

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr. inż. Jędrzeja Marszałkowskiego

zatytułowanej:

“Scheduling Divisible Computations with Energy Constraints”

1. Problem badawczy i jego znaczenie

Rosnące wykorzystanie technologii informatycznych pociągnęło za sobą znaczący wzrost zużycia energii przez te systemy. Wysokie zapotrzebowanie na energię wraz gwałtownym rozwojem centrów danych (związanych m.in. ze znacznym rozpowszechnieniem rozwiązań informatycznych opartych o chmury lub przetwarzanie wielkiej skali) spowodowało liczne ograniczenia i problemy. Wpłynęły one na trzy główne aspekty ekonomiczne i społeczne: wysokie koszty eksploatacji systemów komputerowych, wysoki poziom wymaganej gwarantowanej mocy, często niedostępny lub wymagający przebudowy infrastruktury elektro-energetycznej oraz znaczący globalny wpływ na emisję gazów cieplarnianych.

Z drugiej strony rosnące potrzeby przetwarzania ogromnych i zróżnicowanych zbiorów danych spowodował, że w systemach obliczeniowych wielkiej skali (High Performance Computing, HPC) jeszcze bardziej kluczowe stało się odpowiednie zarządzanie dostępem do danych. Bez uwzględnienia hierarchicznej struktury pamięci i systemów przechowywania danych niemożliwa jest optymalizacja wydajności i efektywności aplikacji.

W związku z powyższym zarządzanie środowiskami obliczeniowymi wymaga uwzględnienia kryterium energetycznego. Dodatkowo istotność wpływu dostępu do danych oraz hierarchiczna struktura pamięci wymagają specyficznych metod zarządzania obliczeniami z uwzględnieniem komunikacji. Opracowanie takich metod, wykorzystując podejście obliczeń jednorodnie podzielnych, jest przedmiotem przedłożonej przez Pana Jędrzeja Marszałkowskiego rozprawy.

Stwierdzam zatem, że wybór zagadnienia szeregowania zadań jednorodnie podzielnych z kryterium czasu wykonania oraz zużycia energii świadczy o zrozumieniu przez Autora podstawowych zagadnień bardzo istotnej problematyki badawczej w kontekście zarówno teoretycznych rozważań, jak i możliwości praktycznego zastosowania ich wyników. Przedstawione zagadnienia badawcze mogą bez wątplenia stanowić przedmiot rozprawy doktorskiej, będąc aktualnym i ważnym problemem badawczym, o dużym znaczeniu praktycznym.

Podsumowując wybór problemu, tez rozprawy oraz jej celu oceniam w pełni pozytywnie.

2. Wkład autora

Recenzowana praca doktorska w języku angielskim obejmuje formalnie 7 rozdziałów przedstawionych na 137 stronach, bibliografię zawierającą 101 pozycji oraz streszczenie w języku polskim, zawierające 13 stron.

W rozdziale pierwszym autor przedstawił wprowadzenie do tematyki rozprawy. Zawarto w nim motywy, które skłoniły Autora do podjęcia tematu rozprawy, dokonano podsumowania głównych celów i zakresu pracy oraz rozważanych w niej problemów, a także przedstawiono krótko metodologię i strukturę rozprawy.

Rozdział drugi poświęcono podsumowaniu aktualnego stanu badań w obszarach związanych z tematem pracy. Rozdział ten podzielono na trzy główne części tematyczne. W pierwszej kolejności omówiono modelowanie zużycia energii w systemach komputerowych. W drugiej części rozdziału zaprezentowano stan prac związanych z teorią zadań jednorodnie podzielnych. W tym celu przedstawiono omawiany problem w topologii gwiazdy oraz gwiazdy z płaską strukturą pamięci. W trzeciej części przedstawiono koncepcję izolacji energetycznych, wykorzystywaną w rozprawie.

W rozdziale trzecim przedstawiono modele czasu obliczeń oraz zużycia energii zastosowane w rozprawie. W szczególności, opisano i zweryfikowano modele w zależności od rozmiaru obciążenia. W tym celu w pierwszej części opisano środowisko testowe wraz z metodą opomiarowania zużycia energii opracowane przez Autora. Przedstawiono też wyniki dla płaskiego i hierarchicznego modelu pamięci.

Rozdział czwarty przedstawia koncepcję map izolacji energetycznych oraz ich wykorzystanie do wizualizacji wydajności i efektywności. Autor prezentuje ich powiązanie z prawami Amdahla i Gustafsona, zastosowanie analizy do zadań jednorodnie podzielnych, a następnie wyniki zależności pomiędzy parami istotnych parametrów takich jak rozmiar problemu, szybkość komunikacji, pobór mocy przez procesor, pobór mocy przez sieć, itd. Rozdział zakończono wnioskami.

W rozdziale piątym przeanalizowano zużycie energii w systemach homogenicznych z hierarchiczną pamięcią. Autor przedstawił model matematyczny, analizę kompromisu pomiędzy czasem wykonania a zużytą energią i wpływ innych parametrów na powyższy kompromis dla przypadku jednorazowego rozdziału pracy do wykonania. Podobnie w przypadku rozdziału wieloetapowego przedstawiono metody szeregowania, analizę wydajności oraz wizualizację i analizę metod za pomocą izomap energetycznych.

W rozdziale szóstym również przeanalizowano zużycie energii ale w systemach heterogenicznych z hierarchiczną pamięcią. Autor przedstawił model matematyczny

dla powyższego problemu. Na tej bazie przedstawiono propozycję trzech szybkich heurystyk opartych na regułach sortowania procesorów oraz metodzie doboru części obciążenia. Autor przedstawił również model dla rozwiązania dokładnego w oparciu o mieszane zadanie programowania całkowitoliczbowego liniowego (*Mixed Integer Linear Programming, MILP*). Rozdział zawiera również porównanie wydajności algorytmów i model wydajności systemu.

Rozdział siódmy obejmuje podsumowanie wyników uzyskanych w pracy wraz ze wskazaniem oryginalnych osiągnięć Autora oraz ogólne propozycje kierunków dalszych badań naukowych.

Streszczenie pracy w języku polskim skupia się na kluczowych aspektach i najważniejszych wynikach osiągniętych przez Autora, zachowując strukturę głównej pracy.

Uwzględniając powyższe omówienie zawartości pracy oraz ogólną pozytywną ocenę jej zawartości merytorycznej, uważam, że najważniejszy **wkład Autora** w przedstawionej rozprawie jest następujący:

- Autor zdefiniował problem programowania matematycznego w celu znalezienia rozwiązania dokładnego problemu szeregowania obliczeń jednorodnie podzielnych, a także zaproponował i ocenił algorytmy heurystyczne. Autor przedstawił dokładną analizę wyników i porównał własności poszczególnych algorytmów. Zaprezentowano modele dla systemów homogenicznych oraz heterogenicznych z pamięcią hierarchiczną. Podejście oparte na modelu obliczeń jednorodnie podzielnych z jednoczesnym uwzględnieniem heterogeniczności zasobów oraz hierarchiczności dostępu do danych, umożliwiło zaproponowanie dobrze zdefiniowanego rozwiązania problemu, które jednocześnie pozwala na modelowanie istotnych cech rzeczywistych systemów. Rozwiązanie przedstawione w rozprawie uwzględnia bowiem cechy nowoczesnych systemów obliczeniowych mających duży wpływ na wydajność i efektywność, takich jak hierarchiczność pamięci, zróżnicowany czas potrzebny na komunikację oraz heterogeniczność sprzętu.
- Kolejnym ciekawym osiągnięciem rozprawy jest koncepcja i zastosowanie izomap energetycznych do problemu będącego tematem rozprawy. Umożliwiają one wizualizacje i intuicyjne analizy różnych zależności między parametrami. Autor wykorzystuje je do kompleksowej analizy problemu badając parametry takie jak rozmiar problemu, szybkość komunikacji, liczba procesorów, zrównoleglenie obliczeń i inne. Co ważne, powyższe podejście wydaje się odpowiednie do wykorzystania również dla innych problemów, modeli i algorytmów co pozwala na szersze wykorzystanie wyników rozprawy.
- Autor zademonstrował swoje umiejętności tworzenia modeli matematycznych oraz precyzyjnego definiowania zależności pomiędzy parametrami modeli. Praca zawiera dużą liczbę poprawnie zdefiniowanych formuł określających te zależności oraz analizujących specyficzne przypadki. Dzięki temu rozpatrywany problem jest przedstawiony kompleksowo i przeanalizowany z odpowiednim poziomem szczegółowości.

- Należy również podkreślić, że Autor samodzielnie przygotował środowisko testowe wraz urządzeniami pomiarowymi i monitorowaniem co wymagało wiedzy inżynierskiej oraz głębokiego zrozumienia natury pomiarów. Autor między innymi odseparował zasilanie wentylatorów aby nie zaburzać odczytów wartości mocy. Aspekt cieplny jest wprawdzie istotnym elementem, który wpływa na całkowite zużycie energii (w tym energia zużyta przez chłodzenie oraz zwiększone zużycie w wyższej temperaturze, tzw. *power leakage*) ale w tym przypadku było to poza zakresem obszaru pracy. Autor przygotował również aplikacje do testów i zbierania parametrów potrzebnych do tworzenia modeli zużycia energii.

Należy zauważyć, że wyniki przedstawione w pracy zostały opublikowane w uznanych czasopismach naukowych wydawnictw o zasięgu światowym oraz w materiałach konferencyjnych znaczących konferencji międzynarodowych.

3. Poprawność

Praca pod względem merytorycznym i edycyjnym napisana jest poprawnie. Struktura pracy jest przejrzysta i zawiera niezbędne elementy takie jak opis istniejącego stanu badań, bibliografię i zestawienie oznaczeń użytych w pracy. Pomimo znaczącego wkładu oraz wysokiej jakości opisów, jak zostało to podkreślone w poprzednim punkcie, Autor nie ustrzegł się jednak pewnych braków i nieścisłości. Do usterek lub uwag polemicznych należy zaliczyć:

1. Pomimo zaproponowania w pracy kilku algorytmów (w tym sformułowania problemu MILP i heurystyk), ich dokładnej analizy i bezpośredniego porównania, praca zyskałaby na szerszym porównaniu otrzymanych wyników do alternatywnych rozwiązań i podejść dostępnych w literaturze. Jak słusznie zauważył Autor, porównanie różnych algorytmów bazujących na dwóch kryteriach jest problematyczne, w dodatku porównanie metod dokładnych z heurystykami wymaga uwzględnienia kryterium czasu samego procesu poszukiwania rozwiązania. Jednakże bardziej szczegółowe porównania uzyskanych wyników z innymi podejściami pozwoliłyby lepiej ocenić wkład Autora w stan prac i pozwoliło szerzej spojrzeć na ocenę możliwości zastosowania wyników rozprawy.
2. Warto podkreślić i doprecyzować dokładny wkład Autora w koncepcję map izolinii energetycznych. W rozdziale 2 (*Related Work*, sekcja 2.3) wspomniano o artykułach dotyczących izolinii energetycznych. Jest to natomiast na tyle ciekawe i użyteczne podejście, że w jasny sposób powinien być przedstawiony wkład Autora i potencjał zastosowań. Ogólnie wydaje się, że główny wkład Autora powinien być bardziej wyeksponowany, szczególnie we wstępie i podsumowaniu.
3. Założenie o obliczeniach jednorodnie podzielnych jest, jak każdy model, pewnym przybliżeniem rzeczywistych obliczeń. Nasuwa się więc pytanie jak zaproponowane algorytmy mogą zachowywać się w zależności od konkretnych rzeczywistych aplikacji i odstępstw dotyczących np. założonych

czasów komunikacji. Ciekawym byłoby zbadanie różnic w wynikach pojawiających się dla rzeczywistych aplikacji w zależności od ich charakterystyki. Dodatkowym czynnikiem potencjalnie zaburzającym wyniki jest fakt, że autor oparł swoje modele na pomiarach na konkretnym systemie komputerowym. Nasuwa się stąd pytanie na ile jest on reprezentatywny i na ile wyniki i wnioski zmieniają się dla innych systemów (np. wysokowydajnych serwerów).

4. Zwraca uwagę również bardzo ogólne zdefiniowanie dalszych celów badawczych mimo, iż temat wydaje się być rozwojowy. Być może uwagi przedstawione powyżej mogą stanowić przykłady i inspirację do bardziej konkretnych prac.
5. Błędy w bibliografii: brak autorów w pozycjach w bibliografii [29] oraz [35]-[37].
6. Streszczenie w języku polskim mogłoby być trochę bardziej obszernie oraz dopracowane pod względem językowym i edycyjnym. Referencje do rysunków z głównej pracy trochę utrudniają czytanie.

4. Wiedza kandydata

Wspomniane w poprzednim punkcie recenzji uwagi nie umniejszają zasług Autora ani nie podważają poprawności i oryginalności wyników zawartych w rozprawie, której ogólny poziom uważam za bardzo wysoki. W pracy postawiono i rozwiązano ważny problem, w sposób świadczący o dojrzałości naukowej Autora rozprawy.

Jak już wspomniano w punktach 2 i 3, Autor wykazał się obszerną wiedzą dotyczącą problemu szeregowania obliczeń jednorodnie podzielnych z uwzględnieniem kryterium energetycznego, a także samego modelowania wydajności i zużycia energii w systemach komputerowych. Autor zademonstrował swoje umiejętności posługiwania się aparatem matematycznym, w tym tworzenia modeli matematycznych oraz precyzyjnego definiowania zależności pomiędzy parametrami modeli.

Oprócz kompetencji w zakresie modelowania i szeregowania, autor również samodzielnie przygotował środowisko testowe wraz urządzeniami pomiarowymi i monitorowaniem co wymagało wiedzy inżynierskiej oraz głębokiego zrozumienia natury pomiarów. Przygotował również aplikacje do testów i zbierania parametrów potrzebnych do tworzenia modeli zużycia energii.

5. Inne uwagi¹

6. Podsumowanie

¹ Opcjonalnie

Biorąc pod uwagę opinie zaprezentowane w poprzednich punktach i wymagania zdefiniowane przez artykuł 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym (z późniejszymi zmianami)² moja ocena rozprawy pod względem trzech podstawowych kryteriów jest następująca:

A. Czy rozprawa zawiera oryginalne rozwiązanie problem naukowego? (wybierz jedną opcję stawiając znak X)

Zdecydowanie
TAK

Raczej TAK

Trudno
powiedzieć

Raczej NIE

Zdecydowanie
NIE

B. Czy po przeczytaniu rozprawy zgadzasz się, że kandydat posiada ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie Informatyka lub Automatyka i Robotyka?

Zdecydowanie
TAK

Raczej TAK

Trudno
powiedzieć

Raczej NIE

Zdecydowanie
NIE

C. Czy kandydat umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej?

Zdecydowanie
TAK

Raczej TAK

Trudno
powiedzieć

Raczej NIE

Zdecydowanie
NIE

Podsumowując recenzję, uważam więc, że recenzowana rozprawa mgr. inż. Jędrzeja Marszałkowskiego nosząca tytuł „Scheduling Divisible Computations with Energy Constraints” odpowiada wszystkim wymaganiom stawianym rozprawom doktorskim przez aktualnie obowiązującą ustawę o tytułach i stopniach naukowych. Na tej podstawie wnioskuję o dopuszczenie pracy do publicznej obrony celem uzyskania przez Autora stopnia doktora nauk technicznych w zakresie informatyki.



Podpis

² http://www.nauka.gov.pl/g2/oryginal/2013_05/b26ba540a5785d48bee41aec63403b2c.pdf