

Prof. dr hab. inż. Franciszek Seredyński
Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie
Wydział Matematyczno – Przyrodniczy
Szkoła Nauk Ścisłych
ul. Wóycickiego 1/3, 01-938 Warszawa

Warszawa, 25.02.2015

RECENZJA

*rozprawy doktorskiej mgr Wojciecha Bury nt.
„Wielokryterialne, mrowiskowe algorytmy optymalizacji
w nawigacji samochodowej”*

1. Problematyka naukowa oraz przedmiot rozprawy

Pojawienie się i szybki rozwój obszaru informatyki jakim są przybliżone heurystyczne i meta-heurystyczne algorytmy optymalizacji kombinatorycznej, w tym algorytmy inspirowane Naturą, miało i ciągle ma istotny wpływ na podejmowanie coraz to nowych problemów trudnych obliczeniowo, mających istotne znaczenie dla rozwoju nauki oraz postęp w rozwoju nowych technologii informatyczno-komunikacyjnych. Aktualny stan rozwoju tego obszaru informatyki jest taki, że pozwala na rozwiązywanie problemów ze znacznie szerszej perspektywy, z perspektywy która ujmuje problem nie z punktu widzenia pojedynczego wąskiego kryterium, ale umożliwia spojrzenie z perspektywy kilku często konfliktowych kryteriów.

Recenzowana rozprawa doktorska bardzo dobrze wpisuje się w ten scharakteryzowany wyżej obszar współczesnej informatyki poprzez dwie kwestie poruszane w rozprawie. Po pierwsze, przez twórcze rozszerzenie algorytmów mrowiskowych na obszar optymalizacji wielokryterialnej oraz po drugie, przez udane zastosowanie tego podejścia do rozwiązania trudnego obliczeniowo problemu odnajdywania optymalnej drogi w nawigacji samochodowej.

Doktorant w swojej rozprawie opracował kilka wersji oryginalnego algorytmu mrowiskowego optymalizacji wielokryterialnej, które umożliwiają odnajdywanie optymalnej/suboptymalnej w sensie Pareto drogi między dwoma punktami na mapie. Przeprowadził wyczerpujące badania eksperymentalne zaproponowanych przez siebie algorytmów porównując je z algorytmem klasycznym i wykazał przewagę zaproponowanego rozwiązania w stosunku do rozwiązania klasycznego.

Uważam, że rozważane w rozprawie zagadnienia są aktualne oraz w istotny sposób wpisują się w obszar informatyki. Teza rozprawy została jasno postawiona, a cel ściśle określony i w pełni osiągnięty. Rozprawa może zatem być przedstawiona jako monografia doktorska w dziedzinie informatyki.

2. Analiza treści rozprawy oraz uzyskanych wyników

Rozprawa składa się z 8 rozdziałów, bibliografii obejmującej 123 pozycje literaturowe, spisu algorytmów, spisu rysunków oraz spisu tabel. Całość pracy obejmuje 156 stron i ma ona charakter teoretyczno-eksperymentalny. Najważniejsze rozdziały rozprawy to rozdziały 5, 6 i 7, które zawierają oryginalne wyniki doktoranta.

Rozdział 1 stanowi wprowadzenie do problematyki rozprawy. Doktorant formułuje w nim tezę pracy, jej główne cele oraz przedstawia krótko treść poszczególnych rozdziałów pracy.

W Rozdziale 2 autor przedstawił najważniejsze zagadnienia związane z optymalizacją wielokryterialną. Podał niezbędne definicje związane z optymalizacją wielokryterialną w sensie Pareto jak też przedstawił inne istniejące podejścia do optymalizacji wielokryterialnej.

W kolejnym rozdziale, Rozdziale 3 przedstawiony został wielokryterialny problem wyszukiwania najkrótszej drogi w grafie. Podane zostało formalne sformułowanie tego problemu oraz określona została złożoność obliczeniowa problemu, tzn. jego przynależność do klasy problemów NP.-zupełnych. Doktorant dokonał również przeglądu wielokryterialnych, zarówno dokładnych jak też aproksymacyjnych znanych z literatury algorytmów stosowanych do rozwiązania problemów poszukiwania najkrótszej drogi, w tym niektóre algorytmy wykorzystujące techniki ewolucyjne. Doktorant w sposób szczegółowy omówił deterministyczny algorytm LABEL SETTING, podając jego pseudokod oraz ilustrując jego działanie na prostym problemie grafowym. Algorytm ten będzie wykorzystany w dalszej części pracy jako algorytm referencyjny, służący do porównania z algorytmami opracowanymi przez doktoranta.

Rozdział 4 poświęcony jest algorytmom optymalizacji mrowiskowej. Przedstawiona została historia rozwoju algorytmów optymalizacji mrowiskowej w postaci kolejnych algorytmów: systemu mrówkowego, systemu mrowiskowego, systemu mrówkowego Max-Min, algorytmu mrówkowego z rankingiem, algorytmu mrówkowego „najlepszy-najgorszy” jak też omówiono główne podejścia do optymalizacji wielokryterialnej wykorzystujące paradygmat optymalizacji mrowiskowej. Rozdział kończy się omówieniem wybranych zastosowań algorytmów mrowiskowych w wersji klasycznej oraz wielokryterialnej.

Rozdział 5 jest pierwszym rozdziałem rozprawy, w którym przedstawiono wyniki własne związane z opracowaniem mrowiskowych algorytmów nawigacji samochodowej. Punktem startowym jest znany z literatury jednokryterialny algorytm mrowiskowy AVN (czyli mrówkowy algorytm nawigacji), który zaproponowano do rozwiązania problemu nawigacji samochodowej. Analiza tego algorytmu wykonana przez doktoranta wykazała jego istotne braki ograniczające jego zastosowanie do realnych problemów nawigacji samochodowej, w związku z tym zaproponował on w rozprawie udoskonaloną wersję tego algorytmu. W wyniku przeprowadzonych przez doktoranta badań została opracowana nowa wersja algorytmu określona jako NAVN (czyli nowy AVN), różniąca się od pierwowzoru rozwiązaniem tzw. problemu „zablokowanych mrówek” oraz wprowadzeniem zmodyfikowanego algorytmu pozostawiania feromonu, co spowodowało zwiększenie zarówno jakości uzyskiwanych rozwiązań jak też szybkości działania algorytmu.

Na bazie sekwencyjnego algorytmu NAVN doktorant opracował dwie oryginalne wersje wielokryterialne mrowiskowego algorytmu nawigacji samochodowej. Pierwsza z nich to algorytm MultiNAWN-Z z tzw. kryterium zastępczym, w którym wykorzystuje się zagregowaną informację heurystyczną w celu oszacowania prawdopodobieństwa wyboru krawędzi wychodzących z bieżącego węzła. Druga wersja algorytmu to algorytm MultiNAVN-L z kryterium wybieranym losowo, gdzie

wyberane jest przez mrówkę w sposób losowy kryterium, wg. którego szacowane jest prawdopodobieństwo wyboru krawędzi. Omawiany rozdział 5 zawiera pseudokody wszystkich rozpatrywanych algorytmów, weryfikację poprawności dwóch zaproponowanych wersji mrowiskowych algorytmów wielokryterialnych oraz analizę złożoności obliczeniowej obu wersji.

Rozdział 6 zawiera obszerne wyniki badań eksperymentalnych obu zaproponowanych wersji mrowiskowego algorytmu wielokryterialnego oraz porównanie ich z wynikami uzyskanymi przez referencyjny algorytm deterministyczny LABEL SETTING. Do eksperymentów wykorzystano dane rzeczywiste z systemu OpenStreetMap uzupełnione częściowo o dane o wypadkach i kolizjach drogowych. Rozpatrywano takie kryteria oceny jak długość drogi, liczba pasów ruchu, liczba skrzyżowań oraz bezpieczeństwo. Obszerą część rozdziału stanowią wyniki eksperymentalne związane ze strojeniem szeregu parametrów algorytmu, w tym eksperymenty dotyczące doboru optymalnej liczby mrówek.

Finałem tego rozdziału jest podrozdział 6.5, w którym porównano efektywność badanych dwóch wersji algorytmów używając w tym celu testu statystycznego t Welcha i porównano je z algorytmem LABEL SETTING. Wyniki eksperymentów oraz porównanie ich ze zbiorem referencyjnym pokazały, że algorytm MultiNAVN-L charakteryzuje się lepszą jakością otrzymywanych zbiorów rozwiązań w stosunku do algorytmu MultiNAVN-Z, natomiast ten drugi jest algorytmem bardziej efektywnym czasowo. Porównanie obu wersji algorytmu z algorytmem LABEL SETTING wskazuje, że ten ostatni działa zdecydowanie wolniej i wymaga większej ilości pamięci operacyjnej. Przeprowadzone badania eksperymentalne pokazały również, że algorytm LABEL SETTING nie radzi sobie z problemami o większych rozmiarach, podczas gdy obie zaproponowane wersje algorytmów uzyskują dobre rozwiązania bądź w sensie jakości bądź w sensie efektywności czasowej.

W Rozdziale 7 doktorant przedstawił wyniki swoich badań związanych z opracowaniem równoległej wersji algorytmu jednokryterialnego AVN, którą autor określa jako OCLAVN. Wersja ta została opracowana w celu przeprowadzenia obliczeń na procesorach graficznych GPU o architekturze CUDA. Pracując nad implementacją tego algorytmu w wersji równoległej doktorant skupił się na rozwiązaniu szeregu zagadnień związanych z przetwarzaniem równoległym, a mianowicie z optymalizacją transmisji danych, minimalizacją wykorzystania pamięci globalnej, synchronizacją jak też optymalizacją kodu dla architektury SIMD. Przeprowadzone przez niego badania eksperymentalne dotyczyły głównie zależności czasowej wykonywania algorytmu od parametrów procesorów GPU firmy nVIDIA.

Ostatni z rozdziałów, Rozdział 8 jest podsumowaniem wyników osiągniętych w rozprawie oraz przedstawia propozycję dalszej kontynuacji badań.

3. Najistotniejsze osiągnięcia przedstawione w rozprawie

Rozprawa doktorska mgr Wojciecha Bury zawiera nowe, oryginalne wyniki dotyczące zastosowania algorytmów mrowiskowych do rozwiązania wielokryterialnego problemu nawigacji samochodowej. Do najistotniejszych osiągnięć rozprawy zaliczyć należy:

- opracowanie nowego jednokryterialnego algorytmu mrowiskowego NAVN służącego do rozwiązania problemu nawigacji samochodowej
- opracowanie dwóch oryginalnych wersji MultiNAVN-L i MultiNAVN_Z algorytmu mrowiskowego do rozwiązania wielokryterialnego problemu nawigacji samochodowej

- wyczerpujące badania eksperymentalne obu wersji algorytmu wielokryterialnego i wykazanie ich zalet w stosunku do algorytmu referencyjnego LABEL SETTING
- opracowanie równoległej wersji OCLAVN dla architektury CUDA jednokryterialnego algorytmu mrowiskowego umożliwiającego rozwiązanie problemu nawigacji samochodowej i eksperymentalne zbadanie jego wydajności w zależności od typu procesora GPU.

4. Uwagi merytoryczne

W trakcie czytania rozprawy doktorskiej mgr Wojciecha Bury nasuwają się pewne uwagi o charakterze dyskusyjnym. Są to:

- W trakcie przeglądu literaturowego algorytmów (podrozdział 3.2) doktorant wymienia szereg wielokryterialnych algorytmów ewolucyjnych, lecz brak wśród nich takich znanych uniwersalnych algorytmów optymalizacji wielokryterialnej jak NSGA-II czy SPEA2; doktorant wymienia je w innym, mniej znaczącym kontekście, w podrozdziale 4.7
- W Rozdziale 5, str. 39, doktorant pisze: „Niestety algorytm AVN ... działa tylko dla niewielkich zestawów danych..”) - niewielkie zestawy, tzn. jakie ?
- Nie jest jasne na czym polega koncepcja „ukarania mrówek” wyrażona wzorem (5.24), który jest podobny do wzoru (5.21)
- W charakterze algorytmu referencyjnego doktorant użył deterministycznego algorytmu LABEL SETTING co ma uzasadnienie; jednak ze względu na swój deterministyczny charakter nie jest on konkurentem dla opracowanych nowych algorytmów, które mają charakter stochastyczny – ciekawe byłoby porównanie tych algorytmów z algorytmami z klasy algorytmów inspirowanych naturą
- Podając wyniki badań równoległej wersji algorytmu OCLAVN (Rozdział 7) doktorant ogranicza się do stwierdzenia: „Czasy działania ... OCLAVN były krótsze niż uzyskane przez wersję sekwencyjną NAVN”; czy można prosić o bardziej precyzyjne wyniki ?

Powyżej przedstawione uwagi merytoryczne nie mają istotnego wpływu na jakość i wagę przedstawionych rozwiązań i w żadnym stopniu nie obniżają wartości pracy. Przedstawione przez autora badane aspekty zostały ujęte wystarczająco szczegółowo i dokładnie. Reasumując można stwierdzić, że główne wyniki rozprawy potwierdzają osiągnięcie z powodzeniem założonego w rozprawie celu.

5. Uwagi redakcyjne i edytorskie

Bardzo podobał mi się styl i forma przygotowania pracy. Praca napisana jest precyzyjnym, a jednocześnie lekkim językiem, autorowi udało się zachować równowagę między formą i treścią – z przyjemnością się ją czyta. Duża liczba wykresów i tabel pomaga śledzić kolejne kroki rozprawy. Lista uwag redakcyjno-edytorskich jest bardzo krótka:

- Str. 25: „mrówki początkowo zwiedzają okolicę” – zabawne

- 61: „Kończenie się działania algorytmu...” – niezgrabne

6. Podsumowanie

Podsumowując, stwierdzam, że przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr Wojciecha Bury pt.: „Wielokryterialne, mrowiskowe algorytmy optymalizacji w nawigacji samochodowej” spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązującą ustawę o stopniach i tytułach naukowych. Uzyskane w rozprawie wyniki były prezentowane na krajowych i międzynarodowych konferencjach oraz publikowane w materiałach tych konferencji, między innymi w serii LNCS Springer. Jeden z artykułów opublikowano w czasopiśmie *Journal of Medical Informatics & Technologies*. W konsekwencji stwierdzam, że rozprawa może ona stać się przedmiotem publicznej obrony. Wnoszę zatem o dopuszczenie mgr Wojciecha Bury do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

