

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY WYDZIAŁU
ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI, INFORMATYKI
I INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ
AKADEMII GÓRNICZO-HUTNICZEJ W KRAKOWIE**

Tytuł rozprawy:

**„IMPLEMENTACJA ZAAWANSOWANYCH ALGORYTMÓW
PRZETWARZANIA, ANALIZY I SZYFROWANIA OBRAZÓW
W UKŁADACH REPROGRAMOWALNYCH”**

Autor rozprawy: **mgr inż. Tomasz Kryjak**

Rozprawa została przygotowana pod merytoryczną opieką dr hab. inż. Marka Gorgonia, prof. AGH, któremu Rada Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej powierzyła funkcję promotora. Recenzję przygotowano na podstawie zlecenia Dziekana Wydziału, dr hab. inż. Antoniego Cieśli, prof. AGH zawartego w piśmie z dnia 3 grudnia 2012 r.

Przedstawiona do oceny rozprawa zawiera 171 stron tekstu podzielonych na 6 rozdziałów (ponadto Wstęp i Podsumowanie jako dodatkowe 2 rozdziały), wykaz literatury obejmujący 196 pozycji z różnych dziedzin wiedzy związanej z rozprawą, oraz dodatek będący spisem skrótów. Wykaz literatury zawiera 15 pozycji, w których Doktorant jest autorem bądź współautorem.

1. Dobór tematu i zakres pracy

W niniejszej rozprawie Doktorant zaprojektował i zaimplementował oryginalne i nowatorskie w skali międzynarodowej algorytmy przetwarzania, analizy i szyfrowania

obrazów w układach reprogramowalnych FPGA, z możliwością ich realizacji w czasie rzeczywistym.

W rozdziale 1: "Wstęp" Doktorant podkreślił znaczenie algorytmów przetwarzania, analizy i rozumienia obrazów w nauce i technice oraz scharakteryzował wybrane współczesne platformy obliczeniowe wyposażone w wydajne procesory ogólnego przeznaczenia GPP (ang. General Purpose Processor), wysokowydajne, specjalizowane procesory graficzne GPU (ang. Graphics Processing Unit), układy FPGA (ang. Field Programmable Gate Array), procesory sygnałowe DSP (ang. Digital Signal Processor), platformy hybrydowe oraz wysoce specjalizowane np. superkomputery w połączeniu z kartami FPGA i GPU. We wstępie zawarte zostały cele oraz teza pracy

W rozdziale 2 Doktorant zawarł cenny, krótki przegląd wiedzy na temat budowy oraz metod projektowania logiki FPGA oraz opis sposobu realizacji i implementacji projektu w programie ISE, który był wykorzystywany w eksperymentach badawczych recenzowanej rozprawy.

Rozdział 3 zawiera stan wiedzy na temat implementacji algorytmów kryptograficznych w układach reprogramowalnych, opis algorytmu kryptograficznego CLEFIA (od francuskiego słowa clef - czyli klucz) jako nowej technologii zabezpieczania materiałów multimedialnych przed nieautoryzowanym kopiowaniem. Podrozdział 3.3 zawiera opis sprzętowej implementacji algorytmu CLEFIA w układzie FPGA.

W rozdziale 4 Doktorant dokonał przeglądu i analizy literatury z zakresu sprzętowej implementacji algorytmów przetwarzania obrazów, a w szczególności filtracji obrazów.

W rozdziale 5 opisana została implementacja operacji binaryzacji lokalnej, jako przykład wykorzystania języka wysokiego poziomu Mitrion-C (pod względem składni zbliżony do języka ANSI-C) w programowaniu logiki układu FPGA.

W rozdziale 6 mgr T. Kryjak przedstawił, na tle światowych rozwiązań, swoje własne prace badawcze dotyczące implementacji zaawansowanej generacji tła i segmentacji obiektów w zasobach rekonfigurowalnych układów FPGA (z opisem stanowisk, na których przeprowadzone zostały eksperymenty). Ponadto Doktorant zawarł autorski opis metody klasteryzacji wraz z segmentacją bazującą na parametrach jasności, koloru i tekstury.

Rozdział 7 zawiera opis autorskich implementacji sprzętowych algorytmów wykorzystywanych w zaawansowanych systemach monitoringu wizyjnego. Doktorant zaprezentował trzy systemy stosowane w zaawansowanym monitoringu wizyjnym: detekcję naruszenia strefy zabronionej, detekcję głowy i barków z wykorzystaniem cech LBP i klasyfikatora SVM oraz wykrywanie sabotażu kamery. Zakres zadań takich systemów

wykracza znacząco poza funkcje rejestrowania danych i prostej sygnalizacji. Przeprowadzona analiza obrazu, umożliwia wspomaganie operatora systemu nadzoru oraz jest przydatna w automatyzacji procesu rejestracji danych wizyjnych czy też kontroli prawidłowości działania zabezpieczeń chronionego obiektu.

W rozdziale 8 (Podsumowanie) Doktorant przedstawił najważniejsze osiągnięcia pracy, końcowe wnioski oraz dalsze kierunki badań.

2. Zasadnicze tezy pracy

Została sformułowana jedna teza rozprawy. Autor stwierdza, że:

Implementacja złożonych operacji i algorytmów przetwarzania, analizy i szyfrowania obrazów w układach reprogramowalnych umożliwia powstanie modułów sprzętowych charakteryzujących się zdolnością do realizacji zadań w czasie rzeczywistym.

Teza nie jest sformułowana precyzyjnie, pozostawiając zbyt dużo miejsca do swobodnej interpretacji wyników. Co to znaczy „złożone” operacje i algorytmy? Jak rozumiemy czas rzeczywisty? Obrazy bądź strumienie wideo o jakich parametrach, mają być przetwarzane?

Te informacje czytelnik może uzyskać dopiero w dalszych rozdziałach niniejszej pracy.

Należy jednak stwierdzić, że w/w. teza stawia przed Doktorantem nowatorskie i ambitne zadanie, wymagające dobrego przygotowania teoretycznego, głębokiej znajomości specyfiki problemu i bardzo dobrego opanowania pracy ze sprzętem oraz umiejętności projektowania i implementacji algorytmów w specjalistycznej dziedzinie jaką jest przetwarzanie i analiza obrazów „na żywo” w czasie rzeczywistym. Teza rozprawy została udowodniona. Autor rozprawy wykazał wysoką przydatność układów FPGA do implementacji nawet bardzo złożonych algorytmów analizy i przetwarzania obrazów. Realizacja tych algorytmów w czasie rzeczywistym, jest kluczowa z punktu widzenia możliwości wspierania operatora systemów monitoringu wizyjnego w podejmowaniu decyzji lub, w innych dziedzinach zastosowań (na przykład w systemach automatyki przemysłowej), budowy systemów sterowania ze sprzężeniem wizyjnym.

3. Merytoryczna ocena pracy

Mgr inż. Tomasz Kryjak postawił sobie ambitny cel: zaprojektowanie i zaimplementowanie w układach reprogramowalnych FPGA oryginalnych i nowatorskich modułów sprzętowych realizujących algorytmy przetwarzania, analizy i szyfrowania obrazów w czasie rzeczywistym.

W ramach prowadzonych prac badawczych Doktorant zaimplementował sprzętowo następujące algorytmy:

1. szyfru CLEFIA,
2. filtracji obrazu kolorowego algorytmem PGF,
3. binaryzacji lokalnej,
4. zaawansowanej generacji tła i segmentacji obiektów,
5. detekcji naruszenia strefy zabronionej,
6. detekcji głowy i ramion z wykorzystaniem cech LBP i klasyfikatora SVM,
7. detekcji sabotażu kamery.

Szyfr CLEFIA

W ramach przeprowadzonych badań Doktorant przeanalizował sposób budowy pojedynczej rundy szyfrowania, a w szczególności bloków podstawieniowych (S-Box) i zaproponował nową wersję budowy F-funkcji —“mixed”, łączącą zalety implementacji podstawienia S-Box zrealizowanego na podstawie definicji i przy pomocy operacji look-up table. Uzyskane wyniki pokazują, że w zależności od stosowanego układu FPGA rozwiązanie doktoranta pozwala osiągnąć podobną wydajność jak znana z literatury wersja T-Box, przy jednoczesnym mniejszym wykorzystaniu zasobów (układy Virtex II Pro i Virtex 4), bądź też wyższą wydajność (układ Virtex 5).

Należy podkreślić, że implementacja przedstawiona w niniejszej rozprawie (opublikowana wcześniej w roku 2008) była pierwszą implementacją algorytmu CLEFIA w układzie FPGA.

Filtracja obrazu kolorowego algorytmem PGF

Jest to pierwsza implementacja tego algorytmu w układzie FPGA. Doktorant zaproponował szereg modyfikacji upraszczających algorytm pozwalających na jego w pełni potokową implementację. Zmodyfikowany algorytm umożliwia przetwarzanie strumienia wideo w czasie rzeczywistym bez znaczącego wpływu na jakość uzyskiwanych wyników.

Binaryzacja lokalna

Celem badań była analiza przydatności narzędzia Mitrion-C, będącego językiem wysokiego poziomu projektowania logiki układów FPGA, w realizacji operacji przetwarzania obrazów. Przeprowadzone przez Doktoranta badania wykazały bardzo ograniczoną przydatność tego typu narzędzi w rozważanych aplikacjach.

Zaawansowana generacja tła i segmentacji obiektów

Doktorant zrealizował następujące warianty generacji tła i segmentacji obrazów ruchomych: wielowariantową generację tła z segmentacją na podstawie jasności, koloru i tekstury z wykorzystaniem deskryptora teksturowego SILTP (ang. Scale Invariant Local Ternary Pattern), wielowariantową generację tła z segmentacją na podstawie jasności, koloru i tekstury z wykorzystaniem deskryptora teksturowego NGD (ang. Normalized Gradient Difference), jednowariantową generację tła z zaawansowaną segmentacją obiektów opartą o mechanizm binaryzacji warunkowej.

Wszystkie wyżej wymienione zaimplementowane algorytmy umożliwiły przetwarzanie strumienia wideo w czasie rzeczywistym. Ostatni z wymienionych algorytmów (Zaawansowana generacja tła i segmentacji obiektów) wykorzystany został jako element składowy większych systemów przetwarzania i analizy obrazów opisanych w dalszej części pracy (rozdz. 7). Zakres zastosowania algorytmów generacji tła znacznie wykracza poza zaproponowane w dalszej części pracy aplikacje związane z systemami monitoringu. Jednym z bardziej znanych obszarów zastosowań tych algorytmów są systemy sterowania ruchem drogowym, wykorzystujące informacje obrazową.

Detekcja naruszenia strefy zabronionej

Detekcja głowy i ramion z wykorzystaniem cech LBP i klasyfikatora SVM.

Detekcja sabotażu kamery.

Trzy powyższe algorytmy, zaimplementowane przez Doktoranta, wykorzystywane są w systemach monitoringu wizyjnego. Wspólną ich cechą jest możliwość przetwarzania w czasie rzeczywistym strumienia wideo o rozdzielczości 640x480 i 60 ramkach na sekundę. W każdym z tych algorytmów wykorzystane zostały moduły generacji tła i detekcji obiektów (opisane w rozdziale 6). Uzyskane wyniki pokazują, że możliwe jest zrealizowanie w układzie FPGA zaawansowanych algorytmów analizy obrazów z elementami rozpoznawania, które mogą być wykorzystane w systemach monitoringu wizyjnego.

Implementacje sprzętowe wszystkich algorytmów zostały poddane testom i analizie pod kątem wykorzystanych zasobów FPGA, rozpraszanej mocy i zwiększenia szybkości obliczeń.

4. Analiza źródeł

Bibliografia i jej dobór (196 pozycji z różnych dziedzin wiedzy związanych z rozprawą) dowodzi dużej erudycji i dobrej znajomości tematyki przedstawionej przez Autora. Zawiera ona podstawowe pozycje dotyczące problematyki szeroko pojętego cyfrowego przetwarzania sygnałów, a w szczególności przetwarzania i analizy obrazów. Bogata bibliografia dowodzi,

że Doktorant bardzo dobrze zapoznał się z tematyką przedmiotu. Należy podkreślić, że w tym przypadku wymagało to bardzo dużego nakładu pracy, ponieważ problematyka pracy, jako interdyscyplinarna, obejmuje zarówno aspekty elektroniki, automatyki i robotyki jak i pojęcia związane z inżynierią oprogramowania. Sprawą dyskusyjną jest brak wydzielonego stanu wiedzy. Każdy rozdział zawiera odrębny, bardzo dobrze przygotowany przegląd literatury dotyczący wybranego aspektu rozprawy.

5. Oryginalność rozprawy

Zdaniem recenzenta zarówno tematyka rozprawy, zastosowane metody i uzyskane wyniki noszą cechy pełnej oryginalności. Należy zaznaczyć, że ważnym aspektem tych prac jest ich umiejscowienie w światowych badaniach nad algorytmami przetwarzania, analizy i szyfrowania obrazów w układach reprogramowalnych FPGA z możliwością ich realizacji w czasie rzeczywistym. Przedstawione w rozprawie algorytmy zostały wcześniej opublikowane w czasopiśmie o randze międzynarodowej (m.in. International Journal of Applied Mathematics and Computer Science, Computer Science Journal, Computing and Informatics, Journal of Real-Time Image Processing), a także wygłoszone na krajowych i zagranicznych konferencjach naukowych.

Na podstawie lektury pracy oraz moich osobistych obserwacji Doktoranta w czasie Jego publicznych wystąpień na seminariach i konferencjach naukowych, mogę z całym przekonaniem stwierdzić, że poziom naukowy rozprawy lokuje się w czołówce światowej w tej dziedzinie. Zapewne jest to w dużej mierze zasługa Promotora - prof. Marka Gorgonia i zespołu pracującego nad systemami wizyjnymi i ich sprzętowymi metodami realizacji, wykreowanego jeszcze w latach 80-tych ubiegłego wieku przez prof. Ryszarda Tadeusiewicza - prekursora w dziedzinie systemów wizyjnych czasu rzeczywistego. Możemy śmiało mówić tutaj o szkole krakowskiej.

6. Zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy

Autor nie uniknął szeregu drobnych błędów edytorskich, (vide uwagi krytyczne) jednak całościowo przedłożona rozprawa prezentuje w przejrzystym układzie najważniejsze wyniki pracy. Widoczna jest dbałość Doktoranta o należyty poziom edytorski. Zarówno wykresy, rysunki jak i tabele przygotowane zostały z dużą starannością.

7. Przydatność rozprawy

Niniejsza rozprawa mieści się w dziedzinie automatycznych systemów przetwarzania, analizy i rozpoznawania obrazów i znajduje coraz większe zastosowania w aplikacjach przemysłowych w szczególności w systemach automatyki wykorzystujących sprzężenie wizyjne. Przykładowo można wskazać: kontrolę jakości wykonania detali elementów na liniach produkcyjnych, systemy rozpoznawania tablic rejestracyjnych, zaawansowane systemy monitoringu wizyjnego oraz cały szereg aplikacji programowych od pakietów do obróbki zdjęć (typu GIMP, Photoshop), po systemy wspomagające analizę obrazów medycznych. Wymienione przykłady to tylko niewielki fragment, gdzie techniki wizyjne znajdują praktyczne zastosowanie.

8. Uwagi krytyczne i komentarze

Recenzowana rozprawa została bardzo starannie przygotowana pod względem edytorskim. W pracy występują jednak drobne błędy edytorskie i interpunkcyjne (brak przecinka lub jego zbędne występowanie).

Błędy edytorskie:

- s. 23 - dwukrotne słowo „ang.” w opisie skrótu AE
- s. 25 - brak polskiego ogonka, jest: „jedna” a powinno być: „jedną”
- s. 27 - „(generalized fiestel network” – brak nawiasu zamykającego
- s. 29 – jest: „częstotliwości” a powinno być: „częstotliwością”
- s. 71 – brak nawiasu domykającego „(kolumna AD”
- s. 132 jest ”dość” powinno być „dojść”

Uwagi dotyczące ilustracji:

- Rys. 2.1 oraz 2.2 – mało czytelne opisy osi
- Rys. 6.15 oraz 6.16 – brak opisu serii danych na wykresie
- Rys. 6.20, oraz 6.23 – brak opisu etykiet osi

Komentarze

- W tytule pracy jest fraza „algorytmów szyfrowania obrazów”. Rozdział 3 dotyczący kryptografii ma natomiast charakter ogólny – dotyczy implementacji sprzętowej algorytmów szyfrujących bez wyraźnego wskazania na zastosowanie do szyfrowania obrazów.
- W niektórych przypadkach Doktorant zbyt mało wyraźnie podkreśla swoje osiągnięcia. Natomiast numeryczny sposób cytowania literatury utrudnia rozpoznanie, co jest autorskim osiągnięciem Doktoranta, a co wynikiem rozważanych w rozprawie prac innych autorów.
- W pracy zdarzają się mało precyzyjne sformułowania np.: „raczej małego rozmiaru otoczenia (3x3)” s. 55, „dość podobne wyniki”, „dość dobrze”, „raczej nieprzydatne” s. 103.
- W tekście pracy występują „kolokwializmy branżowe” np. „slice’y” s.16.
- Tabele 3.3 – 3.6 (str. 33) są trudne w interpretacji ze względu na brak wyraźnego wyjaśnienia opisu serii i nagłówków tabel w ich bliskim sąsiedztwie.
- s. 44 - „Zdaniem autorów podejście to zapewnia podobne rezultaty jak standardowy filtr VMF” – brak poparcia tezy w postaci ilościowej (np. porównania wartości PSNR lub MSE w obrazach wynikowych).
- s. 45 w opisie do równania (4.7) „ σ_R σ_I σ_j odpowiednio dobrane parametry”, „I – odpowiednio zdefiniowana wartość jasności lub koloru” – odpowiednio czyli jak ?
- s. 47 – algorytm PGF - brak rozwinięcia skrótu w tekście.
- Rozdz. 4.4. – brak definicji „szumu mieszanego”.
- Rozdz. 4.4. – czy porównywano wyniki filtracji dla większego stopnia zakłóceń?
- Tabela 4.2 (str. 56) – „porównanie oryginalnej i sprzętowej implementacji” – tabela zawiera wyniki jednej tylko metody (nie zawiera danych porównawczych).

- Na Rys. 6.1 (str. 82) oraz w Tab. 6.1 „ pojedynczy Gauss” brzmi mało precyzyjnie
- s. 96 – rozdz. 6.5.2.1 – wskazana byłaby prezentacja przykładowych klatek z rozważanych sekwencji wideo.
- W rozdziale 6 brak podrozdziału podsumowującego przedstawione prace (rozwiązania) poprzez zestawienie, porównanie i syntetyczną analizę własności zaimplementowanych algorytmów generacji tła i segmentacji. Czy Doktorant mógłby się pokusić o krótkie podsumowanie niniejszego rozdziału?
- Wykaz skrótów powinien być na początku rozprawy.

Wnioski końcowe

Przytoczone powyżej uwagi krytyczne nie umniejszają wartości naukowej ocenianej pracy. Uważam, że praca **zawiera** wartościowy i oryginalny dorobek naukowy Doktoranta.

Większość z zaproponowanych w pracy rozwiązań stanowi pierwsze implementacje rozważanych algorytmów na układach FPGA.

Jako oryginalne osiągnięcia Doktoranta można wymienić:

- Implementację algorytmu szyfrującego CLEFIA w układzie FPGA;
- Implementację algorytmu filtracji PGF w układzie FPGA;
- Implementację algorytmów binaryzacji obrazów w układzie FPGA;
- Opracowanie algorytmów generacji tła i segmentacji obiektów w sekwencji wideo oraz jego implementacja w układzie FPGA;
- Opracowanie algorytmów przetwarzania i analizy obrazów dla potrzeb systemów monitoringu (w tym algorytmu detekcji naruszenia strefy zabronionej, algorytmu detekcji głowy i ramion, algorytmu wykrywania sabotażu kamery) oraz ich implementacja w układzie FPGA.

Zakres i poziom uzyskanych wyników badawczych odpowiada ustawowym (Ustawa o stopniach naukowych i tytule naukowym ... Dz. Ustaw Nr 65 z dnia 16.04.2003, poz. 595) i zwyczajowym wymaganiom stawianym rozprawom na stopień doktora nauk technicznych, znacznie je przekraczając. Wniosuję zatem do Wysokiej Rady Wydziału AGH o **przyjęcie** rozprawy i dopuszczenie jej Autora, **mgr inż. Tomasza Kryjaka** do jej publicznej obrony w dziedzinie naukowej **Automatyka i Robotyka**. Biorąc pod uwagę oryginalne osiągnięcia Doktoranta, a także poziom edycyjny pracy **wniosuję o wyróżnienie rozprawy**.

