

dr hab. inż. Paweł Czarnul
Katedra Architektury Systemów Komputerowych
Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki
Politechnika Gdańska

Gdańsk, 22 stycznia 2026 roku

**Recenzja rozprawy doktorskiej
dla
Rady Dyscypliny Naukowej
Informatyka Techniczna i Telekomunikacja
Politechniki Częstochowskiej**

**Autor rozprawy: mgr inż. Paweł Bratek
Rada Dyscypliny Naukowej Informatyka Techniczna i Telekomunikacja
Politechniki Częstochowskiej**

**Tytuł rozprawy: Metody i algorytmy adaptacji obliczeń uczenia maszynowego i aplikacji
numerycznych do wysokowydajnych systemów komputerowych**

Promotor: dr hab. inż. Łukasz Szustak, prof. PCz

Data uzyskania tytułu magistra oraz nazwa jednostki, w której tytuł został nadany:
wg POLON: 2019, Politechnika Częstochowska
Aktualne zatrudnienie: Politechnika Częstochowska, asystent

1 Ocena układu rozprawy doktorskiej, w tym informacje o jej poszczególnych częściach składowych

Rozprawa doktorska ma czytelny układ. Autor zawarł tradycyjnie przyjęte: spis treści, streszczenie w języku polskim, streszczenie w języku angielskim, właściwe rozdziały – osiem, dosyć obszerny aneks zawierający kody źródłowe, spis rysunków, spis tabel, spis listingów oraz bibliografię.

Właściwe rozdziały zawierają odpowiednio: wstęp; opis zaproponowanej metody redukcji zużycia energii dla aplikacji wykorzystujących model równoległości danych (wraz z odpowiadającymi wynikami); kolejne rozdziały dotyczące realizacji zapytań zliczających, w tym: adaptację do wydajnych systemów komputerowych; metody optymalizacji wydajności strategii Bitmap, metodę automatycznego wyboru strategii; dwa rozdziały dotyczące zrównoleglania zaproponowanych metod, w tym: równoległą realizację metody automatycznego wyboru strategii; metodę równoległej implementacji realizacji zapytań zliczających uwzględniającą architekturę ccNUMA; podsumowanie oraz proponowane kierunki dalszych badań.

Wstęp zawiera opis kontekstu badań, w tym uzasadnienie podjęcia się optymalizacji wydajnościowej oraz zagadnienia efektywności energetycznej, określenie tezy i celu pracy a także omówienie struktury pracy, w tym zawartości rozdziałów. Rozdział 2 zawiera charakterystykę i opis wybranych dwóch aplikacji wykorzystujących model równoległości danych: problem trójwymiarowej dyfuzji oraz MPDATA – modelowanie przepływów geofizycznych. Autor zaprezentował bazowe zrównoleglenie kodów obliczeniowych za pomocą OpenMP a następnie scharakteryzował problem badawczy i koncepcję rozwiązania bazującą na wykorzystaniu DVFS dla sterowania częstotliwością różnych grup rdzeni podczas wykonania aplikacji. Zaprezentowane zostały wyniki dla homogenicznego oraz heterogenicznego wariantu wykorzystania DVFS dla wspomnianych aplikacji (platforma Intel Xeon) oraz propozycje wyboru heterogenicznej konfiguracji częstotliwości – bazujące na pomiarze (1) energii, (2) czasu. Autor przedstawił wyniki efektywności opracowanych algorytmów, kosztu metody oraz dodatkowe wyniki dot. redukcji zużycia energii dla obu aplikacji na platformie z procesorami AMD EPYC.

Kolejne rozdziały głównej części pracy dotyczą optymalizacji wydajności realizacji zapytań zliczających. W rozdziale 3 autor przedstawił zastosowania zapytań zliczających w uczeniu maszynowym, zdefiniował rozpatrywany problem, a następnie omówił bibliotekę

SABNAtk do wydajnej realizacji zapytań zliczających. Przedstawił strategie Bitmap oraz Radix, jak również koncepcję zrównoleglenia realizacji zapytań zliczających. Rozdział zawiera także opis metodologii ewaluacji zaproponowanych dalej przez autora rozwiązań i wyników, charakterystykę platform obliczeniowych: (1) Intel Cascade Lake, (2) AMD Rome oraz (3) AMD Milan, charakterystykę zbiorów danych z wyszczególnieniem liczby zmiennych, zakresu i średniej liczby stanów przyjmowanych przez zmienne. Przedstawił także szczegóły opracowanego benchmarku losowych zapytań. W rozdziale 4 autor przedstawił zaproponowane i zrealizowane przez siebie ulepszenia strategii Bitmap: (1) metodę redukcji liczby przecięć bitmap oraz (2) metodę redukcji liczby odwiedzanych węzłów drzewa DFS. Następnie zaprezentował koncepcje, informacje o wdrożeniu w ww. bibliotece, odwołanie do kodów źródłowych a także wyniki eksperymentów w postaci m.in. przyspieszeń dla benchmarka losowych zapytań, dla trzech platform testowych. W rozdziale 5 przedstawione zostały: koncepcja opracowanej metody automatycznego wyboru strategii realizacji zapytań zliczających, bazująca na oszacowaniu złożoności strategii: CT, RAD oraz BV, teoretyczne modele kosztu realizacji, przyspieszenie uzyskane dla prototypu metody automatycznego wyboru strategii, adaptacja i algorytm aktualizacji (wartości współczynników) modeli, algorytm przetwarzania strumienia zapytań z wykorzystaniem metody oraz ocenę wydajności opracowanej metody względem indywidualnych strategii. Z kolei w rozdziale 6 autor przedstawił koncepcję równoległej realizacji metody automatycznego wyboru strategii wraz z elementami kodu źródłowego oraz wynikami czasów działania dla różnych zbiorów danych i platform AMD Milan oraz Intel, jak również przyspieszenia obliczeń względem indywidualnych metod. W rozdziale 7 autor omówił koncepcję metody równoległej realizacji zapytań zliczających uwzględniającej architekturę ccNUMA wraz z elementami kodu oraz przyspieszeniami (znacznymi) względem metody standardowej dla dwóch platform AMD. W rozdziale 8, podsumowującym rozprawę, znalazły się wnioski, zestawienie z wyszczególnieniem zaproponowanych metod i publikacji (6) je dokumentujących oraz kierunki dalszych prac. Bibliografia zawiera 85 pozycji, które są odpowiednie i aktualne w kontekście pracy, są także zasadniczo dobrze sformatowane i udokumentowane.

Główna część pracy liczy 127 stron, zaś z dodatkami i bibliografią 156 stron.

2 Ocena zastosowanego piśmiennictwa w ramach rozprawy doktorskiej

Rozprawa została napisana w języku polskim, zawiera także streszczenie w języku angielskim.

Uważam, że praca jest bardzo starannie napisana, zawiera bardzo nieliczne literówki, np.: w następujących miejscach powinno być po korekcie:

- s. 42 „SABNAtk: biblioteka open-source do efektywnej realizacji zapytań zliczających”,
- s. 74 „Ma ona jednak kluczowe znaczenie ...”,
- s. 77 „Przeprowadzona analiza poskutkowała ...”,
- s. 113 „(...) omówionemu w szczegółowy sposób w sekcji 3.3.5”.

Niefortunnym/niepoprawnym sformułowaniem jest „zużywany wat energii” na s. 11.

Ponadto sugeruję unikać seryjnych cytowań innych prac bez chociażby zdawkowego wymienienia wkładu każdej z pozycji. Takie cytowania pojawiają się na s. 10-12.

Formatowanie jest zasadniczo poprawne, w kilku miejscach tekst wychodzi na marginesy i mógłby być wyrównany, np. na s. 11, s. 37, s. 112.

Diagramy, tabele i rysunki oraz wykresy są wykonane estetycznie i czytelnie. Kody źródłowe zostały właściwie sformatowane, z wyszczególnieniem indeksów linii. Drobny szczegół: rozmiary czcionek w podpisach rysunków oraz tabel (jak również algorytmów) są wyraźnie różne.

3 Wskazanie oraz ocena celu pracy kandydata

Cel pracy został sformułowany w rozdziale 1.2 i jest określony jako opracowanie i eksperymentalna weryfikacja metod i algorytmów, które poprawiają efektywność obliczeniową i energetyczną uczenia maszynowego oraz aplikacji numerycznych w środowisku wysokowydajnych systemów komputerowych.

Autor przedstawił następnie sześć celów szczegółowych, sformułowanych już bardziej precyzyjnie, dla których rozwiązania przedstawił w kolejnych rozdziałach. Cele te dotyczą: (1) opracowania i weryfikacji metody redukcji zużycia energii aplikacji wykorzystujących model równoległości danych – przez dobór częstotliwości (taktowania rdzeni CPU), (2) opracowania i oceny efektywności metod poprawy wydajności strategii realizacji

zapytań zliczających opartej o konkretne, wskazane mechanizmy, (3) określenia teoretycznych modeli kosztu strategii realizacji zapytań zliczających oraz aktualizacji modeli, (4) realizacji metody doboru optymalnej strategii realizacji zapytań zliczających bazujących na modelach kosztu i ewaluacja metody, (5) zrównoleglenia metody jw., (6) opracowania równoległej metody realizacji zapytań zliczających uwzględniających architekturę ccNUMA.

Cele te zostały tutaj określone wystarczająco jasno i precyzyjnie. Bardziej formalne sformułowania skojarzonych problemów optymalizacyjnych z wyszczególnieniem wejścia, wyjścia oraz optymalizowanych kryteriów zostały zawarte w kolejnych rozdziałach i tutaj ich sformułowania nie budzą moich zastrzeżeń.

Jednocześnie z celami skojarzona jest teza pracy – określona w rozdziale 1.2 jako:

„Przeprowadzone badania wskazują na możliwość opracowania metod i algorytmów prowadzących do poprawy efektywności obliczeniowej i energetycznej uczenia maszynowego oraz aplikacji numerycznych w środowisku wysokowydajnych systemów komputerowych”.

Teza, ściśle skojarzona z ww. celem zasadniczym, jest poprawnie określona. Z drugiej strony ma ogólny charakter, w moim przekonaniu jest nieco zbyt ogólna - szczególnie, że autor rozpatruje pewne konkretne klasy/modele problemów i aplikacji oraz konkretne typy systemów równoległych.

Wszystkie z nich tj. rozpatrywane dalej klasy problemów, techniki/metody optymalizacji oraz klasy systemów wysokiej wydajności mieszczą się w zaproponowanym sformułowaniu. Z drugiej strony, w potencjalnych, innych badaniach można także rozważyć optymalizację wykonania dla innego modelu aplikacji np. przetwarzania dziel-i-rządź dla aplikacji numerycznych, ale np. dla środowiska klastrowego, co również mieściłoby się w zaproponowanym sformułowaniu.

Podsumowując, określenie celu i sformułowanie tezy oceniam pozytywnie.

4 Wskazanie oraz ocena zastosowanych metod badawczych

W pracy mamy zasadniczo do czynienia z dwiema częściami – pierwszą dotyczącą optymalizacji energetycznej wykonania aplikacji wykorzystujących model równoległości

danych - omówioną w rozdziale 2 oraz drugą dotyczącą optymalizacji wydajnościowej realizacji zapytań zliczających - omówioną w rozdziałach 3-7.

W pierwszej części, autor najpierw dokonał obserwacji dot. nierównomiernego obciążenia pomiędzy wątkami oraz wykonał serię eksperymentów z wykorzystaniem homogenicznej metody DVFS. W kontekście wiarygodności wyników warto zauważyć, że uwzględnił konieczność odpowiednio długiego czasu symulacji oraz wykorzystał sprzętowy, certyfikowany miernik mocy Yokogawa WT310 do pomiaru poboru mocy/zużycia energii. Wynikiem tej części eksperymentów były znormalizowane zużycie energii oraz znormalizowany czas wykonania przy zmianie częstotliwości taktowania, względem konfiguracji z bazową częstotliwością. Testy zostały wykonane dla dwóch różnych, wyżej wspomnianych aplikacji numerycznych co zwiększa uniwersalność później wysuniętych wniosków. Testy przeprowadzone zostały dla różnych rozmiarów domen. Ponadto, autor przedstawił (na diagramach) czasy wykonania dla poszczególnych wątków oraz liczbowe współczynniki określające niezrównoważenie obciążenia oraz dysproporcję przydzielonych iteracji. Dla homogenicznej metody DVFS przy dopuszczonej stracie wydajnościowej 2% największe zyski energetyczne sięgały 30%, typowo jednak znacznie mniej. Autor, na bazie profilowania, zaproponował metodę heterogenicznego DVFS, która optymalizuje częstotliwości różnych grup rdzeni, w zależności od wąskiego gardła. Wyróżnił przypadki dla małych rozmiarów danych gdzie ograniczeniem jest wymiana danych pomiędzy procesorami (tutaj wyróżniono 3 grupy rdzeni – rdzenie obciążone komunikacją a także grupy rdzeni wykonujące różną liczbę obliczeń) oraz dla większych rozmiarów danych (tutaj wyróżniono dwie grupy rdzeni, w zależności od liczby obliczeń). Zasadniczo metoda obniża częstotliwość taktowania rdzeni obliczeniowych: (1) w pierwszym przypadku z większym obniżeniem dla rdzeni mniej obciążonych, (2) w drugim przypadku ograniczając częstotliwość taktowania rdzeni mniej obciążonych. Mając świadomość potencjalnie wysokiego kosztu metody typu brute force, autor zaproponował dwa algorytmy wyboru heterogenicznej konfiguracji częstotliwości - bazujące na pomiarze: (1) energii elektrycznej, (2) czasu.

Przedstawił porównania wyników (omówione niżej) dla metody homogenicznej i heterogenicznej oraz zestawienie wyników i kosztów względnie pomiędzy odpowiednimi algorytmami wyboru konfiguracji a metodą brute force.

Metody zostały zweryfikowane dla dwóch aplikacji oraz systemów Intel oraz AMD.

Podejście i zastosowane metody badawcze oceniam wysoko: polegały one na obserwacji i numerycznym oszacowaniu stopnia niezrównoważenia obciążenia oraz dostrzeżeniu wykorzystania potencjału technologii DVFS do obniżenia zużycia energii przy minimalnej stracie wydajnościowej, przy użyciu najpierw prostszego, później bardziej zaawansowanego podejście heterogenicznego. Podobnie zoptymalizowane względem kosztu działania (mierzonych liczbą testowanych konfiguracji) algorytmy miały na celu, co skutecznie autor potwierdził, zaoferować zbliżoną i dobrą skuteczność redukcji zużycia energii, przy znacznie niższym wspomnianym koszcie działania.

W drugiej części pracy, dla problemu realizacji zapytań zliczających, podejście badawcze bazowało na stanie zastanym w postaci biblioteki SABNAtk do efektywnej realizacji zapytań zliczających. Autor zaproponował i zrealizował kilka istotnych komponentów w zakresie optymalizacji wydajnościowej realizacji zapytań zliczających. Przede wszystkim wykorzystane zostały trzy odmienne, nowoczesne i wydajne platformy komputerowe, każda z dwoma procesorami klasy serwerowej, w tym 2x Intel Xeon Gold 6240, 2x AMD EPYC 7742 oraz 2x AMD EPYC 7763. Pozwala to na możliwie szeroką ocenę działania na odmiennych platformach. Poza tym zdefiniowanych zostało 10 zbiorów danych – różniących się liczbą zmiennych, zakresem i średnią liczbą stanów przyjmowanych przez zmienne. Oprócz tego opracowany został także benchmark losowych zapytań. Pozwala to na rzetelną ocenę w sensie przekroju danych wejściowych i ich charakterystyk. W kontekście osiągnięć autora w tej części pracy, przyjętego podejścia badawczego i w szczególności ewaluacji, wyróżnić można:

1. Zaproponowane metody poprawy wydajności strategii Bitmap: (1) metoda redukcji liczby przecięć bitmap, (2) metoda redukcji liczby odwiedzanych węzłów drzewa DFS. W tym przypadku podejście badawcze i ewaluacyjne polegało na wykazaniu istotnego przyspieszenia obliczeń dzięki ww. metodom dla wspomnianych zbiorów danych, dla różnej liczby obserwacji w zakresie 1K-1M, dla trzech platform testowych.

2. Metodę automatycznego wyboru strategii. W tym przypadku autor określił złożoności i teoretyczne modele kosztów realizacji zapytania zliczającego za pomocą strategii: CT, RAD i BV. Następnie określił, na bazie zebranych rzeczywistych wyników, współczynniki w funkcjach kosztów dla poszczególnych strategii, co pozwoliło na symulację przetworzenia strumienia zapytań z wyborem strategii o najniższym koszcie. Weryfikacja wstępnej wersji metody polegała na wykazaniu bardzo znaczących przyspieszeń

względem losowego wyboru strategii, dla wybranych 5 zbiorów danych i trzech liczb obserwacji. Następnie autor zaproponował metodę adaptacji modelu kosztu i algorytm aktualizacji modeli. W finalnym algorytmie dla strategii CT i BV stworzone zostały po dwa modele w zależności od rozmiaru zapytania. Po wytrenowaniu modeli, możliwe jest oszacowanie kosztów wykonania zapytania przez poszczególne strategie i wybór jednej z nich. Rozmiar i czas wykonania zapytania wykorzystywane są do aktualizacji modeli. Finalnie automatyczny algorytm wyboru strategii został porównany jakościowo dla zbiorów danych i różnych liczb obserwacji względem strategii składowych oraz także ADT i HT. Autor wykazał wyższość zaproponowanego podejścia. Zaprezentował czasy realizacji oraz przyspieszenie dla opracowanej metody. Następnie, analogicznie, wykazał wyższość zaproponowanego podejścia dla realizacji wyznaczania zbiorów rodziców, demonstrując znacznie niższe czasy działania względem wspomnianych strategii.

3. Zrównolegloną implementację metody automatycznego wyboru strategii. W tym przypadku autor wykazał istotne przyspieszenie metody AC względem najlepszego indywidualnego podejścia, dla wybranych zbiorów danych i dwóch platform testowych – AMD Milan i Intel, dla wyznaczania zbioru rodziców.

4. Algorytm równoległej realizacji zapytań zliczających dla architektury ccNUMA. W tym przypadku autor porównał czasy działania zoptymalizowanej metody uwzględniającej architekturę ccNUMA, względem standardowej metody równoległej realizacji zapytań z wykorzystaniem OpenMP, dla dwóch platform AMD i sześciu zbiorów danych, wykazując istotne przyspieszenie obliczeń.

Oceniam, że podejście badawcze do realizacji zadań jest poprawne, w możliwym zakresie autor zadbał o reprezentatywność wyników (trzy platformy, różne zbiory danych o różniących się parametrach). Na uznanie zasługuje opracowanie i dostrajanie modeli kosztów poszczególnych strategii. Wyższość zaproponowanych algorytmów względem referencyjnych podejść bazowała na wykazaniu przyspieszeń działania dla platform i zbiorów danych jw., co potwierdza jakość rezultatów w szerokim zakresie.

5 Ocena części rozprawy doktorskiej dotyczącej omówienia wyników badań

Części rozprawy doktorskiej, w której zawarto wyniki zostały umieszczone bezpośrednio w rozdziałach dotyczących konkretnych rozwiązań zaproponowanych przez autora, jak opisano powyżej. Zasadniczo wyniki umieszczono w formie liczbowej, w postaci

(znormalizowanych) czasów wykonania, (znormalizowanego) zużycia energii, procentowych zysków energetycznych, przyspieszeń względem wersji referencyjnych. W części pierwszej autor użył dwóch aplikacji i różnych rozmiarów danych, w drugiej testy zostały przeprowadzone dla każdego rozwiązania przynajmniej dla kilku zbiorów danych oraz różnej liczby obserwacji. Zasadniczo wyniki zostały zaprezentowane dla trzech platform, w rozdziale 2 dla platformy Intel oraz AMD Milan, w rozdziale 7 dla dwóch platform AMD. Wyniki uznaję za reprezentatywne w sensie danych wejściowych i platform.

Jakościowo, wyniki są bardzo zadowalające. W części pierwszej, autor pokazał, dla dwóch aplikacji, zasadniczo większe zyski energetyczne dla wersji heterogenicznego wariantu DVFS w porównaniu do wersji homogenicznej. Dla aplikacji trójwymiarowej dyfuzji uzyskano zyski od kilkunastu do 25%, dla aplikacji MPDATA od kilkunastu do nawet 30% co jest bardzo dobrym wynikiem. Zaproponowane algorytmy bazujące na pomiarach energii i pomiarach czasu osiągnęły, dla testowanych konfiguracji, efektywność zysku energetycznego (względem metody brute force) od ok. 90% do 100% przy kilkukrotnie mniejszej liczbie testowanych konfiguracji. Oznacza ich znacznie większą użyteczność względem metody wyczerpującego przeglądania.

W drugiej części pracy, zaproponowane zoptymalizowane metody dla strategii Bitmap, w przekroju trzech platform testowych, średnio dla zbiorów danych osiągnęły przyspieszenia dla benchmarku losowych zapytań od 1,22x do 1,45x, co należy uznać za znaczący wynik. Metoda automatycznego wyboru strategii dla strumienia 100 000 losowych zapytań osiągnęła przyspieszenie od 1,03x do ok. 40x dla BV, od 1,01x do ok. 11x dla RAD, od 1,05x do kilku tysięcy razy dla CT, od ponad 1x do kilkuset razy dla ADT, od kilku do kilkudziesięciu razy dla HT. Dla wyznaczania zbioru rodziców ponownie zaproponowana metoda okazała się najlepsza, oferując przyspieszenia od kilku razy do kilkuset razy, w zależności od strategii i zbioru danych. Równoległa realizacja metody automatycznego wyboru strategii okazała się szybsza, względem najlepszego testowanego indywidualnego podejścia, od ponad 5x do ponad 11x dla platformy AMD Milan oraz od ponad 2,2x do prawie 4x dla platformy Intel. Z kolei przyspieszenie wersji uwzględniającej architekturę ccNUMA, dla platform AMD, wyniosło od ponad 2,1x do ponad 10x po przetestowaniu sześciu wybranych zbiorów danych. Ponownie należy wysoko ocenić te rezultaty, jako potwierdzenie znaczącego wyniku naukowego, ale także praktycznego – ze względu na rozwiązania wdrożone w bibliotece.

6 Informacje dotyczące praktycznego zastosowania uzyskanych wyników badań

Autor przedstawił w rozprawie informacje odnośnie praktycznych zastosowań. Dla pierwszej części rozprawy – aplikacje wskazano i opisano w rozdziale 2.1 – trójwymiarowa dyfuzja oraz MPDATA, motywację do badań wskazano w rozdziale 2.2.

Jeśli chodzi o drugą część pracy – przydatność zagadnienia realizacji zapytań zliczających w uczeniu maszynowym autor wskazał w rozdziale 3.1, zaś motywację podjęcia badań wyjaśnił w rozdziale 3.2. Wśród aplikacji autor wskazał uczenie struktury sieci Bayesowskiej, eksplorację reguł asocjacyjnych, klasyfikację, uczenie głębokie oraz wyszukiwanie informacji.

Ponadto praktyczność wynika z wdrożenia wyników w rozwiązaniu udostępnionej (open source) biblioteki SABNAtk co stanowi znaczące i nieczęste osiągnięcie.

7 Informacja o ewentualnych nieprawidłowościach

i niedoskonałościach, które pojawiły się w ocenianej rozprawie doktorskiej

Praca zasadniczo nie zawiera, w mojej ocenie, istotnych nieprawidłowości.

Poniżej wymieniono pewne niedoskonałości i elementy, których nieco brakuje w pracy:

1. Widoczna jest różnica w zakresie zarówno modelu aplikacji/problemu oraz celów optymalizacji pomiędzy materiałem zawartym w rozdziale 2 a późniejszymi rozdziałami. Pewnym rozwiązaniem uspokajającym byłoby dodanie elementów podobnej optymalizacji energetycznej do rozwiązania problemu zapytań zliczających w drugiej części rozprawy.
2. W tezie pracy jak również w tytule mowa o uczeniu maszynowym, w pracy zaś rozpatrywane są bardziej konkretne zagadnienia, szczególnie w tym kontekście zapytania zliczające. W moim przekonaniu wzmianka o uczeniu maszynowym stwarza wrażenie, że praca obejmuje bardziej wyczerpująco problemy zawarte w uczeniu maszynowym, niż jest w rzeczywistości.
3. W pracy brakuje mi nieco oceny jakości zaproponowanych modeli w sensie precyzyjnych, numerycznych wartości błędów. W szczególności dotyczy to akapitu na s. 91, tj.: „Rysunek 5.10 przedstawia (...). Zestawienie z rysunkiem 5.5, gdzie pokazano rzeczywiste czasy realizacji zapytań, wskazuje, że finalne modele regresji dobrze odwzorowują rzeczywisty koszt wykonania zapytań zliczających”. Jest to dosyć mało precyzyjne stwierdzenie/uzasadnienie.

4. Drobne wady/kwestie:
 1. #pragma vector s. 17 – nie widać tej dyrektywy na listingu 2.1,
 2. pytanie odnośnie listingu 7.2 – gdzie wykorzystywane są zmienne *start* i *stop*?
5. Czy autor testował, ew. czy może skomentować oczekiwane różnice dla różnych możliwości przypisania wątków do rdzeni (tzw. thread affinity) w rozdziale 2?
6. Proszę o wyjaśnienie możliwych przyczyn różnic w przyspieszeniu dla obu platform – dolna część s. 115. Ponadto, czy autor badał dokładniej zagadnienie przyspieszenia obliczeń dla opracowanej wersji równoległej, względem kodu uruchomionego sekwencyjnie, dla testowanych platform? Jakie elementy architektury mogą szczególnie wpływać na przyspieszenie i wydajność?

8 Ocena czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego

Problem naukowy rozpatrywany w pracy zasadniczo dotyczy optymalizacji wydajnościowo-energetycznej i wydajnościowej konkretnych klas problemów, odpowiednio w pierwszej i drugiej części rozprawy, jak opisano szczegółowo wyżej. Zaproponowane przez autora rozwiązania skutecznie realizują optymalizację, w sposób istotny minimalizując zużycie energii oraz czas wykonania odpowiednio w obu częściach pracy (szczegóły powyżej). Uwzględniając reprezentatywność zbiorów danych oraz systemów sprzętowych, uznaję, że opisane algorytmy i ich rezultaty stanowią oryginalne rozwiązanie rozpatrywanego problemu naukowego.

9 Ocena czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Ogólna wiedza teoretyczna kandydata została, w kontekście rozprawy, zaprezentowana w następujących fragmentach: (1) 1.1 – opis kontekstu, m.in. potrzeby optymalizacji, w tym energetycznej, (2) motywacji do badań, gdyż wynika ona ze świadomości istnienia pewnego potencjału optymalizacyjnego co stanowi element wiedzy w dyscyplinie – te fragmenty zawarte są w pracy w rozdziałach 2.2 i 3.2, (3) 3.1 - opis zagadnień zapytań zliczających w uczeniu maszynowym, (4) 8.2 – kierunki dalszych prac.

Stwierdzam także, że kandydat posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej – wynika to ze zdolności do sformułowania problemów badawczych w pracy, analizy jakościowej technologii i algorytmów referencyjnych, zaprojektowania algorytmów

optymalizacyjnych (szczególnie z uwzględnieniem modelowania kosztów i budowy modeli), przygotowania reprezentatywnych danych wejściowych, przeprowadzenia oceny zaproponowanych rozwiązań w reprezentatywnych środowiskach oraz krytycznej analizy i zdolności wyciągnięcia wniosków a także rekomendacji co do zastosowania zaproponowanych rozwiązań.

Podsumowanie i ocena rozprawy

W rozprawie doktorskiej mgr inż. Paweł Bratek zaprojektował oraz zaimplementował: (1) algorytmy do optymalizacji energetycznej aplikacji trójwymiarowej dyfuzji oraz MPDATA, w szczególności za pomocą heterogenicznego algorytmu wykorzystującego DVFS; (2) algorytmy do optymalizacji wydajnościowej realizacji zapytań zliczających, także w wersjach równoległych. Zademonstrował znaczące redukcje zużycia energii oraz czasu względem wersji referencyjnych, dowodząc, w moim przekonaniu tezy rozprawy.

Podsumowując, stwierdzam, że rozprawa spełnia wymagania postawione rozprawom doktorskim przez odpowiednią ustawę tj. ustawę z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, konkretnie w art. 187 tejże ustawy – w szczególności w zakresie prezentacji wiedzy ogólnej kandydata, umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, oryginalnego rozwiązania problemu naukowego, przedstawienia rozprawy doktorskiej w tym przypadku w języku polskim ze streszczeniem w języku angielskim.

Jednocześnie biorąc pod uwagę mocne strony rozprawy, do których zaliczam:

1. naukowo silny materiał z powiązanymi publikacjami w materiałach renomowanych konferencji (ISD, 4x EuroPar) za 140 pkt. oraz w Journal of Parallel and Distributed Computing (100 pkt., uznane czasopismo w obszarze przetwarzania równoległego i rozproszonego);
2. podjęcie i rozwiązanie w istotnym stopniu problemu optymalizacji wydajnościowej oraz efektywności obliczeniowej i energetycznej, w kontekście zastosowań AI oraz aplikacji numerycznych (szczególnie istotne są aspekty optymalizacji energetycznej, ze względu na rosnące koszty energii oraz duże zapotrzebowanie energetyczne wydajnych systemów wysokiej wydajności);
3. budowę modeli kosztu dla analizowanych i wykorzystywanych strategii;

4. opracowanie wersji równoległych uwzględniających architektury nowoczesnych systemów obliczeniowych z wielordzeniowymi CPU, wraz z wykonaniem kompleksowych testów;

5. wkład praktyczny w implementację biblioteki SABNAtk dostępnej jako open source a więc o globalnym zasięgu;

wnioskuję o wyróżnienie rozprawy.



dr hab. inż. Paweł Czarnul

