

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Aleksandry Sekreckiej

**pt. Metoda modyfikacji obrazu panchromatycznego w kontekście poprawy wyników integracji
różnorodnych zobrazowań satelitarnych**

promotor: prof. dr hab. inż. Michał Kędzierski

promotor pomocniczy: dr hab. inż. Damian Wierzbicki, prof. WAT

1. Struktura oraz tematyka rozprawy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska składa się z 134 stron. Zasadniczo można w niej wyróżnić dwie części. W pierwszej zamieszczono streszczenie z przeprowadzonych badań w języku polskim i angielskim, wykaz użytych skrótów, wprowadzenie, opis metodyki badań oparty na cyklu czterech publikacji, weryfikację proponowanych metod, podsumowanie oraz literaturę. W drugiej części znajdują się powiązane tematycznie cztery publikacje w postaci załączników (łącznie 75 stron). Na ich podstawie Autorka prezentuje swoje osiągnięcia naukowe. Należy nadmienić, że wszystkie są współautorskie, z przeważającym wkładem własnym Autorki w przypadku publikacji nr 2, 3 oraz 4. Wkład własny mgr inż. A. Sekreckiej wynosi 25% w pierwszej publikacji, 85% w drugiej, 80% w trzeciej oraz 80% w czwartej publikacji (wkład własny podaje wg załączonych w pracy oświadczeń). Na końcu pracy załączono oświadczenia wszystkich współautorów artykułów.

Wstęp jest dosyć obszernym wprowadzeniem w tematykę rozprawy, obejmującym uzasadnienie podjęcia badań, problematykę integracji wysokorozdzielczych zobrazowań panchromatycznych ze zobrazowaniami wielospektralnymi, tezę, cel główny i cele pośrednie badań oraz trzy hipotezy badawcze. W kolejnej części pracy przedstawiono metodykę badań na podstawie przedłożonych w rozprawie czterech publikacji.

Pierwsza publikacja dotyczy zarysu badań, w której uwypuklono problemy wynikające z integracji obrazów o niestandardowym stosunku rozdzielczości przestrzennej. Dodatkowo badania poszerzono o analizę jakości spektralnej rozważanej fuzji danych dla obszarów zurbanizowanego, zalesionego, otwartego oraz fragmentu rzeki. W badaniach wykorzystano wskaźniki w celu oceny jakości wyostrzania obrazów. Wyniki wskazywały na znacznie gorszą jakość spektralną oraz przestrzenną integrowanych obrazów stosując powszechnie wykorzystane metody wyostrzania zobrazowań teledetekcyjnych, co stanowiło zarazem uzasadnienie podjęcia dalszych badań w celu poprawy tychże paramentów dla obrazów o niestandardowym stosunku rozdzielczości przestrzennej.

Druga publikacja przedstawia pierwsze rozwiązanie problemu badawczego, związanego z modyfikacją obrazu panchromatycznego w celu poprawy jakości spektralnej połączonych obrazów o dużym stosunku rozdzielczości przestrzennej. Efektem badań jest opracowanie metodyki wyostrzania obrazu wielospektralnego, składającej się z dwóch etapów. W pierwszym etapie dokonano modyfikacji wartości pikseli obrazu panchromatycznego z wykorzystaniem autorskiego wzoru (opracowano nową metodę modyfikacji obrazu panchromatycznego), natomiast w drugim przeprowadzono jego integrację z obrazem wielospektralnym z wykorzystaniem znanych metod. Istotnym elementem tej metody jest sposób obliczenia nowych wartości obrazu panchromatycznego (uwzględnia pierwszy komponent analizy głównych składowych obrazu wielospektralnego, wartość piksela obrazu panchromatycznego, intensywność obrazu wielospektralnego oraz współczynnik k optymalizujący wartość wag).

Trzecia publikacja jest rozwinięciem metodyki zaprezentowanej w publikacji nr 2. Rozwinięcie polega na opracowaniu nowej metody modyfikacji obrazu panchromatycznego, która ma na celu poprawienie jakości spektralnej z jednoczesnym zachowaniem jakości przestrzennej podczas integracji obrazów o niestandardowym stosunku rozdzielczości przestrzennej. W celu osiągnięcia założonych celów, zastosowano wagę bazującą na liczbie Eulera oraz dodatkowo opracowano maskę szczegółów przestrzennych, umożliwiającą zachowanie pikseli reprezentujących szczegóły terenowe. Metodyka ta, podobnie jak w publikacji 2, była metodyką składającą się z dwóch etapów.

W czwartej publikacji opracowano metodę modyfikacji obrazu panchromatycznego, poprzedzającą integrację różnorozdzielczych zobrazowań satelitarnych, w celu zwiększenia jakości przestrzennej w obrazach wynikowych. Dotyczyło to w szczególności możliwości wykrycia obiektów o małych rozmiarach, rzędu kilku pikseli oraz wąskich o szerokości 1-2-piksela. Zaprezentowana metoda modyfikacji składała się z czterech etapów: redukcji szumów, wykrycia obiektów, decyzyjnego modułu modyfikacji wartości pikseli oraz właściwej modyfikacji obrazu panchromatycznego.

Każda publikacja zawierała opis badań, analizy wyników z wykorzystaniem wskaźników jakości obrazów, odpowiednie zestawienia tabelaryczne, obszernie komentarze (szczególnie dotyczy publikacji 2, 3 i 4), rysunki z wynikowymi obrazami, element dyskusji oraz wnioski.

W części pierwszej rozprawy Autorka wymienia 65 pozycji literaturowych, w tym cztery współautorskie. W przypadku publikacji jest to następująca ilość: 15 (pierwsza publikacja), 44 (druga publikacja), 71 (trzecia publikacja) oraz 55 (czwarta publikacja). Jeśli chodzi o literaturę wymienioną w pierwszej części pracy, to przeważają pozycje publikowane w czasopismach o tematyce teledetekcyjnej i fotogrametrycznej (łącznie 56 % bez publikacji Autorki), następnie o tematyce przetwarzania i fuzji obrazów, inżynierii optycznej oraz inne związane z tematyką pracy. Autorka dodatkowo odwołuje się do jednego patentu. Uwzględniona w rozprawie literatura związana jest realizowanymi badaniami. Dodatkowo każda publikacja wchodząca w skład przedłożonej rozprawy doktorskiej ma własny spis literatury, również odpowiedni do podejmowanych badań.

Uważam, że tematyka rozprawy jest logiczna i spójna, wpisuje się w obecne trendy przetwarzania obrazów. Ilość pozycji bibliograficznych jest odpowiednia. Struktura rozprawy oraz poziom edytorski jest bardzo dobry. Występują nieliczne błędy stylistyczne.

2. Zagadnienia naukowe, oryginalność rozprawy

W rozprawie doktorskiej opracowano metodyki przetwarzania obrazów satelitarnych w celu zwiększenia jakości przestrzennej i spektralnej obrazów wynikowych. Ich wspólnym elementem było opracowanie autorskich metod modyfikacji obrazu panchromatycznego. Autorka w rozprawie przeprowadziła również odpowiednią analizę literatury przedmiotu, co świadczy o znajomości współczesnych problemów związanych z przetwarzaniem obrazów teledetekcyjnych w zakresie poprawiania ich rozdzielczości.

W pracy doktorskiej postawiono następującą tezę: *integracja zobrazowań satelitarnych pozyskanych przez różne sensory, z niestandardowym stosunkiem rozdzielczości przestrzennych, daje niższą jakość wyników niż integracja zobrazowań pozyskanych przez ten sam sensor. Stosując opracowaną metodykę wstępnego przetwarzania obrazów satelitarnych możliwa jest poprawa spektralnej i przestrzennej jakości wyników takiej integracji.* W zależności od typu postawionego problemu badawczego, była to (1) metodyka integracji obrazów w kontekście poprawy jakości spektralnej, (2) metodyka integracji obrazów w kontekście poprawy jakości spektralnej przy zachowaniu wysokiej jakości przestrzennej, (3) metodyka integracji obrazów w kontekście poprawy jakości przestrzennej. Opracowane metodyki były potwierdzaniem postawionych w pracy trzech dodatkowych hipotez badawczych, związanych z modyfikacją obrazu panchromatycznego w celu uzyskania poprawy jakości spektralnej i przestrzennej obrazów wynikowych. Przeprowadzone badania ściśle nawiązywały do postawionej tezy. W pracy autorka miała wkład w sformułowaniu uzasadnienia badawczego (publikacja 1), opracowała oraz później udoskonaliła dwuetapową metodykę fuzji obrazów o niestandardowym stosunku rozdzielczości przestrzennej, wliczając w to modyfikację obrazu panchromatycznego (publikacja 2 oraz 3) oraz metodę modyfikacji obrazu panchromatycznego poprzedzającą integrację różnorozdzielczych obrazów satelitarnych wraz z opracowaniem autorskiego wskaźnika do oceny przestrzennej wyników integracji obrazów

(publikacja 4). Wszystkie opracowane przez Autorkę metodyki integracji obrazów były szczegółowo zbadane, analizowane oraz zweryfikowane, z wykorzystaniem metod ilościowych oraz jakościowych. W każdej metodyce jednoznacznie można wyodrębnić opracowaną autorską metodę modyfikacji obrazu panchromatycznego. Należy przy tym nadmienić, że Autorka potrafiła również krytycznie odnieść się do wyników badań, co świadczy o jej dojrzałości w rozwiązywaniu problemów naukowych.

W mojej opinii, opierając się na analizie zagadnień naukowych realizowanych w rozprawie, Autorka rozwiązała w prawidłowy sposób postawione problemy badawcze, opracowała nowe metodyki polepszania jakości spektralnej i przestrzennej integrowanych obrazów o niestandardowym stosunku jakości przestrzennej, w tym metody modyfikacji obrazu panchromatycznego, poprzez co potwierdziła też postawioną w rozprawie tezę i zrealizowała założone cele. Uważam także, że wyżej wymienione metodyki na tle istniejących oraz powszechnie wykorzystywanych metod wyostrażania obrazów są oryginalne oraz są nowością w zakresie fuzji zobrazowań teledetekcyjnych. Potwierdzeniem ich oryginalności jest również opublikowanie ich w renomowanych czasopismach (*Remote Sensing* oraz *Sensors*).

3. Uzasadnienie podjętych badań

Uzasadnieniem podjęcia badań były niezadawalające wyniki integracji obrazów z wykorzystaniem powszechnie stosowanych metod wyostrażania obrazów w przypadku, gdy obrazy posiadały niestandardowy stosunek rozdzielczości przestrzennej. W rozprawie relacje rozdzielczości zostały określone na poziomie 30:0.5 oraz 30:1 (dotyczy badań w publikacji 2, 3 oraz 4). Dane o niższej rozdzielczości (30 m) dotyczyły obrazów rejestrowanych przez satelity środowiskowe *Landsat*. Obecne wyostrażanie obrazów przy zachowaniu wysokiej jakości przestrzennej oraz spektralnej jest możliwe dla standardowych stosunków rozdzielczości, tj. 2:1 - 5:1 i są to zazwyczaj dane komercyjne. Wynikiem badań jest metodyka umożliwiająca otrzymanie obrazów cechujących się wysoką rozdzielczością przestrzenną (na poziomie 0.5 czy 1 m) o lepszej jakości przestrzennej i spektralnej. Na dzień dzisiejszy można zaobserwować stale rosnące zapotrzebowanie na zobrazowania teledetekcyjne o wysokiej rozdzielczości, co również zwiększa możliwości ich zastosowań. Przedstawione rozwiązanie przynosi dużo korzyści nie tylko ekonomicznych, ale również umożliwia przeprowadzenie większej liczby badań naukowych z wykorzystaniem zobrazowań teledetekcyjnych o wysokiej rozdzielczości. Opracowana w rozprawie metodyka może być również punktem odniesienia do kontynuacji dalszych badań w tym kierunku i doskonalenia przedstawionych rozwiązań. W mojej opinii wyniki badań są wartościowe, są przydatne zarówno w aspekcie naukowym jak również można je wykorzystać praktycznie (np. zwiększenie potencjału interpretacyjnego obrazów, opracowanie danych wektorowych, przeprowadzanie analiz przestrzennych).

W związku z powyższym podjęcie przez Autorkę badań mających na celu opracowanie obrazów o wysokiej rozdzielczości z wykorzystaniem ogólnie dostępnych danych posiadających znacznie niższą rozdzielczość jest bez wątpienia uzasadnione.

4. Uwagi ogólne i szczegółowe

Czytając rozprawę niewątpliwie można odnieść wrażenie jej spójności w zakresie tematyki oraz przeprowadzonych badań. Jednak w moim odczuciu zabrakło zwartego usystematyzowania metod badania jakości obrazów. Dotyczy to m. in. wskaźników czy powiązanych z nimi tzw. protokołów Walda, Zhou, QRN czy Khan'a. W przedłożonej rozprawie różne metody są zamieszczane w kolejnych publikacjach, wliczając w to odwołania do pozycji literaturowych, co trochę utrudnia analizę pracy. Kolejna uwaga dotyczy korekcji atmosferycznej. Z jednej strony Autorka argumentuje pominięcie korekcji atmosferycznej tym, aby nie wprowadzać dodatkowych zniekształceń do modyfikowanego obrazu panchromatycznego, a z drugiej podtrzymuje racjonalność jej stosowania w przypadku wykonywania analiz. Dodatkowo stwierdza, że korekcja atmosferyczna powinna zwiększyć jakość spektralną modyfikowanego obrazu panchromatycznego (publikacja nr 3). Poprosiłbym w taki razie o bardziej precyzyjne stanowisko Autorki odnośnie stosowania bądź nie stosowania korekcji atmosferycznej w proponowanym rozwiązaniu. Kolejna uwaga dotyczy oceny wizualnej, opartej na załączonych w pracy fragmentach obrazów. Ze względu na ich wielkość, dostosowaną zapewne do wymogów edytorskich artykułów, trudno czasami jednoznacznie porównać wzrokowo prezentowane obrazy. Prosiłbym na obronie rozprawy o lepszą wizualizację prezentowanych obrazów, tzn. tak dostosowanie skali czy dobrania ich fragmentów, aby omawiane różnice pomiędzy obrazami były dobrze widoczne. Analizując aspekt praktyczny,

nasuwa się pytanie związane z pewną uniwersalnością metody. W badaniach przyjęto w zasadzie stały przedział relacji pomiędzy rozdzielczością obrazu panchromatycznego a obrazami *Landsat*. W związku z powyższym, czy można oczekiwać, że opracowana metoda sprawdzi się dla innych niestandardowych przypadków rozdzielczości pomiędzy obrazem panchromatycznym a kanałami spektralnymi ?

Z uwag szczegółowych dla części pierwszej rozprawy należy wymienić:

- błędy redakcyjne w postaci niestandardowych znaków graficznych na stronie 26 (linijka tekstu nr 2, 12, a szczególnie nieczytelny zapis równania nr 2)
- odniesienie się na stronie 43 do publikacji 2 zamiast 3 (linijka tekstu 4 oraz 8)
- rozbieżność w deklaracji wkładu własnego w publikacji nr 3. W pierwszej części rozprawy jest deklaracja na poziomie 85%, natomiast w oświadczeniu – 80%
- Autorka w pierwszej części odwołuje się do publikacji *Viana-Bojra i Ortega Sanchez (2019)* oraz *Vivone et al. (2015)*, których nie ma w końcowym wykazie literatury.

5. Wniosek końcowy

Po zapoznaniu się z rozprawą doktorską mgr inż. Aleksandry Sekreckiej w postaci opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych stwierdzam zgodnie z obowiązującą Ustawą, że prezentuje ona odpowiednią wiedzę teoretyczną do zakresu podejmowanych badań w dyscyplinie naukowej inżynieria lądowa i transport. Przedstawione uwagi ogólne oraz szczegółowe nie umniejszają zasadniczo wartości rozprawy. Przedłożona praca posiada właściwą strukturę oraz poziom edytorski. Teza, cele pracy zostały sformułowane w sposób prawidłowy, opracowane metodyki zostały szczegółowo zweryfikowane. Cykl publikacji jest spójny tematycznie. Przedstawione w rozprawie badania oraz ich wyniki potwierdzają umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez mgr. inż. Aleksandrę Sekrecką. Uważam, że opracowana w rozprawie metodyka, w tym modyfikacja obrazu panchromatycznego w kontekście poprawy wyników integracji różnorozdzielczych zobrażeń satelitarnych, są oryginalnym rozwiązaniem problemu naukowego. W związku z powyższym wnoszę o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

