

dr hab. inż. Joanna Domańska
Instytut Informatyki
Teoretycznej i Stosowanej PAN
ul. Bałtycka 5, 44-100 Gliwice

Gliwice, 27 maja 2024 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr Beaty Dmitruk

pt. "Równoległe i wektorowe algorytmy rozwiązywania trójdzielnych układów równań liniowych typu Toeplitza na współczesnych architekturach wieloprocessorowych"

Cel, zakres i charakter rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska została wykonana pod kierunkiem naukowym dr. hab. Przemysława Stpicyńskiego, profesora UMCS.

Rozprawa dotyczy problematyki numerycznego rozwiązywania układów równań liniowych w których macierz współczynników jest macierzą trójdzielną typu Toeplitza.

Autorka rozprawy sformułowała cel oraz tezę pracy. Cel pracy zakłada opracowanie algorytmów rozwiązywania układów równań z macierzą trójdzielną typu Toeplitza, które będą bardziej dokładne, aniżeli istniejące algorytmy tego typu. W ramach celu pracy doktorantka zakłada również poprawę metod sumujących bez pogorszenia wydajności czasowej.

Mając na uwadze powyższy cel pracy autorka rozprawy sformułowała tezę, która zakłada, że zrównoleglenie oraz wektoryzacja algorytmów numerycznych rozwiązujących układy równań z macierzą trójdzielną typu Toeplitza pozwoli na znaczące przyspieszenie ich działania na współczesnych procesorach, procesorach graficznych oraz architekturach hybrydowych.

Dla ułatwienia przeprowadzenia procesu weryfikacji uzyskania postawionego przez doktorantkę celu pracy zostało sformułowanych sześć koniecznych do wykonania kroków. Pierwszy z nich zakłada zaproponowanie algorytmów, które będą wykorzystywały własności architektur współczesnych systemów komputerowych. Drugi krok dotyczy implementacji tych algorytmów z wykorzystaniem narzędzi wspierających wektoryzację oraz obliczenia równoległe. Trzeci krok sugeruje wykorzystanie nowych reprezentacji danych (macierzy oraz wektorów), które pozwolą na poprawę dostępu do pamięci oraz redukcję niezbędnych synchronizacji. Czwarty krok obejmuje zwiększenie dokładności obliczeń poprzez wykorzystanie algorytmów sumowania z poprawkami. Piąty krok polega na wykorzystaniu w obliczeniach różnych formatów reprezentujących liczby zmiennopozycyjne. Szósty i ostatni cel pracy zakłada przeprowadzenie testów oraz porównanie wyników czasowych i uzyskanej dokładności. W ramach tego kroku doktorantka proponuje również przeprowadzenie próby automatyzacji doboru paramterów.

Zawartość rozprawy

Forma drukowana recenzowanej rozprawy obejmuje 128 stron. Praca została napisana w języku polskim i składa się ze wstępu, sześciu rozdziałów, podsumowania pracy wraz z krótkim opisem planowanej kontynuacji badań oraz wykazu literatury. Tytuł odzwierciedla zawartość pracy, a przyjęty układ pracy jest właściwy.

Wstęp - oprócz krótkiego wprowadzenia w tematykę, której dotyczy rozprawa - zawiera również poprawnie sformułowane cel i tezę pracy oraz krótki opis kroków, których wykonanie prowadzi do osiągnięcia postawionego w pracy celu. Wstęp zawiera również krótki opis struktury rozprawy. Autorka rozprawy numeruje rozdziały nie wliczając do numeracji Wstępu.

Rozdział pierwszy stanowi wprowadzenie w tematykę obliczeń równoległych. Zawiera krótki opis narzędzi programistycznych wykorzystanych w ramach pracy doktorskiej. Skrótowo przedstawia wykorzystany w pracy język oraz interfejsy (API) umożliwiające optymalizację równoległą oraz funkcje umożliwiające optymalizację wektorową. W rozdziale tym przedstawiono również procesory wielordzeniowe oraz karty graficzne wykorzystane w eksperymentach przeprowadzanych w ramach recenzowanej rozprawy.

W rozdziale drugim opisano trójdzielne układy równań typu Toeplitza wraz z ich przykładowymi zastosowaniami. W rozdziale tym zawarto również opis metod dedykowanych rozwiązywaniu układów równań w których macierz współczynników ma postać trójdzielną oraz krótki opis bibliotek do obliczeń numerycznych, które zostały wykorzystane w recenzowanej pracy.

Rozdział trzeci jest pierwszym z rozdziałów w którym doktorantka opisuje wyniki uzyskane w ramach pracy doktorskiej. W rozdziale tym proponuje dwie wersje równoległej i wektorowej implementacji algorytmu typu "dziel i zwyciężaj". Opisuje proces redukcji niezbędnych synchronizacji w obu równoległych wersjach. Porównuje czas oraz przyspieszenie w stosunku do wersji sekwencyjnej (algorytm Thomasa, który jest specjalnym przypadkiem eliminacji Gaussa, zoptymalizowanym dla trójdzielnych układów równań liniowych). Porównuje również wydajność energetyczną algorytmu sekwencyjnego oraz obu równoległych wersji typu "dziel i zwyciężaj".

W rozdziale czwartym doktorantka opisuje implementację algorytmu będącego modyfikacją metody Wanga oraz zrównoleglonej wersji algorytmu Liu. Wykorzystuje zarówno OpenMP jak i OpenACC - co umożliwia utworzenie implementacji przenośnej między CPU, GPU oraz działanie w architekturze hybrydowej. Doktorantka opisuje również w tym rozdziale sposób, w jaki można dokonać predykcji parametrów rozważanego algorytmu.

Rozdział piąty dotyczy problemu efektywnego sumowania. Doktorantka opisuje wykonane w ramach pracy zrównoleglanie i wektoryzację algorytmów Kahana i Gilla-Mollera. W rozdziale tym przedstawia wyniki dla trzech rodzajów precyzji, pokazujące poprawę dokładności zaproponowanych w ramach pracy implementacji.

W rozdziale szóstym doktorantka opisuje wykorzystanie sumowania z poprawkami w znanych algorytmach całkowania numerycznego oraz w przykładzie dotyczącym warunków brzegowych równania różniczkowego.

Podsumowanie pracy zawiera skrócony opis uzyskanych w ramach pracy wyników oraz propozycję kierunków dalszych badań związanych z tematyką doktoratu.

Bibliografia zawarta w rozprawie składa się ze 103 pozycji. Cytowane w tekście rozprawy pozycje oraz analiza ich zawartości potwierdzają dostateczną znajomość stanu wiedzy doktorantki - związanego z tematyką rozprawy.

Ocena rozprawy

Rozprawa doktorska dotyczy zagadnień związanych z wydajnością i dokładnością numerycznego rozwiązywania układów równań liniowych o trójdzielnej (typu Toeplitza) macierzy współczynników przy wykorzystaniu współczesnych architektur wieloprocesorowych. Wiadomym jest, że rozwiązania sekwencyjne są efektywne jedynie dla macierzy niewielkich rozmiarów. Autorka rozprawy w prawidłowy sposób wskazuje problemy występujące w procesie znajdowania rozwiązania tego typu układów równań. Doktorantka zaproponowała w ramach pracy algorytmy, które pozwalają na implementację wykorzystującą wektoryzację oraz równoległość. W ramach przeprowadzonych badań zaproponowała reprezentację danych pozwalającą na zredukowanie niezbędnych synchronizacji oraz lepszy dostęp do pamięci. W ramach pracy doktorskiej autorka rozprawy przeprowadziła również porównanie dokładności oraz wyników czasowych potwierdzające uzyskane przyspieszenie działania zaproponowanych w ramach pracy rozwiązań oraz wpływ wykorzystania algorytmów sumowania z poprawkami na zwiększenie dokładności obliczeń.

Teza pracy jest oryginalna, a uzyskane i opisane w pracy wyniki potwierdzają jej prawdziwość.

Praca została napisana w sposób przyjazny dla czytelnika, jednakże strona redakcyjna rozprawy pozostawia lekki niedosyt. Pomijając liczne błędy typograficzne, m.in.:

- Zrówleglaniu;
- Optymalizujące;
- Dyrektywny;
- jednie,

niedobłą praktyką jest pozostawianie angielskich opisów na rysunku w przypadku pracy napisanej w języku polskim. Nawet, jeżeli rysunek pochodzi z cytowanego źródła (dotyczy to np. rysunku 1.1), to dobrą praktyką jest wykonanie rysunku od nowa przy pozostawieniu źródła pochodzenia.

Zaletą strony edycyjnej rozprawy jest wyczerpujący komentarz załączonych listingów, co wpływa na poprawę czytelności rozprawy. Natomiast niepotrzebne wydaje się załączanie bardzo podstawowych listingów - dotyczy to np. Listingu 1.1.

Zaletą pracy jest również fakt, że wszystkie implementacje wykonane w ramach niniejszej pracy doktorskiej są dostępne w publicznym repozytorium.

Przedstawione w niniejszej części recenzji uwagi i spostrzeżenia nie wpływają na pozytywną ocenę merytorycznej części pracy oraz nie podważają dobrej oceny umiejętności autorki do poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników. Oczekuję jednakże od doktorantki ustosunkowania się podczas publicznej obrony pracy doktorskiej do poniższej uwagi:

- W sekcji 2.4.4 doktorantka pisze: „Ponadto w literaturze spotkać można szereg nowych lub ulepszeń już istniejących metod dedykowanych macierzom trójdzielnym typu Toeplitza, bądź macierzom z modyfikacją pojedynczych elementów.” Brakuje w pracy wyjaśnienia dlaczego doktorantka wykorzystuje takie, a nie inne metody, dlaczego modyfikuje ten, a nie inny algorytm. Doktorantka twierdzi, że „Wymienione prace nie wykorzystują w pełni jednocześnie procesów wektorowych i równoległych, przez co nie jest efektywnie wykorzystywana

budowa nowoczesnych architektur komputerowych. Stąd potrzeba powstawania nowych algorytmów i ich implementacji." Doktorantka w ramach pracy porównuje swoje modyfikacje z algorytmem sekwencyjnym. Brakuje szerszego omówienia porównawczego z innymi algorytmami wektorowymi i równoległymi.

Wnioski końcowe

Mgr Beata Dmitruk przedstawiła rozprawę doktorską zawierającą oryginalne rozwiązania w zakresie przyspieszenia działania algorytmów numerycznych rozwiązujących układy równań o macierzach trójdzielnych typu Toeplitza. Rozprawa doktorska dotyczy ważnego problemu oraz stanowi wartościowe osiągnięcie naukowe Autorki. Dysertacja doktorska powinna również potwierdzać ogólną teoretyczną wiedzę Doktorantki w danej dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Wg mojej opinii przedstawiona do recenzji praca spełnia wymienione wymagania.

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzam, że niniejsza rozprawa spełnia wymogi ustawowe stawiane pracom doktorskim w *dziedzinie nauk inżynierjno-technicznych, w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja*, określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j.: Dz.U. z 2023 poz. 742, z późn.zm.) i wnioskuję o dopuszczenie Autorki rozprawy do publicznej obrony.

Wojciech Re