

dr hab. Marcin Wolter

Instytut Fizyki Jądrowej
im. Henryka Niewodniczańskiego
Polskiej Akademii Nauk
ul. Radzikowskiego 152
31-342 Kraków

Ocena rozprawy doktorskiej mgr. inż. Radosława Szostaka „Nowe metody wspomaganie obserwacji hydrologicznych wykorzystujące bezzałogowe statki powietrzne i uczenie maszynowe”

Przedstawioną mi do recenzji pracę przeczytałem z dużym zainteresowaniem. Dysertacja doktorska mgr. inż. Radosława Szostaka została przygotowana pod kierunkiem promotora prof. dr. hab. inż. Przemysława Wachniewa oraz promotora pomocniczego dr. hab. inż. Mirosława Zimnocha w Katedrze Zastosowań Fizyki Jądrowej Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej. Na wstępie chciałbym zaznaczyć, że praca ta ma charakter interdyscyplinarny łącząc zagadnienia hydrologii i uczenia maszynowego. Stąd mnie, jako fizykowi, lektura tej pracy dała nieocenioną możliwość zaznajomienia się z zupełnie nową dla mnie tematyką hydrologii, na dodatek w nowoczesnym wydaniu, z użyciem dronów.

Tematyka pracy doktorskiej skupia się na metodach pomiarów hydrologicznych, takich jak poziom wody w niewielkich strumieniach, mapy temperatury terenu czy ewapotranspiracja. Pomiarzy zostały przeprowadzone z użyciem bezzałogowych statków latających, czyli potocznie mówiąc dronów. Ich użycie obniża koszty pomiarów w porównaniu z pomiarami lotniczymi oraz pozwala na dokonywanie precyzyjnych pomiarów z niewielkich wysokości na ograniczonych obszarach. Zebrane za pomocą dronów dane pomiarowe wymagają opracowania i poprawy jakości pomiarów, w co zaangażowana zostały algorytmy sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego. Zastosowane algorytmy stanowią o wysokim poziomie i innowacyjności dysertacji, gdyż radykalnie wpływają na jakość pomiarów. W swojej badaniach Doktorant zaproponował i wdrożył szereg nowatorskich metod pomiarów oraz poprawy ich dokładności poprzez użycie narzędzi sztucznej inteligencji.

Rozprawa autorstwa pana mgr. inż. Radosława Szostaka została sporządzona w języku polskim, liczy 116 stron i została podzielona na pięć rozdziałów. We wstępie Autor zaznacza czytelnika z celami pracy oraz przedstawia strukturę rozprawy.

Głównym celem Autora było opracowanie metod zwiększenia dokładności pomiarów hydrologicznych poprzez użycie algorytmów sztucznej inteligencji. Algorytmy te zostały zastosowane w trzech typach pomiarów z wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych:

- pomiaru poziomu wody w niewielkich ciekach wodnych na podstawie fotogrametrycznego numerycznego modelu terenu,
- pomiaru temperatury terenu wykonanego za pomocą kamery termowizyjnej,
- zaadaptowaniu metody PT-JPL (Prestley-Taylor Jet Propulsion Laboratory) do oszacowania rozkładu ewapotranspiracji.

We wszystkich trzech zastosowaniach Autor osiągnął znaczną poprawę dokładności pomiarów.

Drugi rozdział, opisujący bieżące wyzwania hydrologii i zawierający detaliczne opisy technik pomiarów hydrologicznych jest szczególnie cenny dla czytelnika, który tak jak ja, pierwszy raz styka się z tą tematyką. Rozdział ten przedstawia w przystępnej formie metody pomiaru poziomu wody w małych rzekach, problemy związane z tworzeniem obrazów termograficznych z użyciem dronów i lekkich, niechłodzonych kamer, a także zagadnienia pomiaru ewapotranspiracji. Omówione są w nim także zastosowania uczenia maszynowego w hydrologii.

Rozdziały trzeci i czwarty stanowią zasadniczą część pracy doktorskiej pana mgr. inż. Radosława Szostaka, gdyż omawia w nich swoje, jak sam określa "autorskie" metody pomiarów, a następnie dyskutuje ich wyniki. Rozprawę zamyka podsumowanie, w którym zebrane są krótko wnioski ze wszystkich trzech typów pomiarów opisanych we wstępie, a także przedstawiony jest wkład Autora pracy w uzyskane rezultaty.

Pracę zamyka indeks skrótów oraz bibliografia zawierająca 104 pozycje. Część z nich stanowią strony internetowe lub repozytoria kodów, co jest jak najbardziej naturalne w przypadku pracy o bardzo dużym komponencie komputerowym. Duża część informacji z zakresu sztucznej inteligencji nie jest bowiem dostępna w postaci tradycyjnych publikacji w czasopiśmie naukowych.

Jako laik w dziedzinie pomiarów hydrologicznych podczas lektury rozprawy doktorskiej skupiłem się na zastosowaniu metod uczenia maszynowego do poprawienia wyników pomiarów. Szczególnie zainteresowało mnie podejście do pomiaru poziomu wody w niewielkich strumieniach na podstawie pomiarów fotogrametrycznych. Gdy narzucające się bezpośrednio podejście polegające na regresji z użyciem sieci neuronowej nie dało zadowalających rezultatów, wyraźnie lepsze wyniki dało użycie masek wagowych. Co ważne, dzięki użyciu masek możemy mieć pewien wgląd w działanie algorytmu sztucznej inteligencji, rozumieć do pewnego stopnia, które obszary cyfrowego modelu powierzchni i ortofotomapy zostały w największym stopniu użyte, a które pominięte podczas pomiaru poziomu wody. Jak zaznaczył Autor rozprawy,

podejście to jest nowatorskie i nie było wcześniej używane. Wyniki uzyskane tą metodą zostały już wcześniej opublikowane przez Autora i współpracowników stanowiąc ważną część jego dorobku naukowego.

Dwa pozostałe problemy przedstawione w pracy, tzn. pomiary termiczne oraz pomiary ewapotranspiracji, też zostały pozytywnie rozwiązane, a użycie uczenia maszynowego wydatnie wpłynęło na poprawę dokładności pomiarów.

Na uznanie zasługuje też dokładna optymalizacja algorytmów uczenia maszynowego poprzez znalezienie optymalnych hiperparametrów zastosowanych metod poprzez tzw. „grid search”, czyli powtarzanie pomiarów dla dużego przedziału wszystkich parametrów i znajdowanie zestawu parametrów dających najlepsze wyniki. Nasuwa się pytanie, czy nie można by przyspieszyć optymalizacji używając np. algorytmu *Tree-structured Parzen Estimator*, który umożliwia znalezienie zestawu optymalnych parametrów w mniejszej liczbie kroków (programy *Optuna* lub *Hyperopt*).

Dysertację doktorską pana mgr. inż. Radosława Szostaka czyta się dobrze. Praca ma charakter interdyscyplinarny, a co za tym idzie, powinna być dostępna dla czytelników, których wiedza w danej dziedzinie jest ograniczona. Muszę przyznać, że pewien kłopot sprawiało mi specjalistyczne słownictwo związane z hydrologią i duża liczba akronimów. W lekturze pomaga zamieszczony na końcu pracy indeks skrótów, jednak przydałby się krótki słownik specjalistycznych terminów, który ułatwiłby lekturę osobom nie obytym z terminologią używaną w pracy. Również używanie mniejszej liczby akronimów (np. rozwinięcie skrótu UM do wyrażenia „uczenie maszynowe” czy zastąpienie BSP słowem „dron”) uczyniłoby lekturę pracy przyjemniejszą. W pracy występuje kilka drobnych błędów literowych. Rażą także tzw. „sierotki”, czyli jednoliterowe słowa pozostawione na końcu linii.

Niezależnie od przedstawionych powyżej niedociągnięć uważam, że przedstawiona mi do recenzji praca stanowi bardzo wartościowe i oryginalne opracowanie, które wzbogaca wiedzę dotyczącą stosowania zaawansowanych metod uczenia maszynowego w optymalizacji pomiarów hydrologicznych. Po zakresie prac przedstawionych w dysertacji widać, że Autor miał znaczący wkład w przygotowanie i przeprowadzenie pomiarów terenowych pozwalających zebrać hydrologiczne dane pomiarowe, a następnie w ich opracowanie. Autor opracował i wdrożył szereg metod wykorzystujących algorytmy sztucznej inteligencji, rozumie ich działanie i potrafi twórczo je aplikować do zebranych danych poprawiając znacznie wyniki pomiarów. Na szczególne podkreślenie zasługuje autorska metoda służąca do oszacowania poziomu wody w małych strumieniach na podstawie danych fotogrametrycznych.

Podsumowując stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki określonych w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (z późn. zm.) i wnioskuję o jej dopuszczenie do dalszych etapów

postępowania o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne.

Biorąc pod uwagę wkład wniesiony przez Doktoranta w badania opisane w rozprawie, a w szczególności wprowadzenie nowatorskiej i nieoczywistej metody pomiaru poziomu wody opartej na przewidywaniu masy wagi, zaliczam rozprawę do kategorii wybitnie dobrej i zasługującej na wyróżnienie. Tym samym wnioskuję o uznanie rozprawy doktorskiej pana mgr. inż. Radosława Szostaka „*Nowe metody wspomagania obserwacji hydrologicznych wykorzystujące bezzałogowe statki powietrzne i uczenie maszynowe*” za wyróżniającą się.



dr hab. Marcin Wolter