

Prof. dr hab. inż. Jan Sikora  
Politechnika Lubelska  
Wydział Elektrotechniki i Informatyki,  
Instytut Elektroniki i Technik Informacyjnych,  
Nadbystrzycka 38A,  
20-618 Lublin,  
e-mail: sik59@wp.pl

Warszawa, 24.06.2013

### Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Bartosz Matusiaka pt.:  
**„Algorytmy obliczeń równoległych z użyciem procesorów graficznych (GPU)  
do przetwarzania i wizualizacji danych pomiarowych z przemysłowych  
systemów tomograficznych”**

Recenzja niniejsza została opracowana na podstawie uchwały Rady Wydziału Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej z dnia 18.06.2013 r.

#### 1. Temat, zakres i cel rozprawy

Recenzowana praca doktorska dotyczy opracowania algorytmów wykorzystujących procesory graficzne do przetwarzania danych z przemysłowych systemów tomograficznych. Zarówno tematyka tomografii procesowej jak i eksploatacji procesorów graficznych do celów obliczeń ogólnego przeznaczenia są podejmowane w nielicznych ośrodkach światowych. To, że tematyka tomografii procesowej jest trudna, wymagająca rozległej wiedzy z wielu dyscyplin naukowych i co ważne jest potrzebna przemysłowi nie trzeba nikogo przekonywać. Z kolei wykorzystanie procesorów graficznych do obliczeń innych niż związanych z grafiką komputerową jest zagadnieniem bardzo intensywnie rozwijanym dopiero od kilku lat.

Autor w swojej pracy nie ukrywał faktu pracy w zespole Instytutu Informatyki Stosowanej Politechniki Łódzkiej jak i współpracy z Centrum Badawczym Dresden-Rossendorf, gdzie odbył dwa staże naukowe. Jest przy tym w pełni świadomy swoich własnych dokonań, które zostały docenione na m.in. na forach międzynarodowych wystaw wynalazczości: złoty medal na IV Międzynarodowej Wystawie Innowacji (IWIS) w Warszawie w 2010 roku oraz srebrny medal na V Międzynarodowej Wystawie Innowacji (IWIS) w Warszawie w 2011 roku.

Rozprawa licząca 106 stron tekstu zasadniczego oraz bibliografii składa się z dziewięciu rozdziałów. Autor podzielił pracę na trzy części.

W części pierwszej czytelnik jest zapoznawany z aktualnym stanem wiedzy obejmującym przegląd zagadnień dotyczących przemysłowych systemów tomograficznych (rozdział 2), a także historię i rozwój obliczeń równoległych od pierwszych procesorów wykorzystywanych w komputerach aż do procesorów graficznych (rozdział 3). W rozdziale 4 zamieszczony został także zwięzły opis środowiska obliczeń ogólnego przeznaczenia na procesorach graficznych CUDA, które to środowisko autor wykorzystywał w swojej pracy.

W drugiej części pracy przedstawiono rozważania teoretyczne konstrukcji czujników (rozdział 5) oraz autorskich algorytmów przetwarzania i wizualizacji danych pomiarowych (rozdział 6).

Część trzecia dotyczy weryfikacji eksperymentalnej. Doktorant podzielił tę część na dwa rozdziały 7 i 8, a w każdym z nich zawarł opis innego stanowiska badawczego oraz dyskusję wyników przeprowadzonych eksperymentów.

W zakończeniu pracy, w rozdziale zatytułowanym „Podsumowanie”, Autor podkreśla osiągnięcie celów rozprawy i udowodnienie sformułowanej w niej tezy. Wskazuje także na potencjalne kierunki dalszych prac.

Zarówno cele jak i teza, są sformułowane jasno i nie budzą moich zastrzeżeń. Drobne uwagi formułuję w dalszej części mojej opinii.

We wstępnych rozdziałach zamieszczony został przegląd literatury światowej, aby można było ocenić poziom pracy na tle dokonań innych autorów. Wykorzystanie przez Autora procesorów graficznych do przedstawionych w pracy zagadnień stanowi innowacyjne podejście na skalę światową. Ogólna wiedza Autora rozprawy stoi na bardzo wysokim poziomie.

Cele, jakie postawił przed sobą Doktorant były bardzo ambitne, zostały osiągnięte a teza pracy została udowodniona.

Biorąc powyższe pod uwagę mogę stwierdzić, że **tematyka pracy jest aktualna, a wybór tematu uważam za trafny.**

## **2. Ogólna ocena rozprawy**

Rozprawa doktorska mgr inż. Bartosza Matusiaka jest napisana na wysokim poziomie merytorycznym. Tematyka podjęta w pracy wymagała od Autora dobrej znajomości między innymi: nowoczesnych metod numerycznych, informatyki, fizyki oraz teorii pola elektromagnetycznego. Układ pracy uważam za prawidłowy i niewymagający żadnych zmian ani uzupełnień.

Autor w rozprawie formułuje zagadnienie naukowe, jakim jest opracowanie, zaimplementowanie i gruntowne przetestowanie autorskich algorytmów wykorzystujących procesory graficzne do przetwarzania danych pomiarowych z przemysłowych systemów tomograficznych. Algorytmy zaproponowane przez Autora pozwalają na znaczne przyspieszenie obliczeń w porównaniu do dotychczas stosowanych algorytmów dla procesorów CPU.

W szczególności docenić należy opracowanie autorskiego algorytmu rozwiązania problemu prostego opartego na metodzie Cholesky'ego-Banachiewicza, przy czym zmodyfikowanej w taki sposób, aby algorytm ten można było uruchomić w sposób równoległy. Rozwiązanie problemu prostego w tomografii elektrycznej jest najbardziej złożonym obliczeniowo etapem rozwiązania odwrotnego. Z tego powodu uzyskane przez autora, dzięki nowatorskiemu algorytmowi pozwalającego wykonanie większości obliczeń równoległe na procesorach GPU, przyspieszenie rozwiązania zagadnienia prostego **i stanowi istotny wkład Autora** w potencjalny rozwój przemysłowych systemów tomograficznych.

Przyspieszenie przetwarzania danych na tym etapie otwiera przede wszystkim możliwość szerszego zastosowania zaawansowanych algorytmów rekonstrukcji obrazów, w tym iteracyjnych, wymagających w każdej iteracji rozwiązania zagadnienia odwrotnego. To, w ocenie recenzenta, może stanowić bazę do dalszych prac, m.in. nad zastosowaniem w tomografii metod statystycznych takich jak Monte Carlo.

Wart podkreślenia jest fakt, że zaimplementowana propozycja rozwiązywania układu równań bazująca na rozkładzie Cholesky'ego jest na tyle uniwersalna, że może być zastosowana także w innych aplikacjach, w których potrzebne jest rozwiązanie układu równań z symetryczną i dodatnio określoną macierzą współczynników  $A$ .

Część druga i trzecia stanowią jądro pracy i udowadniają, że Autor samodzielnie rozwiązał postawione przed sobą zadania, oraz wykazują ogólną wiedzę teoretyczną Autora w **dyscyplinie naukowej Informatyka**. Warto zwrócić uwagę na ogrom pracy, wykonanej przez Doktoranta, w tym także zaprojektowanie i wykonanie dwóch odmiennych stanowisk badawczych oraz autorskich konstrukcji czujników tomograficznych.

Autor opracowując przedstawione w pracy algorytmy udowodnił możliwość uzyskania wyższej rozdzielczości przestrzennej oraz częstotliwości generowania rekonstruowanych obrazów przyczyniając się w ten sposób do rozwoju tej dziedziny tomografii procesowej oraz nowych możliwości jej zastosowania przemysłu.

W rozdziale dziewiątym Doktorant w sposób przekonujący podsumowuje uzyskane przez siebie wyniki, wykazując wyższość opracowanych algorytmów.

### 3. Uwagi i pytania natury ogólnej

Aby sprowokować dyskusję w trakcie obrony, mam kilka pytań do Doktoranta i jestem ciekaw jego odpowiedzi:

1. W rozprawie Autor oparł swoje rozważania dotyczące rozwiązania problemu prostego na metodzie elementów skończonych, jako metodzie najbardziej popularnej. W opinii recenzenta brakuje szerszej dyskusji na temat innych metod numerycznych. W związku z tym proszę o komentarz możliwości zastosowania innych metod, a w szczególności metody elementów brzegowych, oraz ewentualnego wpływu na rezultaty działania zrównoleglonego algorytmu rozwiązania problemu prostego. Problem jest o tyle ciekawy że w CT mamy do czynienia z trudnym geometrycznie obszarem analizy.
2. Na stronach 58-59 Autor odwołuje się do swoich publikacji z zakresu metod stochastycznych służących do rozwiązania zagadnienia odwrotnego w tomografii, jednak w rozprawie nie przedstawiono szerszych wyników dotyczących tego zakresu prac. Czy w związku z tym Autor może skomentować możliwość kontynuacji prac badawczych w tym kierunku?

#### 4. Uwagi szczegółowe

W pracy można natknąć się na drobne potknięcia stylistyczne, na które zwracam uwagę z obowiązku, aby nie pojawiały się w przyszłych pracach Autora (np. str. 73 „.....rozwiniecie pętli przyniosło efekt w postaci dwukrotnego skrócenia czasu jej wykonywania o tej samej wielkości zbioru danych wejściowych. ...”).

Dodatkowo, w niektórych miejscach recenzent dopatrył się błędów literowych, m.in. w pisowni nazwisk (np. str. 59 – w polskojęzycznym tekście powinny raczej pojawić się łańcuchy Markowa niż *Markova*, Sankowski zamiast *Sankowki*, itp).

W wykazie ważniejszych oznaczeń nie ma jednostek wielkości fizycznych, a nie wszystkie z nich są dostatecznie popularne. Na przykład współczynnik geometryczny  $k_g$  – jak wynika ze wzoru (2.1) na str. 13 powinien być w metrach co dodatkowo sugeruje podpis pod wzorem. Umieszczenie jednostek wielkości fizycznych zapewne ułatwiłoby czytelnikowi lekturę.

Praca, jak już wspomniałem, napisana jest wyjątkowo starannie, co spowodowało, że liczba szczegółowych uwag jest niewielka.

1. Str. 13. Wzór (2.2) pod całką jest gradient potencjału, a więc wielkość wektorowa. Po stronie lewej mamy wielkość skalarną i jak sądzę (mogę się mylić) jest to pojemność na metr długości co też warto byłoby podkreślić.
2. Str. 13 Trzynasty wiersz od dołu jest użyte pojęcie pola miękkiego i twardego. Proszę o definicję takich pól, na jakiej podstawie klasyfikujemy tego rodzaju pola? Wielokrotnie zwracałem na ten problem uwagę, ale jak widać bezskutecznie. Może jestem w błędzie?
3. Str. 15. Na rys. 2.4 i dalej w tekście rozprawy jest, moim zdaniem, niepoprawnie dla tego rodzaju pól użyty termin „elektroda odbiorcza” i „elektroda nadawcza”.
4. Str. 43. Wzór (5.1) jest dla mnie niejasny. Czy mogę prosić o wyjaśnienia? Jak mi się wydaje argumentem funkcji logarytm powinna być wielkość bezwymiarowa, a w tym przypadku tak nie jest.

8. Str. 64. We wzorach (6.22), (6.24-6.27), są niepotrzebnie umieszczone znaki „x” symbolizujące iloczyn wektorowy.

Zamieszczone powyżej uwagi szczegółowe mają jedynie charakter porządkowy i nie mają wpływu na bardzo wysoką ocenę merytoryczną pracy. Treść rozprawy odpowiada tematowi określonemu w tytule, następstwo rozdziałów jest właściwe. Strona redakcyjna rozprawy jest na wysokim poziomie, a rozprawa napisana jest poprawną polszczyzną, choć zawiera sporo skrótów myślowych oraz dużą dawkę specyficznego słownictwa pochodzenia anglosaskiego związanego z zagadnieniami programowania równoległego.

## 5. Podsumowanie

Opiniowana rozprawa, w moim przekonaniu spełnia z **nadmiarem** wymagania określone w ustawie. Praca stanowi samodzielne rozwiązanie bardzo ciekawego, ale zarazem niezwykle trudnego zadania naukowego. Autor rozprawy wykazał się bardzo dobrą znajomością tematyki podjętej w rozprawie.

W świetle przepisów Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku (Dziennik Ustaw Nr 65, Poz. 595, Art. 13, p. 1) stwierdzam, że rozprawa doktorska **mgr inż. Bartosza Matusiaka** pt.: „**Algorytmy obliczeń równoległych z użyciem procesorów graficznych (GPU) do przetwarzania i wizualizacji danych pomiarowych z przemysłowych systemów tomograficznych**” spełnia wymagania i stawiam wniosek o dopuszczenie rozprawy do publicznej dyskusji i obrony.

