

Poznań, 29.03.2021 r.

Dr hab. inż. Krzysztof Kurowski
Instytut Chemii Bioorganicznej PAN
Poznańskie Centrum Superkomputerowo – Sieciowe
Ul. Jana Pawła II 10
61-139 Poznań

Akademia Górniczo – Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie
Rada Dyscypliny Informatyka
Techniczna i Telekomunikacja
Al. A. Mickiewicza 30
30-059 Kraków

Recenzja

Przedmiotem recenzji jest rozprawa mgr inż. Mateusza Starca zatytułowana w języku angielskim „*Ant Colony Optimization with Distributed Pheromones Matrix for Discrete Large-scale Optimization Problems*”. Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Aleksander Byrski. Recenzja została opracowana na podstawie zlecenia RD.ITiT.WIEiT.510-23/19/18/2021 działającego na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Informatyki Technicznej i Telekomunikacji z dnia 26.01.2021 r.

1. Znaczenie podjętej tematyki oraz cel rozprawy

Bardzo istotnymi zagadnieniami dla zastosowania metaheurystyk inspirowanych biologicznie w poszukiwaniu dobrej jakości rozwiązań w problemach optymalizacyjnych jest czas i skalowalność obliczeń. Ze względu na zwiększającą się heterogeniczność zasobów obliczeniowych, w szczególności architektur wielordzeniowych procesorów, akceleratorów graficznych oraz różnych poziomów dostępu do pamięci podręcznej i kanałów komunikacyjnych, zapewnienie odpowiedniej skalowalności i poziomu zrównoleglenia dla metaheurystyk, w szczególności dla algorytmów mrówkowych, nie są zadaniami trywialnymi. Algorytmy mrówkowe od wielu lat są przedmiotem badań oraz doczekały się wielu ciekawych zastosowań jako wydajna probabilistyczna technika rozwiązywania problemów obliczeniowych, w tym problemów optymalizacyjnych, których reprezentacja przestrzeni

rozwiązań możliwa jest za pomocą grafu. W praktyce algorytmy mrówkowe zostały z powodzeniem wykorzystane do rozwiązywania relatywnie dużych instancji wielu klasycznych problemów optymalizacji, np. szeregowania i marszrutyzacji, zapewniając znalezienie dobrych rozwiązań w pewnym i skończonym czasie obliczeniowym. Jednak już samo zwiększanie wydajności obliczeń wymaga przekrojowej wiedzy na pograniczu teorii rozproszonych algorytmów równoległych oraz doświadczeń w zakresie zastosowań informatyki i matematyki obliczeniowej. Poprzez dobór stosownych struktur danych oraz mechanizmów komunikacji i synchronizacji równoległych zadań obliczeniowych w dużej skali możliwe staje się rozwiązywanie coraz większych instancji problemów i poprawa znajdowanych rozwiązań.

Podstawowym celem rozprawy doktorskiej mgr inż. Mateusza Starca opartej o cykl publikacji było zaproponowanie nowej i wydajnej techniki rozproszenia oraz desynchronizacji współdzielenia wiedzy podczas przeszukiwania przestrzeni rozwiązań przez kolonie w algorytmie mrówkowym wykorzystującym architektury współbieżnego przetwarzania w klastrach obliczeniowych i systemach HPC. Główna teza doktoratu została sformułowana w przemyślany sposób, a w przedstawionym cyklu publikacji zaprojektowano, a następnie zaimplementowano i eksperymentalnie przebadano zdesynchronizowaną wersję algorytmu mrówkowego. Przeprowadzone przez Doktoranta analizy porównawcze otrzymanych wyników w ramach wykonanych eksperymentów obliczeniowych wykazały poprawę jakości rozwiązań i przyspieszenie procesu zbiegania do optymalnych rozwiązań w stosunku do referencyjnych podejść sekwencyjnych. Analizy potwierdziły również relatywnie wysoką skalowalność zaproponowanych usprawnień dla nowej wersji algorytmu mrówkowego w różnych konfiguracjach zasobów obliczeniowych oraz rosnących rozmiarów instancji rozważanych problemów.

Reasumując, rozważane zagadnienia, zarówno od strony teoretycznej, jak i praktycznej, wpisują się w trend naukowo-badawczy dynamicznie rozwijający się w dyscyplinie Informatyka. Warto zaznaczyć, iż systemy komputerowe dużej mocy, wykorzystujące często strukturę klastrów, składających się z dużej liczby heterogenicznych węzłów obliczeniowych w architekturze wielordzeniowej z rozproszoną pamięcią współdzieloną wywierają obecnie ogromny wpływ na sposób przeprowadzania eksperymentów obliczeniowych i symulacji w różnych dziedzinach nauki, nie tylko informatyce technicznej. Wraz z rozwojem systemów komputerowych niezwykle istotny jest jednoczesny rozwój oraz tworzenie przyjaznych dla użytkowników i ekspertów dziedzinowych środowisk programistycznych wysokiego poziomu, które ułatwiają i znacząco przyspieszają rozwiązywanie trudnych problemów obliczeniowych. W tym kontekście, podejmowana przez Doktoranta tematyka jest ważna z perspektywy naukowej, a jednocześnie stanowi istotny oraz twórczy element wkładu w rozwój algorytmów mrówkowych i ich zastosowań wykorzystujących rosnący potencjał systemów obliczeniowych dużej mocy. Zakres zaprezentowanych działań stopniem trudności oraz oryginalności odpowiada w pełni wymaganiom, jakie zwyczajowo i ustawowo stawia się rozprawom na cyklu publikacji.

2. Analiza i ocena poszczególnych fragmentów pracy

Przedłożona rozprawa doktorska to zwięzły i spójny tematycznie cykl oryginalnych prac opublikowanych w czterech artykułach. Na pierwszą część składa się pięć merytorycznych rozdziałów prezentujących odpowiednio główne motywacje i cele podjętych badań, realizacje głównych założeń oraz opis przeprowadzonych eksperymentów obliczeniowych wraz z

otrzymanymi wynikami oraz stosownymi konkluzjami (55 stron). Krótkie opisy podsumowujące wyniki kolejnych etapów prac realizowanych w poszczególnych artykułach stanowią drugą część doktoratu (60 stron łącznie z referencjami i wskaźnikami bibliometrycznymi). W samej bibliografii zawarto czterdzieści cztery pozycje, w tym cztery pozycje w których współautorem jest mgr inż. Mateusz Starzec.

Główne założenia oraz motywacje zostały przedstawione w Rozdziale 1. W rozdziale tym opisano również podstawowe etapy pracy naukowej wraz z zaproponowaną metodologią. Przyjęta metodologia pracy naukowej bazuje na walidacji przyjętych w doktoracie założeń z wykorzystaniem eksperymentów obliczeniowych uruchamianych w rzeczywistym środowisku systemu komputerowego dużej mocy wraz z mierzalnymi wynikami wydajnościowymi wykorzystywanymi do oceny jakości rozwiązań.

W Rozdziale 2 zaprezentowano podstawowe zasady działania klasycznych algorytmów mrówkowych (wzory 2.1 – 2.3) oraz wybrane z literatury usprawnienia (wzory 2.4 – 2.7), które ze względu na skalę oraz różnorodność zastosowań rozważanej metaheurystyki dla problemów optymalizacyjnych nie wyczerpują przeglądu literaturowego. Ze względu jednak na wybór klasycznego problemu komiwojażera jako referencyjnego problemu testowego warto poszerzyć przegląd literaturowy wydajnych metod optymalizacji uwzględniających specyficzne dla tego problemu kryteria i ograniczenia, np. wielokryterialną ocenę podczas przeszukiwania przestrzeni rozwiązań, badanie globalnej wypukłości instancji problemu komiwojażera, itp. Doktorant w swoich rozważaniach wielokrotnie podkreśla fakt, iż algorytmy mrówkowe są przykładem ogólnej metaheurystyki. W praktycznych zastosowaniach (no free lunch), w celu uzyskania najlepszych rozwiązań, należy jednak szukać kompromisu pomiędzy procesem eksploatacji i eksploracji przestrzeni rozwiązań z uwzględnieniem specyfiki rozwiązywanego problemu oraz jego reprezentacji, co powinno znajdować odzwierciedlenie w stosownych opisach i ew. ilustracjach. W dalszej części drugiego rozdziału przedstawiono wybrane sposoby zrównoleglenia obliczeń dla algorytmów mrówkowych. Dokonany przegląd literaturowy jest obszerny, choć podobnie jak w przypadku podstawowych założeń, mógłby uwzględniać znacznie więcej odniesień, w szczególności do wyników prac naukowych związanych z technikami zrównoleglenia i poprawy wydajności obliczeń z wykorzystaniem wysokowydajnych systemów komputerowych. Wydajność nowych architektur komputerowych, sprzętowo wspieranych kanałów komunikacji i synchronizacji przetwarzanych danych dla dużych wolumenów danych, może być z pewnością wykorzystywana do zwiększenia wydajności zaproponowanego podejścia bazującego na rozproszonej macierzy feromonów.

W rozprawie doktorskiej, w szczególności w Rozdziale 3, zupełnie niepotrzebnie Doktorant zawęza swoje rozważania i eksperymentalne badania w kontekście doboru rozmiaru kolonii oraz podziału macierzy feromonów i synchronizacji obliczeń do raczej homogenicznych i wielordzeniowych układów przetwarzania dużej mocy. Popularne przez wiele lat rozwiązania coraz częściej wypierane są obecnie przez heterogeniczne układy przetwarzania zarówno w klastrach obliczeniowych, jak i systemach HPC. Z pewnością warto byłoby rozważyć dodatkowe eksperymenty obliczeniowe dla wybranych testowych instancji problemu komiwojażera polegające na sprawdzeniu np. jak dla porównania całkowity czas obliczeń: Distributed – AS vs Desynchronized AS skaluje się wraz z liczbą różnych typów elementów przetwarzających, różnych łącz komunikacyjnych i dostępu do pamięci, w szczególności uwzględnić popularne wielordzeniowe układy z kartami GPU. Ponadto, zaprezentowane wyniki eksperymentów cechują się dosyć dużą zmiennością jakości rozwiązań, a na uwagę zwraca fakt stosunkowo niskiej liczby powtórzeń wykonanych eksperymentów, co wymagałoby stosownego komentarza ze strony Doktoranta. Sama prezentacja wyników głównych eksperymentów w części pierwszej powinna być zawsze spójna i stosownie wyjaśniona w odniesieniu do cyklu publikacji. Dla przykładu wykresy 3.4 i 3.5 - różne tytuły,

oznaczenia: Fast Optimization - TSP pr2392 vs Optimization of PR2392, a w tym konkretnym przypadku otrzymane wyniki możliwe są do zaprezentowania na jednym czytelnym wykresie. W opisach eksperymentów w części pierwszej pracy należy unikać ogólnych, niewiele wnoszących do kluczowych rozważań stwierdzeń, tym bardziej, że rozprawa ma bardzo zwięzły charakter wynikający z przyjętej formuły opisu w oparciu o cykl publikacji. Warto również zaznaczyć, że pod względem edycyjnym widać różnicę w staranności, stylistyce oraz poprawności gramatycznej opisów w języku angielskim pomiędzy częścią pierwszą – spinającą cykl publikacji i drugą, na którą składają się opublikowane i recenzowane artykuły. W Rozdziale 4 recenzowanej pracy, Doktorant podjął cenne rozważania wykorzystania podejścia desynchronizacji wiedzy globalnej dla innych problemów optymalizacyjnych. Tym samym, oryginalne rozwiązanie rozważanego problemu naukowego oraz potencjalny obszar zastosowań wyników pracy naukowej znacząco się powiększył. Zwiększył się jednocześnie wartościowy wkład Doktoranta do aktualnej problematyki badawczej w obszarze nowych metod i podejść do rozwiązywania problemów optymalizacji z wykorzystaniem klastrów i systemów HPC, który został stosownie i całościowo podsumowany w Rozdziale 5. W drugiej części doktoratu: Rozdziały 6 – 9, Doktorant w sposób syntetyczny podsumował swój wkład naukowy w wybranych czterech artykułach opublikowanych w uznanych czasopismach naukowych.

Konkludując, pomimo bardzo zwięzłej formuły, pewnych drobnych braków, w tym braku pełnej spójności oraz pogłębionej eksperymentalnej walidacji przyjętych założeń, **rozprawa doktorska w oparciu o cykl publikacji jest merytorycznie przekonująca**. Przedstawione wyniki eksperymentów obliczeniowych dla testowych konfiguracji sprzętowo-programowych potwierdzają zasadność zaproponowanego przez Doktoranta podejścia desynchronizacji wiedzy globalnej nie tylko dla algorytmów mrówkowych, ale również innych agentowych algorytmów optymalizacyjnych oraz symulacji.

3. Ocena końcowa pracy

Kandydat posiada dostateczną wiedzę w dyscyplinie Informatyka oraz nabył wymagane doświadczenie i umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska w oparciu o cykl publikacji Pana mgr inż. Mateusza Starca pt.: „*Ant Colony Optimization with Distributed Pheromones Matrix for Discrete Large-scale Optimization Problems*” **spełnia wymogi określone w Ustawie o stopniach i tytule naukowym**, w tym: art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14.03.2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65 r., poz. 595 z późn. zm.).

W związku z tym **wnoszę o dopuszczenie Pana mgr inż. Mateusza Starca do publicznej dyskusji nad Jego rozprawą doktorską** w Radzie Dyscypliny Informatyki Technicznej i Telekomunikacji Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

