

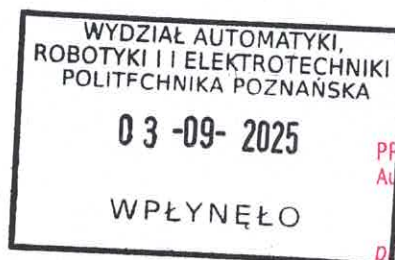
Szczecin, 22.08.2025

dr hab. inż. Paweł Forczmański, prof. ZUT

Zachodniopomorski Uniwersytet
Technologiczny w Szczecinie

Wydział Informatyki

pforczmański@zut.edu.pl



PRZEWODNICZĄCY RADY DISCYPLINY
Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika
i Technologie Kosmiczne
2 up. prof. dr hab. inż. Wojciech Szelaąg

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY DISCYPLINY AUTOMATYKA, ELEKTRONIKA, ELEKTROTECHNIKA I TECHNOLOGIE KOSMICZNE POLITECHNIKI POZNAŃSKIEJ

Autor rozprawy doktorskiej: **mgr inż. Bartosz Ptak**

Tytuł rozprawy: **Point-oriented object localization and tracking in low-altitude aerial imagery**

Promotor: **dr hab. Inż. Paweł Drapikowski**

Promotor pomocniczy: **dr inż. Marek Kraft**

Recenzja została sporządzona w związku z powołaniem mnie przez Radę Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Poznańskiej (Uchwała z dnia 24.06.2025) do pełnienia funkcji recenzenta w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne panu mgr. inż. Bartoszowi Ptakowi.

1. Sylwetka Doktoranta

Pan mgr inż. Bartosz Ptak jest absolwentem studiów pierwszego stopnia na kierunku Informatyka (2020) i drugiego stopnia na kierunku Automatyka i Robotyka (2021) na Politechnice Poznańskiej. Był również stypendystą w programie STER Mobility Grant (NAWA) na Syddansk Universitet (2024). W trakcie swojej kariery naukowej i inżynierskiej był zatrudniony w Poznańskim Centrum Superkomputerowym (2018-2021), na Politechnice Poznańskiej (2021-2025) i w ESA Phi-Lab Poland (2025). Powyższe dane pochodzą z profilu Doktoranta zamieszczonego w serwisie LinkedIn. Dorobek naukowy mgr. inż. Bartosza Ptaka, wg baz Scopus i Web of Science, obejmuje 13 prac opublikowanych w latach 2021 - 2025 (dziewięć w czasopismach i cztery w materiałach konferencji międzynarodowych). Wszystkie związane są z tematyką ocenianej rozprawy. Baza Google Scholar raportuje 18 publikacji (z lat 2021-2025). Współczynnik wpływu h-index dla publikacji w bazach Scopus i Google Scholar jest równy 5, natomiast wg Web of Science - 4. Są to wskaźniki znaczące w kontekście dorobku naukowego na początkowych etapach kariery młodego pracownika nauki. Uzupełnieniem dorobku są cztery projekty naukowe i R&D finansowane ze środków NCBiR i ESA, w których Doktorant brał aktywny udział.

2. Przedmiot oceny

2.1. Zakres, cel, teza i charakter rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy problematyki lokalizacji i śledzenia małych i bardzo małych obiektów w obrazach lotniczych rejestrowanych z niskiego pułapu przez bezzałogowe statki powietrzne (UAV). Nawiązuje to do widocznego w ostatnich latach silnego trendu polegającego na zastosowaniu UAV w monitoringu wizyjnym i bezpieczeństwie publicznym. Jednocześnie cały czas obserwuje się pewien brak algorytmów zdolnych do precyzyjnej analizy scen charakteryzujących się dużą dynamiką i wysoką gęstością obiektów. Klasyczne metody detekcji obiektów oparte na ramach ograniczających (bounding boxes) wykazują istotne ograniczenia w kontekście bardzo małych obiektów, zwłaszcza przy zmiennych wysokościach lotu oraz w obecności zakłóceń wynikających z ruchu kamery i złożonego tła. Dlatego tworzy się algorytmy, których celem jest wskazanie obiektów zainteresowania za pomocą jedynie współrzędnych planarnych na scenie (lokalizacja punktowa).

Teza postawiona w rozprawie zakłada, iż możliwe jest rozwinięcie metod widzenia komputerowego oraz sieci neuronowych dla zadań punktowej lokalizacji i śledzenia obiektów, wykorzystujących cechy przestrzenne i czasowe wyodrębnione z sekwencji obrazów, w szczególności z sekwencji pozyskiwanych przez bezzałogowe statki powietrzne (UAV) operujące na niskim pułapie.

Aby udowodnić tak postawioną tezę, Doktorant sformułował następujące cele szczegółowe:

- zaproponować mechanizmy usprawniające punktową lokalizację obiektów w obrazach dronowych poprzez wykorzystanie cech przestrzennych i czasowych,
- opracować metodę punktowego śledzenia obiektów, zapewniającą większą ciągłość i spójność trajektorii,
- stworzyć zbiór danych do punktowej lokalizacji i śledzenia obiektów, dostosowany do wymagań nowoczesnej analizy wideo z dronów,
- przeprowadzić walidację proponowanego algorytmu w zakresie indywidualnej lokalizacji i śledzenia w rzeczywistych scenariuszach.

Zakres badań obejmował analizę wybranych algorytmów zliczania i śledzenia osób oraz detekcji małych i bardzo małych obiektów.

W części poświęconej wykrywaniu, Doktorant zaproponował usprawnienia istniejących metod lokalizacji punktowej, takich jak: integracja cech ruchu w analizie sekwencji, wykorzystanie danych syntetycznych do zwiększenia generalizacji modeli, bezpośrednie uwzględnienie wysokości lotu w architekturze sieci, moduł przetwarzania pełnej rozdzielczości obrazu bez skalowania oraz oryginalną funkcję kosztu dla lokalizacji punktowej.

W części poświęconej śledzeniu obiektów Doktorant przedstawił autorską modyfikację algorytmu SORT, zastępującą dopasowanie obiektów w oparciu o ramki ograniczające metryką odległości punktowej. Rozwiązanie to zostało wzbogacone o kompensację ruchu kamery, dopasowanie uwzględniające zmienną wysokość lotu oraz walidację trajektorii opartą na klasyfikacji. Ponadto zintegrował z nią metodę bazującą na głębokich korelacyjnych filtrach dyskryminacyjnych (Deep Discriminative Correlation Filters), wykorzystujące przestrzenne mapy cech z modułu lokalizacji w celu zwiększenia efektywności obliczeniowej i redukcji błędów wynikających z braków detekcji.

Na potrzeby badań Doktorant utworzył dwa nowe zbiory danych benchmarkowych: UP-COUNT oraz UP-COUNT-TRACK, uwzględniające zmienność warunków rejestracji, ruch kamery oraz zróżnicowane wysokości lotu, co pokrywa szeroki zakres możliwych warunków obserwacji i umożliwia obiektywną ewaluację nie tylko metod Doktoranta, ale i wszystkich innych badaczy.

Przeprowadzone eksperymenty na danych własnych i publicznych (DroneCrowd) wykazały znaczące zwiększenie dokładności w porównaniu do dotychczasowych rozwiązań, osiągając i przewyższając znane algorytmy w aspekcie dokładności i efektywności obliczeniowej.

Opracowane metody i zbiory danych stanowią istotny wkład w rozwój widzenia komputerowego w robotyce, dostarczając efektywnych narzędzi do oceny liczebności i monitorowania ruchu tłumu w scenariuszach rzeczywistych. Proponowane rozwiązania posiadają potencjał implementacyjny w systemach bezpieczeństwa publicznego, zarządzania wydarzeniami masowymi oraz w innych dziedzinach wymagających dynamicznej analizy dużych skupisk małych obiektów.

2.2. Układ rozprawy i jej składowe

Przedstawiona do recenzji rozprawa ma zwięzłą formę i zawiera się na 102 stronach. Składa się z sześciu rozdziałów. Początkowa część to wprowadzenie w tematykę badań oraz opis głównych problemów i wyzwań, które postawił sobie Doktorant (Rozdziały 1 i 2). W Rozdziale 1 Doktorant umieścił również informacje o swoim dorobku naukowym wytworzonym podczas studiów doktoranckich (publikacje, granty, projekty). Następna (najważniejsza) część pracy koncentruje się na opisie opracowanych metod punktowej detekcji (Rozdział 3) i śledzenia obiektów (Rozdział 4). Praca uzupełniona jest o opis rzeczywistych scenariuszy użycia opracowanych metod (Rozdział 5) i dyskusję uzyskanych wyników wraz z kierunkami dalszych badań (Rozdział 6).

Oceniana rozprawa stoi na dobrym poziomie językowym, stylistycznym i edycyjnym. Jej struktura jest prawidłowa. Doktorant w odpowiedniej formie oraz w logiczny i spójny sposób pokazał wszystkie istotne zagadnienia zawiązane z przeprowadzonymi badaniami.

2.3. Analiza źródeł

Bibliografia przedstawiona w autoreferacie zawiera 141 pozycji obejmujących głównie artykuły publikowane w czasopiśmie zagranicznych (m.in. Pattern Recognition Letters, IEEE Sensors, MDPI Sensors, IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Access, IEEE Internet of Things Journal, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, MDPI Remote Sensing) referaty prezentowane na konferencjach międzynarodowych (m.in. CVPR, ICCV, ECCV, ICIP, ICPR, ICML, NeurIPS) oraz rozdziały z monografii, publikowane w latach 2008 – 2025, z czego zdecydowana ich większość to publikacje z ostatnich kilku lat (2021-2025).

Wśród cytowanych prac naukowych znajduje się znacząca większość najważniejszych publikacji związanych z tematyką poruszaną w rozprawie, w szczególności z widzeniem komputerowym, ekstrakcją cech, uczeniem głębokim oraz metodami analizy danych z obserwacji powietrznej. Biorąc pod uwagę zakres przeanalizowanej literatury, można przyjąć, że Doktorant posiada obszerną i aktualną wiedzę dziedzinową.

2.4. Metodyka badań

Zaprezentowana w rozprawie metodyka badań obejmowała wstępną analizę problemu, opracowanie autorskich koncepcji i modyfikacji istniejących podejść oraz eksperymentalną weryfikację ich skuteczności z wykorzystaniem zarówno danych referencyjnych, jak i nowo opracowanych zbiorów benchmarkowych. Obszar badawczy dotyczy lokalizacji i śledzenia małych i bardzo małych obiektów w obrazach lotniczych rejestrowanych przez drony operujące na niskim pułapie, ze szczególnym uwzględnieniem scen charakteryzujących się wysoką gęstością obiektów, zmienną wysokością lotu oraz ruchem kamery.

Oceniana dysertacja rozpoczyna się od szczegółowej analizy ograniczeń klasycznych metod detekcji opartych na ramach ograniczających (bounding boxes) w kontekście obiektów mikroskopijnych (micro) i bardzo małych (very tiny). Doktorant wskazał na problemy związane z nieefektywnością tradycyjnych detektorów w scenach reprezentujących duże skupiska ludzkie oraz trudności wynikające z dynamicznych zmian perspektywy. Wprowadzenie do badań uzupełnił charakterystyką procesu rejestracji obrazu za pomocą UAV, w tym wpływu: zmiennej rozdzielczości wejściowej, ruchu platformy oraz zakłóceń tła.

W dalszej części Doktorant przedstawił dwa główne wątki swojej pracy, tj. metodę wykrywania obiektów na obrazach z obserwacji powietrznej i metodę śledzenia obiektów w sekwencjach zarejestrowanych w tych warunkach.

Metoda wykrywania obiektów została usprawniona o mechanizm ekstrakcji i integracji przesunięć (obliczonych za pomocą przepływu optycznego), dodanie danych syntetycznych na etapie uczenia modelu głębokiego, integrację informacji o wysokości lotu bezpośrednio w architekturze sieci neuronowej oraz moduł umożliwiający przetwarzanie pełnej rozdzielczości obrazu bez konieczności skalowania. Ponadto Doktorant zaproponował własną funkcję kosztu dostosowaną do specyfiki lokalizacji punktowej.

Metoda śledzenia obiektów zaproponowana w pracy jest nowatorską modyfikacją algorytmu SORT, w której klasyczne dopasowanie ramkowe zastąpione zostało metryką odległości punktowej. Metoda została uzupełniona o kompensację ruchu kamery, dynamiczne progi zależne od wysokości lotu oraz walidację trajektorii opartą na klasyfikacji. Dodatkowo Doktorant zaproponował użycie filtrów korelacyjnych (Deep Discriminative Correlation Filters), wykorzystujących przestrzenne mapy cech z modułu lokalizacji, co zwiększyło odporność metody na ominięte detekcje i poprawiło ciągłość wykrytej trajektorii ruchu.

Weryfikacja postawionych hipotez i skuteczności zaproponowanych metod została przeprowadzona w drodze eksperymentalnej ewaluacji na publicznym zbiorze DroneCrowd oraz na dwóch autorskich zbiorach danych: UP-COUNT i UP-COUNT-TRACK, które uwzględniają zmienność wysokości lotu, dynamiczny ruch drona i różne gęstości obiektów. Ewaluacja obejmowała metryki powszechnie stosowane w badaniach nad lokalizacją i śledzeniem, takie jak Czułość, Specyficzność, miara F1, L-AP, HOTA, T-AP, ID-SW, MAE, Tr-MAE oraz Tr-nMAE. Wyniki eksperymentów potwierdziły zasadność przyjętej hipotezy, wykazując istotną poprawę dokładności w stosunku do metod referencyjnych oraz osiągnięcie wyników na poziomie state-of-the-art w zakresie zadań lokalizacji i śledzenia obiektów punktowych.

2.5. Oryginalność rozwiązania postawionego problemu badawczego

Przedstawiona do recenzji praca stoi na wysokim poziomie naukowym i inżynierskim. Aktualność poruszanego problemu, jakim jest potrzeba opracowania wyspecjalizowanych metod lokalizacji i śledzenia obiektów punktowych w obrazach z obserwacji prowadzonej za pomocą UAV, stanowi jej istotną zaletę. Współczesne systemy monitoringu, bezpieczeństwa i zarządzania tłumem wymagają metod zdolnych do działania w warunkach dynamicznego ruchu kamery, zmiennej wysokości lotu oraz przy występowaniu wielu bardzo małych obiektów – co w sposób wyraźny odróżnia ten problem od ogólnych zadań detekcji. Autor precyzyjnie zdiagnozował kluczowe ograniczenia tradycyjnych metod opartych na ramach ograniczających i zaproponował podejścia wykorzystujące punktową reprezentację obiektów, co pozwala na istotne uproszczenie modeli i zwiększenie ich efektywności.

Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że praca nie ogranicza się jedynie do adaptacji istniejących metod, ale proponuje oryginalne rozwiązania architektoniczne i koncepcyjne, uzupełnione o stworzenie specjalizowanych zbiorów danych. Autor odniósł się również do kwestii praktycznych, proponując metody w pewnym stopniu zoptymalizowane obliczeniowo, możliwe do implementacji w systemach działających w czasie rzeczywistym.

W mojej ocenie najważniejsze oryginalne osiągnięcia Autora to:

- Stworzenie nowych benchmarkowych zbiorów danych UP-COUNT i UP-COUNT-TRACK ukierunkowanych na zadania lokalizacji i śledzenia w warunkach realistycznych – z dynamicznym ruchem UAV, zmienną wysokością lotu i zróżnicowanymi scenami. Zbiory te obejmują bogate metadane (m.in. wysokość lotu, pozycje GPS) i zapewniają solidne podstawy do ewaluacji nowoczesnych algorytmów, stanowiąc cenny wkład w rozwój dziedziny. Bez takich danych trudne jest trenowanie nowych modeli i ich obiektywna ewaluacja.
- Opracowanie zestawu autorskich mechanizmów dla lokalizacji punktowej, obejmujących m.in.: integrację cech ruchu w analizie sekwencji, wykorzystanie danych syntetycznych dla efektywniejszego treningu sieci, wprowadzenie modułu przetwarzającego obrazy w pełnej rozdzielczości (bez skalowania) oraz funkcji kosztu zoptymalizowanej pod kątem lokalizacji punktowej.
- Wprowadzenie koncepcji integracji danych sensorycznych UAV (np. wysokości lotu) bezpośrednio w architekturze sieci neuronowej, co pozwala dynamicznie dostosowywać parametry modelu do zmiennej skali obiektów, rozwiązując istotny problem wpływu odległości kamery na rozdzielczość celu.
- Zaprojektowanie nowatorskiej metody śledzenia obiektów punktowych, która rozszerza klasyczny algorytm SORT o metrykę punktową i dodatkowe elementy, takie jak kompensacja ruchu kamery, dynamiczny próg zależny od wysokości oraz walidacja trajektorii w oparciu o klasyfikację.
- Integracja filtrów korelacyjnych DDCF w procesie śledzenia, co umożliwia ponowne wykorzystanie map cech z modułu lokalizacji w celu redukcji obciążeń obliczeniowych i poprawy ciągłości trajektorii.

Oczywiście jak w przypadku każdego nowego rozwiązania inżynierskiego, tak i tutaj konieczna była obiektywna ocena uzyskanych wyników. Doktorant przeprowadził kompleksową ewaluację zaproponowanych rozwiązań na danych (zarówno publicznych, jak i autorskich), za pomocą metryki

oceny lokalizacji (L-AP), skuteczności śledzenia (HOTA, T-AP) i jakości zliczania (MAE, nMAE). Badania eksperymentalne potwierdziły uzyskanie wyników przewyższających w wielu aspektach inne metody state-of-the-art.

Opracowane rozwiązania wnoszą istotny wkład w dyscyplinę Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne, zarówno w aspekcie teoretycznym (opracowanie nowych architektur głębokich, funkcji kosztu, metod integracji danych), jak i praktycznym (stworzenie algorytmów możliwych do wykorzystania w systemach autonomicznego sterowania i nawigacji). Mają także wymiar interdyscyplinarny, obejmując zagadnienia z zakresu przetwarzania obrazów, uczenia maszynowego, robotyki i analizy ruchu.

2.6. Główne wady rozprawy wraz z krytycznymi uwagami szczegółowymi

Jak w przypadku większości prac naukowych, również tutaj można wskazać na pewne braki i niedociągnięcia. Część z nich wynika z przyjętej metodologii badawczej, część z autorskiego spojrzenia na omawiany problem. Poniżej przedstawiam wybrane uwagi, które mogą stanowić punkt do dyskusji podczas obrony:

- Brak głębszej analizy porównawczej z metodami typu Transformer i modelami wizji ogólnej (foundation models) – w ostatnich latach architektury te osiągają przewagę w zadaniach detekcji i śledzenia. Dlaczego nie uwzględniono ich w porównaniach, a jedynie klasyczne CNN i lekkie architektury?
- Kwestia efektywności obliczeniowej w środowiskach UAV – praca zakłada wykorzystanie pełnej rozdzielczości obrazów oraz dodatkowych modułów (np. przetwarzanie wszystkich pikseli, DDCF), co może zwiększać obciążenie obliczeniowe. Czy Autor jest świadomy, jak zaproponowane rozwiązania sprawdzają się na pokładzie drona w warunkach ograniczonych zasobów (np. Jetson, Edge AI)? Brak szczegółowych benchmarków wydajnościowych jest tu widoczny.
- Wpływ warunków atmosferycznych i zakłóceń wizualnych na skuteczność metod – w rozprawie nie ma pogłębionej dyskusji, jak zaproponowane algorytmy radzą sobie w trudnych warunkach (np. deszcz, mgła, nocne scenariusze), mimo że w realnych systemach bezpieczeństwa są to sytuacje krytyczne. Elementy te pozostawione zostały bez komentarza, sygnalizując ich obecność jedynie w sekcji poświęconej dalszym pracom.
- Założenia dotyczące dokładności danych sensorycznych UAV – w metodach uwzględniających wysokość lotu przyjęto, że dane z sensorów są poprawne i bezbłędne. Jakie są skutki błędów pomiaru wysokości lub opóźnień w synchronizacji danych z obrazem? Czy Autor analizował odporność algorytmu na takie zakłócenia?
- Brak analizy błędów identyfikacji i propagacji trajektorii w scenach ekstremalnie zatłoczonych – w pracy pokazano wyniki metryk globalnych (HOTA, T-AP), ale brak studium przypadków, w których śledzenie zawodzi (np. przy nagłych zaślonięciach). Takie analizy byłyby wartościowe w kontekście dalszych badań. Brak jest odniesienia do scen o różnym poziomie 'gęstości' – mogło by to pomóc w zrozumieniu silnych i słabych stron opracowanej metody.
- Braki w zakresie normalizacji metryk w zależności od rozdzielczości i odległości – w ewaluacji użyto m.in. L-AP@10, L-AP@15, ale brak jest dyskusji, jak progi pikselowe przekładają się na rzeczywiste odległości w świecie (metry). Czy takie podejście jest wystarczająco uniwersalne przy zmiennej wysokości lotu? Ten sam problem widzę w ocenie MAE, które dotyczy liczby wykrytych osób. Jeśli jest ich mało na scenie to błąd rzędu 20 jest spory, jednak w przypadku tłumu 1000-osobowego,

taka wartość jest bardzo dobra. Przydała by się w tym miejscu analiza podobna do PCK (percentage of correct keypoints) w zadaniach detekcji punktów charakterystycznych.

- W każdym z przypadków widoczny jest brak opisu szczegółów implementacyjnych. Doktorant w wielu miejscach odsyła czytelnika do swoich publikacji, jednak dla kompletności dysertacji takie informacje powinny zostać w niej zawarte, np. wielkość sieci, liczba epok treningu, warunki stopu, krok uczenia, optymalizator itp. Dotyczy to również środowiska obliczeniowego.
- Czy użycie cech ekstrahowanych z sieci typu VGG (str. 68) jest w tym przypadku optymalnym rozwiązaniem (w kontekście wydajności obliczeniowej). Patrząc na wizualizacje, wydaje się, że użycie standardowych cech typu hand-crafted, takich jak LBP i HOG mogłoby dać podobny efekt przy dużo mniejszym narzucie obliczeniowym. Proszę o komentarz.
- Użycie architektury typu Unet do generowania masek jest rozwiązaniem dobrym, ale istnieje wiele porównywalnych lub lepszych rozwiązań, np. bazujących na VT? Dlaczego zdecydowano się na to rozwiązanie?
- Jak Doktorant dobrał wartości wag we wzorze na funkcję kosztu lokalizacji punktowej (3.1)?
- Próg obliczany we wzorze (4.1) jest liniowo zależny od wysokości, jednak wielkość obiektów nie jest liniowo zależna od odległości obserwacji. Może lepsze było by przyjęcie odwrotnej zależności kwadratowej?
- W Tab. 3.2 przydało by się uwzględnienie wariancji lub odchylenia standardowego średniego błędu MAE, ponieważ zaprezentowane wartości widoczne są dopiero po przecinku.
- Gdzie opublikowano istotną z punktu widzenia pracy publikację [129]?
- Nie do końca rozumiem koncepcję stosowania różnych metryk w ocenie pokazanej w Tab. 3.2 i Tab. 3.3. Czy nie było możliwe pokazanie tej samej miary w obu przypadkach, które są *de facto* poświęcone detekcji osób?
- Czy omawiane metody detekcji mogą być wykorzystane w innych obszarach, np. wykrywaniu obiektów topograficznych typu kominy i słupy energetyczne? Szkoda, że Doktorant nie wyszedł poza problem detekcji osób. Z tego samego powodu brakuje mi nawet szczątkowej analizy wykorzystania detektorów typu YOLO, które coraz lepiej radzą sobie z małymi obiektami i są wyjątkowo wydajne.

2.7. Znaczenie uzyskanych wyników i ich praktyczne wykorzystanie

Autor w swoich badaniach poprawnie zidentyfikował kluczowe ograniczenia istniejących rozwiązań w zakresie lokalizacji i śledzenia obiektów w obrazach rejestrowanych przez UAV. Do najważniejszych należą: niska skuteczność tradycyjnych detektorów obiektowych (opartych na ramach ograniczających) w przypadku obiektów bardzo małych i gęsto rozmieszczonych, brak specjalistycznych metod uwzględniających zmienną wysokość lotu oraz ograniczona dostępność realistycznych zbiorów danych z adnotacjami punktowymi. Ponadto, w obszarze śledzenia Doktorant słusznie zauważył niedostosowanie standardowych algorytmów do dynamicznego ruchu kamery oraz problem propagacji błędów przy braku detekcji w kolejnych klatkach.

Na tej podstawie Autor opracował zestaw oryginalnych rozwiązań obejmujących: nową metodykę lokalizacji punktowej wykorzystującą dane syntetyczne i informacje o wysokości UAV, przetwarzanie pełnej klatki obrazu, oryginalną funkcję kosztu optymalizującą położenie punktów, a także algorytm śledzenia oparty na kompensacji ruchu kamery i metryce punktowej. Wprowadzenie filtrów korelacyjnych DDCF do procesu śledzenia oraz zastosowanie map cech z modułu lokalizacji umożliwiło

znaczną poprawę ciągłości trajektorii i redukcję błędów w warunkach braku detekcji. Dodatkowo, Doktorant stworzył dwa nowe, zróżnicowane zbiory danych (UP-COUNT i UP-COUNT-TRACK), które uwzględniają realistyczne scenariusze UAV i stanowią cenne źródła możliwe do użycia w dalszych badaniach.

Zaprezentowane rozwiązania mają duże znaczenie praktyczne i potencjał wdrożeniowy. Mogą być zastosowane w systemach:

- monitorowania i analizy ruchu tłumu podczas wydarzeń masowych lub w obszarach publicznych, gdzie istotna jest szybka ocena liczebności osób zachowująca prywatność,
- operacji ratunkowych (SAR), umożliwiając szybszą lokalizację osób w rozległych obszarach, w tym w warunkach zmiennej wysokości lotu i dynamicznego ruchu UAV,
- rozwiązań typu Smart City, np. do monitorowania natężenia ruchu pieszych przy jednoczesnym zachowaniu wysokiego poziomu prywatności dzięki punktowej reprezentacji obiektów zamiast pełnej segmentacji sylwetki.

Uzyskane wyniki eksperymentalne potwierdziły, że zaproponowane metody przewyższają w pewnych aspektach metody state-of-the-art. W kontekście dynamicznego rozwoju systemów UAV oraz rosnących wymagań w zakresie analizy dużych skupisk obiektów, przedstawione rozwiązania stanowią istotny wkład w rozwój algorytmów widzenia komputerowego dedykowanych dla platform bezzałogowych.

3. Konkluzja

Recenzowana rozprawa prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta i stanowi oryginalne rozwiązanie jednoznacznie sformułowanego zagadnienia naukowego. Autor rozprawy mgr inż. Bartosz Ptak wykazał umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych. Opracowane metody mają bezpośrednie znaczenie dla rozwoju autonomicznych systemów UAV, które stanowią istotny obszar badań w dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne. Integracja przetwarzania obrazu z danymi sensorycznymi UAV wpisuje się w rozwiązania sterowania, nawigacji i percepcji w systemach bezzałogowych oraz systemach kosmicznych

Wymienione powyżej uwagi krytyczne nie mają istotnego wpływu na jednoznacznie pozytywną ocenę rozprawy. Przedstawiony dorobek związany z realizowaną dysertacją, świadczy o dobrym przygotowaniu Doktoranta do prowadzenia badań naukowych.

W związku z powyższym uważam, iż przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Bartosza Ptaka spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim przedstawione w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2024 poz. 1571), art. 186 i 187 i niniejszym wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.



Paweł Forczmański