przeznaczenia skojarzył problem sterowalności i stabilności, zaproponował kryteria jakości o charakterze energetycznym oraz przeprowadził eksperymenty symulacyjne i z rzeczywistym robotem Khepera III wykorzystującym algorytm Braitenberga. Przeprowadzone badania i analizy mieszczą się w obszarze automatyki i robotyki.

UKŁAD PRACY

Rozprawa licząca 149 stron składa się z ośmiu rozdziałów, w tym wstępu i podsumowania, bibliografii, streszczeń polskiego i angielskiego oraz trzech dodatków.

Najważniejszym elementem pierwszego rozdziału „*Uwagi wstępne*" jest sformułowanie naukowego celu pracy. Brzmi ono następująco: **„Należy zaproponować i zweryfikować eksperymentalnie warunki stabilności i sterowalności dla autonomicznego, holonomicznego robota mobilnego klasy „pojazd Braitenberga" wiążące te własności z jego konstrukcją, a w szczególności z ilością i lokalizacją czujników wykrywających przeszkody przy założeniu, że trajektoria ruchu robota jest wyznaczana z użyciem**

algorytmu Braitenberga (podstawowego lub zmodyfikowanego), przestrzeń robocza jest ograniczona, a lokalizacja przeszkód w obrębie tej przestrzeni roboczej nie jest znana."

Rozdział 2. „*Zagadnienia planowania trajektorii ruchu robotów mobilnych*" stanowi wprowadzenie do problematyki planowania trajektorii dla robotów mobilnych. Omówiono znane z literatury algorytmy, podano ich klasyfikację i scharakteryzowano najważniejsze i najpopularniejsze algorytmy lokalne, skupiając się głównie na algorytmie Braitenberga wzorowanym na zachowaniu się żywych organizmów.

Rozdział 3. „*Robot doświadczalny wykorzystywany podczas realizacji pracy*" poświęcono robotowi Khepera III oraz systemowi sterowania tym robotem.

Rozdział 4. „*Czujniki zbliżeniowe oraz ich modele matematyczne*" dotyczy czujników zbliżeniowych robota Khepera III pracujących w paśmie podczerwieni i przedstawia modele przedziałowe charakterystyk tych czujników w formie funkcji wykładniczej oraz funkcji Mittag-Lefflera.

Rozdział 5. „*Model kinematyki robota i jego analiza*" opisuje model kinematyki robota wykorzystującego algorytm Braitenberga w wersji standardowej i zmodyfikowanej. Przedstawiono analizę stabilności (z użyciem metod Lapunova) i sterowalności przedstawionych modeli z uwzględnieniem konieczności omijania przeszkód. Zaproponowano definicję sterowalności dla rozważanego robota, wykazano, że znany z teorii systemów liniowych warunek konieczny i dostateczny sterowalności jest w rozważanym wypadku jedynie warunkiem koniecznym. Podano warunek dostateczny sterowalności wiążący tę własność z wagami czujników zbliżeniowych robota. Zaproponowano wskaźniki jakości do oceny ruchu robota.

Rozdział 6. „*Model dynamiki robota*" pokazuje zasadność rozważania oraz przedstawia model dynamiki robota Khepera oraz analizę stabilności tego modelu.

Rozdział 7. „*Badania eksperymentalne dla różnej konfiguracji czujników*" przedstawia wyniki testów polegających na wykonaniu przez robot zadań omijania przeszkód o różnych kształtach i współczynnikach pochłaniania promieniowania podczerwonego, przy różnych konfiguracjach czujników zbliżeniowych i różnych parametrach algorytmu Braitenberga w wersjach podstawowej i zmodyfikowanej.

Rozdział 8. „*Uwagi końcowe*" stanowi podsumowanie przeprowadzonych eksperymentów oraz dyskusję liczby aktywnych czujników podczas ruchu robota w nieznanym otoczeniu.

Wykaz literatury obejmuje 162 reprezentatywne pozycje. Dodatek A zawiera kody źródłowe oprogramowania sterującego w środowisku Matlab/Simulink, Dodatek B opisuje możliwość sterowania robotem Khepera III z wykorzystaniem logiki rozmytej, Dodatek C przedstawia charakterystykę czujników ultradźwiękowych.

OCENA PRACY

Mocne strony

(1) Tematyka pracy jest ważna i aktualna.

(2) Problem naukowy wynikający z postawionego celu pracy został sformułowany jasno i trafnie.

(3) Rozprawa przedstawia własne, oryginalne rozwiązania Autora obejmujące:

1. modele czujników zbliżeniowych ,
2. propozycje kryteriów jakości bezkolizyjnego dochodzenia do zadanego celu w obecności nieznanych a priori przeszkód,

3. sformułowanie problemu i warunków sterowalności w zależności od wag przypisanych sygnałom z czujników zbliżeniowych,
4. przeprowadzenie licznych eksperymentów dotyczących omijania przez robot przeszkód o różnych kształtach i współczynnikach pochłaniania promieniowania podczerwonego, przy różnych konfiguracjach czujników zbliżeniowych i różnych parametrach algorytmu sterowania oraz dyskusja ich wyników, zwłaszcza w kontekście stabilności i sterowalności.

(4) Autor osiągnął założony cel, przypomniany na początku niniejszej recenzji, opanował niezbędne podstawy teoretyczne i pokazał umiejętność ich zastosowania do samodzielnego rozwiązywania zagadnień badawczych.

(5) Wyniki przeprowadzonych badań były przedmiotem publikacji w materiałach Warsztatów Doktoranckich pod patronatem PTETIS i sześciu artykułów w półroczniku AGH *Automatyka*.

(6) Praca została poprawnie zredagowana. Upoważnia to do stwierdzenia, że Autor opanował warsztat pisania rozpraw naukowych.

(7) Prawidłowo dobrane, liczne odnośniki literaturowe wskazują, że Autor posiada niezbędną orientację w bibliografii podejmowanych przez siebie zagadnień.

Słabe strony

(a) Ujęte w tytule pracy „*planowanie trajektorii*" trudno dostrzec w rozważanych przypadkach sterowania robotem.

(b) Rysunek 2.2 sugeruje, że robot stoi w miejscu lub porusza się po linii prostej. Nie jest jasne, jak wyznaczane są wagi w_i oraz prędkość liniowa pojazdu.

(d) W podsumowaniu odczuwa się brak informacji o tym, co stanowi dorobek Autora.

(e) Nie jest jasne, w jakim celu przedstawiono podrozdziały 1.2 i 2.2 oraz dodatek C.

PODSUMOWANIE

Przedstawione uwagi nie podważają zasadniczych wartości pracy.

Uważam, że **recenzowana rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Macieja Garbacza spełnia wymagana obowiązującej Ustawy.**

Wnioskuję do Wysokiej Rady Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie o dopuszczenie Autora do publicznej obrony.

Marian Wysocki