

Lublin, 25 października 2024r.

dr hab. inż. Andrzej Smolarz  
Katedra Elektroniki i Technik Informatycznych  
Wydział Elektrotechniki i Informatyki  
Politechnika Lubelska

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ  
dla Rady Doskonałości Naukowej dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika  
i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej

Tytuł rozprawy doktorskiej: „Sparametryzowane metody szybkiej diagnostyki gorącej plazmy dla eksperymentu ITER implementowane w układach FPGA”

Autor rozprawy: mgr inż. Radosław Bogumił Cieszewski

Dyscyplina: Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne

Dziedzina: nauki inżyniersko-techniczne

Promotor: prof. dr hab. inż. Ryszard Romaniuk

*1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy /teza rozprawy/ i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez Autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?*

Autor analizuje właściwości współczesnych narzędzi do wysokopoziomowego projektowania systemów wykorzystujących układy FPGA. Na podstawie własnych doświadczeń z tymi systemami stwierdza, że współczesne rozwiązania mają szereg wad, sprawiających, że pomimo potencjalnych możliwości, nie są w stanie spełnić wszystkich specyficznych wymagań nakładanych przez eksperymenty fizyki gorącej plazmy. Po pierwsze wsparcie producentów układów ogranicza się jedynie dla najnowszych modeli układów. Brak jest kompatybilności wstecznej, co stwarza poważne problemy w kontynuacji i rozbudowie istniejących systemów. Ponadto większość rozwiązań narzędzi HLS ma charakter zamknięty i ograniczony do określonej grupy układów. Wszystko to sprawia, że uzyskany kod jest suboptymalny i mało uniwersalny, a w miarę rozwoju projektu, może nie spełniać bardzo ścisłych ograniczeń latencji.

Autor rozprawy zaproponował własne rozwiązanie HLS bazujące na otwartym kodzie, które eliminuje wymienione ograniczenia i stawia tezę, że jego metoda implementowana w autorskim kompilatorze HLS, zapewni niską i stabilną latencję w systemach czasu rzeczywistego do diagnostyki gorącej plazmy. Praca ma zarówno charakter teoretyczny, jak i doświadczalny, rezultaty pracy zostały wdrożone w praktyce inżynierskiej.

Podsumowując, recenzent stwierdza, że zagadnienie naukowe rozpatrzone w pracy posiada stosowną dla prac doktorskich wagę naukową. Teza rozprawy jest tezą naukową, badawczą, wymagającą stworzenia złożonego oprogramowania i przeprowadzenia jego weryfikacji na rzeczywistych układach elektronicznych.

*2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł /w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle/ świadczący o dostatecznej wiedzy Autora. Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?*

Praca zawiera 119 odnośników do literatury, 20 artykułów w czasopiśmie, 21 publikacji konferencyjnych i 6 monografii. Ze wspomnianych 47 pozycji 22 opublikowano w ciągu ostatnich 10 lat. Pozostałe pozycje w liczbie 38 nie mają znaczenia naukowego, są to odnośniki do stron internetowych głównie zawierających dokumentację techniczną wykorzystywanych układów oraz narzędzi IT.

Doktorant w rozprawie przedstawia bogaty dorobek własny liczący 18 pozycji w których jest współautorem, w tym w 11 pracach występuje jako pierwszy autor. Doktorant cytuje również jedną pracę indywidualną przyjętą do druku.

Analiza stanu wiedzy jest bardzo szeroko przedstawiona w rozdziale 3. W rozdziale tym Autor przedstawia analizę źródeł opisujących przedmiot pracy tzn. reaktory fuzji termojądrowej, ich systemy diagnostyczne oraz technologię FPGA wraz z narzędziami w niej wykorzystywanymi. Na podstawie lektury tego rozdziału należy stwierdzić, że analiza źródeł została w rozprawie przeprowadzona prawidłowo, a wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący.

Podsumowując, recenzent stwierdza że mgr inż. Radosław Cieszewski w sposób właściwy przeprowadził analizę źródeł literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań. Analiza przestudiowanej i cytowanej literatury świadczy o dobrej wiedzy Autora w obszarze tematycznym realizowanej rozprawy doktorskiej. Wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób przekonujący. Wnioski te doprowadziły Autora do właściwego sformułowania tezy rozprawy oraz do prawidłowego przeprowadzenia dowodu tej tezy w oparciu o własne oryginalne prace badawcze.

*3. Czy Autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?*

Praca zawiera łącznie 215 stron, i składa się z 8 numerowanych rozdziałów i 8 dodatków. Jest ona napisana w języku polskim. Pracę rozpoczynają streszczenia (w języku polskim i angielskim), spis treści, oraz lista stosowanych symboli i skrótów. Główną treść rozpoczyna krótki wstęp wprowadzający czytelnika w kontekst rozprawy, podkreślając znaczenie tematyki badań oraz główne cele pracy.

Rozdział 2 zawiera przegląd struktury rozprawy, opisuje główne rozdziały i omawia kluczowe zagadnienia poruszane w każdym z nich. Służy jako przewodnik po treści pracy, ukazując powiązania między następującymi rozdziałami. Rozdział ten wydaje się zbędny ponieważ struktura pracy jest logiczna i zwięzła.

W rozdziale 3 Autor bardzo szeroko omawia zagadnienia które skłoniły go do napisania rozprawy. Zostają przedstawione podstawowe zagadnienia związane z kontrolowaną syntezą termojądrową jako źródłem energii. Następnie opisane są zastosowania tokamaków w procesach kontrolowanej syntezy termojądrowej wraz z niezbędnymi do ich pracy systemami diagnostycznymi. W rozdziale zawarty jest również opis technologii FPGA i jej zastosowanie w eksperymentach fizyki gorącej plazmy. Następnie została opisana Synteza Wysokiego Poziomu (HLS) i porównanie istniejących rozwiązań HLS. Po tak obszernym wstępie Autor przedstawia genezę pracy. Recenzent nie jest zwolennikiem aż tak szerokiego przedstawiania tła rozprawy (ponad 1/3 objętości głównej części), twierdząc że taki charakter powinny mieć prace monograficzne. Jednakże ze względu na multidyscyplinarny charakter badań Autora tak szerokie wprowadzenie jest częściowo uzasadnione.

W rozdziale 4 sformułowano tezę rozprawy oraz określono cele badawcze. Autor rozprawy stawia tezę, że możliwe jest opracowanie nowej metody implementacji algorytmów w układach FPGA, która zapewni niską i stabilną latencję w systemach diagnostyki plazmy tokamakowej z użyciem nowej metody zaproponowanej przez autora. Cele pracy obejmują

opracowanie nowej metody, utworzenie bazowych bibliotek służących do implementacji algorytmów oraz weryfikację proponowanego podejścia w praktyce.

W rozdziale 5 szczegółowo przedstawiono autorską metodę implementacji algorytmów w układach FPGA. Autor szczegółowo opisuje model procesu kompilacji algorytmu, użyty metamodel, heurystycznej metodzie rozwiązania problemu NP-trudnego, kompleksowej parametryzacji, transformację operacji do sprzętu oraz wykorzystanie mikroinstrukcji. W rozdziale 5 opisana jest również emulacja mikroinstrukcji, w tym podstawowe klasy emulatora, jego funkcje, możliwości monitorowania oraz debugowania i optymalizacji.

Rozdział 6 omawia bibliotekę algorytmów numerycznych opracowaną w kontekście nowej metody implementacji algorytmów w układach FPGA. Szczególną uwagę poświęcono operacjom macierzowym, takim jak dodawanie, odejmowanie, iloczyn Hadamarda, mnożenie macierzy oraz operacje skalowania. Każda z tych operacji została omówiona pod kątem efektywności i możliwości równoległego przetwarzania na układach FPGA.

Rozdział 7 przedstawia implementację i weryfikację wybranych algorytmów numerycznych opracowanych w ramach nowej metody. Opisana jest realizacja algorytmu FIR oraz rozdzielania impulsów w sieci układów FPGA. Rozdział kończy podsumowanie uzyskanych wyników i wnioski z przeprowadzonych badań. Autor rozprawy wykonał imponującą pracę przeprowadzając wieloparametrową analizę porównawczą swojego rozwiązania z dwoma wiodącymi rozwiązaniami komercyjnymi.

Ostatni ósmy rozdział zawiera podsumowanie wyników badań oraz wnioski płynące z zastosowania nowej metody implementacji algorytmów w układach FPGA. Przedstawiono także kierunki dalszych badań oraz potencjalne możliwości rozwoju przedstawionych metod.

W dodatkach Autor zawarł opis rozwoju i budowę układów FPGA, wybrane aspekty obliczeń równoległych, przykładowy kod języka wysokiego poziomu, zawartość biblioteki mikroinstrukcji, przykładowy kod mikroinstrukcji, przykład użycia emulatora mikroinstrukcji oraz raport syntezy

W pracy Autor postawił sobie trzy cele:

- opracowanie modelu procesu kompilacji języka wysokiego poziomu do mikroinstrukcji bazującego na metamodelu;
- Opracowanie biblioteki algorytmów numerycznych wspierających operacje arytmetyczne na macierzach bazującej na zaproponowanej metodzie;
- Przeprowadzenie implementacji oraz weryfikacji nowej metody i opracowanej biblioteki algorytmów numerycznych.

Wszystkie zostały zrealizowane. Weryfikacja została przeprowadzona na podstawie implementacji algorytmu filtru o skończonej odpowiedzi impulsowej oraz implementacji algorytmu rozdzielania impulsów w systemie diagnostyki plazmy tokamaka ITER, opartego na opatentowanych technologiach rozwijanych w Instytucie Systemów Elektronicznych Politechniki Warszawskiej. Taka metodyka pracy pozwoliła na pełną weryfikację założeń teoretycznych i stworzenie prototypowego wdrożenia.

Podsumowując należy stwierdzić, że mgr inż. mgr inż. Radosław Cieszewski rozwiązał postawione zagadnienia, użył właściwej do tego metody, a przyjęte założenia są uzasadnione.

*4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek Autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową.*

W podsumowaniu pracy Autor wymienił elementy, które uważa za własny wkład do metody będącej przedmiotem rozprawy. Są to między innymi:

- wykorzystanie języka Python do opisu algorytmu;
- opracowanie parametryzowalnego modelu kompilacji zawierającego autorskie biblioteki mikroinstrukcji oraz autorski metamodel struktur sprzętowych;
- opracowanie prototypowego kompilatora;

- opracowanie i implementacja filtru FIR;
- opracowanie i implementacja algorytmu rozdzielania impulsów dla tokamaka ITER.

Według recenzenta oryginalność rozprawy polega również na zastosowaniu kilku nowatorskich rozwiązań np. zastosowanie teorii grafów do optymalizacji obliczeń i zasobów, czy też wprowadzenie pojedynczej metawarstwy umożliwiającej wykorzystanie praktycznie dowolnej implementacji sprzętowej układu FPGA.

Opisywany w Rozprawie kompilator jest niewątpliwie rozwiązaniem nowatorskim. Poza publikacjami Doktoranta, podobne rozwiązania nie są w zasadzie opisywane w literaturze, można stwierdzić, że są one przynajmniej na poziomie europejskim.

#### *5. Czy Autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników /zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy/?*

Jak już wspomniano praca ma prawidłową, logiczną strukturę. Rozdziały kluczowe dla potwierdzenia tezy zawierają podsumowanie, które w zwięzły sposób przedstawia wnioski z badań. Wyniki uzyskane przez Autora są przedstawione prawidłowo, bogato ilustrowane tabelami z wyczerpującym opisem w tekście rozprawy. Redakcja rozprawy jest w większości poprawna, jednakże do recenzowanej pracy doktorskiej mgr inż. Radosława Cieszewskiego recenzent zgłasza następujące pytania:

1. W rozdziale 5.3 Autor opisuje stworzony przez siebie emulator mikroinstrukcji. Już w drugim zdaniu pada stwierdzenie „Umożliwia on [emulator] symulację działania mikroinstrukcji wygenerowanych przez kompilator HLS [...]”. Z drugiej strony istnieją symulatory dołączane do pakietów oprogramowania producentów sprzętu. Proszę wyjaśnić, na czym polega różnica w podejściu Autora (emulator) i wspomnianych producentów (symulator).
2. Jednym z niewątpliwych osiągnięć Autora jest wprowadzenie dodatkowej warstwy abstrakcji do procesu kompilacji od opisu „behawioralnego” do poziomu RTL. Czy Autor analizował wcześniej czy wprowadzenie pojedynczej warstwy abstrakcji jest wystarczające do rozwiązywania problemu.

#### *6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?*

Praca jest poprawna redakcyjnie jednakże wydaje się, że wstęp do rozprawy nie jest do końca spójny z jej тезami i główną zawartością. Z jednej strony we wstępie Autor dużo uwagi poświęca problemowi ograniczonej reutilizacji sprzętu i kodu podkreślając to jeszcze w rozdziale 3.8, a z drugiej strony teza mówi o spełnieniu wymagań dotyczących latencji. Dopiero w dalszej części pracy Autor pośrednio wskazuje, że jego metoda jest nie gorsza od istniejących, jednocześnie zapewniając niezależność od producenta i wersji sprzętu.

Z edycyjnego punktu widzenia widać, że tabele sprawiają autorowi wyraźne problemy. Wyrazy w komórkach są niepotrzebnie dzielone, co jest jeszcze pogarszane przez nieprawidłowy sposób justyfikacji (wymuszona obustronna). Tabela 3 po obróceniu o 90° mieści się na 1 stronie, a większa szerokość kolumn eliminuje konieczność przenoszenia wyrazów.

W listingach autor powinien był dążyć by były zawarte na jednej stronie. Zachowanie oryginalnej indentacji sprawia, że na str. 111 przecięta jest pętla, podobnie na str. 120, 124, itd., a w listingu na str. 148, o tym, że algorytm jest podejściem iteracyjnym czytelnik dowiaduje się dopiero na następnej stronie.

Na stronie 148 znajduje się również niezbyt szczęśliwe określenie „wielkość amplitudy”, które w zasadzie stanowi pleonazm, Wystarczyłoby napisać, że sygnały różnią się amplitudą.

Autor popołnia r3wnieŹ typowe będy typograficzne:

- wdowy, np. na stronie 30, 43, 46 (tu dodatkowo oddzielenie numeru od opisu), 53, 54, wielokrotnie na str.56, 61, 63 i dalej,
- bękarty (wiersze zawieszane), np. na stronie 30/31,
- szewc na str. 64
- pozostawianie opis3w do wzor3w na następn3j stronie, np. strona 90,
- opisy do wzor3w stanowią kontynuację zdania – wz3r powinien kończyć się przecinkiem a opis nie zawierać wcięcia.
- dzielenie między wiersze opisu i numeru odnośnika np. str. 46.

W tym miejscu podkreślam, Źe wymienione przeze mnie uwagi krytyczne, a także wątpliwości wyrażone w pytaniach nie wpływają na pozytywną ocenę przedstawionej pracy doktorskiej i nie umniejszają mojej pozytywnej oceny oryginalności rozprawy i aktualności poruszanej w niej tematyki badawczej.

### *7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?*

Praca ma zarówno charakter teoretyczny, jak i doświadczalny. Bazuje na doświadczeniach autora z pracy w zespołach wykorzystujących układy FPGA. Przedmiot rozprawy jest na pograniczu dyscyplin Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne (AEEiTK) oraz Informatyka Techniczna i Telekomunikacja, przy czym zastosowanie praktyczne zdecydowanie należy do AEEiTK. Taka opinia wynika z faktu, Źe Autor rozwiązuje problem z pogranicza automatyki i elektroniki z uŹyciem metod i narzędzi z dziedziny IT. Interdyscyplinarna praca przyczynia się do rozwoju obszar3w granicznych pomiędzy tymi wymienionymi dyscyplinami, a rezultat juŹ został wykorzystany praktycznie, co stanowi dodatkowy wkład Autora.

### *Podsumowanie*

W ramach prac badawczych, Autor rozwiązał problem naukowy, wynikający z zagadnienia inŹynierskiego, za pomocą autorskiej metody, a potem z powodzeniem zaimplementował tą metodę w postaci prototypowego kompilatora. Autor przetestował działanie metody w przypadku algorytm3w numerycznych, najczęściej występujących w praktyce pomiar3w w urzãdzeniach tokamak tzn. dodawania i mnoŹenia macierzy, filtra FIR oraz rozdzielania impuls3w.

**Reasumując stwierdzam, Źe rozprawa doktorska mgr inŹ. Radosława Bogumiła Cieszewskiego zatytułowana „Sparametryzowane metody szybkiej diagnostyki gorącej plazmy dla eksperymentu ITER implementowane w układach FPGA” z nadmiarem spelnia ustawowe wymogi stawiane pracom doktorskim w odniesieniu do oryginalności problemu naukowego, umiejętności samodzielnego prowadzenia badań naukowych oraz wiedzy teoretycznej. W zwiãzku z powyŹszym wnioskuje o dopuszczenie Pana mgr inŹ. Radosława Cieszewskiego do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.**

