

25 listopad 2016

dr hab. inż. Konrad HEJN  
Profesor Politechniki Warszawskiej, Emeryt  
Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych  
Instytut Systemów Elektronicznych

RECENZJA  
ROZPRAWY DOKTORSKIEJ  
dla  
RADY WYDZIAŁU ELEKTROTECHNIKI, ELEKTRONIKI,  
INFORMATYKI I AUTOMATYKI  
POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ

Podstawą prawną wykonania recenzji jest skierowane do mnie pismo Prodziekana prof. Andrzeja Bartoszewicza z dnia 12 października 2016 r. w sprawie objęcia funkcji recenzenta rozprawy doktorskiej:

MGR INŻ. ALEKSANDRA MIELCZARKA  
pod tytułem

“APPLICATION OF FPGA DEVICES TO IMAGE ACQUISITION AND  
PROCESSING IN LARGE SCALE PHYSICS EXPERIMENTS”

**Przedmiotem recenzji** jest dostarczona mi — wraz z pismem wiodącym i wytycznymi dla recenzenta — rozprawa napisana w języku angielskim oraz jej obszerne polskie streszczenie. Na 121-cio stronicowy tekst rozprawy składają się: strona tytułowa, podziękowania, spis treści, sześć rozdziałów oraz bibliografia zawierająca 83 pozycje.

**Promotorem** rozprawy jest prof. dr hab. Andrzej Napieralski a promotorem pomocniczym dr. Dariusz Makowski

Recenzję starałem się wykonać zgodnie z dostarczonymi wytycznymi. Składa się ona z ośmiu punktów, w których zawarłem moje — bez wątpienia subiektywne, ale mam nadzieję pomocne dla Wysokiej Rady — odpowiedzi na wymienione w wytycznych pytania.

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)?

Maszyny do wielkich eksperymentów jądrowych, np.: zderzacz spod Genewy, synchrotron w Hamburgu, czy dedykowany fuzji deuteru i trytu tokamak (ros. *TOroidalnaja KAmiera s MAgnitnymi Katuszkami*) w pobliżu Marsylii, wymagają bardzo intensywnego monitorowania zachodzących w nich procesów. Poza oczywistym zapewnieniem bezpieczeństwa, pozyskiwana za pomocą monitorowania wiedza jest wykorzystywana do usprawniania tych procesów, nieraz nawet w czasie na bieżąco (ang. *in real time*). Stąd wymagania co do parametrów układów akwizycji i przetwarzania danych są ekstremalnie trudne.

Istotą recenzowanej rozprawy jest metodologia skutecznego projektowania nowych narzędzi sprzętowych, które istotnie rozszerzają możliwości istniejących w centrach naukowych DESY (niem. *Deutsche Elektronen SYNchrotron*) i organizacji ITER (ang. *International Thermonuclear Experimental Reactor*) systemów akwizycji i przetwarzania cyfrowych danych. Są one zwykle dostępne w postaci długich i wielowymiarowych wektorów o różnorodnych formatach. Wspomniane narzędzia muszą uwzględniać nie tylko istniejące już zasoby sprzętowo-programowe, ale przede wszystkim występujące ograniczenia stosowanej w atomistyce elektronicznej architektury standardu MTCA.4 (ang. *Micro Telecommunications Computing Architecture*). Dodatkową trudnością dla projektanta jest permanentna niestabilność wymagań technicznych zgłaszanych przez fizyków odpowiedzialnych za eksperymenty jądrowe.

Trzy tezy rozprawy zostały sformułowane na stronie 11.

**Teza pierwsza** jest naturalną pochodną wykorzystanej technologii FPGA (ang. *Field Programmable Gate Array*) w projektowaniu sprzętu. Jeśli parametry matrycy FPGA pozwalają spełnić wymagania cyfrowego systemu WE/WY, np.: HOLD (ang. *High-speed Optical Line Detector*), to należy bezwzględnie taką matrycę zastosować. Projektowanie bowiem układu ASIC (ang. *Application Specific Integrated Circuit*) będzie prowadzić do znacznie droższych rozwiązań, natomiast zastosowanie uniwersalnych mikroprocesorów — do znacznie wolniejszych

rozwiązań. Ponad to, stosowanie matryc FPGA jest szczególnie silnie uzasadnione na etapie rozwiązań prototypowych, a w takie projekty zaangażowany jest doktorant.

**Teza druga** jest rozszerzeniem tezy pierwszej, bo dotyczy pracy systemu HOLD w pętli sprzężenia zwrotnego, to znaczy w czasie na bieżąco. Jest to bardzo ambitne zadanie, postawione w moim odczuciu trochę na wyrost przez fizyków. Myślę, że praktyczne sprawdzenie systemu HOLD w prezentowanych w rozprawie warunkach wymaga jeszcze wielu eksperymentów.

**Teza trzecia** dotyczy raczej przyszłości, bo uruchomienie fuzji deuteru i trytu jest planowane dopiero w roku 2020. Uwzględnia ona konieczność elastycznego skalowania (powiększanie przez powielanie) systemu akwizycji przy warunku jego integracji ze standardem MTCA.4. Odzwierciedla ona precyzyjnie istotę aktywności naukowej autora rozprawy a jej uzasadnienie przedstawione w rozdziale piątym wydaje się przekonujące.

Rozprawa ma charakter doświadczalno-sprzętowy z zakresu nowoczesnej inżynierii układowej. Korzysta z bogatych rezultatów pomiarowych. Skuteczność proponowanej metodologii, stosującej matryce FPGA, została sprawdzona na rzeczywistym sprzęcie. Mianowicie: (a) z paragrafu 4.3.6 wynika, że drugi prototyp systemu HOLD jest jednym z wielu systemów aktualnie monitorujących pracę działa elektronowego lasera XFEL (ang. *X-ray Free Electron Laser*), (b) w punkcie 5.6 omówione jest działanie systemu bardzo szybkiej akwizycji obrazów pozyskiwanych za pomocą interfejsu CameraLink, (c) analiza działania pierwszego prototypu systemu HOLD o nazwie IRS (ang. *Integrated Radiation Spectrometer*) przeprowadzona w punkcie 4.2 wykluczyła stosowanie układów odczytowych BEETLE (pol. *chrząszcz, żuk, robak*).

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 PRZEKONYWUJĄCY?

Z przytoczonej bibliografii wynika, że doktorant starannie przestudował dostępną mu literaturę i dokonał prawidłowej oceny dotychczasowego stanu wiedzy w zakresie nowoczesnych układów akwizycji i prze-

tworzenia danych cyfrowych dla potrzeb atomistyki. Autor odwołuje się w rozprawie do 83 pozycji literaturowych, w tym do wielu publikacji światowych producentów nowoczesnych podzespołów elektronicznych.

Bibliografia dotycząca atomistyki to publikacje z lat: 1934 [27], 1964 [1], 1972 [12], 1974 [9]. Jednak zdecydowaną większość stanowią prace związane z tezami rozprawy — opublikowane po roku 2010. W bibliografii znajduje się 19 publikacji, w których doktorant występuje jako ich współautor. Pięć z nich pokazało się w zeszytach IEEE Transactions, również pięć w materiałach międzynarodowych konferencji IEEE lub o podobnej randze, a pozostałe dziewięć w materiałach konferencji krajowych. Trudno mi jednak ocenić wkład doktoranta w treść tych publikacji, bo są one wynikiem pracy zespołowej. Liczba współautorów waha się od pięciu [72] do trzydziestu dziewięciu [57]. W trzech przypadkach konferencji krajowych, doktorant pełni rolę pierwszego autora.

Wnioski wynikające z przeanalizowanej literatury świadczą o głębokiej wiedzy doktoranta w zakresie prototypowania szybkich układów akwizycji i przetwarzania danych cyfrowych na platformie matryc FPGA.

3. CZY AUTOR ROZWIĄZAŁ POSTAWIONE ZAGADNIENIA, CZY UŻYŁ WŁAŚCIWEJ DO TEGO METODY I CZY PRZYJĘTE ZAŁOŻENIA SĄ UZASADNIONE?

Podstawowym zadaniem doktoranta było zaprojektowanie i uruchomienie w środowisku kompatybilnym z architekturą sprzętową standardu MTCA.4: (a) ekstremalnie szybkiego systemu akwizycji i przetwarzania profili zgęstek elektronów w synchrononie XFEL oraz (b) szybkiego i skalowalnego systemu akwizycji obrazów w oparciu o płytę MFMC (ang. ? *FPGA Mezzanin Card*). Z tego zadania autor wywiązał się w sposób przemyślany i rzetelny. W rozdziałach 4 i 5 opisane są, w sposób przejrzysty, szczegóły zaprojektowanych systemów. Trzeba wyraźnie podkreślić znaczenie rozdziału 5 rozprawy, gdzie w oparciu o opracowaną metodologię wykonano moduł akwizycji do kamery dwuwymiarowej. Stanowi to przesłankę do pozytywnych odpowiedzi na wszystkie postawione w tym punkcie recenzji pytania.

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?

Precyzyjna odpowiedź na te pytania jest trudna przynajmniej z dwóch powodów. Pierwszy z nich to duża ilość tekstu dotyczącego podstaw techniki jądrowej. Nie może on jednak podlegać ocenie recenzenta, bo dysertacja jest prowadzona w dyscyplinie elektronika. Efektywne rozdzielanie tych dwóch dziedzin jest tutaj trudne. Eksperymenty jądrowe bezpośrednio kreują wymagania techniczne dla obsługującej je elektroniki. Drugi powód związany jest ze skalą i powagą przeprowadzanych eksperymentów fizycznych. Monitorujące ich pracę systemy elektroniczne są projektowane nie tylko przez duże zespoły naukowców (zob. zbiorowe publikacje) ale także mają swoją bogatą historię konstrukcyjną. Stąd trudno ocenić co doktorant zrobił samodzielnie po otrzymaniu stopnia magistra.

Ten długi trochę wywód był mi potrzebny jako zabezpieczenie przed potencjalnymi błędami w ocenie oryginalności rozprawy i samodzielnego dorobku jej autora na tle poziomu techniki reprezentowanej przez literaturę światową w zakresie usprawnienia metodologii implementacji szybkich systemów akwizycji danych w nowoczesne matryce FPGA.

Za szczególnie wartościowe osiągnięcie, bo sprawdzone w praktyce, uważam konstrukcję systemu HOLD, który pozwala na pomiar wzdłużnego rozkładu ładunku zgęstek, za pomocą kamery liniowej, z latencją około 850 ns, to znaczy pięciokrotnie mniejszą od dotychczas osiąganą. Dzięki równoległemu i potokowemu przetwarzaniu danych możliwe stało się wykorzystanie wiedzy o profilu ładunku w pętli sprzężenia zwrotnego, które modyfikuje w czasie na bieżąco parametry pola liniowego akceleratora, rysunek 57. Ponadto, integracja różnych interfejsów z pozostałymi układami akwizycji i własnymi blokami IP (ang. *Intellectual Property*) w matrycy FPGA istotnie usprawniła (czytaj przyspieszyła) działanie algorytmów statystycznej obróbki danych. W sposób zwiększony zostało to przedstawione na trzech rysunkach, które znajdują się kolejno na stronach: 54, 79 i 97.

Bardzo interesujący jest także system cyfrowej synchronizacji pracy kamer dwuwymiarowych w tokamaku — gwarantujący akwizycję pełnych

i poprawnych ramek obrazów, rysunek 82. W tym przypadku źródłem wzorcowego czasu jest nowoczesny protokół sieciowy PTP (ang. Precise Time Protocol). Osteplowuje on czasowo, z dokładnością do 50ns, proces akwizycji ramek pochodzących z farmy dwuwymiarowych kamer. Dzięki temu możliwa jest precyzyjna analiza korelacyjna obrazów zbieranych w trakcie fizycznych eksperymentów. Opracowany przez doktora system monitorowania MFG4 jest pierwszym systemem kompatybilnym z środowiskiem platformy projektowej MTCA.4.

5. CZY AUTOR WYKAZAŁ UMIEJĘTNOŚĆ POPRAWNEGO I PRZEKONUJĄCEGO PRZEDSTAWIENIA UZYSKANYCH PRZEZ SIEBIE WYNIKÓW (ZWIĘŻŁOŚĆ, JASNOŚĆ, POPRAWNOŚĆ REDAKCYJNA ROZPRAWY)?

Na pierwszy rzut oka edycja rozprawy wydaje się bardzo staranna a jej konstrukcja logicznie poprawna. Szczególnie imponują mi liczne i bardzo starannie wykonane rysunki (83 pozycje). Syntaktyka języka jest bez zarzutu. Czuć rękę native speaker'a. Gorzej jest jednak z semantyką zdań, w których występują akronimy. Jest ich miejscami tak dużo, że zrozumienie sensu akapitu wymaga wielokrotnego wertowania całej rozprawy w nadziei, że gdzieś tam znajdzie się wyjaśnienie ich znaczenia. Wykaz stosowanych w rozprawie akronimów uważam za rzecz bezwzględnie konieczną. Doktorant powinien mieć trochę litości dla recenzenta!

Warunki eksperymentów fizycznych zostały omówione w sposób wyczerpujący i przejrzysty. Wydaje mi się jednak, że fizyczna nadbudowa rozprawy mogłaby być przeniesiona do dodatków, a tylko wynikające z niej wymagania techniczne co do parametrów systemów monitorujących powinny być pozostawione w tekście zasadniczym. Autorowi rozprawy było by dużo łatwiej pokazać, co tak naprawdę sam zrobił. Jeśli chodzi o umiejętność poprawnego przedstawienia uzyskanych przez autora wyników, to wydaje mi się, że trochę można było by jeszcze w tekście rozprawy poprawić. Na ogół domyślałem się o co autorowi chodzi, ale nie czułem się przy lekturze rozprawy zbyt komfortowo. Miejscami tekst bardziej przypomina sprawozdanie z przeprowadzonych dla zleceniodawcy (donatora) prac naukowo-badawczych (np. trzy prototypy systemu HOLD), aniżeli precyzyjny tekst dysertacji doktorskiej.

Prawdziwą kłeską okazał się jednak system cytowania licznej bibliografii, który w moim pierwszym odczuciu działał w artmetyce modulo

23. Na moją prośbę doktorant poprawił to ręcznie w dostarczonym mi przez Pana Dziekana egzemplarzu rozprawy. Teraz wydaje się być w porządku.

#### 6. JAKIE SĄ SŁABE STRONY ROZPRAWY I JEJ GŁÓWNE WADY?

Niektóre słowa krytyki wyartykułowałem już w poprzednim punkcie, mianowicie: brak wykazu akronimów, zaniechanie zastosowania instytucji dodatków, bałagan w cytowaniach. Mimo to uważam, że rozprawa nie ma wad, które mogą być istotne z punktu widzenia obowiązujących przepisów o stopniach naukowych. Doktorant biegle porusza się w złożonym świecie współczesnych systemów elektronicznych a jego kompetencje trudno podważyć. Pozwolę sobie jednak na dwie uwagi, które mam nadzieję przydadzą się autorowi w jego przyszłej karierze naukowej.

Z grubsza algorytmy statystycznej obróbki danych można podzielić na rekurencyjne i blokowe. Te pierwsze korzystając z wyniku otrzymanego w chwili poprzedniej i tylko uwzględniają w nim wpływ bieżącej danej z jednoczesnym pominięciem wpływu najstarszej danej. Jeśli to możliwe, to chętnie takie algorytmy są stosowane w systemach pracujących w czasie na bieżąco (np. wartość średniokwadratowa). Natomiast algorytmy blokowe, w każdym taktie zegara muszą uwzględniać w obliczeniach wszystkie wartości występujące w oknie monitorującym proces (np. widmo FFT, czy standardowe odchylenie). Może udało by się tę uwagę wykorzystać w układzie pokazanym na rysunku 27?

W zakończeniu rozprawy brakuje mi subiektywnej sugestii autora, skierowanej do ewentualnego kontynuatora jego pracy. Zwykle każde rozwiązane zagadnienie naukowe stanowi zaczyn przynajmniej kilku nowych problemów. Ich sformułowanie udaje się najlepiej samemu autorowi pracy, stanowiąc cenny drogowskaz dla jej ewentualnych kontynuatorów. Myślę, że ta rozprawa nie powinna być w tym względzie wyjątkiem. Sugerował bym na przykład rozwiązanie zagadnienia metodologii projektowania układów typu ASIC (ang. *Applications Specific Integrated Circuit*).

#### 7. JAKA JEST PRZYDATNOŚĆ ROZPRAWY DLA NAUK TECHNICZNYCH?

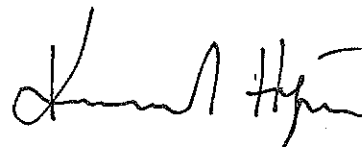
Prowadzenie badań w taki sposób jak to uczynił autor jest zgodne z obserwowaną tendencją rozwoju matryc FPGA i ich zastosowań do projektowania złożonych układów cyfrowych. Uzyskane wyniki symulacyjne i projektowe potwierdzają potencjalne możliwości stosowania proponowanej metodologii do efektywnego prototypowania szybkich układów akwizycji potrzebnych w systemach monitorowania działania maszyn wielkich eksperymentów fizycznych. Niektóre z omawianych przez doktoranta układy są w nich już wykorzystywane.

Podjęcie prezentowanej w rozprawie tematyki pozwala na uczestnictwo naszego kraju w międzynarodowych badaniach związanych z prestiżowymi europejskimi projektami XFEL i tokamak.

#### 8. KATEGORIA ROZPRAWY WEDŁUG OPINII RECENZENTA.

Rozprawa ma charakter doświadczalno-sprzętowy z zakresu inżynierii układowej o wysokim poziomie. Autor wykonał bardzo dużo eksperymentów, które z jednej strony potwierdziły wyniki teoretyczne a z drugiej strony znacznie rozszerzyły wiedzę autora o metodologii skutecznego projektowania cyfrowych systemów I/O na platformie nowoczesnych matryc FPGA.

Rozprawę zaliczam do kategorii (c) to znaczy **spełniającą wymagania**. Odniosłem wrażenie, że poszczególne fragmenty rozprawy nie były jeszcze publikowane. W tym miejscu podkreślę jedynie, że trzy artykuły o tematyce związanej z rozprawą zostały opublikowane w zeszytach IEEE Transactions on Nuclear Science (znajdujących się na liście filadelfijskiej) a także w postaci referatów konferencyjnych (czterech zagranicznych i trzech krajowych). Wnioskuje zatem o dopuszczenie rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Aleksandra Mielczarka do publicznej obrony.



/Prof. Konrad HEJN/