

Prof. dr hab. inż. Zbigniew J. Czech
Politechnika Śląska
Instytut Informatyki
e-mail: zczech@polsl.pl

Gliwice 31.01.2015

*RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY
WYDZIAŁU INFORMATYKI I NAUKI O MATERIAŁACH
UNIwersytetu Śląskiego*

Tytuł rozprawy: Wielokryterialne, mrowiskowe algorytmy optymalizacji w nawigacji samochodowej

Autor rozprawy: mgr Wojciech Bury

1. Problem naukowy oraz tezy rozprawy

Rozprawa poświęcona jest wielokryterialnemu problemowi wyznaczania najkrótszej drogi w grafie. W szczególności rozważane jest wyszukiwanie optymalnej drogi między dwoma punktami na mapie drogowej w nawigacji samochodowej z zastosowaniem wielu kryteriów oceny.

W rozprawie analizowane są różne metody i podejścia do rozwiązania problemu. Jedną z najprostszych jest metoda, która polega na wprowadzeniu kryterium zastępczego, będącego agregacją poszczególnych kryteriów oceny. Innym podejściem jest metoda Pareto. W tym przypadku wynikiem działania algorytmów optymalizacji wielokryterialnej jest zbiór rozwiązań niezdominowanych, tzw. paretooptymalnych. Istnieją też szybkie algorytmy heurystyczne wyznaczające przybliżone zbiory rozwiązań. W tym względzie w rozprawie analizowane są algorytmy mrowiskowe.

W rozprawie Autor stawia tezę, w której stwierdza co następuje:

Problem znajdowania optymalnej drogi w nawigacji samochodowej z uwzględnieniem wielu kryteriów może być rozwiązywany za pomocą algorytmów mrowiskowych na rzeczywistych danych nawigacyjnych skuteczniej niż za pomocą algorytmu LABEL SETTING.

Uważam, że teza rozprawy została jasno sformułowana.

Podstawowymi celami rozprawy było:

- Opracowanie i dokonanie implementacji oryginalnego algorytmu mrowiskowego dla rozwiązywania problemu znajdowania drogi między zadanymi punktami na mapie z zastosowaniem wielu kryteriów, uwzględniając zasady optymalizacji wielokryterialnej w sensie Pareto.
- Przeprowadzenie badań eksperymentalnych implementacji algorytmu na rzeczywistych danych drogowych zaczerpniętych z systemu OpenStreetMap, uzupełnionych o dane o wypadkach i kolizjach z policyjnego systemu SEWiK (System Ewidencji Wypadków i Kolizji).

Wśród szczegółowych celów rozprawy można wymienić:

- Dobór parametrów zaproponowanych wersji algorytmu mrowiskowego – z kryterium zastępczym oraz kryterium wybieranym losowo.
- Przeprowadzanie porównawczej analizy eksperymentalnej zaproponowanych wersji algorytmu mrowiskowego.
- Realizacja adaptacji zaproponowanego algorytmu dla architektury CUDA oraz interfejsu programowego OpenCL.

2. Aktualność i ważność tematyki rozprawy

Tematyka rozprawy dotycząca problemów optymalizacji wielokryterialnej w zastosowaniu do nawigacji samochodowej jest aktualna i ważna zarówno pod względem teoretycznym, jak i praktycznym. Analizowany w rozprawie wielokryterialny problem wyznaczania drogi między dwoma punktami na mapie należy do klasy problemów NP-zupełnych. W literaturze znanych jest wiele metod rozwiązywania tego typu problemów. Autor w rozprawie stosuje do tego celu algorytmy mrowiskowe zaliczane do grupy algorytmów heurystycznych. Niewątpliwie, problem wyznaczania najkrótszych tras w nawigacji samochodowej, a także sekwencyjne oraz równoległe algorytmy mrowiskowe jego rozwiązania, którym poświęcona jest rozprawa, należą do nowoczesnego, szybko rozwijającego się nurtu badań w informatyce dotyczącego optymalizacji wielokryterialnej.

3. Oryginalny dorobek Autora, jego znaczenie poznawcze oraz przydatność praktyczna dla nauki i techniki

Oryginalny dorobek rozprawy jest zawarty w rozdziałach 5–7 rozprawy. Do dorobku tego należy zaliczyć:

- a) Opracowanie nowej, oryginalnej wersji wielokryterialnego algorytmu mrowiskowego NAVN (ang. *new ant vehicle navigation*) przeznaczonego do nawigacji samochodowej, który został szczegółowo przedstawiony w podrozdziale 5.2. W porównaniu do algorytmu mrowiskowego AVN znanego z literatury umożliwia on wyznaczanie rozwiązań (tras podróży) dla dużych, rzeczywistych map drogowych. Oba algorytmy zwracają najlepsze znalezione pojedyncze rozwiązanie z uwzględnieniem parametrów (preferencji) użytkownika określających ważność odległości, liczby pasów i skrzyżowań, natężenia ruchu na drodze oraz bezpieczeństwa i jakości proponowanej drogi.
- b) Opracowanie dwóch wersji aproksymacyjnego algorytmu MultiNAVN wyznaczającego zbiór rozwiązań niezdominowanych, pierwszej z kryterium zastępczym oraz drugim — z losowym wyborem kryterium. W algorytmie stosowano cztery kryteria oceny rozwiązań, tj. długość drogi, szerokość drogi, liczba skrzyżowań oraz bezpieczeństwo podróży.
- c) Zaimplementowanie w języku Java zaproponowanych w rozprawie oryginalnych algorytmów mrowiskowych, jak również algorytmów referencyjnych. Wykonanie narzędzi pomocniczych niezbędnych do przeprowadzenia badań eksperymentalnych. W szczególności opracowanie narzędzia umożliwiającego skorzystanie z rzeczywistych danych kartograficznych z systemu OpnStreetMap i uzupełnienie tych danych danymi o wypadkach i kolizjach zaczerpniętych z systemu SEWiK.
- d) Wykonanie adaptacji zaproponowanego algorytmu mrowiskowego dla architektury CUDA z zastosowaniem interfejsu programistycznego OpenCL. Równoległy algorytm OCLAVN został zaimplementowany w języku C/C++. Łączna długość tekstów źródłowych programów wykonanych przez doktoranta wyniosła ok. 6 tys. wierszy.

Oceniając dorobek rozprawy stwierdzam, że Autor wniósł oryginalny wkład w dziedzinę optymalizacji wielokryterialnej, w szczególności dotyczący algorytmów rozwiązania wielokryterialnych problemów nawigacji samochodowej.

Zaproponowany w rozprawie oryginalny algorytm NAVN jest lepszy od znanego z literatury światowej algorytmu AVN. Doktorant stwierdził, że algorytm AVN działa tylko dla niewielkich zestawów danych wejściowych, w szczególności zawodzi dla rzeczywistych danych kartograficznych. Przyczyną jest blokowanie mrówek w wierzchołkach grafu bez

krawędzi wyjściowych, po których mrówka mogłaby kontynuować eksplorację przestrzeni rozwiązań. Duży rozmiar rzeczywistych danych kartograficznych jest przyczyną, że zwykle wszystkie mrówki zostają zablokowane przed znalezieniem jakiegokolwiek rozwiązania.

Kluczową zmianą wprowadzoną przez doktoranta w opracowanych udoskonalonych wersjach algorytmów mrowiskowych, było umożliwienie powrotu zablokowanym mrówkom oraz dodatkowo zmniejszania śladu feromonowego na krawędziach, po których następuje cofanie się mrówki.

Opracowane dwie wersje algorytmu MultiNAVN (oznaczone jako MultiNAVN-L z kryterium wybieranym losowo oraz MultiNAVN-Z z kryterium zastępczym) zostały poddane badaniom eksperymentalnym. Autor stwierdził, że wersja MultiNAVN-L wymaga większej liczby mrówek, ale umożliwia znalezienie zbiorów rozwiązań o lepszej jakości. Z kolei w wersji MultiNAVN-Z liczba mrówek może być mniejsza, co zwiększa szybkość działania tej wersji, jednak jakość uzyskiwanych rozwiązań ulega pogorszeniu. Ponadto proponowane wersje MultiNAVN-L i MultiNAVN-Z charakteryzują się znacznie szerszym zakresem zastosowania na rzeczywistych mapach drogowych w porównaniu z klasycznym algorytmem LabelSetting.

Na podkreślenie zasługuje to, że dane do badań eksperymentalnych zostały pozyskane z bazy danych systemu OpenStreetMap, a do określenia kryterium bezpieczeństwa skorzystano z danych o wypadkach i kolizjach z systemu SEWiK (por. podrozdział 6.1). W ramach eksperymentów zbadano m.in.: i) wpływ wartości parametrów mrowiskowych na jakość otrzymanych wyników (por. podrozdział 6.1); ii) możliwość uzyskiwania przez poszczególne wersje algorytmu dobrych aproksymacji pełnego zbioru rozwiązań (por. podrozdział 6.5); iii) porównanie wyników uzyskiwanych przez udoskonalone algorytmy z wynikami klasycznego algorytmu LabelSetting.

4. Wiedza Autora oraz znajomość współczesnej literatury z dyscypliny naukowej, której dotyczy rozprawa

Autor rozprawy wykazuje bardzo dobrą znajomość dorobku literaturowego dotyczącego zagadnień, którym poświęcona jest rozprawa. Przegląd tych zagadnień został dokonany w rozdziałach 2, 3 i 4. Rozdział 2 stanowi wprowadzenie do tematyki optymalizacji wielokryterialnej. W rozdziale 3 Autor przedstawił sformułowanie wielokryterialnego problemu wyszukiwania najkrótszej drogi w grafie. Rozdział 4 zawiera omówienie algorytmów optymalizacji mrowiskowej znanych z literatury.

5. Wady i słabe strony rozprawy, uwagi dyskusyjne

Rozprawa jako całość nie ma istotnych wad. Struktura rozprawy oraz jej strona edycyjna są poprawne. Korekta została przeprowadzona starannie, nie dostrzegłem żadnych błędów typograficznych.

Język, którym napisana jest rozprawa jest generalnie poprawny. Znalazłem nieliczne błędy, np. „W celu realizacji postawionych w rozprawie celów” (s. 137); „wbudowanych procedur motoru bazy danych”, (s. 138); chyba lepszym określeniem byłby silnik bazy danych; „w porównaniu do klasycznego algorytmu” (s. 138) chyba lepiej: w porównaniu z klasycznym algorytmem.

W rozprawie Doktorant stosuje do rozwiązania wielokryterialnego problemu nawigacji samochodowej algorytmy mrowiskowe w ujęciu klasycznym. W dziedzinie algorytmów heurystycznych obserwuje się ostatnio tendencję do ulepszania tych algorytmów przez hybrydyzację. Przykładem może być algorytm memetyczny będący połączeniem klasycznego algorytmu genetycznego z algorytmem optymalizacji lokalnej. Można rozważyć czy podobne podejście hybrydyzacji algorytmów mrowiskowych umożliwiłoby otrzymanie jeszcze lepszych rozwiązań problemu nawigacji za pomocą wersji hybrydowej algorytmu NAVN. Oczywiście, niniejsza uwaga ma charakter dyskusyjny.

6. Wniosek końcowy

W podsumowaniu stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgra Wojciecha Bury spełnia wymagania obowiązujących przepisów dotyczących zawartości i formy rozpraw doktorskich. Wnoszę zatem o dopuszczenie Pana mgra Wojciecha Bury do następnej fazy przewodu doktorskiego.

Ponadto z uwagi na to, że zaproponowany algorytm mrowiskowych NAVN jest istotnie lepszy pod względem uzyskiwanego rozwiązania w porównaniu z algorytmem AVN znanym z literatury światowej wnoszę o wyróżnienie rozprawy.

Niektóre wyniki rozprawy zostały opublikowane — łącznie w 7 pracach — w sprawozdaniach renomowanych konferencji międzynarodowych oraz wydawnictwach o zasięgu światowym, np.:

- 3rd and 4th International Conference on Computational Collective Intelligence - Technologies and Applications ICCCI 2011, Gdynia, Poland; ICCCI 2012, Ho Chi Minh city, Vietnam (materiały konferencyjne ukazały się w LNCS, Springer);
- Agent-Based Optimization, Series: Studies in Computational Intelligence, Vol. 456, Springer 2013;
- Journal of Medical Informatics and Technologies, 2010.

co jest dodatkowym argumentem za wyróżnieniem rozprawy.

A. Uru