

Prof. dr hab. inż. Henryk Krawczyk
Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki
Politechnika Gdańska

Recenzja

rozprawy doktorskiej pt. „Projektowanie równoległych programów numerycznych z uwzględnieniem ograniczeń architektonicznych systemów”

Autor mgr inż. Adam Smyk.

1. Tematyka i zakres rozprawy doktorskiej

Recenzowana rozprawa doktorska to zestaw pięciu publikacji, z których dwie ukazały się w czasopiśmie: *Concurrency and Computation-Practice & Experience* oraz *Journal of Systems Architecture (EUROMICRO)* znajdującym się na liście A Ministerstwa Edukacji i Nauki (odpowiednio za 100 i 70 pkt). Pozostałe prace dotyczą materiałów renomowanych konferencji, (*Springer x 2* oraz *IEEE Computer Society*) cytowanych przez *Web of Science*. Dodatkowo Doktorant załącza 4 referaty konferencyjne chcąc uzupełnić opis wykonanych badań.

Tematyka rozprawy doktorskiej dotyczy wykorzystania modeli środowisk obliczeniowych przydatnych do symulacji problemów obliczeniowych związanych między innymi z szybką transformacją Fouriera, czy rozwiązywaniem równań Maxwella. Głównym problemem numerycznym rozpatrywanym w niniejszej pracy jest metoda symulacji *FDTD* (ang. *Finite Difference Time Domain, metoda różnic skończonych w dziedzinie czasu*). Analizowany jest dwuwymiarowy obszar symulacji, nad którym rozpięta jest dyskretna siatka węzłów obliczeniowych, reprezentujących na przemian wartości składowej elektrycznej pola oraz dwóch jego składowych magnetycznych. Gęstość siatki, a tym samym liczba węzłów obliczeniowych zależy od częstotliwości źródła fali elektromagnetycznej i decyduje o dokładności symulacji. Im większa jest gęstość siatki oraz większy rozmiar obszaru symulacji, tym samym czas potrzebny na jej wykonanie jest dłuższy. Rozwiązaniem jest w tym przypadku zrównoleglenie obliczeń przez równomierny podział danych. Sprowadza się to do podziału siatki obliczeniowej na podgrafy i wykonanie symulacji w każdej z nich, z koniecznością integracji otrzymanych wyników częściowych, co może stanowić dalszą barierę w przyspieszeniu obliczeń. Poza tym równomierny podział danych jest jednak możliwy tylko dla obszarów o regularnych kształtach. W przypadku obszarów nieregularnych, konieczne staje się opracowanie nowych algorytmów

heurystycznych, które jednocześnie zapewniają zarówno równomierne obciążenia procesorów, jak i minimalną wymianę przysyłanych danych. W rozprawie tego typu problemy ujęto w cztery następujące obszary badawcze:

1. Opracowania odpowiednich metod i algorytmów pogrubiania grafów przepływowych, wzbogaconych o zasady repozycjonowania oraz hierarchicznego podziału.
2. Wykorzystania podejścia genetycznego przy rozwiązywaniu problemu heurystycznej optymalizacji podziału grafów przepływowych w przypadku algorytmu pogrubiania węzłów obliczeniowych.
3. Zmodyfikowania i dostosowania algorytmów podziału grafów do strumieniowego modelu przetwarzania danych w celu uzyskania wysokiej wydajności obliczeń.
4. Implementacji oraz testowania wybranych algorytmów heurystycznej optymalizacji podziału grafów przepływowych w takich środowiskach jak *MPI*, *METIS* oraz *PEGASUS DA*.

Dwa pierwsze obszary badań Doktoranta dotyczą problemu podziału grafu na określone podgrafy, zaś dwa ostatnie zajmują się dostosowaniem architektury systemu do ich efektywnego wykonania, wliczając w to zarówno wykonywane obliczenia, komunikację jak i sterowanie przebiegiem obliczeń.

Teza niniejszej rozprawy wskazuje, że zaproponowane algorytmy podziału grafu przepływowego jak ich wykonanie w odpowiednio zmodyfikowanych równoległych środowiskach przetwarzania zapewniają satysfakcjonujące przyspieszenie obliczeń. Przy czym istotną rolę odgrywa zaproponowana metoda konwersji grafu przepływowego na makro przepływowy, przyjęty model komunikacyjny wspierający transmisję danych opartą o mechanizm buforów rotacyjnych, a także wykorzystany model sterowania bazujący na monitorowaniu stanów globalnych aplikacji rozproszonych wspierających algorytmy podziału grafów. Tezę tę Doktorant konsekwentnie wykazuje, w kolejnych rozdziałach rozprawy powołując się na wyniki uzyskane w wielu eksperymentach symulacyjnych wywodzących się z analizowanych problemów badawczych.

2. Ocena i uwagi krytyczne dotyczące rozprawy doktorskiej

Mimo że recenzowana praca doktorska jest ściśle związana z różnymi wynikami własnych publikacji Doktoranta i Promotora, to Autor umiejętnie ujął je w pewną istotną całość. Pozwala to podkreślić przydatność metod zrównoleglania obliczeń dla złożonych problemów wymagających komputerów dużej mocy obliczeniowej. Co więcej umożliwia dopasowanie architektur tego typu do potrzeb analizowanego modelu obliczeniowego. Dla typowego naukowca wnikanie jednak w szczegóły architektury obliczeniowej może być dużą trudnością i istnieje potrzeba jej ukrycia w przyjaznej warstwie interfejsu. Byłoby to jednak nowe zadanie nie należące do problematyki analizowanej w rozprawie, ale istotne z uwagi na popularyzację proponowanych rozwiązań.

Do najważniejszych osiągnięć rozprawy doktorskiej dotyczących analizowanych problemów badawczych zaliczam:

1. Zaproponowanie heurystycznego podejścia hierarchicznego prowadzącego do optymalizującego podziału grafów przepływu danych, uwzględniającego nieregularności siatek, różne zasady korekty bieżących podziałów, w tym też wykorzystanie programowania genetycznego. Podejście to, jak wykazano, zapewnia akceptowalny czas wykonania symulowanej aplikacji, zaś sam podział grafu spełnia również oczekiwania w zakresie zrównoważenia obciążeń węzłów obliczeniowych jak i redukcji kosztów komunikacji.
2. Wskazanie sposobu rozbudowy środowiska rozproszonego wykonania algorytmów podziału grafu uwzględniającego charakter algorytmu podziału w zakresie potrzeb komunikacji i sterowania. Dotyczy to efektywnej metody komunikacji danych z użyciem buforów rotacyjnych (*RDMA RB*), która pozwala zredukować narzut synchronizacji współpracujących procesorów, dzięki nakładaniu się operacji obliczeniowych i komunikacyjnych realizowanych asynchronicznie. Wykorzystuje się też możliwości analizy stanów globalnych rozproszonych aplikacji podziału grafów, która to prowadzi do zautomatyzowania kontroli przebiegiem obliczeń oraz monitorowania odpowiednich parametrów, pozwalających na polepszenie jakości analizowanego podziału.
3. Porównanie przyspieszenia obliczeń dla wybranych typów grafów (4_Star, BigerSnake, BigSnake oraz RotatedRectangle) oraz różnych charakterystyk systemów obliczeniowych. Testowane były przy tym takie elementy jak: rodzaj wybranych funkcji scalających, liczba partycji, a także wydajność procesora wykonawczego i szybkość komunikacji wraz z liczbą łączy komunikacyjnych. Dzięki takim eksperymentom można było określić przydatność algorytmów podziału grafu danych dla różnych konfiguracji siatki obliczeniowej.

W rozprawie skupiono się na algorytmach podziału grafu na odpowiednie części w celu utworzenia multigrafu złożonego z takich części. Jego dalsze udoskonalenie dokonuje się poprzez wymianę wierzchołków (repozycjonowanie), tak by spełnić oczekiwane wymagania obliczeniowe. Doktorant sformułował pewne zasady takiej wymiany prowadzące zarówno do zrównoważonego zbilansowania czasów symulacji poszczególnych podgrafów jak też zminimalizowania czasów komunikacji (wymiany danych) pomiędzy węzłami takiego multigrafu. Autor rozprawy nawiązał do zagadnień praktycznych wywodzących się z dziedziny elektromagnetyki, których symulacja wymaga analizy na odpowiedniej siatce obliczeniowej. Założył istnienie skalowalności tego typu problemów i wykazał, że ta cecha może zostać osiągnięta zarówno przy definicji dobrze dobranej heurystycznego algorytmu podziału grafu jak i odpowiedniej modyfikacji systemu obliczeniowego symulującego takie algorytmy. Nie podał jednak jak podane wyniki teoretyczne odnosić się będą do rzeczywistych badań symulacyjnych i jakie

mogą wówczas wystąpić fizyczne ograniczenia. Moim zdaniem dotyczą one co najmniej dokładności przeprowadzanej analizy, mocno związanej z jakością budowanej siatki.

Często w rozprawie mgr inż. Adam Smyk używa zamiennie takich terminów jak: podział, partycjonowanie, czy pogrubianie grafów przepływowych, które wykorzystane są w różnych kontekstach problemu podziału grafu. Brak w rozprawie wykazu oznaczeń i definicji podstawowych pojęć pozostawia pewne wątpliwości co do pełnej precyzyjności przedstawionych rozważań. Na przykład, skąd wynika, że w przypadku podejścia genetycznego mówimy o problemie pogrubiania grafu, zaś w przypadku podejścia METIS o podziale grafu?

3. Wniosek końcowy

Mgr inż. Adam Smyk zajął się problematyką podziału grafów przepływu danych na podgrafy reprezentujące zredukowany graf wynikowy (multigraf) oraz przedstawił efektywne algorytmy pozwalające na znaczne przyspieszenie obliczeń. Co więcej odniósł te algorytmy do pewnych architektur wieloprocessorowych jak i rozproszonych, podając dodatkowe oryginalne rozwiązania systemowe (bufory rotacyjne, stany globalne) usprawniające ich wykonanie. Wymagało to dużej wiedzy informatycznej oraz umiejętności zarówno przy formułowaniu problemów i ich rozwiązaniu, jak też przy dokonaniu krytycznej oceny otrzymanych wyników.

Recenzowana praca doktorska należy raczej do kategorii prac teoretycznych mimo, że wykorzystano w niej pewne dostępne środowiska obliczeniowe do weryfikacji zaproponowanych rozwiązań symulacyjnych. Stanowi dobrą podstawę do dalszych badań nie tylko nad problemami symulacji zjawisk elektromagnetycznych metodą różnic skończonych w dziedzinie czasu, ale też wielu innych problemów wymagających obliczeń typu *stencil*. Z pełnym przekonaniem stwierdzam, że recenzowana praca doktorska mgra inż. Adama Smyka w nadmiarze spełnia wymagania ustawowe stawiane rozprawom doktorskim. Wnoszę o dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

