

R E C E N Z J A

rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Piotra Kolendo
pt. *Wyznaczanie zadanej trajektorii statku metodą ewolucyjną
z zastosowaniem interpolacji wielomianowej*
opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Elektrotechniki i Automatyki
Politechniki Gdańskiej

1. Obszar problemowy

Rosnąca złożoność optymalizowanych procesów i systemów oraz jednocześnie zwiększające się wymagania wobec jakości uzyskiwanych rozwiązań są ważną motywacją do poszukiwania bardziej efektywnych metod i algorytmów wielokryterialnej optymalizacji. Do takich złożonych i trudnych problemów optymalizacyjnych niewątpliwie należą zagadnienia wyznaczania zadanych optymalnych trajektorii statku morskiego, robota mobilnego czy samolotu z uwzględnieniem licznych ograniczeń. Stosowane dotychczas metody analityczne oraz metody sztucznej inteligencji rozwiązywania tych problemów w wielu przypadkach nie pozwalają na uzyskanie trajektorii z punktu widzenia wymagań technicznych poruszającego się statku. Stąd też istnieje potrzeba opracowania modyfikacji i rozszerzeń metody wyznaczania zadanej trajektorii statku z wykorzystaniem algorytmów optymalizacyjnych oraz interpolacji wielomianowej. Sformułowana na stronie dziewiątej teza rozprawy oraz zadania badawcze we właściwy sposób określają jej zakres tematyczny, jak również główny cel badawczy.

Na podstawie przedstawionego stanu badań w zakresie problemów wyznaczania trajektorii zadanej statku autor ograniczył swoje badania do opracowania metody opartej na zastosowaniu interpolacji wielomianowej oraz algorytmów ewolucyjnych. Motywacją do podjęcia się takich badań było wymaganie wyznaczenia zadanej trajektorii uwzględniającej możliwości manewrowe statku oraz spadki prędkości wynikające z

wykonywanych manewrów. Analizując znane rozwiązania takiego problemu z zastosowaniem odcinków prostych do aproksymacji własności dynamicznych, w pracy zaproponowano zastosowanie interpolacji wielomianowej w połączeniu z algorytmami ewolucyjnymi optymalizacji wielokryterialnej. Sformułowaną wielokryterialną funkcję celu (koszty ekonomiczne + koszty bezpieczeństwa) zastąpiono klasycznie funkcją jednokryterialną z zadanymi współczynnikami wagowymi. Do wyznaczenia trajektorii zadanej zastosowano klasyczny jednopopulacyjny algorytm ewolucyjny oraz jego modyfikację w wersji wielopopulacyjnej. Z kolei do modelowania trajektorii zadanej z uwzględnieniem ograniczeń wynikających z dynamiki statku zastosowano interpolację wielomianową opartą na wielomianach trzeciego stopnia. Zaproponowana metoda modelowania określa kształt trajektorii pomiędzy poszczególnymi punktami zwrotu. Ostatecznie opracowano dwa algorytmy wyznaczania zadanej trajektorii statku – JAEWTI (wariant jednopopulacyjny) oraz WAEWTI (wariant wielopopulacyjny). Weryfikację zaproponowanych metod i algorytmów przeprowadzono na drodze obszernych badań symulacyjnych z wykorzystaniem modelu kontenerowca o długości 175m. Analizowano 10 różnych scenariuszy sytuacji nawigacyjnych porównując charakterystyki uzyskane z wykorzystaniem opracowanych algorytmów JAEWTI i WAEWTI z algorytmem JAEWTO (punkty zwrotne połączone odcinkami prostymi). Załączone liczne wyniki badań symulacyjnych dotyczące końcowych wartości funkcji przystosowania, wartości średnich jak również trajektorii ruchu statku dobrze ilustrują efektywność i skuteczność zaproponowanych w rozprawie algorytmów w porównaniu ze znanym rozwiązaniem.

2. Koncepcja oraz realizacja rozprawy

Rozprawa doktorska o ogólnej objętości 95 stron opracowana jest w języku polskim i formalnie zawiera trzy rozdziały, krótki wstęp oraz krótkie podsumowanie z odnotowaniem głównych zadań zrealizowanych. Załączony wykaz cytowanej literatury zawiera ok. 90 pozycji (brak numeracji), które stosunkowo dobrze odzwierciedlają stan badań w zakresie tematyki rozprawy jakie są prowadzone w kraju i na świecie. Zauważalne jest jednak nadmierne skupienie się na pracach ośrodka gdańskiego oraz brak jest pewnych pozycji książkowych wydanych w kraju np. *Evolutionary Algorithms for Global Optimization and Dynamic Systems Diagnosis* (A. Obuchowicz, Lubuskie Towarzystwo Naukowe w Zielonej Górze, 2003), czy *Algorytmy genetyczne + struktury danych = programy ewolucyjne* (Z. Michalewicz, WNT, 2003). Analizując strukturę

rozprawy należy ją uznać za właściwą zarówno z merytorycznego jak i redakcyjnego punktu widzenia.

Rozszerzonym wprowadzeniem do tematyki rozprawy jest rozdział drugi, w którym omówiono problemy oraz stan wiedzy w zakresie wyznaczania trajektorii zadanej statku. Skupiono się głównie na metodach modelowania trajektorii zadanej statku oraz metodach ich wyznaczania.

Z kolei w rozdziale trzecim przedstawiono zaproponowaną nową metodę wyznaczania zadanej trajektorii statku z wykorzystaniem algorytmów ewolucyjnych oraz interpolacji wielomianowej. Zastosowanie algorytmów ewolucyjnych pozwala na rozwiązanie dwukryterialnego zadania optymalizacyjnego (minimalizacja kosztów ekonomicznych i kosztów bezpieczeństwa). Z kolei zastosowanie interpolacji wielomianowej do modelowania trajektorii zadanej wraz z uwzględnieniem możliwości manewrowych statku pozwala na wyznaczenie gładkiej trajektorii, która może odwzorować rzeczywisty ruch statku. Do wyznaczania trajektorii zadanej metodą ewolucyjną zaproponowano dwa algorytmy – jednopopulacyjny oraz wielopopulacyjny. Omówiono tutaj między innymi problem sterowania naciskiem selektywnym i pokazano jego rozwiązanie poprzez zastosowanie skalowania funkcji przystosowania. W części rozdziału dotyczącej modelowania trajektorii zadanej z uwzględnieniem ograniczeń wynikających z dynamiki statku przedstawiono zastosowanie interpolacji wielomianowej, a konkretnie wielomianów trzeciego stopnia. Proces weryfikacji trajektorii uwzględniającej ograniczenia wynikające z własności dynamicznych statku następuje już po jej zamodelowaniu i nie modyfikuje kształtu trajektorii.

Bardzo ważnym w strukturze rozprawy jest rozdział czwarty dotyczący badań symulacyjnych procesu wyznaczania zadanej trajektorii statku z zastosowaniem wielomianów trzeciego stopnia do połączenia punktów zwrotu statku oraz jedopopulacyjnego (JAEWTI) i wielopopulacyjnego (WAEWTI) algorytmu ewolucyjnego. W badaniach wykorzystano model kontenerowca o długości 175m rozpatrując 10 przykładowych scenariuszy sytuacji nawigacyjnych i porównując wyniki uzyskane z zastosowaniem algorytmów JAEWTI i WAEWTI z wynikami uzyskanymi z wykorzystaniem znanego algorytmu JAEWTO, w którym punkty zwrotne łączone są odcinkami prostymi.

Na podstawie skrótowego omówienia treści rozprawy doktorskiej stwierdzam, że mgr inż. Piotr Kolendo wykazał się dobrymi umiejętnościami formułowania problemów naukowo-technicznych, które rozwiązał z wykorzystaniem właściwych metod

badawczych. Rozprawa posiada charakter praktyczno-teoretyczny gdzie do opisu metod i algorytmów zastosowano właściwy formalizm matematyczny dla dyscypliny automatyka i robotyka. Ponadto wykazał się dobrą wiedzą między innymi z takich metod badawczych jak algorytmy ewolucyjne, optymalizacja wielokryterialna, modelowanie trajektorii zadanych statków czy zaawansowane symulacje komputerowe.

3. Oryginalne osiągnięcia

Realizując przyjęty cel badawczy oraz uzasadniając tezę rozprawy doktorant uzyskał kilka ciekawych i oryginalnych wyników naukowych. Przede wszystkim opracował efektywne podejście do rozwiązania zadania wyznaczania zadanej trajektorii statku z zastosowaniem algorytmów ewolucyjnych i interpolacji wielomianowej. W ramach tego podejścia autor:

1. Opracował dwie metody rozwiązywania zadania wyznaczania trajektorii zadanej z zastosowaniem interpolacji wielomianowej oraz algorytmów ewolucyjnych w dwóch wariantach:
 - a) algorytm jednopopulacyjny – JAEWTI,
 - b) algorytm wielopopulacyjny - WAEWTI.
2. Przeprowadził obszerne badania symulacyjne zaproponowanych metod na przykładzie 10 scenariuszy sytuacji nawigacyjnych w tym:
 - a) badania porównawcze wyników uzyskanych z zastosowaniem algorytmów JAEWTI i WAEWTI z wynikami uzyskanymi z wykorzystaniem algorytmu JAEWTO, w którym do modelowania trajektorii zastosowano odcinki proste;
 - b) badania ruchu modelu statku odniesienia wzdłuż wyznaczonych trajektorii celem weryfikacji poprawności ich wyznaczania, w których uwzględniono ograniczenia statyczne i dynamiczne.

Przedstawione w rozprawie oryginalne osiągnięcia naukowe oraz wyniki obszernych badań symulacyjnych w znacznym stopniu zostały opublikowane przez autora w 9 publikacjach. Są to 2 artykuły w czasopismach z listy B MNiSzW - *TransNav: The International Journal of Marine Navigation and Safety of Sea Transportation* oraz *Zeszyty Naukowe AM w Szczecinie*, dwa artykuły w serii wydawniczej *Springer'a: Lecture Notes in Artificial Intelligence* oraz *in Computer Science*, oraz cztery prace w pracach zbiorowych wydanych przez wydawnictwa: *CRC Press* (2), Politechniki Świętokrzyskiej (1) oraz *Springer* (1), jak również 1 referat w

materiałach międzynarodowej konferencji pt. *Methods and Models in Automation and Robotics, MMAR* (Międzyzdroje, 2011). Pewnym niedostatkim tego wykazu publikacji jest brak artykułu w czasopiśmie indeksowanym w bazie JCR, czyli z tzw. listy filadelfijskiej.

Uwzględniając wymienione oryginalne wyniki i osiągnięcia naukowo-badawcze, uważam że mgr inż. Piotr Kolendo zrealizował założony cel badawczy oraz uzasadnił słuszność postawionej tezy.

4. Uwagi i komentarze

Ogólnie całą rozprawę oceniam dobrze pod względem merytorycznym, a przedstawione niżej uwagi w znacznej części mają charakter dyskusyjny.

1. W rozprawie problem wyznaczania zadanej trajektorii statku sformułowano jako problem optymalizacji wielokryterialnej. Dla uproszczenia zadania zastosowano standardowe podejście polegające na zastąpieniu wielokryterialnej funkcji celu, funkcją jednokryterialną ze współczynnikami wagowymi. W pracy brak jest uzasadnienia wyboru algorytmów ewolucyjnych do rozwiązania tak sformułowanego jednokryterialnego zadania optymalizacyjnego. W teorii optymalizacji jest wiele innych metod sztucznej inteligencji.
2. Przyjmując funkcję celu w postaci (3.1) zbyt lakonicznie i ogólnikowo potraktowano problem wyboru współczynników wagowych w_1 , w_2 , w_3 i w_4 . Dodatkowo w części eksperymentalnej rozprawy nie pokazano jaki wpływ na wyniki optymalizacji mają przyjęte wartości tych współczynników.
3. W rozprawie bardzo często używane jest wyrażenie „... w czasie zbliżonym do rzeczywistego...”. Niestety nie podano co oznacza ten termin znalezienia rozwiązania zadania optymalizacyjnego w takim czasie.
4. Uwagi redakcyjne
 - a) str. 39, podrozdział 3.4: opisano tutaj jedynie z jakiej biblioteki pochodzi przyjęty model kontenerowca, regulator kursu statku oraz metodę Line OF Sight (LOS). W tej części nie ma żadnych wyników weryfikacji poprawności wyznaczonych trajektorii. Użyte w tytule podrozdziału słowo *weryfikacja* nie odpowiada jego zawartości.
 - b) str. 40: we wzorze (3.4) nie podano znaczenia r .

c) Brak podsumowań do rozdziałów drugiego i trzeciego. Takie podsumowania w rozprawach doktorskich są niezbędne celem wprowadzenia logicznej i merytorycznej ciągłości całości opracowania.

d) brak jednolitego sposobu numerowania wzorów i rysunków. Wzory numeruje się według zasady (nr rozdziału.nr wzoru) np. (3.1), ale rysunki inaczej - (nr rysunku) np. rys. 23.

5. Podsumowanie

Uwzględniając wszystkie aspekty recenzowanej rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Piotra Kolendo, a w szczególności odnotowane oryginalne osiągnięcia naukowe i eksperymentalne, jak również zamieszczone uwagi ogólne, które po części mają charakter dyskusyjny, stwierdzam, że:

- recenzowana rozprawa doktorska spełnia wszystkie wymagania stosownej ustawy o tytule i stopniach naukowych w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie automatyka i robotyka w stopniu dobrym,
- wnoszę o jej przyjęcie na Radzie Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej.

