

dr hab. inż. Sławomir Mikrut, prof. AGH
Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska
Katedra Fotogrametrii, Teledetekcji Środowiska i Inżynierii Przestrzennej
Al. Mickiewicza 30
30-059 Kraków
smikrut@agh.edu.pl

Kraków, 10 września 2024 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej por. mgr inż. Kingi Karwowskiej

na temat:

Opracowanie metodyki podwyższenia rozdzielczości przestrzennej zobrazowań z małych satelitów z zastosowaniem algorytmów sztucznej inteligencji

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Formalną podstawą opracowania recenzji jest pismo Pana Płk. Prof. dr hab. inż. Michała Kędzierskiego – przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej - Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Wojskowej Akademii Technicznej z dnia 10 lipca 2024 r.

Promotorem rozprawy doktorskiej był Pan dr hab. inż. Damian Wierzbicki, prof. WAT.

2. Przedstawienie informacji o ocenianej rozprawie doktorskiej

2.1 Ocena istotności i aktualności tematu

Rozprawa doktorska Pani por. mgr inż. Kingi Karwowskiej została przygotowana w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport i dotyczy opracowania innowacyjnych metod poprawy rozdzielczości przestrzennej obrazów pozyskiwanych przez małe satelity.

Praca podejmuje aktualny i niezwykle istotny problem w kontekście rosnącego zapotrzebowania na tanie, wydajne systemy satelitarne do obserwacji Ziemi, które mają jednak ograniczenia wynikające z niskiej jakości optyki. Doktorantka opracowała zaawansowane metody oparte na sztucznej inteligencji, w szczególności na generatywnych sieciach przeciwnych (GAN), które pozwalają na znaczne podniesienie rozdzielczości obrazów.

Jak słusznie zauważyła na wstępie pracy od roku 2000 zostało wyniesionych na orbitę 1250 satelitów obserwacyjnych (z czego 60% w latach 2018-2022), a tym 70 % to satelity nano, mikro czy mini. Z racji ich niedużych rozmiarów ograniczeniem jest matryca o małych wymiarach oraz niedoskonałość teleskopów co obniża rozdzielczość obrazów. Koniecznym zatem staje się podwyższanie ich rozdzielczości. Może to mieć bardzo duże znaczenie szczególnie z zakresie obronności kraju, gdzie obrazy wysokorozdzielcze (z własnych małych satelitów) pozwolą na uzyskanie przewagi „w polu”. Jak prognozują znani geopolitycy – w potencjalnej kolejnej wojnie światowej kluczem mogą być technologie kosmiczne w tym zobrazenia satelitarne. Małe satelity będą kluczowe z racji możliwości ich szybkiej wymiany (proces produkcji, wystrzelania, korekty itp). Rozdzielczość obrazów będzie dawać przewagę. Z tego względu wyniki pracy uważam za bardzo istotne z punktu widzenia strategicznego kraju. Podjęta tematyka w mojej opinii jest zatem niezmiernie istotna, ze względu na rozwój zaawansowanych algorytmów jak również badań w dziedzinie przetwarzania obrazów. Są to badania interdyscyplinarne obejmujące kilka dziedzin takich jak: przetwarzanie danych obrazowych, pozycjonowanie i nawigacja czy sztuczna inteligencja.

Uważam, że podjęty w rozprawie problem jest aktualny i ważny, a także bardzo mocno osadzony w praktyce.

2.2 Cel i hipoteza rozprawy doktorskiej

Doktorantka w swojej pracy zdefiniowała cel główny pracy (CG) jako:
opracowanie metodyki wykorzystującej algorytmy sztucznej inteligencji na potrzeby podwyższenia rozdzielczości przestrzennej oraz poprawy potencjału interpretacyjnego zobrazowań z małych satelitów.

Do tego podała cztery problemy badawcze (str. 14-15), które dotyczyły:

1. zastosowania metod bazujących jedynie na obrazach o niskiej rozdzielczości przestrzennej,
2. niedostosowania istniejących metod SISR do poprawy rozdzielczości przestrzennej całych zobrazowań satelitarnych,
3. uodpornienia generatywnej sieci przeciwstawnej na zjawisko znikających lub eksplodujących gradientów,
4. właściwej oceny obrazów, których rozdzielczość przestrzenna została podwyższona za pomocą metod SISR.

Problemy badawcze zostały uzupełnione o cele szczegółowe (CS), które miały pomoc w realizacji celu głównego (CG). Zostały podane na str. 16 pracy jako:

- CS.1. przygotowanie charakterystyki obszaru badawczego,
- CS.2. opracowanie metodyki przetwarzania całych zobrazowań satelitarnych w zagadnieniach automatycznej interpretacji zobrazowań,
- CS.3. opracowanie strategii budowy bazy danych do uczenia sieci GAN odpowiedzialnych za poprawę rozdzielczości przestrzennej,
- CS.4. wybór funkcji straty, uwzględniając jej odporność na zjawisko znikających gradientów,
- CS.5. opracowanie zbioru metod oceny jakości działania algorytmów poprawy rozdzielczości przestrzennej obrazów cyfrowych,
- CS.6. opracowanie metodyki poprawy rozdzielczości sekwencji obrazów pozyskanych przez małe satelity.

Uwzględniając powyższe założenia Doktorantka na stronie 16 rozprawy zdefiniowała główną hipotezę badawczą, która brzmi:

Zastosowanie odpowiednio dobranych i wytrenowanych generatywnych sieci przeciwstawnych (GAN) pozwoli na opracowanie metodyki podwyższania rozdzielczości przestrzennej zobrazowań z małych satelitów.

Do przedstawionej tezy badawczej Doktorantka podała (na stronie 17) następujące hipotezy pomocnicze:

H1. Klasyczne metody poprawy rozdzielczości przestrzennej zobrazowań satelitarnych zazwyczaj nie znajdują zastosowania w przypadku zobrazowań pozyskanych przez małe satelity.

H2. Podział zobrazowań satelitarnych na mniejsze fragmenty (kafelki), przetworzenie ich przez sieć konwolucyjną (dla zagadnień automatycznej interpretacji zobrazowań), a następnie ponowne połączenie fragmentów obrazu w jedno zobrazowanie za pomocą okien czasowych umożliwia przetwarzanie zobrazowań o dowolnym rozmiarze.

H3. Przygotowanie bazy danych obrazów składającej się z fragmentów zobrazowań satelitarnych o różnej rozdzielczości przestrzennej ogranicza występowanie zjawiska znikających gradientów, a w konsekwencji ma korzystny wpływ na stabilność treningu sieci generatywnych.

H4. Zastosowanie dyskryminatora wielokolumnowego umożliwia lepszą ocenę obrazów na etapie treningu sieci generatywnej. Ponadto wykorzystanie strat Wassersteina pozwala na lepsze odróżnienie obrazów o wysokiej rozdzielczości od obrazów rekonstruowanych, co dodatkowo poprawia jakość treningu generatora, a w konsekwencji jakość obrazów rekonstruowanych (SR).

H5. Rozbudowanie architektury generatora o architekturę koder-dekoder wykorzystującą połączenia pomijające (ang. *skip connection*), pozwala na lepszą rekonstrukcję tekstury obrazu, a w konsekwencji dodatkowo poprawia możliwości interpretacyjne obrazów SR.

Tak sformułowana hipoteza badawcza oraz przyjęte hipotezy pomocnicze w mojej opinii świadczą o prawidłowym sposobie planowania badań. Doktorantka dążąc do osiągnięcia celu głównego, realizowała po kolei cele pośrednie, kończąc je odpowiednimi publikacjami, aby tym

samym udowodnić postawioną tezę badawczą poprzez udowodnienie po kolei szczegółowych hipotez badawczych.

Na stronie 22 i 23 Autorka zaprezentowała przejrzyste zestawienie celów szczegółowych wraz z metodami i sposobami ich rozwiązania oraz ich odniesienie do hipotez badawczych. Ta tabela bardzo ułatwiła zrozumienie powiązań i stanowi bardzo czytelny obraz przyjętej metodyki. Tak skonstruowana metodyka badawcza świadczy o dobrym przygotowaniu Doktorantki do prowadzenia eksperymentów.

Skutkiem tego było opracowanie autorskiej metody wykorzystującej algorytmy sztucznej inteligencji na potrzeby podwyższenia rozdzielczości przestrzennej oraz poprawy potencjału interpretacyjnego zobrazowań z małych satelitów.

Metoda ta została zweryfikowana wykonanymi analizami co potwierdziło prawidłowość stawianych hipotez.

Zdefiniowane głównego celu badawczego oraz celów szczegółowych (zadań badawczych) stanowią w mojej opinii spójną całość potwierdzoną badaniami opisanymi w załączonych publikacjach.

Celem zweryfikowania celów badawczych Doktorantka zebrała dostępne materiały, prawidłowo przeprowadziła eksperymenty badawcze oraz opisała je bardzo szczegółowo dobrych czasopismach. Założone osiągnięcie naukowe miało zostać udowodnione poprzez przeprowadzone eksperymenty badawcze na podstawie odpowiednio zebranych materiałów oraz przyjętej metodyce badawczej.

W mojej opinii postawiony w rozprawie cel pracy oraz problemy i hipotezy badawcze zostały postawione prawidłowo, a wykazanie ich słuszności ma zarówno aspekt poznawczy jak i duże znaczenie praktyczne.

2.3 Układ i treść rozprawy

Rozprawa doktorska jest cyklem spójnych tematycznie publikacji poprzedzonych wprowadzeniem. Składa się z czterech artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych znajdujących się na liście Ministerstwa Edukacji i Nauki oraz w raportach JCR (ang. *Journal Citation Reports*) i zawiera w kolejności:

- streszczenie w języku polskim i angielskim,
- wykaz użytych skrótów wraz z objaśnieniami,
- wprowadzenie (**rozdział 1**),
- tytuł rozprawy, cel, hipoteza, cykl publikacyjny (**rozdział 2**)
- metodyka badawcza i schemat postępowania (**rozdział 3**)
- metody szczegółowe i badawcze (**rozdział 4**)
- podsumowanie i wnioski (**rozdział 5**),
- literaturę,
- **wykaz załączników** wraz z wydrukowanymi czterema publikacjami cyklu,
- **oświadczenia** o wkładzie w publikację.

Cały oprawiony dokument składa się ze 164 stron. Po stronie tytułowej, streszczeniu w języku polskim i angielskim oraz wykazie użytych skrótów, znajduje się rozdział 1 – „Wprowadzenie”, który jest na 4 stronach, następnie rozdział 2- „Tytuł rozprawy, cel, hipoteza, cykl publikacyjny” (6 stron), „Metodyka badawcza i schemat postępowania” (4), „Metody szczegółowe i badawcze” (34), „Podsumowanie i wnioski” (3), „Literatura” (6) która zawiera 64 pozycje z czasopism polskich i zagranicznych oraz na końcu jako załącznik wydrukowane zostały Publikacje z cyklu (89) oraz oświadczenia o współautorstwie (8).

W rozdziale pierwszym „Wprowadzenie”, Doktorantka podaje znaczenie podjętego tematu. W rozdziale drugim podaje tytuł rozprawy, cel, hipotezę oraz cykl publikacyjny. Następnie jest metodyka badawcza i schemat postępowania. Rozdział czwarty to metody szczegółowe i badawcze. W nim jest streszczenie czterech publikacji stanowiących cykl.

W rozdziale piątym bardzo dobrze i syntetycznie dokonano podsumowania całego cyklu publikacji. Jako załącznik (od 1 do 4) dodano wydruki publikacji, składających się na niniejszą rozprawę.

Cykl publikacji składa się z czterech pozycji opublikowanych w wysoko punktowanych czasopismach:

P.1. **Karwowska K.** (80%), Wierzbicki D. (20%), 2022, *Using Super-Resolution Algorithms for Small Satellite Imagery: A Systematic Review*, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol. 15, pp. 3292-3312, DOI: 10.1109/JSTARS.2022.3167646.

P.2. **Karwowska K.** (80%), Wierzbicki D. (20%), 2022, *Improving Spatial Resolution of Satellite Imagery Using Generative Adversarial Networks and Window Functions*, Remote Sensing, 14(24):6285, DOI: 10.3390/rs14246285.

P.3. **Karwowska K.** (80%), Wierzbicki D. (20%), 2023, *MCWESRGAN: Improving Enhanced Super-Resolution Generative Adversarial Network for Satellite Images*, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol. 16, pp. 9459-9479, DOI: 10.1109/JSTARS.2023.3322642.

P.4. **Karwowska K.** (80%), Wierzbicki D. (20%), 2024, *Modified ESRGAN with Uformer for Video Satellite Imagery Super-Resolution*, Remote Sensing, 16(11):1926. doi: 10.3390/rs16111926.

Prezentowane publikacje stanowią w mojej opinii zwarty cykl tematyczny dobrze zdefiniowany tytułem rozprawy. Wszystkie cztery prace są napisane w składzie dwuosobowym. We wszystkich czterech publikacjach udział Doktorantki jest znaczny i wynosi 80%. Artykuły są opublikowane w dobrych czasopismach naukowych:

- dwa w „Remote Sensing” (*Impact Factor*=5,0),
- dwa w „IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing” (*Impact Factor* = 3,8 oraz 5,5)

z punktacjami odpowiednio 100 i 140 pkt. wg aktualnej punktacji MEiN.

Publikacje odnoszą się do czterech rozpatrywanych w cyklu problemów badawczych:

- problem badawczy 1: klasyczne metody poprawy rozdzielczości przestrzennej nie pozwalają na poprawę możliwości interpretacyjnych zobrazowań pozyskanych przez małe satelity – P1, P2, P3, P4;
- problem badawczy 2: istniejące metody SISR nie są dostosowane do poprawy rozdzielczości przestrzennej obrazów o dużym rozmiarze – P2;
- problem badawczy 3: istniejące metody poprawy rozdzielczości przestrzennej wykorzystujące sieci GAN, charakteryzują się niestabilnym procesem uczenia – P4;
- problem badawczy 4: brak właściwych metod oceny zobrazowań satelitarnych, których rozdzielczość przestrzenna została poprawiona za pomocą algorytmów wykorzystujących głębokie sieci neuronowe – P3;

Publikacja pierwsza (P1) zawiera szczegółowy przegląd metod poprawy rozdzielczości przestrzennej obrazów cyfrowych. Publikacja druga (P2) przedstawia opis metodyki mozaikowania scen satelitarnych za pomocą okien czasowych. W publikacji trzeciej (P3) zaprezentowany został model GAN pozwalającej na poprawę rozdzielczości przestrzennej zobrazowań satelitarnych oraz przedstawiony został zbiór metod, dzięki któremu możliwa jest rzetelna ocena obrazów SR. Natomiast w publikacji czwartej (P4) zaprezentowano metodykę poprawy rozdzielczości przestrzennej sekwencji obrazów pozyskanych przez małe satelity.

Wspólnym mianownikiem wszystkich publikacji jest dogłębna analiza literaturowa oraz eksperymenty badawcze, których wyniki dążą do optymalizacji procesu przetwarzania danych i podnoszenia dokładności. Ponieważ publikacje są w dobrych czasopismach naukowych, trudno odnosić się do nich krytycznie. Doktorantka w autoreferacie szeroko opisała przeprowadzone eksperymenty badawcze oraz udowodniła na ich podstawie prawidłowość postawionej hipotezy badawczej.

W mojej opinii cel pracy oraz hipoteza badawcza zostały osiągnięte.

2.4 Uwagi merytoryczne:

2.4.1 Ocena wartości naukowej rozprawy

Doktorantka w swojej pracy precyzyjnie zdefiniowała problemy badawcze i cele. Główne zagadnienie, które stara się rozwiązać w pracy, dotyczy ograniczeń małych satelitów w kontekście niskiej rozdzielczości przestrzennej pozyskiwanych obrazów. Satelity, mimo że są tańsze i bardziej dostępne, nie są w stanie dostarczać danych o wystarczająco wysokiej jakości, co ogranicza ich wykorzystanie w wielu zaawansowanych analizach geoprzestrzennych.

Celem pracy było zatem opracowanie odpowiedniej metodyki poprawy rozdzielczości tych zobrażeń z zastosowaniem algorytmów sztucznej inteligencji. Hipotezy badawcze dotyczące zastosowania generatywnych sieci przeciwstawnych (GAN) do poprawy rozdzielczości obrazów zostały w pracy jasno postawione, a ich realizacja została dobrze uzasadniona.

Autorka trafnie zauważyła, że tradycyjne metody, takie jak pansharpening czy interpolacja, nie są wystarczające w kontekście małych satelitów, co wskazuje na potrzebę opracowania bardziej zaawansowanych rozwiązań opartych na głębokim uczeniu.

Praca wnosi istotny wkład zarówno w teorię, jak i praktykę przetwarzania zobrażeń satelitarnych. Od strony teoretycznej, Doktorantka rozwinęła koncepcję generatywnych sieci przeciwstawnych, dodając do nich elementy, takie jak wielokolumnowy dyskryminator oraz zmodyfikowana architektura koder-dekoder. To nowatorskie podejście przyczynia się do rozwoju metod poprawy rozdzielczości obrazów satelitarnych.

Praca otwiera nowe możliwości w zakresie analizy danych geoprzestrzennych, które mogą być kluczowe w obszarze bezpieczeństwa narodowego oraz monitorowania zmian w środowisku.

Metodyka badawcza zastosowana w rozprawie jest dobrym poziomem. Praca opiera się na szerokim przeglądzie literatury oraz zastosowaniu zaawansowanych narzędzi informatycznych.

W mojej opinii wartością naukową pracy i jej wkład w rozwój dyscypliny naukowej **Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport** jest opracowanie autorskiej metody obejmującej elementy takie jak:

- podział obrazów na mniejsze fragmenty (kafelki), które są następnie przetwarzane przez sieć neuronową w celu poprawy rozdzielczości,
- poprawa rozdzielczości za pomocą sieci GAN, w tym wykorzystanie wielokolumnowego dyskryminatora oraz funkcji straty Wassersteina,
- łączenie zrekonstruowanych kafelków w spójny obraz, przy zastosowaniu okien czasowych takich jak Hann, Hann-Poisson, Bartlett-Hann czy Triangular.

Podejście to jest nowatorskie i stanowi ważny krok w kierunku automatycznej interpretacji obrazów satelitarnych. Doktorantka przeprowadziła również trzyetapową ocenę jakości obrazów o super rozdzielczości (SR), co pozwala na bardziej kompleksową analizę wyników.

Warto również podkreślić, że zaproponowana metodyka została zweryfikowana na różnych etapach i z użyciem wielu wskaźników oceny jakości, takich jak PSNR czy SSIM, co podnosi wiarygodność wyników. Doktorantka wykazała, że zaproponowana przez nią metodyka pozwala na czterokrotną poprawę rozdzielczości przestrzennej obrazów oraz co najmniej dwukrotny wzrost możliwości interpretacyjnych obrazów. Jest to niezwykle istotne w kontekście zastosowań praktycznych, szczególnie w dziedzinach takich jak rozpoznawanie obrazowe w wojsku, zarządzanie kryzysowe czy monitorowanie zmian w środowisku naturalnym.

Analiza wyników została wykonana szczegółowo i jest podparta solidną dokumentacją, w tym eksperymentami opublikowanymi w renomowanych czasopismach naukowych o wysokim współczynniku „Impact Factor”. Szczególnie godne uwagi są wyniki dotyczące zwiększenia efektywności algorytmu dzięki zastosowaniu sieci GAN oraz poprawy jakości generowanych obrazów przez zastosowanie architektury koder-dekoder.

Podjęty przez Doktorantkę temat jest zagadnieniem podejmowanym przez szereg jednostek naukowo-badawczych na całym świecie, ale proponowane rozwiązanie jest wysoce

nowatorskie. Doktorantka dzięki swojej wiedzy i doświadczeniu badawczym poradziła sobie dobrze z tym nowym i trudnym problemem.

Odniesienie do literatury światowej podane w pracy jest na wysokim poziomie i wskazuje, że Doktorantka dobrze zna zarówno prace klasyczne, jak i najnowsze światowe trendy. To świadczy o solidnym przygotowaniu merytorycznym i zakorzenieniu pracy w szerokim kontekście badań międzynarodowych.

2.4.2 Uwagi krytyczne

W mojej opinii rozprawa jest na wysokim poziomie merytorycznym, można jednak rozważyć kilka potencjalnych obszarów do dyskusji.

- W pracy brakuje szerszej dyskusji na temat rzeczywistych zastosowań zaproponowanych metod w konkretnych scenariuszach. Więcej przykładów zastosowań praktycznych mogłoby lepiej zobrazować użyteczność zaproponowanych rozwiązań.
- Doktorantka wspomina w autoreferacie o obrazach panchromatycznych czy wielospektralnych, a nie wspomina o najnowszych rozwiązaniach technologicznych związanych z obrazowaniem hiperspektralnym, a sensory te dają jeszcze większe możliwości w zakresie analiz mając do dyspozycji kilkaset kanałów spektralnych. Czy zwiększenie liczby kanałów do wielkości hiperspektralnych może poprawić sprawność algorytmu ?
- Doktorantka porównuje swoje wyniki z wybranymi metodami. Proponuje pokazać wyższość zaproponowanych rozwiązań szczególnie w aspektach praktycznych.

Bardzo proszę o rozwinięcie tych punktów podczas publicznej obrony.

2.4.3 Formalna ocena pracy, uwagi edytorskie, językowe, redakcyjne i inne

Autoreferat napisany jest bardzo dobrym językiem, układ i struktura dokumentu jest przejrzysta. Praca jest również bardzo staranna i dobrze przygotowana od strony edytorskiej, czytelna. Każdy rozdział jest logicznie powiązany z poprzednim, a wnioski są wyciągane na podstawie solidnych analiz i opisów. Bibliografia pracy obejmuje szeroki zakres literatury naukowej, zarówno z dziedziny algorytmów sztucznej inteligencji jak i technik przetwarzania obrazów satelitarnych. Wszystkie cytaty i odniesienia są poprawnie przedstawione, a język pracy jest klarowny i zrozumiały.

Zdarzają się literówki. Ciekawostką jest anglojęzyczna publikacja (P1), w której we wzorze nr 6 opis jest w języku polskim (cyt. „0 dla pozostałych wartości”), ale to raczej błąd edytora, który dopuścił ten błąd do publikowania. Jednym z mankamentów autoreferatu są małe schematy (rys. 4.7 i 4.8), które w wersji wydrukowanej są niewidoczne.

3. Wniosek końcowy

Rozprawa doktorska Pani por. mgr inż. Kingi Karwowskiej stanowi wartościowy wkład w rozwój metod poprawy rozdzielczości przestrzennej obrazów satelitarnych. Praca łączy nowatorskie podejście oparte na sztucznej inteligencji z praktycznym zastosowaniem w kontekście małych satelitów, co jest niezwykle istotne w obecnych czasach, kiedy rośnie znaczenie tanich i efektywnych systemów obserwacji Ziemi.

Doktorantka w swojej pracy wykazała się odpowiednią wiedzą teoretyczną oraz praktyczną. Wykazała, że posiada duże umiejętności samodzielnego prowadzenia interdyscyplinarnego eksperymentu naukowego i prawidłowego interpretowania wyników.

Cel główny oraz cele szczegółowe zostały osiągnięte i zostały potwierdzone w eksperymentach opublikowanych w dobrych czasopismach naukowych.

Materiał badawczy oraz metodyka badawcza prawidłowo dobrana pozwoliła udowodnić cel główny rozprawy. Praca składa się z kilku wątków badawczych. Doktorantka dobrze poradziła sobie z rozbiciem ich na osobne zadania badawcze, prawidłowo zdefiniowała cele szczegółowe, zaprojektowała i wykonała eksperymenty.

Wykazała się dobrym warsztatem naukowym, dobierając odpowiednie metody badawcze, poradziła sobie z interdyscyplinarnością rozwiązywanych problemów, udowodniła, że potrafi analizować i oceniać uzyskane rezultaty oraz formułować poprawne wnioski.

Stwierdzam zatem, że recenzowana rozprawa doktorska, na którą składa się cykl czterech współautorskich publikacji Pani por. mgr inż. **Kingi Karwowskiej** pt. ***"Opracowanie metodyki podwyższenia rozdzielczości przestrzennej zobrazowań z małych satelitów z zastosowaniem algorytmów sztucznej inteligencji"*** spełnia wymagania zawarte w ustawie *"O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki"* z dnia 20 lipca 2018 r., art. 187, z późniejszymi zmianami.

Stawiam zatem wniosek o przyjęcie przedłożonej rozprawy doktorskiej i dopuszczenie Pani por. mgr inż. Kingi Karwowskiej do następnych etapów przewidzianych w przepisach o przewodach doktorskich.

Ponieważ przedłożona praca stanowi oryginalne osiągnięcie naukowe i bardzo dobrze wpisuje się w najnowsze trendy stosowane w przetwarzaniu i analizie obrazów bazujące na metodach sztucznej inteligencji, a proponowane rozwiązanie ma również bardzo duże znaczenie praktyczne szczególnie dla obronności kraju **wnoszę zatem o wyróżnienie pracy.** Doktorantka potwierdziła swoimi badaniami przydatność tych rozwiązań otrzymując jednocześnie bardzo dobre rezultaty.

W mojej opinii Doktorantka wnosi do dyscypliny naukowej - Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport swoje innowacyjne osiągnięcie naukowe w postaci opracowania metodyki wykorzystującej algorytmy sztucznej inteligencji na potrzeby podwyższenia rozdzielczości przestrzennej oraz poprawy potencjału interpretacyjnego zobrażeń z małych satelitów.

Doktorantka wykazała, że zaproponowana przez nią metodyka pozwala na czterokrotną poprawę rozdzielczości przestrzennej zobrażeń oraz co najmniej dwukrotny wzrost możliwości interpretacyjnych obrazów.



dr hab. inż. Sławomir Mikrut, prof. AGH

Kraków, 10 września 2024 r.