

Streszczenie

Obliczenia z wykorzystaniem układów FPGA stanowią kluczowy obszar badań w dziedzinie architektur komputerowych i systemów informatycznych, zwłaszcza w kontekście zaawansowanych eksperymentów fizyki plazmy, takich jak ITER. W dobie rosnących wymagań obliczeniowych oraz konieczności precyzyjnego monitorowania parametrów gorącej plazmy, szczególnie temperatury, gęstości, składu chemicznego oraz poziomu zanieczyszczeń, układy FPGA oferują unikalne możliwości realizacji zaawansowanych, równoległych technik obliczeniowych o niskiej latencji.

Utrzymanie stabilności plazmy w polu magnetycznym jest procesem złożonym, wymagającym ciągłej i szczegółowej diagnostyki wielu parametrów. Pierwsza generacja zaawansowanych systemów diagnostycznych polegała głównie na przetwarzaniu danych po zakończeniu eksperymentu, co ograniczało możliwość natychmiastowej reakcji na dynamiczne zmiany zachodzące w plazmie. W odpowiedzi na te wyzwania, druga generacja systemów diagnostycznych została zaprojektowana do pracy w czasie rzeczywistym, umożliwiając bieżące monitorowanie i kontrolę stanu plazmy z minimalnym opóźnieniem, co jest kluczowe dla zapewnienia stabilności i bezpieczeństwa procesów fuzji jądrowej [108].

Szczególny nacisk położono na opracowanie wyspecjalizowanych, sparametryzowanych metod przetwarzania numerycznego, które mogą być efektywnie implementowane na różnorodnych platformach FPGA, niezależnie od ich generacji czy specyfikacji technicznych. Warto podkreślić, że prace nad tego typu rozwiązaniami trwają często wiele lat, nawet dekadę lub dłużej (10-15 lat), co wymaga zaprojektowania oprogramowania, które pozwala na optymalne programowanie nawet starszych generacji układów FPGA, zapewniając ich pełną funkcjonalność i wydajność.

W powyższym kontekście w pracy zaproponowano nowatorską metodę projektowania zaawansowanych algorytmów numerycznych dla potrzeb eksperymentów tokamakowych. Rozprawa prezentuje wyniki praktycznej implementacji opracowanej metody dla systemów diagnostycznych plazmy, pracujących w czasie rzeczywistym. Potwierdzono, że zaproponowane oprogramowanie umożliwia efektywne tworzenie algorytmów o precyzyjnej, niskiej i stałej latencji, co jest kluczowe dla poprawnej detekcji i analizy zanieczyszczeń plazmy oraz innych krytycznych parametrów w czasie rzeczywistym.

Ponadto, omówiono aspekty dotyczące skalowalności i adaptowalności zaproponowanych rozwiązań, co umożliwi ich zastosowanie w szerokim spektrum przyszłych eksperymentów

i systemów diagnostycznych. Wnioski płynące z przeprowadzonych badań wskazują na duży potencjał układów FPGA jako fundamentu dla rozwoju nowoczesnych, wysoko wydajnych systemów obliczeniowych w dziedzinie fizyki plazmy oraz innych obszarach wymagających przetwarzania dużych ilości danych w czasie rzeczywistym.

W rozprawie zaprezentowano uzyskaną skuteczność i wszechstronność sparametryzowanych metod przetwarzania numerycznego implementowanych na układach FPGA jako perspektywny element wsparcia rozwoju technologii diagnostyki gorącej plazmy oraz tworzący nowe możliwości dla przyszłych badań i zastosowań w dziedzinie kontrolowanej fuzji jądrowej oraz pokrewnych obszarach nauki i techniki.

Słowa kluczowe: Układy FPGA, Cyfrowe Przetwarzanie Sygnałów (DSP), Fizyka Gorącej Plazmy, Tokamak, ITER, JET, WEST, Synteza Wysokiego Poziomu (HLS), Równoległe Przetwarzanie, Architektura Komputerowa, Diagnostyka Plazmy, Rozdzielanie Impulsów, Emulacja Sprzętowa, Systemy Wbudowane, Przetwarzanie w Czasie Rzeczywistym, Optymalizacja Sprzętowa