

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, 11.05.2013

## RECENZJA

*rozprawy doktorskiej mgr Przemysława Juszcuka pt.  
„Adaptacyjny algorytm ewolucji różnicowej w rozwiązywaniu problemów teorii gier”*

### 1. Problematyka naukowa oraz przedmiot rozprawy

Jednym z głównych aktualnie kierunków rozwoju informatyki są systemy rozproszone, które reprezentują sobą zbiór niezależnych komputerów połączonych systemem komunikacyjnym. Przykładami takich systemów są dzisiaj systemy gridowe, systemy chmurzaste czy spontaniczne sieci mobilne i bezprzewodowe. Systemy te w odróżnieniu od systemów zcentralizowanych charakteryzują się tym, że do ich zarządzania stosuje się algorytmy rozproszone, w których podejmowanie decyzji odbywa się lokalnie i w oparciu o niepełną ograniczoną wiedzę o systemie, a lokalne jednostki podejmujące decyzje mogą konkurować z innymi podobnymi jednostkami w dostępie do zasobów obliczeniowych i komunikacyjnych. Do opisu takich systemów oraz tworzenia rozproszonych algorytmów zarządzania nimi używa się metod teorii gier niekooperacyjnych. Rozwiązaniem takich gier są punkty równowagi Nash'a. Odnalezienie punktów równowagi Nash'a jest jednak złożonym problemem optymalizacyjnym, do rozwiązania którego należy stosować odpowiednie algorytmy.

Recenzowana rozprawa doktorska poświęcona jest badaniu możliwości zastosowania relatywnie nowej metaheurystyki - algorytmów ewolucji różnicowej do rozwiązania problemów teorii gier, a w szczególności do wyszukiwania punktów równowagi Nash'a w niekooperacyjnych,  $n$ -osobowych grach o sumie niezerowej. Zagadnienie to, jak wskazałem wyżej, ma istotne znaczenie dla współczesnej informatyki, jak też w takich dziedzinach jak ekonomia, nauki społeczne czy biologia. Związane jest ono ściśle z teorią decyzji, gdzie istotny jest problem zarządzania doбором strategii obejmującym analizę i wspomaganie procesu podejmowania decyzji w skomplikowanych sytuacjach decyzyjnych, gdzie występuje konflikt dwóch, lub więcej stron.

Doktorant w swojej rozprawie opracował oryginalny algorytm ewolucji różnicowej bazujący na adaptacji parametrów oraz przekształceniu zagadnienia wyszukiwania równowag Nash'a w grach  $n$ -osobowych w problem optymalizacji funkcji ciągłej. Zaproponowana w rozprawie funkcja oceny może w bardzo prosty sposób zostać przekształcona tak, aby możliwe było rozwiązywanie także problemów pokrewnych do wyszukiwania równowag Nash'a, takich jak np. Pareto równowaga Nash'a, wyszukiwanie punktów ogniskowych czy też wyszukiwanie równowag Nash'a z dodatkowymi właściwościami. Istotnym elementem opracowanego algorytmu optymalizacji różnicowej jest jego adaptacyjny charakter. Zaproponowane zostały mechanizmy umożliwiające modyfikację operatora mutacji na podstawie bieżącej populacji. Ponadto opracowana została metoda umożliwiająca dynamiczną zmianę wielkości populacji oparta na entropii. Powyższe modyfikacje w połączeniu z mechanizmem ograniczenia liczby strategii aktywnych dostępnych dla każdego z graczy stanowią podstawę algorytmu umożliwiającego wyszukiwanie równowag Nash'a w grach  $n$ -osobowych.

Jednym z istotnych elementów przeprowadzonych badań eksperymentalnych było porównanie autorskiego algorytmu z podstawowym algorytmem ewolucji różnicowej oraz z dwoma algorytmami znanymi z literatury. Wyniki badań potwierdziły wysoką efektywność zaproponowanego algorytmu. Uważam, że teza rozprawy została jasno postawiona, a cel ściśle określony.

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 9 rozdziałów, bibliografii obejmującej 151 pozycji literaturowych, dodatku, listy rysunków oraz listy tabel. Całość pracy obejmuje 136 stron i ma ona charakter teoretyczno-eksperymentalny. Najważniejsze rozdziały rozprawy to rozdziały 6,7 i 8, 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 szczegóły techniki optymalizacyjnej znanej jako algorytm ewolucji różnicowej, ze szczególnym uwzględnieniem różnych schematów mutacji. Rozdział kończy opis stosowanych modyfikacji algorytmu.

W kolejnym rozdziale, Rozdziale 3 opisane zostały różne warianty algorytmu ewolucji różnicowej. Rozdział podzielony został na trzy części, które odpowiednio przedstawiają modyfikacje oparte na metodach hybrydowych, opisują metody związane z dynamiczną zmianą parametrów oraz metody adaptacyjnej zmiany parametrów.

W Rozdziale 4 przedstawione zostały podstawowe pojęcia związane z teorią gier. Podana została definicja gry oraz macierzy wypłat, przedstawiono klasyfikację gier. Poruszany jest także aspekt punktu równowagi i jego wpływ na wypłatę graczy podaną w jednostkach użyteczności. Ostatni podrozdział to szczegółowy opis zagadnienia równowagi Nash'a oraz złożoności obliczeniowej problemu odnalezienia tej równowagi.

Rozdział 5 poświęcony jest algorytmom wyszukiwania równowag Nash'a. Podano najpopularniejsze algorytmy stosowane do wyszukiwania równowag Nash'a dla gier 2-osobowych i n-osobowych.

Rozdział 6 jest pierwszym rozdziałem rozprawy, w którym przedstawiono wyniki własne. Rozdział zawiera szczegółowy opis autorskiego algorytmu ewolucji różnicowej, który został zastosowany do rozwiązywania problemów teorii gier rozpatrywanych w rozprawie. Nowy adaptacyjny algorytm ewolucji różnicowej oparty jest następujących zaproponowanych modyfikacjach:

- na nowym operatorze selektywnej mutacji pozwalającym na ograniczenie złożoności algorytmu
- na modyfikacji poprawiającej zbieżność algorytmu w końcowej fazie jego działania (tzw. lambda modyfikacja)

- na dynamicznej zmianie wielkości populacji opartej na stopniu entropii.

Rozdział 7 zawiera szczegółowe wyniki badań proponowanego algorytmu ewolucji różnicowej stosowanego do odnalezienia punktów równowagi Nash'a i równowag przybliżonych. Opisy wykonywanych badań są szczegółowe i podane w sposób bardzo rzetelny. Autor przedstawił założenia i warunki badań oraz każdorazowo przeprowadził dyskusję wyników, ilustrując ją odpowiednimi tabelami i wykresami. Same eksperymenty przeprowadzone zostały na bardzo dużym zbiorze danych obejmującym 3 typy gier dla 3-5 graczy. Wyniki uzyskane z użyciem zaproponowanego algorytmu korzystnie wyróżniają się na tle innych użytych algorytmów, takich jak SM, GNM czy standardowy algorytm ewolucji różnicowej.

Rozdział 8 stanowi rozszerzenie problemu z poprzedniego rozdziału na problem wyszukiwania równowag Nash'a z dodatkowymi własnościami. Autor przedstawia analizę skuteczności proponowanej metody w zagadnieniu związanym z równowagą Nash'a z wykluczeniem strategii, a także równowag zawierających strategie o ustalonym prawdopodobieństwie.

Ostatni z rozdziałów, Rozdział 9 jest podsumowaniem wyników osiągniętych w rozprawie oraz przedstawia propozycję dalszej kontynuacji badań.

### **3. Najistotniejsze osiągnięcia przedstawione w rozprawie**

Rozprawa doktorska mgra Przemysława Juszcuka zawiera nowe, oryginalne wyniki dotyczące zastosowania metod ewolucyjnych do zagadnień związanej z teorią gier. Do najistotniejszych osiągnięć rozprawy zaliczyć należy:

- analizę istniejących aktualnie algorytmów ewolucji różnicowej i wykazanie ich niedostatków z punktu widzenia zastosowań do problemów teorii gier
- opracowanie nowego adaptacyjnego algorytmu ewolucji różnicowej opartego na nowym typie mutacji oraz dynamicznej zmianie populacji
- zaproponowanie użycia nowego algorytmu ewolucji różnicowej do rozwiązania problemu poszukiwania punktów równowagi Nash'a w grach niekooperacyjnych i wykazanie przewagi tego algorytmu nad aktualnie stosowanymi algorytmami, w aspekcie czasu poszukiwania rozwiązań oraz wielkości zbioru rozwiązań
- wykazanie efektywności zaproponowanego algorytmu ewolucji różnicowej do rozwiązywania innych problemów teorii gier, w tym do wyszukiwania punktów równowagi Nash'a z dodatkowymi własnościami.

### **4. Uwagi merytoryczne**

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

- Czy była rozpatrywana możliwość użycia innych technik ewolucyjnych do rozwiązania problemu wyszukiwania punktów równowagi Nash'a i jakie były motywacje zastosowania ewolucji różnicowej? Jakich wyników spodziewałby się doktorant gdyby były zastosowane inne techniki ewolucyjne?
- Doktorant zajmował się w swojej rozprawie klasą gier określanych jako gry niekooperacyjne, dla których rozwiązaniem jest punkt równowagi Nash'a; przeciwstawną koncepcją do tej klasy gier są gry kooperacyjne, które też mają swoje rozwiązanie; doktorant wspomina o nich, ale celowe byłoby też krótkie naświetlenie koncepcji rozwiązania dla gier kooperacyjnych.
- Jak wygląda typowy pojedynczy przebieg zaproponowanego algorytmu ewolucji różnicowej stosowanego do problemu poszukiwania równowag Nash'a jako zależność funkcji dopasowania od liczby generacji/iteracji?

## 5. Uwagi redakcyjne i edytorskie

Praca napisana jest precyzyjnym językiem i starannie zredagowana. Duża liczba wykresów i tabel pomaga śledzić kolejne kroki rozprawy. Strukturę pracy można byłoby polepszyć, gdyby doktorant po Rozdziale 1 przedstawił problem jaki zamierza rozwiązać, a dopiero w dalszych rozdziałach zajął się metodą rozwiązania. Niektóre pojęcia wprowadzone w pracy, np. *adaptacja* i *samoadaptacja* nie są doprecyzowane, a kwestia entropii jako narzędzie przewidywania liczebności populacji została potraktowana ogólnikowo.

## 6. Podsumowanie

Powyżej przedstawione uwagi merytoryczne oraz redakcyjne 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. Rangę uzyskanych wyników podkreśla fakt opublikowania części z nich w renomowanych czasopismach o zasięgu światowym: *Central European Journal of Computer Science* czy też *LNCS* jak też w materiałach kilku międzynarodowych konferencji.

Podsumowując, stwierdzam, że przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr Przemysława Juszcuka pt.: „Adaptacyjny algorytm ewolucji różnicowej w rozwiązywaniu problemów teorii gier” spełnia w stopniu bardzo dobrym wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązującą ustawę o stopniach i tytule naukowym. W konsekwencji, może ona stać się przedmiotem publicznej obrony. Wnoszę zatem o dopuszczenie mgr Przemysława Juszcuka do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Mając na względzie oryginalność uzyskanych w rozprawie wyników oraz rangę czasopism, w których opublikowano te wyniki wnioskuję o wyróżnienie rozprawy.

