

PRZEWODNICZĄCY RADY DYSCYPLINY
Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika
i Technologie Kosmiczne

Bydgoszcz, 02.09.2025

Prof. dr hab. inż. Michał Choraś

prof. dr hab. inż. Wojciech Szelaąg

Wydział Telekomunikacji, Informatyki i Elektrotechniki

Politechnika Bydgoska im. J.J. Śniadeckich, Bydgoszcz

WYDZIAŁ AUTOMATYKI,
ROBOTYKI I ELEKTROTECHNIKI
POLITECHNIKA POZNAŃSKA

09 -09- 2025

WPŁYNĘŁO

Recenzja rozprawy doktorskiej

Point-oriented object localization and tracking in low-altitude aerial imagery,

której Autorem jest Pan

mgr inż. Bartosz Ptak

realizowanej na Wydziale Automatyki, Robotyki i Elektrotechniki Politechniki
Poznańskiej

1. Wprowadzenie.

Niniejsza recenzja rozprawy doktorskiej, której Autorem jest Pan mgr inż. Bartosz Ptak, została wykonana na podstawie uchwały nr 106/2024-2028 Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne z dnia 24.06.2025, oraz zawiadomienia o powyższej uchwale z dnia 26.06.2025, które podpisał Przewodniczący Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne prof. dr hab. inż. Wojciech Szelaąg.

Rozprawę odebrałem w dniu 3 lipca 2025 r., a recenzję wysłałem w wyznaczonym terminie na początku września 2025 r.

Promotorem niniejszej rozprawy jest Pan dr hab. inż. Paweł Drapikowski. Promotorem pomocniczym był Pan dr inż. Marek Kraft.

Praca doktorska składa się ze streszczenia, podziękowania, spisów, sześciu rozdziałów oraz bibliografii.

Warto podkreślić, że praca powstała w ramach kilku grantów oraz projektów, szczegółowo wymienionych i opisanych przez Autora w sekcjach 1.4.1 oraz 1.4.2 na stronach 11-13 niniejszej rozprawy.

Stwierdzam, iż rozprawa zdecydowanie mieści się w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

Moja recenzja (poza wprowadzeniem i wnioskiem) zawiera odpowiedzi na siedem pytań dotyczących rozprawy doktorskiej.

2. Jaki jest problem naukowy (teza) rozprawy? Czy został on trafnie i jasno sformułowany? Jaki charakter ma rozprawa?

Rozprawa, której Autorem jest Pan mgr inż. Bartosz Ptak, dotyczy przetwarzania obrazów pochodzących z bezzałogowych statków powietrznych. W szczególności, Autor zajął się metodami lokalizacji i śledzenia małych obiektów zarejestrowanych w sekwencjach obrazów przez bezzałogowy statek powietrzny (UAV) na niskich pułapach lotu.

Niniejsza praca naukowa ma charakter teoretyczny oraz koncepcyjno-eksperymentalny.

Hipoteza niniejszej rozprawy została przedstawiona w Rozdziale 1.2 na str. 9: *„It is possible to evolve computer vision and neural network methods for point-oriented object localization and tracking tasks using spatial and temporal features extracted from a sequence of images, especially image sequences registered from low-altitude Unmanned Aerial Vehicles.”*

Teza postawiona jest prawidłowo, przy czym jest bardzo ogólna i dość oczywista. Jak zawsze tezy rozpoczynające się od *„It is possible”* są dość łatwe w dowiedzeniu i czasem brzmią trywialnie. Moim zdaniem w tego typu tezach należy zawsze wskazać miary sukcesu lub zwymiarowane ambitne cele do osiągnięcia, których w tym przypadku nie określono.

Dlatego bardziej niż powyższa teza przekonują mnie wymienione w Rozdziale 1.2. konkretne cele niniejszej rozprawy:

1. *to propose mechanisms that enhance point-oriented object localization in drone imagery by utilizing spatial and temporal features,*
2. *to develop a point-oriented tracking method that improves trajectory continuity and consistency,*
3. *to create a point-oriented object localization and tracking dataset tailored to the requirements of modern drone-based video analysis,*
4. *to validate the proposed algorithm for individual localization and tracking in real-world use cases.*

Trzeba przyznać, że powyższe cele (oraz dodatkowo stworzenie bazy danych sekwencji pozyskanych bezzałogowych statków powietrznych) stanowią szkielet rozprawy oraz wyznaczyły kolejne kroki i prace Autora.

W przedstawionej rozprawie oraz artykułach Autor spełnił cele i postawione zadania, oraz w sposób właściwy rozwiązał problemy badawcze niniejszego doktoratu.

3. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł, w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle? Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

Analiza literatury oraz stanu wiedzy została przedstawiona w Rozdziale 2 „*Background and related work*”. Autor przedstawił stan wiedzy w sposób logiczny, rozpoczynając ogólnie od metod wizji komputerowej, a następnie zawężając przegląd do zagadnień ściśle związanych z pracą, w tym metod zliczania osób w obrazach, wykrywania i lokalizacji małych obiektów oraz metod śledzenia małych obiektów.

Ważnym elementem Rozdziału 2 jest także omówienie tzw. *benchmarkowej* bazy obrazów DroneCrowd oraz stworzonej w ramach rozprawy własnej bazy obrazów UP-COUNT oraz ich porównanie. Autor omówił także typowe i specyficzne metryki wykorzystywane w ewaluacji systemów i metod wykorzystywanych do celów związanych z niniejszą rozprawą.

Przegląd literatury zawiera odpowiednią liczbę źródeł literaturowych (141), z których około 80 (nie zawsze podano daty) została opublikowana po roku 2020. Myślę, że w tak szybko rozwijającej się tematyce prace opublikowane po roku 2020 powinny stanowić zdecydowaną większość.

Co ważne w przypadku przeglądu literatury dla celów doktoratu niniejsza praca ma czytelną strukturę oraz ukazuje wyzwania i problemy badawcze wymagające dalszych prac i tym samym odpowiednio motywuje badania w zakresie doktoratu.

4. Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia? Czy użył do tego właściwych metod dowodząc, że posiadał umiejętności związane z metodyką i metodologią prowadzenia badań naukowych? Czy przyjęte założenia są uzasadnione?

Autor w sposób odpowiedni rozwiązał problemy, których dotyczy rozprawa. Przyjęte założenia są uzasadnione i merytorycznie poprawne oraz zweryfikowane w poprawnie przeprowadzonych eksperymentach na odpowiednio przygotowanych danych (bazy obrazów).

Autor zaprezentował bogatą wiedzę dotyczącą zagadnień związanych z przetwarzaniem obrazów, w tym obrazów pozyskanych z bezzałogowych statków powietrznych oraz obrazów pozyskanych w trudnych warunkach.

Ponadto Autor wykazał się wiedzą w zakresie aktualnie wykorzystywanych metod sztucznej inteligencji, w tym w szczególności sieci neuronowych.

Autor wykazał się umiejętnościami odpowiedniego i metodologicznie poprawnego korzystania z metod analizy danych w zakresie ich wykorzystania do konkretnych zadań związanych z analizą obrazów (lokalizacja, śledzenie obiektów itp.).

5. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu nauki reprezentowanych przez literaturę światową?

Głównymi osiągnięciami rozprawy oraz propozycjami Autora są:

- kompleksowa analiza metod detekcji i lokalizacji małych (oraz bardzo małych obiektów), ze szczególnym uwzględnieniem zliczania osób w tłumie z wykorzystaniem obrazów pozyskanych z bezzałogowych statków powietrznych
- opracowanie zestawu danych (baz obrazowych UP-COUNT oraz UP-COUNT-TRACK) dotyczących lokalizacji i śledzenia obiektów, dostosowanych do wymagań m.in. zarządzania tłumem za pomocą bezzałogowych statków powietrznych,
- udoskonalenie metod lokalizacji osób poprzez wprowadzenie metodologii wykorzystujących zarówno cechy przestrzenne, jak i czasowe,
- opracowanie algorytmu śledzenia zorientowanego punktowo, który znacząco ulepsza poprzednie znane podejścia, w szczególności poprzez zwiększenie ciągłości trajektorii,
- odniesienie metod do praktycznych zastosowań.

Główne osiągnięcia, metody i modyfikacje Autora zostały przedstawione w Rozdziale 3 (metody detekcji i lokalizacji małych obiektów wykorzystujące zarówno cechy przestrzenne, jak i czasowe) oraz w Rozdziale 4 (algorytm śledzenia zorientowany punktowo). Baza danych została omówiona w Rozdziale 2, a potencjalne scenariusze wykorzystania efektów prac Autora w Rozdziale 5.

Warto także pochwalić stworzenie baz danych UP-COUNT oraz UP-COUNT-TRACK oraz ich udostępnienie (szczegóły w sekcji 6.5). Właśnie te pozyskane i przygotowane dane obrazowe zostały wykorzystane w szeregu testów i pracach eksperymentalnych. Autor poprawnie zbadał i pokazał efekty zaproponowanych rozwiązań oraz zaprezentował bogaty zestaw wyników i przykładów.

Na słowa uznania zasługują także materiały udostępnione na repozytorium GitHub (kody itp.).

Warto zauważyć, że Doktorant jest współautorem wielu artykułów naukowych, nie tylko tych będących częścią rozprawy (wykaz publikacji na str. 13-15). Warto także zwrócić uwagę na aktywność oraz współpracę międzynarodową Doktoranta, w tym udział w stażach badawczych związanych z tematyką rozprawy (m.in. Dania, Hiszpania) oraz udział w projektach naukowych krajowych i zagranicznych.

Moim zdaniem, niniejszy dorobek jest zdecydowanie odpowiedni na tym etapie kariery naukowej.

6. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników? Jaka jest poprawność redakcyjna rozprawy?

Niniejsza rozprawa stanowi przykład profesjonalnie przygotowanej pracy doktorskiej. Praca napisana jest na wysokim poziomie edycyjnym oraz graficznym. Praca napisana jest bardzo dobrym językiem angielskim, ma odpowiednią i przemyślaną strukturę, oraz zawiera czytelne i dobrze opisane rysunki, tabele itp.

Zauważoną przeze mnie wadą niniejszej pracy jest jednak brak ogólniejszych schematów, architektury itp. przedstawiających metody i modyfikacje Autora, które należało umieścić na początku Rozdziałów 3 oraz 4.

Ponadto część rysunków i schematów jest bardzo mało wyraźna (np. Rys 4.2, Rys 4.6. itp.).

Poza tym, w pracy nie znalazłem istotnych usterek edycyjno-stylistycznych.

7. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Rolą recenzenta jest zauważenie ewentualnych niedociągnięć i mankamentów przedstawianej pracy oraz zgłoszenie uwag, które mogą być pomocne i przydatne w dalszych pracach.

Uwagi krytyczne to między innymi:

- W pracy brakuje elementów, które wskazywałyby na kontakty z konkretnymi użytkownikami (np. policji) oraz opisu ich wymagań, procesów, procedur, itp. Praca zyskałaby na głębszej dyskusji na temat praktycznego wykorzystania zaproponowanych rozwiązań oraz głębszego ukazania przypadków użycia/scenariuszy przez ewentualnych użytkowników (centra zarządzania kryzysowego itp.).
- Dla przykładu: Autor w pracy posługuje się pojęciem „*accuracy*” np. na str. 31 w zdaniu zawierającym „*where accurate and persistent tracking of individuals is crucial*”, czy na str. 76 w zdaniu „*This enables accurate crowd size estimation*”. Niestety miara/pojęcie „*accuracy*” nie zostało zdefiniowane w pracy w Rozdziale 2.6, gdzie przedstawiono miary, ani nie zostało omówione w innych miejscach pracy. Jest to o tyle istotne, że być może w rozpatrywanych scenariuszach bardzo duża dokładność (co do kilku osób) nie ma istotnego znaczenia, ważne jest natomiast przetwarzanie danych w czasie rzeczywistym. Innymi słowy, w przypadku imprezy masowej czy innego zgromadzenia osób (np. protesty) system nie musi z dokładnością do człowieka zliczać osób w tłumie, gdyż podjęte zostaną podobne decyzje i podobne zasoby będą przeznaczone dla ochrony i zarządzania tłumem, czy ma on np. wykryte 753 osoby, czy 774 osoby (liczby przykładowe).

- W pracy zabrakło spojrzenia z punktu widzenia projektu czy architektury całościowych systemów, które mogłyby wykorzystać zaproponowane metody przetwarzania obrazów. Dotyczy to systemów przetwarzania obrazów pozyskanych z dronów.
- Dla przykładu, zabrakło konkretnych rozważań na temat architektury systemu przetwarzającego obrazy z bezzałogowych statków powietrznych w podczas imprez masowych itp. Co zrobić, by tego typu informacje mogły być przetwarzane w czasie rzeczywistym w systemach klasy *command & control* itp., a nie tylko jako sekwencje obrazów testowych w laboratorium (czyli już po samej imprezie masowej i ewentualnych zagrożeniach)?
- Praca zyskałaby na dodaniu dyskusji na temat miejsca przetwarzania obrazów/danych, czyli jakiego typu analiza może być wykonywana już w większych dronach (z większą baterią i większym zasięgiem), a jakiego w centrum zarządzania misją itp. oraz dyskusji na temat bezpiecznej i efektywnej komunikacji między bezzałogowym statkiem powietrznym a centrum zarządzania.
- Zabrakło głębszej dyskusji na temat możliwości rozszerzenia aspektów przedstawionych np. w rozdziale 5 na inne istotne sytuacje (czyli np. wykrywanie małych obiektów w lasach, np. w misjach poszukiwania zaginionych osób przy pomocy bezzałogowych statków powietrznych).
- W pracy nie odnalazłem powiązania sekwencji z przygotowanej w ramach rozprawy bazy danych obrazowych UP-COUNT z konkretnymi scenariuszami i wydarzeniami. Innymi słowy nie podano informacji, które sekwencje pochodzą z jakich wydarzeń (imprez masowych, koncertów, sytuacji zagrożenia itp.). Takie powiązanie danych ze scenariuszami znacznie rozszerzyłoby wydźwięk Rozdziału 5 oraz eksperymentów.
- W rozprawie zabrakło szerszej dyskusji na temat ograniczeń proponowanych metod (pomimo wymienienia kilku ograniczeń w Rozdziale 6.2 „*Limitations*”), w szczególności w praktycznych zastosowaniach (czas przetwarzania, zaufanie, wymagania sprzętowe, inne). Natomiast pozytywnie oceniam, fakt ogólnego odniesienia się do aspektów etycznych (Rozdział 6.4 „*Ethics statement*”) oraz dojrzałości Autora, by wspomnieć o tych kwestiach.
- W pracy zabrakło poszerzonej dyskusji na temat kryteriów wyboru poszczególnych metod i metryk. Dlaczego wybrano właśnie wykorzystane w pracy metody analizy obrazów czy architektury sieci neuronowych itp.; przecież jest znacznie więcej podejść i metod.

Pomimo wymienionych uwag krytycznych, często natury dyskursywnej, niniejszą pracę oraz dorobek Autora oceniam bardzo pozytywnie.

8. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Niniejsza praca dotyczy bardzo aktualnych i potrzebnych zagadnień nowoczesnej automatyki, elektroniki, informatyki oraz telekomunikacji, a w szczególności zastosowań przetwarzania obrazów pochodzących z bezzałogowych statków powietrznych.

Niejako pomagając w odpowiedzi na pytanie o przydatność rozprawy, Autor sam w Rozdziale 1.3 wskazał szereg potencjalnych możliwości wykorzystania prac (rolnictwo, leśnictwo itp.), a także ogólniej całej klasy systemów wykorzystujących analizę obrazów z bezzałogowych statków powietrznych. Ponadto, w Rozdziale 5 szerzej opisał scenariusz wykorzystania dla określania rozmiaru tłumy oraz monitorowania tłumy poprzez wykorzystanie proponowanych metod śledzenia.

Istotnym zastosowaniem prac nad przetwarzaniem obrazów z bezzałogowych statków powietrznych oraz lokalizacji i śledzenia małych obiektów jest oczywiście bezpieczeństwo (m.in. zastosowania policyjne), zarządzanie kryzysowe (np. poszukiwanie osób, decyzje dot. gaszenia pożarów czy zapobiegania powodziom) i oczywiście zastosowania militarne.

9. Wniosek.

Biorąc pod uwagę przedstawioną przez Doktoranta rozprawę stwierdzam, że recenzowana praca **spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim** przez obowiązujące przepisy.

Tym samym wnoszę o przyjęcie niniejszej rozprawy i **dopuszczenie** Pana mgr inż. Bartosza Ptaka do publicznej obrony.

Prof. dr hab. inż. Michał Choraś