

Warszawa, 7 maja 2013

dr hab. inż. Jarosław Arabas, prof. nzw. PW  
Politechnika Warszawska  
Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych

# RECENZJA

rozprawy doktorskiej dla  
Rady Wydziału Informatyki i Nauki o Materiałach  
Uniwersytetu Śląskiego

**Tytuł rozprawy:**      **Adaptacyjny algorytm ewolucji różnicowej w rozwiązywaniu problemów teorii gier**

**Autor rozprawy:**    **mgr Przemysław Juszcuk**

## 1. Przedmiot recenzji

Rozprawa ma nieco ponad 130 stron wraz z bibliografią i dodatkami. Jest ona podzielona na 9 rozdziałów. Rozdział 1 stanowi wstęp, w którym Autor stawia tezę i cele pracy. Rozdziały 2-5 stanowią przegląd literatury. Kluczowym elementem jest rozdział 6, w którym Autor przedstawia własne rozwiązanie adaptacyjnego algorytmu ewolucji różnicowej, omówione w kolejnym punkcie recenzji. Rozdział 7 weryfikuje eksperymentalnie zaproponowany algorytm dla zagadnienia równowag w grach wieloosobowych, zaś rozdział 8 w niektórych innych zagadnieniach teorii gier. Wyniki eksperymentów, przedstawione w rozdziałach 7 i 8, zostały przez Autora wyselekcjonowane z większego zestawu, który w całości jest zawarty w dodatku A.

Rozprawa dokumentuje badania naukowe Autora związane z zastosowaniem metody ewolucji różnicowej do rozwiązania zagadnienia wyszukiwania równowagi w grze wieloosobowej. Autor zakłada reprezentację gry, w której każdy gracz ma do wyboru pewną liczbę strategii. Wybór ma charakter probabilistyczny, a wartości rozkładu prawdopodobieństwa wyboru strategii dla każdego gracza reprezentują rozwiązanie. Dopuszcza się więc, aby gracze stosowali strategie mieszane.

Autor formułuje zagadnienie wyszukiwania równowagi jako zadanie optymalizacji w przestrzeni wartości prawdopodobieństw wyboru strategii przez graczy. Ścisłej mówiąc, elementami przestrzeni przeszukiwań mogą być również zbiory liczb nie będące prawidłowymi definicjami rozkładu prawdopodobieństwa, gdyż nie spełniają warunku na sumowanie do jedności. Nie znalazłem informacji o istnieniu ograniczeń kostkowych, ograniczających zasięg zmienności optymalizowanych wartości do przedziału  $[0,1]$ , domyślam się jednak, że Autor wykorzystuje to założenie.

W przestrzeni przeszukiwań zdefiniowana jest funkcja celu (inaczej przystosowania), podlegająca minimalizacji, która jest ważoną sumą trzech składników:

1. odchylenia od strategii czystej (a zatem zmniejszenia wypłaty gracza związanego z odstąpieniem od strategii czystej),
2. kary za niespełnienie warunku sumowania do jedności,
3. nagrody za wykorzystanie strategii czystej.

Autor wykorzystuje do optymalizacji algorytm ewolucji różnicowej (Differential Evolution - DE), dokonując jego modyfikacji, których celem jest podniesienie jakości uzyskiwanych rozwiązań zarówno poprzez elementy adaptacji, jak i poprzez uwzględnienie wiedzy dziedzinowej o rozwiązywanym zadaniu optymalizacji. W szczególności Autor wprowadza następujące modyfikacje algorytmu DE:

1. selektywna mutacja, dokonująca modyfikacji jedynie w odniesieniu do wartości prawdopodobieństw przypisanych graczowi o najniższej wypłacie,
2. okresowe zmniejszanie liczebności populacji rozwiązań, związane z monitorowaniem różnorodności populacji,
3. losowe uzmiennienie współczynnika skalującego oraz parametru krzyżowania i związanie ich wartości z osobnikami.

Autor weryfikuje eksperymentalnie zaproponowany algorytm dla wielu przykładowych zadań poszukiwania równowagi w grach wieloosobowych różnych rodzajów i o różnym stopniu trudności. Wyniki uzyskiwane przez zaproponowany algorytm są porównywane z uzyskiwanymi przez inne algorytmy służących temu samemu celowi. Ze względu na niedeterministyczną naturę porównywanych metod, Autor realizuje wiele ich niezależnych uruchomień i wykonuje statystyczną analizę wyników.

## 2. Ocena merytoryczna rozprawy

Algorytm DE jest metodą optymalizacji globalnej, która, sądząc po wynikach uzyskiwanych podczas benchmarkowania, bardzo dobrze wypada w porównaniu z innymi metodami z rodziny metaheurystyk. Pomysł na adaptację, który Autor zrealizował, jest udanym połączeniem technik stosowanych wprowadzicie przez innych autorów, ale nigdy w takim zestawieniu. Nie jestem również świadom zastosowania metody ewolucji różnicowej w teorii gier w takim ujęciu, jak to opisano w rozprawie. Są to więc, w moim odczuciu, najistotniejsze oryginalne elementy rozprawy.

Na podkreślenie zasługuje sposób przeprowadzenia eksperymentów numerycznych. Autor ustrzegł się błędu spotykanego w ciągle zbyt wielu publikacjach naukowych, polegającego na podaniu jednej liczby charakteryzującej wynik zastosowania niedeterministycznego algorytmu do zadania optymalizacji z potencjalnie wieloma ekstremami lokalnymi. Zamiast tego Autor przedstawił wyczerpującą analizę statystyk wielu uruchomień, raportując zarówno wartości średnie i wariancję rozwiązań, jak i kwartyle ich rozkładu. Wystawia to dobre świadectwo dojrzałości naukowej Autora.

W kontraście do części eksperymentalnej, przegląd literatury wiążącej się z tematyką pracy nie zachwyca. Przykładowo, omawiając tematykę metod optymalizacyjnych wywodzących się z inspiracji naturą, Autor skacze po zagadnieniach. Po lekturze nie wiedziałbym nadal, czym są metaheurystyki, jak wiążą się z algorytmami ewolucyjnymi, jak z nimi z kolei wiąże się ewolucja różnicowa oraz jaki jest jej algorytm. Pewnym usprawiedliwieniem jest fakt, że w dziedzinie panuje znaczny bałagan pojęciowy, jednak rozprawa nie przyczynia się niestety do jego porządkowania. Po lekturze przeglądu literatury nie nabrałem przekonania, że to właśnie algorytm DE warto zastosować do zagadnień optymalizacyjnych związanych z teorią gier. Zabrakło mi chociażby powołania się na wyniki porównań algorytmów optymalizacyjnych na podstawie zbiorów benchmarkowych z rodziny CEC lub BBOB.

Opis adaptacyjnego algorytmu DE jest nieprecyzyjny. Przyczyniło się to do powstania pewnych wątpliwości, które nasunęły mi się podczas lektury pracy. Poniżej wymieniam najważniejsze z nich.

1. Czy istnieją ograniczenia kostkowe na wartości liczbowe interpretowane jako rozkłady prawdopodobieństwa. Jeśli istnieją, jak są uwzględniane, a jeśli ich nie ma, to jak interpretuje się np. wartości ujemne podczas obliczania wartości funkcji celu?
2. Jak określane są wartości  $F_1$  oraz  $CR_1$  i czy rzeczywiście, jak się domyślam, są zapisywane jako elementy osobnika?
3. Obawiam się, że lambda-modyfikacja może prowadzić do obciążenia przeszukiwania w stronę początku układu współrzędnych. Oznaczałoby to, że DE z tą modyfikacją będzie uzyskiwać

lepsze wyniki niż bez niej, lecz jedynie dla funkcji celu z optimum w początku układu współrzędnych.

### 3. Ocena strony redakcyjnej rozprawy

Rozprawa jest napisana poprawną polszczyzną, co zasługuje na podkreślenie, jednak brak jest precyzji wywodu. Poniżej podaję kilka przykładów z kilku pierwszych stron.

W pierwszym zdaniu tezy Autor pisze, że „zaproponowane modyfikacje algorytmu ewolucji różnicowej poprawiają jakość rozwiązań”, nie wspomina jednak, w stosunku do czego następuje ta poprawa. Podobnie w drugim zdaniu Autor deklaruje, że „przekształcenie powyższego zagadnienia do problemu optymalizacji ciągłej pozwala na wprowadzenie ogólnej funkcji oceny umożliwiającej jego rozwiązywanie bez wyraźnego zwiększenia kosztu obliczeniowego algorytmu”. Znowu nie jest jasne, w stosunku do czego owo zwiększenie miało nastąpić oraz jak rozpoznać, że jest ono wyraźne.

Autor (str. 6) pisze o „zwykłych” metodach optymalizacji, które często zawodzą, a także o „naturalnych problemach optymalizacyjnych”, które są często są NP-trudne.

Pisząc o metaheurystykach (str.7) autor zauważa, że „wszystkie [...] opierają się na prostym schemacie algorytmu ewolucyjnego”, z czym nie mogę się zgodzić.

Kluczowy z punktu widzenia algorytm DE nie został zapisany w pseudokodzie, lecz Autor podał rysunek 2.1, zwany schematem ewolucji różnicowej. Rysunek ten nie pozwala na odtworzenie algorytmu metody DE, a tym bardziej na jego implementację.

Według Autora „budowa funkcji oceny jest najistotniejszym elementem całego algorytmu” (str.11), z czym nie mogę się zgodzić, gdyż algorytm DE, jak każda inna metoda optymalizacji, nie zawiera w sobie ani definicji, ani budowy zadania optymalizacji, lecz służy do jego rozwiązywania.

Uwagi szczegółowe zostaną przekazane Autorowi w formie notatek naniesionych na maszynopis. Nieprecyzyjny sposób opisu utrudnia wprawdzie lekturę pracy, jednak jej nie dyskwalifikuje.

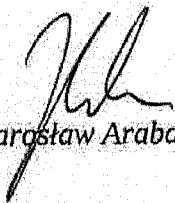
### 4. Wnioski

Tematyka pracy dotyczy zastosowania metody ewolucji różnicowej w teorii gier. Mieści się ona w dyscyplinie naukowej „informatyka”.

Opiniowana praca jest dziełem oryginalnym, wnoszącym istotny wkład w rozwój dziedziny.

Mocną stroną pracy jest pomysł na algorytm rozwiązujący badane zagadnienia oraz sposób przeprowadzenia weryfikacji empirycznej, natomiast słabą stroną jest brak precyzji wywodu.

Rozprawa spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim zarówno przez obowiązujące przepisy, jak i przez obyczaj naukowy. Wnoszę o dopuszczenie do jej publicznej obrony.

  
Jarosław Arabas