

Dr hab. inż. Dariusz Król, prof. uczelni  
Katedra Informatyki Stosowanej  
Wydział Informatyki i Telekomunikacji  
Politechnika Wrocławska  
E-mail: [Dariusz.Krol@pwr.edu.pl](mailto:Dariusz.Krol@pwr.edu.pl)

**Recenzja rozprawy doktorskiej**  
**mgr. inż. Tomasza Tarasiewicza**  
**pt. „Multi-image super-resolution reconstruction**  
**using deep graph neural networks”**

Niniejsza recenzja została przygotowana w odpowiedzi na pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja Politechniki Śląskiej prof. dr. hab. inż. Andrzeja Polańskiego otrzymanego 26 października 2023 roku.

**1. Kompozycja i treść rozprawy**

Recenzowana rozprawa mgr. inż. Tomasza Tarasiewicza pt. „Multi-image super-resolution reconstruction using deep graph neural networks” została przygotowana pod kierunkiem promotora dr. hab. inż. Michała Kawuloka, profesora Politechniki Śląskiej. Obejmuje 134 strony tekstu, siedem rozdziałów, spis literatury z 170 pozycjami, listy rysunków, tabel, skrótów i akronimy.

Rozprawa koncentruje się na problemach wieloobrazowej rekonstrukcji nadrozdzielczej z wykorzystaniem głębokich grafowych sieci neuronowych. Celem pracy jest zbadanie, jak techniki oparte na sieciach grafowych mogą przyczynić się do poprawy jakości rekonstrukcji obrazów w

porównaniu z obecnie najczęściej stosowanymi metodami opartymi na konwolucyjnych sieciach neuronowych. Najbardziej istotnymi opracowanymi rozwiązaniami w niniejszej pracy są:

- opracowane modele zdolne do przetwarzania grafów wygenerowanych z obrazów o niskiej rozdzielczości w celu stworzenia obrazu o wysokiej rozdzielczości, zawierającego więcej detali w porównaniu z poszczególnymi obrazami wejściowymi,
- przeprowadzenie szeregu eksperymentów na danych symulowanych i rzeczywistych, pokazujących, że proponowane modele osiągają konkurencyjną wydajność w porównaniu z wiodącymi, prezentowanymi w literaturze, modelami wieloobrazowej rekonstrukcji nadrozdzielczej,
- analiza wymagań czasowych i pamięciowych, która umożliwiła ocenę wydajności obliczeniowej oraz skalowalności proponowanej metody.

Oceniając tytuł rozprawy, tj. „Multi-image super-resolution reconstruction using deep graph neural networks”, należy stwierdzić, iż został on sformułowany we właściwy sposób, a zakres merytoryczny zaprezentowanych analiz i badań w pełni odpowiada tytułowi.

Trzy tezy rozprawy zostały sformułowane poprawnie, choć w szczególności teza 2 pozostawiła pewien niedosyt w zakresie jej uzasadnienia. Poza krótkim opisem problemu badawczego zawartym w rozdz. pierwszym i drugim brakuje szerszego wyjaśnienia, z jakiego powodu Autor zdecydował się na takie, a nie inne rozwiązania architektoniczne. W tym kontekście pewien niedostatek stanowi brak podsumowań kolejnych rozdziałów, które mogłyby referować krytyczną analizę oraz przedstawienie argumentów stojących za przyjętym sposobem prowadzenia badań. Podsumowanie ujęte w rozdz. siódmym zawiera listę najważniejszych osiągnięć w kontekście postawionych tez badawczych. Z dużym rozmachem, co oceniam bardzo pozytywnie, pokazuje szerokie spojrzenie na potencjalne obszary dalszych badań i zastosowań. Brakuje natomiast podsumowującej dyskusji na temat ograniczeń zaproponowanych rozwiązań.



## **2. Problem badawczy i jego znaczenie**

Tematyka rozprawy obejmuje badania nad mechanizmem rekonstrukcji nadrozdzielczej. Głównym problemem podjętym w pracy jest próba odpowiedzi na pytanie, jak techniki oparte na sieciach grafowych mogą przyczynić się do poprawy jakości tworzonych w ten sposób obrazów.

Podjęta problematyka uważana jest za jeden z ważniejszych obszarów i kierunków rozwojowych przetwarzania obrazów, w szczególności w takich dziedzinach jak medycyna, teledetekcja czy fotografia cyfrowa, które łączą informatykę z głębokim rozumieniem danych rzeczywistych. Te i jeszcze inne argumenty za tym, iż oceniana praca dotyczy istotnych problemów badawczych w informatyce, znajdują się przede wszystkim w rozdziale pierwszym i drugim.

W uproszczeniu można powiedzieć, że recenzowana rozprawa ma charakter przede wszystkim konstrukcyjno-symulacyjny. Jednoznacznie świadczą o tym rozdziały trzeci, czwarty, piąty i szósty. Problem, któremu poświęcona jest rozprawa, jego rozwiązanie w postaci efektywniejszych metod, może mieć duże znaczenie praktyczne.

Uważam, że opiniowana rozprawa podejmuje ważny i aktualny problem. Podjęcie przedstawionej problematyki jest uzasadnione zarówno ze względów poznawczych, jak i potencjalnych możliwości wielu praktycznych zastosowań.

## **3. Oryginalne osiągnięcia**

Do najważniejszych osiągnięć rozprawy, decydującymi o wartości teoretycznej i praktycznej, wyróżniających je spośród dostępnych w literaturze przedmiotu, można zaliczyć:

- a) **przeprowadzenie analizy czasowej i pamięciowej modelu MagNA<sub>t</sub>, w tym zidentyfikowanie możliwości optymalizacyjnych, by lepiej pasował dla zastosowań w czasie rzeczywistym,**
- b) **skuteczną ewolucję modelu MagNA<sub>t</sub> poprzez integrację technik inspirowanych istniejącymi wiodącymi modelami MISR opartymi na CNN,**



- c) zwiększenie dokładności rekonstrukcji stanu sceny w wyznaczonym punkcie czasowym poprzez redukcję niespójności wizualnej w oparciu o określone ramy czasowe wiodącego obrazu wejściowego.**

Zgodnie z moją wiedzą w literaturze przedmiotu nie raportowano wcześniej rozwiązań w ten sposób opisanych i zbadanych symulacyjnie.

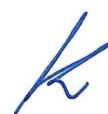
Załączona bibliografia zawiera w zdecydowanej większości prace aktualne, opublikowane w przeciągu ostatnich dwóch dekad. Dzięki temu czytelnik może łatwo ocenić wkład Autora do omawianej dyscypliny.

W moim przekonaniu uważam, że Autor w pełni zrealizował założony cel rozprawy i tym samym wykazał słuszność postawionych trzech tez. Uzyskane rezultaty potwierdzają jego kompetencje z zakresu informatyki technicznej i badań symulacyjnych z wykorzystaniem rzeczywistych zbiorów danych. Dowodzą również, że Autor potrafi podejmować i samodzielnie realizować zaplanowane zadania badawcze.

#### **4. Poprawność**

Badania zostały poprawnie zaplanowane i przeprowadzone. W dostatecznym stopniu przedstawiono w pracy: problem badawczy (rozdział pierwszy i drugi), techniki tworzenia grafu z wielu obrazów oraz sześć modeli MISR bazujących na sieciach grafowych (rozdział trzeci), dane rzeczywiste i symulacyjne (rozdział czwarty), użyte metryki do oceny (rozdział piąty), uzyskane wyniki i porównanie z innymi (rozdział szósty) oraz podsumowanie (rozdział siódmy). W mojej opinii Autor dotrzymał staranności w opracowaniu metod, dzięki czemu wyniki eksperymentów są wiarygodne i interesujące.

Wśród niedostatków rozprawy w pierwszej kolejności należy wymienić brak formalnego opisu modeli i metod. Z tego względu trudno jest w pełni ocenić możliwość wykorzystania proponowanego podejścia w bardziej złożonych przypadkach lub przypadkach o innej



charakterystyce dystrybucji. Tego typu badania pozwoliłyby dokładniej określić najlepszy obszar zastosowań dla opracowanych rozwiązań.

Lektura rozprawy skłania do kilku uwag o charakterze polemicznym. Poniżej zamieszczam listę trzech zauważonych przeze mnie punktów niejasnych lub dyskusyjnych.

- Zasadniczo, praca posiada jedną wadę, którą stanowi brak próby przedstawienia analitycznego podejścia do problemu technik rekonstrukcji nadrozdzielczej, ze szczególnym uwzględnieniem podejść opartych na uczeniu głębokim. Rozprawa, jak już pisałem, ma charakter konstrukcyjno-symulacyjny. Brakuje zdefiniowania modelu matematycznego, który, dla zadanego zbioru kryteriów, przewidywałby zachowanie się metod na poszczególnych etapach. Autor nie podjął wyraźnej próby przeprowadzenia rozważań teoretycznych. Wydaje się, że istnieją pewne formalizmy, które można by spróbować dostosować do specyfiki opisywanych metod. Gwoli ścisłości i na obronę Autora dodać należy, że sformułowanie takiego modelu jest zadaniem trudnym ze względu na złożony i bardzo zróżnicowany charakter wybranych struktur i metod.
- Drugą, ale mniej istotną wadą jest sposób przedstawienia obecnego stanu badań na podstawie analizy literatury, w szczególności braku całościowego systematycznego przeglądu, np. zgodnie ze schematem PRISMA. Zabrakło tutaj pełnej analizy możliwych istotnych czynników wpływu, a nie tylko wybranych czynników: ekstrakcji cech, mechanizmu uwagi czy algorytmów rejestracji.
- Ostatnią widoczną wadą jest brak analizy kluczowych ograniczeń przyjętych w badaniach i potencjalnych rozwiązań alternatywnych, co w rezultacie w pewnych warunkach może spowodować nawet obniżenie jakości rekonstruowanego obrazu. Wprawdzie Autor w podsumowaniu odniósł się do uzyskanych wyników i użył je jako wytycznych do dalszych badań. Jednakże rezultaty analizy ograniczeń zazwyczaj lepiej nadają się do zidentyfikowania luk badawczych czy sformułowania rekomendacji tematów przyszłych badań.

Pod względem redakcyjnym należy zaznaczyć, że rozprawa została przygotowana poprawnie, posiada właściwą strukturę i proporcje. Poziom edycyjny tekstu jest bardzo dobry. Biorąc pod uwagę objętość pracy, liczba pomyłek jest mała i nie umniejsza wartości pracy.

W skrócie do zalet i mocnych stron rozprawy zaliczam udaną weryfikację tez wraz z szczegółowym omówieniem możliwych ulepszeń wydajności i skalowalności. Równocześnie dostrzegam następujące wady i słabe strony rozprawy: brak próby przedstawienia analitycznego rozwiązania problemu, brak analizy kluczowych ograniczeń i rozwiązań alternatywnych. Uważam, że pomimo kilku, sformułowanych powyżej uwag krytycznych opiniowana rozprawa jest udaną próbą, oryginalnego podejścia do zagadnienia. Recenzowana rozprawa spełnia zatem warunki i wymagania odpowiedniej ustawy o tytule i stopniach naukowych w odniesieniu do rozpraw doktorskich.

#### **5. Dorobek naukowy kandydata do stopnia doktora**

Zbiór ośmiu wskazanych w rozdziale pierwszym prac naukowych odzwierciedla wysoki poziom wiedzy i doświadczenia Autora w przedmiotowej tematyce badań. Bogata i umiejętnie cytowana w tych pracach literatura robi bardzo dobre wrażenie. Badania prowadzone w ramach rozprawy były realizowane w ramach grantu European Social Fund (POWR.03.05.00-00-Z305) oraz grantu NCN (2019/35/B/ST6/03006), w których Autor rozprawy był wykonawcą.

Z wymienionego zbioru publikacji należy wyróżnić pracę siódmą i ósmą. Pierwsza z nich została opublikowana 21 września bieżącego roku w prestiżowym czasopiśmie Scientific Data w dostępie open access.

*Kowaleczko, P., Tarasiewicz, T., Ziąja, M. et al. A Real-World Benchmark for Sentinel-2 Multi-Image Super-Resolution. Sci Data 10, 644 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02538-9>*

Druga również została opublikowana.

*T. Tarasiewicz et al., "Multitemporal and Multispectral Data Fusion for Super-Resolution of Sentinel-2 Images," in IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 61, pp. 1-19, 2023, Art no. 5406519, doi: 10.1109/TGRS.2023.3311622.*

Sumaryczne wyniki współczynnika IF dla wszystkich 13 publikacji Autora zarejestrowanych na Politechnice Śląskiej wynoszą 18, przy punktacji ministerialnej o wartości 625, świadczą o wysokim walorze tych prac. Nie ulega żadnej wątpliwości, że te wskaźniki bibliometryczne można ocenić jako bardzo dobre dla młodego naukowca.

Biorąc pod uwagę całokształt dorobku badawczego i publikacyjnego mgr. inż. Tomasza Tarasiewicza stwierdzam, że kandydat posiada znaczny ilościowo i istotny udokumentowany jakościowo dorobek naukowy.

## **6. Wnioski końcowe**

Mgr inż. Tomasz Tarasiewicz wykazał się znajomością i umiejętnością analizy literatury naukowej przedmiotu rozprawy, konstruowania złożonych algorytmów i eksperymentów symulacyjnych, a także zaplanowania i przeprowadzania poprawnej weryfikacji uzyskanych wyników.

**Uważam, że:**

- **rozprawa zawiera oryginalne rozwiązanie problemu naukowego,**
- **kandydat posiada ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja,**
- **kandydat posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, w szczególności modelowania, optymalizacji i prowadzenia eksperymentów symulacyjnych.**

Moim zdaniem opiniowana rozprawa w stopniu wystarczającym spełnia warunki stawiane przez obowiązującą ustawę o stopniach i tytule naukowym w odniesieniu do rozpraw doktorskich w dyscyplinie informatyka techniczna i telekomunikacja w myśl art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym (Dz. U. Nr 65 z 2003 r., poz. 595 z późn. zm.). Wnoszę o jej przyjęcie oraz dopuszczenie do publicznej obrony.

