

## **Recenzja rozprawy doktorskiej**

mgr inż. Miłosza Ciżnickiego

### **zatytułowanej:**

Energy-aware resource management  
for stencil computations in High-Performance Computing

#### 1. Problem badawczy i jego znaczenie

*Jaki jest najważniejszy problem rozważany w rozprawie?*

Zgodnie ze sformułowaną tezą przez Doktoranta celem rozprawy jest opracowanie i weryfikacja eksperymentalna modeli efektywnego harmonogramowania zadań w obliczeniach stencilowych na wielu heterogenicznych procesorach i węzłach obliczeniowych. Co więcej Doktorant zakłada poszukiwanie nie tylko optymalnego rozwiązania pod względem czasu, ale również zużycia energii, biorąc pod uwagę różnego rodzaju obliczenia stencilowe (np. pod względem topologii połączeń). Problem badawczy został określony w sposób szczegółowy i spójny.

*Czy ma on charakter naukowy?*

Doktorant określił problem w sposób który jest zgodny ze zwyczajowym zażeniem tezy badawczej a następnie zarysował kroki które mają doprowadzić do jej dowiedzenia. Kroki te polegają na zbadaniu natury problemu, zaproponowaniu modeli a następnie ich weryfikacji. Takie postawienie problemu jest zgodne z zastosowaniem metody naukowej, pozwala na ewentualną falsyfikację tezy wpisując się w ogólnie przyjmowane założenia sformułowane przez Karla Poppera.

*Czy ma on znaczenie praktyczne?*

Obliczenia stencilowe mają bardzo duże znaczenie dla zastosowań HPC, np. w obszarze computational fluid dynamics. Wykorzystując duże infrastruktury badawcze z jednej strony mamy do czynienia z dążeniem do pełnego wykorzystania sprzętu obliczeniowego, z drugiej musimy liczyć się z kosztami energii. Wykorzystanie tylko części dostępnego sprzętu w taki sposób aby zużycie energii było optymalne jest naturalnie ambitną i kuszącą perspektywą a możliwość postawienia tezy przytoczonej powyżej związana jest z immanentną lokalnością obliczeń stencilowych. Problem ma zdecydowanie charakter praktyczny.

## 2. Wkład autora

Autor w ramach swojej rozprawy zaprezentował następujące osiągnięcia:

- Sformułowanie i prezentacja algorytmu harmonogramowania biorącego pod uwagę topologię połączeń jednostek obliczeniowych w celu realizacji efektywnych obliczeń stencilowych, biorącego pod uwagę różne połączenia wewnątrz- i między-węzłowe.
- Nowatorskie analityczne i metodologiczne podejście do modelowania i przewidywania zapotrzebowania wykorzystania energii i czasu działania dla wybranych wzorców stencilowych na pojedynczych węzłach oraz w środowisku rozproszonym HPC.
- Opracowanie i eksperymentalna analiza nowych algorytmów heurystycznych przeznaczonych do jednoczesnego minimalizowania wykorzystywania energii i czasu działania różnej wielkości obliczeń stencilowych.
- Opracowanie nowego algorytmu typu Tabu Search nazwanego Task Movement którego zadaniem jest efektywne rozwiązanie postawionego problemu.
- Przeprowadzenie eksperymentów, opracowanie ich i dyskusja.
- Opracowanie ogólnego modelu obliczeń stencilowych oraz algorytmów heurystycznych które mogą być w łatwy sposób rozszerzone i adaptowane w istniejących środowiskach obliczeń stencilowych.
- Opracowanie zestawu praktycznych rekomendacji dla deweloperów aplikacji i użytkowników zainteresowanych tematyką obliczeń stencilowych.

Wspomniane osiągnięcia zostały opisane w rozprawie, która zaczyna się naturalnie od wstępu i przeglądu stanu wiedzy oraz podania tła dotyczącego bezpośrednio obliczeń stencilowych w HPC, następnie przytacza najważniejsze fakty dotyczące złożoności obliczeniowej, programowania liniowego czy teorii grafów. W kolejnej części pracy Doktorant przeprowadził serię wstępnych eksperymentów, które doprowadzają go do wniosków, pomagających w sformułowaniu heurystyk oraz wspomnianego algorytmu T.M. Wreszcie praca jest podsumowana, podane zostają referencje do bibliografii a w dodatku odniesienie do skonstruowanego oprogramowania.

Bardzo pozytywnie oceniam całościowy wkład Doktoranta w realizację rozprawy, postawione przez niego cele są konsekwentnie realizowane - a na szczególną uwagę zasługuje przeprowadzenie wstępnych badań dotyczących wykorzystania energii dla różnych konfiguracji obliczeń stencilowych na CPU (multicore) oraz GPU. W ten sposób proponowane algorytmy nie są opracowane ad hoc ale mają realne podłoże we wcześniejszych obserwacjach empirycznych.

Bardzo wysoko oceniam działalność publikacyjną Doktoranta (SCOPUS H-index 9 - jest to bardzo wysoka wartość jak na młodego pracownika nauki) 19 publikacji notowanych w tej bazie, 178 cytowań, naturalnie Doktorant jest członkiem doskonale publikującego zespołu, jednak jeśli przyjrzeć się jego pracom, w których był głównym autorem, to jest ich 11 i znacząca ich część została opublikowana w wysoko punktowanych czasopismach.

Po zapoznaniu się z rozprawą oraz dostępnymi publikacjami stwierdzam że nie ma żadnych wątpliwości odnośnie podziału wkładu pracy w przygotowanie rozprawy, jest to w zdecydowanej mierze praca wykonana przez Doktoranta z naturalnym wsparciem Promotora oraz Promotora Pomocniczego.

### 3. Poprawność

Prezentowany wywód wpisuje się w klasyczne wymagania odnośnie zastosowania metody naukowej (wspominałem już o tym wcześniej w recenzji), przytaczane tezy, opracowane heurystyki, realizacja weryfikacji nie wzbudza wątpliwości. Praca jest wykonana poprawnie a do tego schludnie złożona i dopracowana w szczegółach.

Proponowane heurystyki, które zostały skonstruowane bazując na naturze problemu i obserwacjach poczynionych przez Doktoranta stanowią konkretne propozycje rozwiązania problemu a ich sposób opracowania dokładnie koresponduje z podobnym postępowaniem w innych zastosowaniach wykorzystujących heurystyki.

Trudno jednak we wszelkiego typu pracach naukowych się od pewnych niedociągnięć oraz spraw dyskusyjnych, poniżej przytaczam tego typu uwagi, które jednak nie wpływają w ogólności na wysoki poziom recenzowanej rozprawy:

1. Doktorant przedstawia szereg wyników empirycznych pochodzących z uruchomienia algorytmów na sprzęcie w różnych konfiguracjach. Co prawda proponowane algorytmy nie mają charakteru stochastycznego, ale same obliczenia prowadzone w ramach pojedynczego systemu operacyjnego lub klastra obliczeniowego jest narażone na różnego typu interakcje z innymi procesami, różną dostępność pamięci, niedeterministyczne opóźnienia w komunikacji - czy Doktorant sprawdził powtarzalność eksperymentów? Rozrzut obserwowanego czasu działania algorytmu czy też zapotrzebowania na energię? Być może rozrzut ów jest pomijalny - ale wówczas należałoby takie eksperymenty przynajmniej w jednej konfiguracji przeprowadzić i wskazać na ten fakt podpierając się statystyką (np. wykorzystując metody testowania hipotez statystycznych).
2. Doktorant formułuje problem harmonogramowania jako problem programowania liniowego a następnie prezentuje heurystyki które poprawiają bazowe rozwiązanie oparte o ILP pod względem efektywności i wykorzystania energii, co doprowadza do pozytywnych konkluzji. Powstaje jednak pytanie, jeśli już odnosić nowatorskie rozwiązanie do metod klasycznych to dlaczego nie odnieść się również do innych, sprawdzonych metod numerycznych, jak np. metoda sympleksu, czy metoda Nelder-Meada również wykorzystująca pojęcie sympleksu, albo pokusić się o sprawdzenie jak wypadnie w porównaniu do rozważanych metod jakaś metaheurystyka?
3. Doktorant podaje cele optymalizacji jako minimalizacja wykorzystania energii oraz równomierne obciążenie procesorów zadaniami w celu zdążenia przed założonym terminem. Te cele są ewidentnie sprzeczne, bo jeśli obciążymy wszystkie procesory to pewnie policzymy szybko, ale będzie to energetycznie nieoptymalne - w związku z tym opracowany problem ma charakter wielokryterialny. Uprzejmie proszę o przedyskutowanie na ile proponowane heurystyki wpasowują się w grupę algorytmów optymalizacji wielokryterialnej? Zauważmy, że najbardziej pożądanym rozwiązaniem problemu wielokryterialnego jest zbiór rozwiązań (optymalnych w sensie Pareto) a nie pojedyncze rozwiązanie.
4. W jaki sposób Doktorant podszedłby do rozwiązania problemu przy pomocy znanych algorytmów optymalizacji wielokryterialnych jak np. algorytmów z grupy NSGA czy SPEA?

5. Uprzejmie proszę o przedyskutowanie małej różnorodności wyników obserwowanej np. w tabeli 6.6 czy 6.9 - powtarza się tam konfiguracja oparta na CPU, natomiast szczerze mówiąc trochę zaskakujący jest fakt iż różne heurystyki dochodzą do identycznego rozwiązania z dokładnością do drugiego miejsca po przecinku.
6. Proszę przedyskutować potencjalne możliwości rozszerzenia postawionego problemu jako problemu niestacjonarnego - w końcu w realnym systemie może się okazać, iż obciążenie poszczególnych węzłów się zmienia i konieczna będzie aktualizacja przydziału zadań do procesorów.

#### 4. Wiedza kandydata

Stan wiedzy w obszarze Informatyki jest opisywany przez Doktoranta w rozdziałach 2 (HPC), 3 (Obliczenia stencilowe) oraz 4 (Złożoność, programowanie liniowe, teoria grafów). Bardzo pozytywnie oceniam zawartość owych rozdziałów i stwierdzam, że dostarczają niezbędnej wiedzy aby z dużym komfortem zapoznać się następnie z pozostałymi rozdziałami (czyli opisem rozwiązywanego problemu i dyskusją wyników). Moim zdaniem Doktorant wykazał się niezbędną wiedzą teoretyczną spełniając wymagania stosownej ustawy. Bibliografia stanowi 117 pozycji związanych z literaturą tematu i świadczy o tym, że Doktorant zapoznał się z tematyką niezbędną do przeprowadzenia zaprezentowanych badań. Do bibliografii mam uwagę odnośnie formatowania - cytowanie strony internetowej powinno być opatrzone informacją o dacie ostatniego dostępu.

#### 5. Podsumowanie

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

- A. Czy rozprawa zawiera oryginalne rozwiązanie problemu naukowego?  
Zdecydowanie TAK.
- B. Czy po przeczytaniu rozprawy zgadzasz się, że kandydat posiada ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie Informatyka Techniczna i Telekomunikacja?  
Zdecydowanie TAK
- C. Czy kandydat posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej?  
Zdecydowanie TAK.

Ponadto biorąc pod uwagę wysoką jakość badań przedstawionych w pracy a szczególnie całościowy dorobek publikacyjny rekomenduję wyróżnienie rozprawy doktorskiej.

