

Prof. dr hab. inż. Ryszard Tadeusiewicz

rtad@agh.edu.pl; www.tadeusiewicz.pl; 30-059 Kraków, al. Mickiewicza 30
Profesor Katedry Automatyki i Inżynierii Biomedycznej AGH;
Doktor Honoris Causa piętnastu uczelni krajowych i zagranicznych
Były Członek CK, Członek Panelu Ekspertów ST7 Narodowego Centrum Nauki,
Członek Polskiej Akademii Umiejętności; Były Prezes Krakowskiego Oddziału PAN
Członek Akademii Inżynierskiej, член Российской Академии Естественных Наук
Participe Pleno Jure Academiae Europensis Scientiarum Artium Litterarumque
Fellow of World Academy of Art and Science; Euro-engineer FEANI
Senior Member of IEEE; professional member of ACM; member of SPIE

Kraków, 05.06.2025

Recenzja

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska **mgr inż. Jana Kwiatkowskiego** zatytułowana *"Sprzętowa implementacja algorytmów korekcji niejednorodności matryc bolometrycznych o wysokiej rozdzielczości"*. Rozprawa przygotowana została na Politechnice Śląskiej (Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki) pod merytorycznym nadzorem Profesora dr hab. inż. **Aleksandra Nawrata** a przewód doktorski prowadzi Rada Dyscypliny Informatyki Technicznej i Telekomunikacji Politechniki Śląskiej. Podstawą formalną do wykonania tej recenzji jest Uchwała nr 111/2025 Rady Dyscypliny Informatyki Technicznej i Telekomunikacji Politechniki Śląskiej zawarta w Monitorze Prawnym Politechniki Śląskiej i podpisana przez Przewodniczącą Rady prof. dr hab. inż. Andrzeja Polańskiego.

Ogólne uwagi na temat rozprawy

Opiniowana rozprawa ma typową strukturę. Na początku jest bardzo przydatny słownik skrótów i akronimów, potem krótki wstęp, następnie dość obszerny, zajmujący blisko połowę objętości pracy przegląd literatury, dalej opis proponowanego rozwiązania i badania doświadczalne jakości tego rozwiązania oraz podsumowanie. Zasadniczą treść pracy uzupełnia spis literatury zawierający dokładnie 100 pozycji – na ile zdołałem sprawdzić przywoływanych w treści pracy – oraz pięć dodatków. Całościowa objętość pracy liczy 136 stron, co jest rozmiarem typowym.

Zagadnienie podjęte w pracy jest ważne i aktualne. Autor słusznie podkreśla, że do uzyskiwania dobrej jakości obrazów cyfrowych potrzebne są kamery wyposażone w dobrej jakości matryce sensorów, a jeśli sensory te są wrażliwe na zakres promieniowania elektromagnetycznego niedostępny dla ludzkiego oka – to takie kamery istotnie wzbogacają możliwości obserwacji i oceny różnych obiektów oraz scen dla różnych zastosowań. Rozważane w rozprawie matryce

bolometryczne pozwalają na rejestrację obrazów w zakresie podczerwieni, co wiąże się z dużą liczbą niebanalnych zastosowań określanych ogólną nazwą termowizji.

Cel i tezy rozprawy.

Doktorant wychodzi ze słusznego założenia, że używane niechłodzone matryce bolometryczne o rozdzielczości 1024x768 pikseli charakteryzują się tym, że poszczególne piksele w tych matrycach są obsługiwane przez sensory bolometryczne o zróżnicowanych parametrach, co powoduje, że uzyskany obraz termowizyjny zawiera artefakty. Ze stwierdzenia tego wyciąga trafny wniosek, że potrzebne jest narzędzie do korekcji niejednorodności owych matryc bolometrycznych i podejmuje ambitne zadanie stworzenia odpowiedniego algorytmu realizowanego sprzętowo żeby dokonywać potrzebnej korekcji niejednorodności obrazu. Stworzenie takiego algorytmu wskazane jest jako cel rozprawy. Cel ten moim zdaniem jest ważny dla praktyki stosowania matryc bolometrycznych oraz jest ciekawy z naukowego punktu widzenia, stwierdzam więc, że w pełni odpowiada on ustawowym i zwyczajowym wymaganiom stawianym zagadnieniom będącym podstawą do uzyskiwania stopnia naukowego doktora nauk technicznych.

Rozwijając wybrany cel rozprawy Doktorant sformułował trzy tezy:

Teza 1. Możliwe jest stworzenie i sprzętowa implementacja adaptacyjnego algorytmu, którego zadaniem jest estymacja i korekcja zakłócenia o stałej charakterystyce, występującego w strumieniach wideo, uzyskanych przy pomocy matrycy mikrobolometrycznej o wysokiej rozdzielczości.

Teza ta podkreśla, że celem pracy jest taka realizacja (sprzętowa!) algorytmu do estymacji i korekcji zakłóceń, która nie wpłynie na częstotliwość odświeżania termogramów. To dość ambitne założenie!

Teza 2. Możliwa jest realizacja algorytmu korekcji niejednorodności według tezy 1, realizowanego w czasie zbliżonym do rzeczywistego, determinowanym szybkością akwizycji danych pomiarowych, dedykowanego dla matryc mikrobolometrycznych o wysokiej rozdzielczości.

Przyznam się, że dla mnie teza ta jest na tyle podobna do tezy 1, że nie do końca rozumiem celowość jej odrębnego wprowadzania. Ale przyjmuję do wiadomości, że Doktorant widział taką potrzebę i dodał tę tezę do elementów determinujących cele rozprawy. Nowy wątek wprowadza ostatnia teza:

Teza 3. Możliwa jest sprzętowa implementacja adaptacyjnego algorytmu korekcji niejednorodności według tez 1 i 2, pozwalającego na uwzględnienie nieliniowości charakterystyk odpowiedzi mikrobolometrów, wchodzących w skład macierzy mikrobolometrycznej o wysokiej rozdzielczości, na radiację podczerwoną, emitowaną przez obiekty w obserwowanej scenie.

Rzeczywiście, zmaganie się koniecznością korekcji dla mikrobolometrów o nieliniowej charakterystyce stwarza zadanie badawcze i konstrukcyjne o znacznie większej trudności, niż w przypadku zakładania charakterystyk liniowych, więc tą tezą Autor wyraźnie „podniósł sobie poprzeczkę”. Wyprzedzając nieco dalsze omawianie i ocenę zawartości rozprawy stwierdzam, że wszystkie trzy tezy zostały w dysertacji dowiedzione.

Przegląd literatury

Jednym z wymogów stawianych rozprawie doktorskiej przez odpowiednią Ustawę jest wymóg wykazania się przez doktoranta szeroką i aktualną wiedzą na temat prac innych autorów zajmujących się rozważaną problematyką. Mgr Kwiatkowski wywiązał się z tego obowiązku z dużym nadmiarem. Drugi rozdział rozprawy zawierający ów obowiązkowy przegląd literatury jest niesłychanie obszerny (blisko 50% objętości całej rozprawy) i rozbity jest na 5 podrozdziałów, przy czym podrozdział 2.2 („Metody korekcji niejednorodności”) rozbity jest na trudną do zliczenia liczbę pod-podrozdziałów, mających miejscami niesłychanie rozwiniętą strukturę hierarchiczną. Wszystko to wskazuje na bardzo solidne przygotowywanie się przez Doktoranta do rozwiązywania problemów związanych z rozprawą, ale wydaje się – jak stwierdziłem – nieco nadmiarowe.

Z dużym pożytkiem dla mnie zapoznałem się z tym przeprowadzonym przez Doktoranta przeglądem literatury i wiele się nauczyłem. Natomiast zgodnie z przepisami nie mogę zawartości tego rozdziału zaliczyć do argumentów przemawiających za nadaniem panu

Kwiatkowskiemu stopnia naukowego doktora, ponieważ stopień ten nadaje się za własny oryginalny dorobek naukowy doktoranta, a zawartość omawianego rozdziału przedstawia wyłącznie dokonania innych autorów.

Oryginalne rozwiązanie zaproponowane przez Autora

Kłopotu wzmiankowanego w przy omawianiu rozdziału 2 nie ma w kontekście następnego (trzeciego) rozdziału, w którym omawiana jest propozycja autorskiego podejścia do korekcji niejednorodności matrycy bolometrycznej. To z całą pewnością jest własne osiągnięcie naukowe Doktoranta. Rozwiązanie proponowane w rozprawie nawiązuje do omówionych wyżej tez rozprawy i ma na celu dowiedzenie empiryczne, że tezy te są prawdziwe.

Moduł TEM (*Thermogram Enhancement Module*) zaprojektowany a potem także wykonany (w technologii FPGA) i przebadany przez mgra Kwiatkowskiego zawiera w pierwszej kolejności podzespół korekcji zakłóceń kolumn. Oceniam, że podzespół ten został ciekawie zaprojektowany i poprawnie zrealizowany. Następnym składnikiem budowanego modułu TEM jest podzespół korekcji niejednorodności. Moduł ten uwzględnia nieliniowości charakterystyk mikrobolometrów, co znacząco utrudnia jego budowę, ale polepsza skuteczność działania. Opis koncepcji i konstrukcji tego modułu zawarty w podrozdziałach 3.2.1 i 3.2.2 jest w mojej opinii przedstawiony bardzo dobrze, a sama koncepcja i konstrukcja wystawia Kandydatowi bardzo dobre świadectwo jako kreatywnemu twórcy koncepcji i jako starannemu wykonawcy strony inżynierskiej opisywanego modułu.

Przeprowadzone badania doświadczalne

W kolejnym (czwartym) rozdziale opiniowanej rozprawy mgr Kwiatkowski opisuje badania, jakie przeprowadził z modułem, którego koncepcja została zaprezentowana w omówionym wyżej poprzednim rozdziale. Autor wskazał na początku pozamerytoryczne ograniczenia wynikające z regulacji ITAR, które limitowały zakres przeprowadzonych badań, ale mimo tych ograniczeń udało mu się zbudować stanowisko laboratoryjne opisane w podrozdziale 4.1. Czynnikiem utrudniającym realizację tego zadania była duża rozdzielczość badanej matrycy bolometrycznej (1024 x 768 pikseli to ogółem 786432 sensorów do obsłużenia), co stwarzało duże

zapotrzebowanie na moc obliczeniową budowanego systemu – zwłaszcza działającego w czasie rzeczywistym przy częstotliwości próbkowania 30 klatek na sekundę. Dlatego rozwiązanie sterownika matrycy stworzone przez Doktoranta musiało być zrealizowane metodą sprzętową z implementacją w układzie FPGA. Elementem, na którym mgr Kwiatkowski skupił głównie swą uwagę, był moduł TEM, którego budowę omówiono wyżej.

Badania, które opisano w rozprawie, dotyczyły kolejno poprawy kontrastu, korekcji zakłóceń kolumn, wzorcowania matrycy oraz analizy wpływu ilości i jakości danych statystycznych. Badania przeprowadzono wzorowo, a wyniki przedstawiono w sposób bardzo czytelny i przekonujący. Za bardzo cenny naukowo i praktycznie uważam podrozdział 4.6, w którym Autor przedstawił porównanie działania różnych realizacji metody CR-NUC. W przypadku stosowania w praktyce zaproponowanych rozwiązań korekcji niejednorodności matryc bolometrycznych o wysokiej rozdzielczości może to być bazą do znalezienia najlepszego rozwiązania. O tym, że opracowane przez mgra Kwiatkowskiego metody warto stosować w praktyce - przekonuje zawartość rozdziału 4.7.

Podsumowując ocenę rozdziału 4 stwierdzam, że jego zawartość można w całości bardzo pozytywnie ocenić w kontekście problemu nadania Autorowi stopnia naukowego doktora. Rozdział zawiera wiele cennych i oryginalnych wyników naukowych będących niewątpliwie własnością intelektualną mgra Kwiatkowskiego, przy czym sposób uzyskania tych wyników znamionuje zdecydowanie uzdolnienia i umiejętności naukowe Kandydata. Jest to jeden z zasadniczych czynników składających się na moją końcową pozytywną decyzję.

Umiejętność dojrzałego odniesienia się do własnych wyników

Z bardzo pozytywnym nastawieniem przeczytałem też piąty rozdział pracy zatytułowany Podsumowanie. Mgr Kwiatkowski odniósł się z nim do własnych koncepcji prezentowanych we wcześniejszych rozdziałach rozprawy oraz do uzyskanych wyników. W szczególności przekonująco uzasadnił, że wyniki które uzyskał pozwalają potwierdzić wszystkie trzy tezy postawione na początku rozprawy, co domyka pozytywną opinię o całości.

Ocena dodatków

Treść pracy uzupełniają dodatki. W Dodatku A przedstawiono ogólne omówienie układów logiki programowalnej z rodziny FPGA. Zawarte w nim treści są w gronie fachowców znane, natomiast opracowanie przedstawione przez Doktoranta we wspomnianym Dodatku ma spore walory dydaktyczne i w tym charakterze może być wykorzystane w procesie kształcenia studentów.

Dodatek B wyjaśnia, czym jest filtr bilateralny. Podobnie jak w przypadku poprzedniego Dodatku nie ma to wartości naukowej, natomiast może być przydatne w dydaktyce. Podobnie opis filtru GF zawarta w Dodatku C.

Przy ocenie uzyskiwanych wyników mgr Kwiatkowski stosował różne wskaźniki jakości działania proponowanych metod. Znowu nie były to jego własne oryginalne koncepcje, lecz metody wzięte z literatury i dobrze dostosowane do zadań, jakie im powierzano w pracy. Omówienie owych wskaźników znajduje się w Dodatku D.

Ważną kwestią w opiniowanej pracy było wyznaczanie przedziałów przynależności danych na podstawie analizy histogramu. Stosowane w tym zakresie metody omówiono w Dodatku E.

Ogólna ocena zawartości pracy

Podsumowując uwagi przedstawione wyżej stwierdzam, co następuje:

Mgr inż. Jan Kwiatkowski przedstawił w swojej rozprawie niebanalny problem naukowy, który pod względem znaczenia praktycznego i naukowego w pełni odpowiada ustawowym i zwyczajowym wymaganiom stawianym dysertacjom na stopień naukowy doktora nauk technicznych. Problem ten Doktorant skonkretyzował stawiając trzy tezy naukowe, które następnie w bardzo staranny sposób udowodnił. W trakcie tego dowodzenia przedstawił oryginalną i trafną koncepcję systemu określonego jako moduł TEM, w którym następuje korekcja zakłóceń kolumn i korekcja niejednorodności (z uwzględnieniem nieliniowości). Wypracowanie tej koncepcji i dopracowanie jej szczegółów jest osiągnięciem technicznym mającym znamiona osiągnięcia naukowego. W następnym rozdziale Doktorant opisał przeprowadzone badania doświadczalne wprowadzając elementy związane między innymi z wykorzystaniem systemów FPGA i wyniki tych badań eksperymentalnych oraz ich bardzo

skrupulatną dyskusję także zaliczam do wartościowych wyników rozprawy. Sumując wskazane osiągnięcia stwierdzam, że mgr inż. Jan Kwiatkowski zdecydowanie zasługuje na nadanie mu stopnia naukowego doktora i taki będzie wniosek końcowy tej recenzji.

Uwagi polemiczne

Obowiązkiem recenzenta jest też zgłoszenie uwag krytycznych do ocenianej dysertacji. Mam z tym pewne trudności, ponieważ nie dostrzegam żadnych godnych wzmianki **błędów merytorycznych** opiniowanej tu rozprawy. Natomiast jest kilka drobnych uwag redakcyjnych, które pozwalam sobie zaprezentować. Główny (drobny) mankament dostrzegam w tym, że w pracy w całości pisanej po polsku, z polskimi (oczywiście!) tytułami rozdziałów i podrozdziałów są dość liczne pod-podrozdziały (o monstualnej numeracji!) zatytułowane po angielsku (choć treść jest po polsku). Dotyczy to odpowiednio następujących pod-podrozdziałów:

2.2.2.2.3. Temporal high-pass based on grayscale mapping

2.2.2.3.1. Constant Statistics Non-Uniformity Correction

2.2.2.3.2. Constant Range Non-Uniformity Correction

2.2.2.3.3. Constant Statistics of Adjacent Ratios

2.2.2.3.4. Temporal Statistics of Adjacent Pixel

2.2.3.1.1. Local spatial correlation-based stripe non-uniformity correction

2.2.3.2.1. Stripe Noise Correction Using Neural Network

2.2.3.2.2. Stripe Noise Removal Convolutional Neural Network

2.2.3.3.1. 1-D Guided Filtering Non-Uniformity Correction

2.2.3.3.2. 1-D Horizontal Differential Statistics

2.2.3.4.2. Midway Histogram Equalization

Równocześnie poprzedzające owe mające angielskie tytuły pod-podrozdziały, a także pod-podrozdziały następujące po nich mają tytuły w języku polskim. Nie potrafię

zrozumieć, czy naprawdę nie można było tych wymienionych wyżej tytułów przedstawić po polsku, oczywiście podając w treści oryginalną nazwę omawianej metody? Robi to w porządku (na ogół) redagowanej rozprawie wrażenie niepotrzebnego dysonansu. Niby drobiazg – a niepotrzebnie razi.

Podsumowanie i wniosek końcowy

Podsumowując moją recenzję stwierdzam, że opiniowana praca zatytułowana *"Sprzętowa implementacja algorytmów korekcji niejednorodności matryc bolometrycznych o wysokiej rozdzielczości"* spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim przez odpowiednią Ustawę. Dlatego **wnoszę o przyjęcie opiniowanej pracy jako rozprawy doktorskiej** i postuluję dopuszczenie jej Autora, mgr inż. Jana Kwiatkowskiego do jej publicznej obrony, a po pomyślnym (w co wierzę) zakończeniu obrony - wnoszę o nadanie Mu stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie naukowej Informatyka Techniczna i Telekomunikacja.