

Streszczenie

Współczesne badania hydrologiczne stają przed licznymi wyzwaniami społecznymi, klimatycznymi, technologicznymi i analitycznymi. Celem działań opisanych w niniejszej rozprawie było opracowanie nowych metod wspierających obserwacje hydrologiczne z wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych (BSP) oraz technik uczenia maszynowego, dążąc do wprowadzenia innowacyjnych rozwiązań w tej dziedzinie. W ramach pracy doktorskiej opracowano trzy metody.

Pierwsza metoda dotyczy rozwiązania problemu zaburzeń w numerycznych modelach pokrycia terenu w małych strumieniach. Zastosowano sztuczną inteligencję do interpretacji zaburzeń i oszacowania poziomu wody na podstawie danych fotogrametrycznych. W tym celu użyto splatowej sieci neuronowej trenowanej metodą nadzorowaną. Przetestowano dwa warianty modelu: pierwszy, prosty, wykorzystujący enkoder do przekształcenia obrazu w pojedynczą wartość poziomu wody oraz bardziej złożoną metodę przewidującą maskę wag, którą następnie stosowano do próbkowania numerycznego modelu pokrycia terenu, co przyczyniło się do zwiększenia dokładności i wyjaśnialności rozwiązania. W tym drugim podejściu zastosowano autorską funkcję straty, pozwalającą na trening sieci neuronowej bez wzorcowych masek wag. Dane treningowe pochodziły z pięciu studiów przypadków, a do ewaluacji rozwiązania użyto dwóch metod walidacji krzyżowej. Jedną z nich była metoda all-in-case-out, pozwalająca na zbadanie skuteczności modelu na podzbiorze danych pochodzących ze studium przypadku, z którego dane nie były używane do treningu, co potwierdziło zdolność modelu do generalizacji. W zależności od studium przypadku i poziomu surowości walidacji, proponowane rozwiązanie osiągnęło błąd średniokwadratowy (RMSE) w zakresie od 2 cm do 16 cm. Metoda ta przewyższa tradycyjne podejścia oparte na prostym próbkowaniu fotogrametrycznych NMPT, osiągając średnio o 62% niższy RMSE dla rygorystycznej walidacji all-in-case-out. Wykorzystując dane z innych badań, porównano proponowane rozwiązanie na tym samym studium przypadku z innymi metodami opartymi na BSP. Osiągnęło ono dokładność porównywalną z metodą radarową, uznawaną za najdokładniejszą dostępną metodę pomiaru poziomu wody w małych rzekach z wykorzystaniem BSP.

Druga metoda dotyczyła problemu niskiej dokładności pomiaru temperatury za pomocą kamer termowizyjnych zamontowanych na BSP. Ograniczenia związane z maksymalnym udźwigniem BSP wymuszają stosowanie lekkich, niechłodzonych kamer termalnych, których wewnętrzne komponenty nie są stabilizowane temperaturowo. Powoduje to wzrost błędu

pomiaru temperatury z $\pm 0,5$ °C w warunkach laboratoryjnych do ± 5 °C w niestabilnych warunkach lotu. W rozprawie opisano procedurę przetwarzania danych, która minimalizuje te niepożądane efekty. Składa się ona z następujących etapów: (i) usunięcie winietowania za pomocą algorytmu korekcji winiety z pojedynczego obrazu, (ii) georeferencjonowanie przy użyciu metadanych obrazu oraz optymalizacji metodą gradientową, oraz (iii) optymalizacja spójności temperatury między nakładającymi się obrazami termalnymi z użyciem optymalizacji gradientowej. Rozwiązanie przetestowano na kilku obszarach rzecznych, gdzie naturalne zbiorniki wodne były używane jako punkt odniesienia dla temperatury. W testach proponowana metoda znacząco zwiększyła precyzję pomiarów. Średni błąd kwadratowy (RMSE) zmniejszył się średnio o 39%, a średni błąd bezwzględny (MAE) o 40,5%. Proponowany algorytm można określić jako samokalibrujący, ponieważ działa w pełni automatycznie, wykorzystuje jedynie dane terenowe pochodzące ze standardowego nalotu i nie wymaga dodatkowego sprzętu kalibracyjnego ani manualnej ingerencji operatora.

Trzeci projekt dotyczył adaptacji algorytmu Priestley-Taylor Jet Propulsion Laboratory (PT-JPL), pierwotnie opracowanego do szacowania ewapotranspiracji na podstawie danych z satelitarnej misji ECOSTRESS, do obliczeń ewapotranspiracji na podstawie danych zebranych za pomocą BSP. Przeprowadzono dwudniowe pomiary, podczas których zbierano dane zarówno z BSP, jak i ze stacji meteorologicznej. Dane te wykorzystano do obliczenia ewapotranspiracji za pomocą zaadaptowanego algorytmu PT-JPL oraz metody kowariancji wirów, która posłużyła jako pomiar referencyjny. Wyniki pokazały wysoką zgodność z pomiarami referencyjnymi, co wstępnie potwierdziło, że algorytm PT-JPL może być stosowany do pomiarów realizowanych za pomocą BSP.

7.11.2024
Radosław Suski

