

Prof. dr hab. inż. Stefan Domek
Katedra Automatyki i Robotyki
Wydział Elektryczny
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Marka Machaczka
„Analiza efektywności równoległych implementacji wybranych algorytmów
optymalizacji statycznej”

1. PODSTAWA PRAWNA, PRZEDMIOT I ZAKRES RECENZJI

Podstawą sporządzenia recenzji była umowa o dzieło nr 10/AEiE/23 z dnia 18.07.2023 r. podpisana przez dr. hab. inż. Andrzeja Waindoka, Przewodniczącego Rady Naukowej dyscypliny Automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne Politechniki Opolskiej.

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr. inż. Marka Machaczka zatytułowana „Analiza efektywności równoległych implementacji wybranych algorytmów optymalizacji statycznej”. Promotorem rozprawy doktorskiej jest dr hab. inż. Jan Sadecki.

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 roku w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w procedurze doktorskiej, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 2018 r., poz. 261) recenzja zawiera ocenę rozprawy doktorskiej pod względem spełnienia warunków określonych w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r., poz. 1668 z późniejszymi zmianami) stawiane rozprawom doktorskim w odniesieniu do dyscypliny Automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne, dziedzina nauk inżynieryjno-technicznych (Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 września 2018 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin artystycznych – Dz. U. z 2018 r., poz. 1818 z późniejszymi zmianami).

2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA, ZAKRES I CEL ROZPRAWY

Potrzeba wyznaczenia najlepszego w wybranym sensie rozwiązania jakiegoś problemu, czyli optymalizacji jest powszechna w wielu obszarach życia. Jeśli problem jest złożony, z reguły optymalnego rozwiązania nie można wyznaczyć analitycznie tylko przy pomocy jakiejś metody poszukiwania, zwanej algorytmem optymalizacji. Konstruowanie efektywnych algorytmów optymalizacji trwa od co najmniej kilkudziesięciu lat i przyczyniło się do powstania obszernej teorii optymalizacji. W jej ramach sformułowano wiele typowych problemów optymalizacji i opracowano wiele metod wyznaczania optymalnych rozwiązań, najczęściej metodami numerycznymi. Wśród zadań optymalizacji można wyróżnić problemy statyczne i dynamiczne,

wielokryterialne, liniowe i nieliniowe, z ograniczeniami i bez ograniczeń. Wśród algorytmów wyznaczania optymalnych rozwiązań z kolei tzw. metody bezgradientowe i gradientowe, heurystyczne i metaheurystyczne. Wiele z nich uznawanych jest dziś za standardowe, np. bezgradientowa metoda Gaussa-Seidela, metoda gradientowa największego spadku, metoda Monte Carlo czy algorytm genetyczny. Poszukiwanie zbieżnych, stabilnych i skutecznych a przede wszystkim szybkich algorytmów optymalizacji jest wciąż aktualnym tematem badań naukowych. Równocześnie postępuje dynamiczny rozwój sprzętu komputerowego zapewniający ogromny wzrost wydajności komputerów, zasobów pamięci czy liczby procesorów. Istnieje więc potrzeba opracowania nowych lub dostosowania istniejących algorytmów optymalizacji do mocy obliczeniowej współczesnych wieloprocessorowych, klastrowych lub sieciowych struktur sprzętu, tak aby umożliwić szybkie rozwiązywanie coraz bardziej złożonych i skomplikowanych problemów optymalizacji. Jedną z metod osiągnięcia tego celu jest tzw. zrównoleglenie istniejących i sprawdzonych algorytmów optymalizacji statycznej pracujących najczęściej w trybie sekwencyjnym.

Autor rozprawy postanowił opracować nowe równoległe realizacje algorytmów wybranych bezgradientowych metod optymalizacji statycznej, konkurencyjne pod względem efektywności w stosunku do standardowych algorytmów optymalizacji statycznej a następnie przeprowadzić analizę ich efektywności dla kilku platform sprzętowych oraz kilku komercyjnych bibliotek oprogramowania.

Wybór takiej metody badawczej uważam za właściwy i w pełni uzasadniony. Zastosowane narzędzia i metody analizy świadczą o tym, że rozprawa doktorska mgr. inż. Marka Machaczka mieści się w zakresie dyscypliny Automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne i wpisuje się w aktualny i istotny dla niej nurt badań.

Swoje idee Autor zawarł w obszernej a zarazem dość ogólnej tezie rozprawy mówiącej, że „Przetwarzanie równoległe stwarza realne możliwości znaczącej poprawy efektywności realizacji analizowanych w pracy metod i algorytmów optymalizacji statycznej poprzez konstrukcję nowych rozwiązań algorytmicznych bardziej dostosowanych do wymogów architektury równoległej oraz poprzez poszukiwanie efektywnych implementacji tych algorytmów uwzględniających specyfikę architektury równoległej klastrów obliczeniowych, procesorów wielordzeniowych oraz procesorów graficznych GPGPU”.

Jej słuszność postanowił wykazać przeprowadzając rozważania teoretyczne i informatyczne oraz liczne obliczenia numeryczne uporządkowane dla uzyskania czterech celów szczegółowych. Zaproponowane metody realizacji postawionych celów oceniam jako poprawne i dające potencjalną możliwość uzyskania interesujących rezultatów teoretycznych i praktycznych.

3. ZAWARTOŚĆ MERYTORYCZNA ROZPRAWY

Recenzowana rozprawa liczy łącznie 193 strony. Właściwy tekst pracy o objętości 149 stron poprzedzony jest spisem treści, a zakończony wykazem źródeł bibliograficznych, spisem rysunków oraz 6-częściowym Dodatkiem.

Merytorycznie pracę można podzielić na kilka części, zgodnie z zakresem zapowiadzianym przez Autora w rozdziale 1. Każda część opisuje zagadnienia znane z literatury, ale zawiera również oryginalne dokonania Doktoranta, o charakterze zarówno naukowym, jak i praktycznym.

Trzon pracy stanowią:

- rozdziały 2 i 3 obejmujące wprowadzenie w problematykę optymalizacji statycznej oraz przegląd wybranych metod optymalizacji. Doktorant wybrał do badań dobrze znane algorytmy: sekwencyjny Gaussa-Seidela, kierunków sprzężonych Powella, bezgradientowy Chazana-Mirankera oraz sympleksowy Nelderera-Meada. Dla każdego z nich przeprowadził analizę możliwości zrównoleglenia obliczeń i efektywności równoległych implementacji;
- rozdziały 5 i 6 przedstawiające i podsumowujące wyniki obszernych badań różnych wersji opracowanych implementacji równoległych i szeregowo-równoległych optymalizacji statycznej na tle pierwotnych wersji sekwencyjnych. Testy przeprowadzono dla małych (od 2 do 20) i dużych (od 50 do 1000) wymiarów problemu dla trzech funkcji testowych. Wskazano również na możliwe dalsze modyfikacje i zastosowania zaproponowanych rozwiązań.

W zakończeniu rozprawy podano liczący 107 pozycji spis wykorzystanych źródeł bibliograficznych. Obejmują one artykuły naukowe opublikowane w czasopismach i materiałach konferencyjnych, jak również liczne książki i monografie. Podano także co najmniej kilka podręczników akademickich a nawet skryptów (poz. [6], [40], [47]) i notatek z wykładów akademickich (przypis na str. 57), co nie jest moim zdaniem odwołaniem właściwym dla rozpraw doktorskich.

Spis obejmuje dziewięć prac autorstwa lub współautorstwa Doktoranta, ściśle związanych z tematem rozprawy doktorskiej, opublikowanych w materiałach krajowych o mniejszym znaczeniu, jak na przykład zeszyty uczelniane, warsztaty doktoranckie itp. Według załączonego spisu Doktorant nie jest autorem żadnej pracy opublikowanej w uznanym czasopiśmie z IF lub materiałach znaczącej konferencji naukowej.

Całość kończy obszerny Dodatek, w którym Doktorant zebrał opisy użytych w pracy znanych narzędzi wykorzystywanych w obliczeniach rozproszonych: interfejsu programowania aplikacji dla systemów wieloprocesorowych z pamięcią współdzieloną OpenMP, biblioteki przesyłania komunikatów w środowiskach z pamięcią rozproszoną MPI oraz technologii CUDA umożliwiającej równoległe obliczenia na wieloprocesorowych kartach graficznych NVIDIA.

4. OGÓLNA OCENA ROZPRAWY

Jednym z głównych celów pracy było opracowanie równoległych realizacji wybranych algorytmów optymalizacji statycznej. Autor wybrał cztery algorytmy. Niestety dla każdego z nich wykorzystał metody zrównoleglenia opisane wcześniej w literaturze – dla algorytmów Gaussa-Seidela i Powella – poz. [84], dla Chazana-Mirankera – poz. [14, 84] oraz dla algorytmu Nelderera-Meada – poz. [20, 54, 100]. Co prawda dwoma pierwszymi algorytmami Doktorant zajmował się już wcześniej (poz. [59, 61, 63]), ale można przyjąć, że Jego głównym dokonaniem

w pracy doktorskiej był przegląd i szczegółowe badania istniejących metod zrównoleglenia algorytmów sekwencyjnych a nie ich opracowanie. Doktorant opracował, jedynie lub aż, i zbadał konkretne implementacje tych metod, co samo w sobie jest moim zdaniem osiągnięciem wystarczającym, ale jednak mniejszym niż oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Dla całości opinii należy dodać, że jest to zgodne z tytułem rozprawy i podsumowaniem oryginalnych wyników w rozdziale 6.2.

W pracy brak krytycznej analizy teoretycznej i szczegółowego wykazania właściwości opisywanych w rozdziale 2 równoległych metod poszukiwania minimum, takich jak zbieżność, stabilność, jednoznaczność rozwiązania czy złożoność numeryczna. Utrudnia to znacznie ocenę korzyści z wprowadzenia modyfikacji. Doktorant w swojej pracy też ma z tym problemy, raz pisząc o samej równoległości obliczeń jako takiej (np. na str. 2), raz o liczbie iteracji (np. na str. 28), raz o lepszym wykorzystaniu zasobów klastra (np. na str. 24 i 41), a raz o czasie obliczeń (np. na str. 99) i dodatkowym czasie transmisji danych w sieci (np. na str. 125). Trzeba jednak dodać, że był świadomy tych braków i pod tym kątem starał się prowadzić badania. Podobnie dostrzegał potencjalne wady niektórych modyfikacji, na przykład naruszenie ortogonalności kierunków bazowych i ryzyko redukcji wymiarowości bazy (str. 29, 30, 38) czy niejasna zależność efektywności zrównoleglenia dla konkretnej funkcji testowej od wartości doświadczalnie przyjmowanych współczynników (str. 121 i 133).

Biorąc to pod uwagę stwierdzam, że Autor rozprawy rozwiązał postawione cele w sposób kompleksowy, właściwie przywołując źródła inspiracji i założenia proponowanych metod. Złożone zagadnienia przedstawił w formie właściwej dla prac naukowych, tj. podając odniesienia do źródeł literaturowych, formułując odpowiednie założenia funkcjonalne oraz projektując odpowiednie moduły oprogramowania i weryfikując ich poprawność. Skuteczność proponowanych metod zrównoleglenia algorytmów optymalizacji zilustrował wynikami licznych badań. Zamieścił również krytyczne dyskusje otrzymanych rezultatów.

Za najważniejsze osiągnięcia Doktoranta uważam:

- usystematyzowany opis rozpatrywanych metod optymalizacji statycznej w wyjściowych wersjach sekwencyjnych, sekwencyjno-równoległych i zrównolegionych;
- opracowanie implementacji rozważanych metod na różnym sprzęcie, z użyciem różnych bibliotek programowych;
- przeprowadzenie obszernych badań numerycznych opracowanych implementacji dla problemów optymalizacji o różnorodnej złożoności i różnych funkcji testowych.

5. UWAGI OGÓLNE I SZCZEGÓŁOWE

Podczas lektury rozprawy nasunęło mi się kilka wątpliwości i uwag natury ogólnej, wartych komentarza Doktoranta:

1. W większości badanych przypadków, niezależnie od analizowanej metody optymalizacji równoległej, dla wielkości problemu $n = 50$ uzyskiwano wyniki odmienne od pozostałych. Jakie mogły być przyczyny niezadawalających przebiegów metod akurat dla takiej wartości n ?

Skąd wiadomo że miały one charakter incydentalny? Czy Autor próbował zbadać przebieg metod optymalizacji, np. dla wartości $n = 10, 20, 30, 40, 60, 70$?

2. Według zapisu na stronie 68 Autor badał również opracowane implementacje dla problemów o niewielkich wymiarach $n = 2 \div 20$, jednak nie przedstawił ani jednego wyniku ze względu na bardzo krótki czas realizacji obliczeń. Wydaje się, że nawet krótki czas obliczeń można sparametryzować i porównać. Jeśli Autor ma inne zdanie to po co pisał w pracy o badaniach, których nie zaprezentował?
3. Efektywność algorytmu Neldera-Meada zależy od wartości dobieranych eksperymentalnie współczynników odbicia α , kontrakcji β , ekspansji γ i redukcji δ . Autor w prowadzonych badaniach przyjmował zestawy współczynników o wartościach podanych na stronie 107, czyli de facto zmieniał tylko współczynnik ekspansji γ . Z czego wynikał taki wybór i czy badano również metodę optymalizacji dla innych wartości pozostałych współczynników?
4. Podobnie na stronie 107 Autor pisze, że w niektórych przypadkach uzyskiwano niepoprawne rozwiązania. Dlaczego nie przedstawił ani jednego przykładu takiego przypadku? Na czym polegały te niepoprawności i czy miały charakter systematyczny?
5. Dlaczego w warunku (3.27) przyjęto arbitralną wartość *mod* 10? Podobnie w warunku (3.29) wartość 0,45? Czy wartości te były krytyczne dla badanych metod?
6. Przeprowadzone badania potwierdziły dość oczywistą i uniwersalną właściwość wszystkich metod optymalizacji – ich sumaryczna efektywność, oprócz sposobu zrównoleglenia obliczeń, w dużej części zależy od rozwoju sprzętu komputerowego i bibliotek specjalistycznych. Jak na podstawie zdobytego doświadczenia Autor ocenia wpływ obu składników efektywności na skuteczność nowych algorytmów optymalizacji?

Redakcja rozprawy co do zasady jest bardzo staranna. W czasie lektury zauważyłem jedynie bardzo drobne niedociągnięcia edytorskie, np.:

- str. 7: „cele pracy zostały przedstawione” zamiast „postawione”;
- str. 25: dziwne, niestosowane w matematyce określenie „i-ta składowa macierzy” zamiast „i-ta kolumna macierzy”;
- str. 31: raczej „przejdź do kroku” zamiast „przejdź do instrukcji”;
- str. 53: zły numer rysunku w odwołaniu (3.25 zamiast 3.15);
- str. 90: niezgodne z podpisem tematy rysunków 5.29 i 5.30;
- str. 107: źle oznaczony współczynnik redukcji (β zamiast δ).

Pewne wątpliwości budzi według mnie umiejscowienie podrozdziału 3.3 i rozdziału 4. Pierwszy jest oczywisty i merytorycznie bardziej pasuje do podrozdziału 3.1. Drugi mógłby się znaleźć w rozdziale 5, jako przykład zastosowania opisywanych metod optymalizacji statycznej, a nie jako samodzielny rozdział wyrwany z kontekstu całej pracy.

Uwagi o charakterze ogólnym i zauważone błędy edycyjne w żadnym stopniu nie obniżają mojej pozytywnej oceny całości rozprawy a tym samym nie powodują konieczności jej zmian ani uzupełnień.

6. WNIOSKI KOŃCOWE

Mgr inż. Marek Machaczek wykazał się szeroką ogólną wiedzą w zakresie różnych metod optymalizacji statycznej, ich wersji sekwencyjnych, równoległych i mieszanych, systemów obliczeń współbieżnych i równoległych oraz przeznaczonych do tego bibliotek oprogramowania komercyjnego.

Zadanie naukowe określone w tytule i tezach rozprawy zostało jasno sformułowane a następnie poprawnie rozwiązane przy użyciu właściwej metodyki oraz potwierdzone na drodze licznych badań numerycznych wykonanych za pomocą nowoczesnych narzędzi informatycznych. Tym samym postawione w rozprawie cele zostały osiągnięte a teza udowodniona.

Uważam, że dokonania Doktoranta przedstawione w rozprawie stanowią zauważalny wkład w rozwój szybkich algorytmów optymalizacji statycznej. Autor rozprawy wykazał, że posiada niezbędną wiedzę w zakresie reprezentowanej dyscypliny oraz że ma wystarczające predyspozycje do prowadzenia badań.

Podsumowując stwierdzam, że praca doktorska mgr. inż. Marka Machaczyka spełnia w stopniu wystarczającym wymogi określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r., poz. 1668 z późniejszymi zmianami) stawiane rozprawom doktorskim w odniesieniu do dyscypliny Automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne, dziedzina nauk inżynieryjno-technicznych i wnioskuję o dopuszczenie mgr. inż. Marka Machaczyka do publicznej obrony przedłożonej rozprawy doktorskiej.

