

## **Recenzja rozprawy doktorskiej**

*Mgra inż. Miłosza Ciżnickiego*

### **zatytułowanej:**

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

### **1. Problem badawczy i jego znaczenie**

Tematyka rozprawy dotyczy minimalizacji wielkości zużycia energii elektrycznej przy realizacji obliczeń wielkoskalowych w centrach obliczeniowych, co obecnie jest ogromnym wyzwaniem z uwagi na skokowe wzrosty kosztów energii na rynkach światowych.

Przedstawione rozważania w profesjonalny sposób wprowadzają do tematyki rozprawy, na tej podstawie jest sformułowana teza rozprawy, następnie sygnalizowane są aktualne wyniki teoretyczne dotyczące zagadnień poruszanych w rozprawie, przedstawiona jest problematyka rozprawy w sposób formalny (odpowiednie modele obliczeniowe, komunikacyjne i energetyczne) oraz proponowane są oryginalne algorytmy rozwiązania analizowanego problemu i przeprowadzone są badania eksperymentalne potwierdzające przyjętą tezę. Nie mam więc wątpliwości, że recenzowana rozprawa ma charakter naukowy. Przyjęte i analizowane dane odpowiadają typowym obliczeniom *stencilowym* wykonywanym na powszechnie dostępnych konfiguracjach architektury węzłów wykorzystywanych w superkomputerach. Sformułowano również praktyczne rekomendacje dla deweloperów aplikacji zajmujących się tego typu obliczeniami. Zatem wyniki rozprawy dotyczą też dostępnych rozwiązań technologicznych, co ma też istotne znaczenie praktyczne.

### **2. Wkład autora**

Autor rozprawy doktorskiej prezentuje (podrozdział 1.3) siedem pozycji określających wkład naukowy Doktoranta w rozpatrywaną tematykę. Są one trafnie opisane i dotyczą: kilku aspektów. Przede wszystkim uwzględnienia wewnętrznej i zewnętrznej komunikacji w modelach szeregowania obliczeń *stencilowych*, estymacji zużycia energii i czasu wykonania dla zadanych wzorców obliczeń, realizowanych na pojedynczym (CPU) lub hybrydowych węzłach (xCPU+xGPU, x=1 lub 2). W rozprawie zawarto oryginalną propozycję dokładnego algorytmu szeregowania zadań, minimalizującego zużycie energii przy czasie realizacji obliczeń nie przekraczającym dopuszczalnej maksymalnej wartości. Idea algorytmu bazuje na całkowitoliczbowym programowaniu liniowym. Problem szeregowania został podzielony na dwa podproblemy. Pierwszy dotyczy alokacji zadań na procesory tak aby minimalizować

maksymalną liczbę obliczeń *stencilowych* (komórek gridowych) przypisanych na pojedynczy procesor. Drugi podproblem dotyczy minimalizacji rund wymiany komunikacji międzyprocesorowej i sprowadzony został do problemu kolorowania krawędzi grafu reprezentującego tego typu komunikację. Z uwagi na niewielomianową złożoność algorytmu kolorowania rozpatrzono kilka interesujących heurystyk. Przyjęto, że najpierw rozmieszcza się zadania tak, by zapewnić zrównoważone obciążenie procesorów bez uwzględniania czasu komunikacji. Następnie uwzględniając obciążenie komunikacyjne dokonuje się korekty alokacji zadań tak, by jak najwięcej najbardziej powiązanych zadań umieścić w jednym procesorze, redukując jednocześnie liczbę połączeń międzyprocesorowych. Takie podejście ograniczone jest tylko do jednego węzła zawierającego różną konfigurację procesorów. Jednak na bazie tych rozważań Doktorant zaproponował również bardzo interesujący oryginalny heurystyczny algorytm TM (Task Movement Algorithm), w którym uwzględniono zarówno straty energii związane z obliczeniami jak i komunikacją zewnętrzną między węzłami oraz wewnętrzną między procesorami węzła. Algorytm ten jest odpowiedni dla praktycznych superkomputerowych systemów wielowęzłowych, spełniający przyjęte kryteria optymalizacyjne.

Rozprawa zawiera też opis kilku eksperymentów symulacyjnych ukazujących możliwości przedstawionych algorytmów heurystycznych, potwierdzających akceptację zaproponowanego w rozprawie podejścia. Analizowane były architektury hybrydowe węzłów oraz topologie sieciowe typu: fat-tree, torus, dragonfly. Rozpatrzono dwie aplikacje: symulowanie turbulencji rozkładu przepływu jednorodnej nieściśliwej cieczy reprezentowanej przez Cuboid grid oraz działanie benchmarku dla modelu cyrkulacji powietrza reprezentowanego przez Sphere grid. Oszacowano przy tym czasy wykonania, liczbę rund komunikacyjnych oraz różnicę w czasie wykonania oraz zużycia energii między optymalnym a heurystycznym podejściem.

Należy podkreślić, że proponowane w rozprawie algorytmy i ich wyniki analizy zostały opublikowane w renomowanych czasopismach międzynarodowych. Zostały więc one zweryfikowane i zaakceptowane w naukowym środowisku międzynarodowym zajmującym się szeregowaniem zadań. Moim zdaniem na szczególną uwagę zasługuje publikacja: *Miłosz Ciżnicki, Krzysztof Kutrowski, Jan Węglarz: Energy and performance improvements in stencil computations on multi-node HPC systems with different network and communication technologies. Future Generation Computer Systems, 115: 45-58, 2021*, gdzie zaprezentowano główny algorytm (MT) rozprawy doktorskiej.

### **3. Poprawność**

Zaproponowane modele, algorytmy oraz otrzymane wyniki symulacyjne zawarte w rozprawie są poprawne, a szacowane parametry w zaprezentowanych eksperymentach potwierdzają dużą przydatność rozważań w przypadku obliczeń *stencilowych* i systemów superkomputerowych.

Moje uwagi krytyczne dotyczą w zasadzie redakcji rozprawy. Moim zdaniem opis eksperymentów w rozprawie jest zbyt zwięzły, tym samym interpretacja uzyskanych wyników jest uciążliwa. Głównym mankamentem jest brak tabeli zawierającej wykaz wykorzystywanych symboli wraz z krótkim ich opisem. Poza tym zdawkowo potraktowano

charakterystykę wykorzystanego symulatora. Dla większej czytelności rozprawy przydałby się najpierw opis koncepcji przeprowadzonych badań eksperymentalnych oraz głębsza analiza uzyskanych wyników. Poza tym przy opracowaniu zaprezentowanych algorytmów przyjęto pewne ograniczenia np. dotyczące jednostkowych czasów obliczeń i komunikacji. Otwartą sprawą jest też pełniejsza weryfikacja proponowanych rozwiązań w środowiskach rzeczywistych, np. dla innego typu obliczeń *stencilowych* czy innych konfiguracji węzłów superkomputerowych.

#### 4. Wiedza kandydata

Doktorant wykazał się usystematyzowaną wiedzę teoretyczną dotyczącą systemów dużej mocy obliczeniowej, obliczeń *stencilowych*, teorii algorytmów i złożoności obliczeniowej, a także teorii grafów (w tym biblioteki Koala, opracowana przez Pracowników WETI PG). Posiadał również praktyczną wiedzę związaną ze środowiskiem oprogramowania (DSL – Domain Specific Language) architekturą komputerów (architektura wielordzeniowa - Intel, Nvidia, czy Software Development Emulator), zasadami komunikacji (OpenMP, MPI) i narzędziami pomiarowymi wydajności (Intel Advisor, Nvidia Profiler) czy energii (RAPL, NVML). Świadczą o tym pierwsze cztery rozdziały pracy doktorskiej. Co więcej zawartą tam wiedzę umiejętnie wykorzystał Doktorant w dalszej części rozprawy budując energooszczędne i wydajne algorytmy zarządzania zadaniami w systemach superkomputerowych. To potwierdza właściwy stan wiedzy kandydata w zakresie dyscypliny Informatyka techniczna i telekomunikacja.

Na podkreślenie zasługuje również właściwie dobrana literatura – 117 pozycji, w tym 8 pozycji Doktoranta (współautorstwo).

#### 5. Inne uwagi

Zużycie energii w systemach superkomputerowych zależy od wielu czynników. Jedne z nich zewnętrzne, związane są z infrastrukturą techniczną taką jak systemy zasilania (stałoprądowe czy zmiennoprądowe), systemy chłodzenia (powietrzem czy cieczą). Drugie jak przedstawiono w rozprawie, to czynniki wewnętrzne takie jak: architektura i liczba rdzeni, wielość wykorzystywanej pamięci, kategorie realizowanych obliczeń, metody zarządzania systemami superkomputerowymi, w tym algorytmy szeregowania zadań. W związku z tym pojawia się otwarte pytanie do Doktoranta, jaki wkład procentowy dotyczący oszczędności energii mają czynniki zewnętrzne, a jaki czynniki wewnętrzne, w tym opracowane procedury szeregowania zadań.

#### 6. Podsumowanie

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) moja ocena rozprawy pod względem trzech podstawowych kryteriów jest następująca:

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

<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
-------------------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--

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 techniczna i telekomunikacja?

<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zdecydowanie TAK	Raczej TAK	Trudno powiedzieć	Raczej NIE	Zdecydowanie NIE

C. Czy kandydat posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej?

<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zdecydowanie TAK	Raczej TAK	Trudno powiedzieć	Raczej NIE	Zdecydowanie NIE

Ponadto, biorąc pod uwagę:

1. Rozpatrzenie bardzo istotnego, ale zarazem bardzo trudnego problemu naukowego jakim jest redukcja energii elektrycznej w obliczeniach wielkiej skali, przy zachowaniu akceptowalnego czasu wykonywania obliczeń.
  2. Opracowanie oryginalnych i przydatnych algorytmów zarządzania energią i zadaniami obliczeniowymi w przypadku nowoczesnych architektur superkomputerowych.
  3. Opublikowanie istotnych fragmentów rozprawy w renomowanych czasopismach międzynarodowych z zakresu Informatyki, w szczególności obliczeń *stencilowym*.
- rekomenduję wyróżnienie recenzowanej rozprawy doktorskiej.

  
 \_\_\_\_\_  
 Podpis