

# **OPRACOWANIE METODYKI PODWYŻSZENIA ROZDZIELCZOŚCI PRZESTRZENNEJ ZOBRAZOWAŃ Z MAŁYCH SATELITÓW Z ZASTOSOWANIEM ALGORYTMÓW SZTUCZNEJ INTELIGENCJI**

Autor: por. mgr inż. Kinga Karwowska

Promotor: dr hab. inż. Damian Wierzbicki, prof. WAT

Wraz z rozwojem technologicznym oraz dynamicznym rozwojem sektora kosmicznego zwiększa się zapotrzebowanie na systemy umożliwiające obserwację Ziemi. Coraz bardziej popularne stają się małe satelity, które w przeciwieństwie do klasycznych satelitów obrazujących są prostsze w produkcji oraz znacznie tańsze. Jednak mają one dość znaczącą wadę – ze względu na ich konstrukcję mają one znacznie słabszą rozdzielczość przestrzenną. Ponadto posiadają niedoskonałe układy optyczne, co w konsekwencji przekłada się na ich możliwości fizyczne do pozyskania wysokorozdzielczych zobrażeń satelitarnych. Satelity te pozyskują zobrażenia panchromatyczne, wielospektralne lub w obu trybach (lecz różnica między rozdzielczością przestrzenną obrazu panchromatycznego i wielospektralnego jest niewielka). W związku z tym, zobrażenia pozyskane przez małe satelity nie spełniają wymagań do ich wyostrenia za pomocą klasycznych metod poprawy rozdzielczości przestrzennej. Dlatego też konieczne jest opracowanie odpowiedniej metody poprawy rozdzielczości przestrzennej wykorzystującej jedynie obraz o niskiej rozdzielczości.

Wykonanie analizy obszaru badawczego pozwoliło mi na zidentyfikowanie problemów badawczych związanych z poprawą rozdzielczości przestrzennej zobrażeń satelitarnych pozyskanych przez małe satelity. Ich rozwiązanie zawarłam w cyklu czterech powiązanych tematycznie artykułach naukowych. W ramach rozprawy doktorskiej zaproponowałam nowe podejście do poprawy rozdzielczości przestrzennej zobrażeń satelitarnych. Przedstawiona metodyka umożliwia czterokrotną poprawę rozdzielczości przestrzennej oraz co najmniej dwukrotny wzrost możliwości interpretacyjnych zobrażeń satelitarnych lub sekwencji obrazów o dowolnym rozmiarze.

W ramach prowadzonych badań zaproponowałam nową metodykę przetwarzania całych zobrażeń satelitarnych w kontekście automatycznej interpretacji zobrażeń. Rozwiązanie to składa się z trzech etapów: (1) podział zobrażenia na mniejsze fragmenty (kafelki) o rozmiarze odpowiadającym parametrowi wejściowemu sieci neuronowej (SN), (2) poprawa rozdzielczości przestrzennej za pomocą SN, (3) ponowne połączenie

zrekonstruowanych kafelków w jeden spójny obraz. Do scalania kafelków zastosowałam okna czasowe, wykazując, że użycie okien Hann, Hann-Poisson, Bartlett-Hann lub Triangular pozwala na uzyskanie obrazu o porównywalnej jakości.

Kluczowym elementem metodyki jest generatywna sieć przeciwstawna, do której szkolenia zastosowałam wielokolumnowy dyskryminator oraz funkcję straty Wasserseina. W ramach badań udowodniłam, że zastosowanie dyskryminatora wielokolumnowego pozwala na znaczne przyspieszenie procesu treningu sieci. Ponadto zaproponowałam trójetapowy proces oceny jakości obrazów oszacowanych (SR), w którego skład wchodzi: (1) ocena globalna, powszechnie stosowana przez badaczy, w której wskaźniki są często zawyżane przez wysokie odwzorowanie powierzchni jednorodnych, (2) ocena lokalna, umożliwiająca identyfikację obszarów o niższej lub wyższej jakości oszacowania SR, (3) analiza rozkładu częstotliwości energii sygnału (PSD), pozwalająca na określenie wzrostu możliwości interpretacyjnych danych obrazowych.

Podsumowaniem prowadzonych badań było opracowanie metodyki poprawy rozdzielczości przestrzennej sekwencji obrazów pozyskanych przez małe satelity. W toku tych badań zweryfikowałam dotychczasowe metody wyostrzania danych uzyskanych techniką obrazowania dynamicznego. Analizując wyniki eksperymentów, postanowiłam dodatkowo rozbudować generator zaprojektowanej sieci GAN, ponieważ generowane przez niego obrazy miały charakterystyczną teksturę spowodowaną niską szybkością uczenia modelu. W tym celu rozszerzyłam model generatora o sieć koder-dekoder w kształcie litery "U". Wprowadzona modyfikacja pozwoliła na dodatkową poprawę jakości interpretacyjnej obrazów oszacowanych przez generator.

Opracowana metodyka pozwala na czterokrotną poprawę rozdzielczości przestrzennej oraz co najmniej dwukrotny wzrost potencjału interpretacyjnego zobrazowań i sekwencji obrazów pozyskanych przez małe satelity. Właściwość ta jest kluczowa w obszarze bezpieczeństwa, zwłaszcza w dobie rozwijania się konfliktów i szybko zmieniającego się środowiska geopolitycznego.

# **DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR INCREASING THE SPATIAL RESOLUTION OF IMAGERY FROM SMALL SATELLITES USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE ALGORITHMS**

Author: por. mgr inż. Kinga Karwowska

Supervisor: dr hab. inż. Damian Wierzbicki, prof. WAT

With technological advancements and the dynamic development of the space sector, the demand for Earth observation systems is increasing. Small satellites are becoming increasingly popular, as they are more simple to manufacture and significantly cheaper compared to traditional imaging satellites. However, they have a significant drawback – due to their design, they have a much lower spatial resolution. Additionally, they possess imperfect optical systems, which consequently limits their ability to capture high-resolution satellite imagery. These satellites acquire either panchromatic, multispectral or simultaneously both of these types of imagery (though the difference in spatial resolution between panchromatic and multispectral images is minimal). Therefore, the imagery obtained by small satellites does not meet the requirements for resolution enhancement using classical spatial resolution improvement methods. Thus, developing an appropriate method for improving spatial resolution using only low-resolution images is essential.

Analyzing the study area allowed me to identify research problems related to improving the spatial resolution of satellite imagery obtained by small satellites. I addressed these issues in a series of four thematically related scientific articles. As part of my doctoral dissertation, I proposed a new approach to enhancing the spatial resolution of satellite imagery. The presented methodology enables a fourfold improvement in spatial resolution and at least a twofold increase in the interpretative possibilities of satellite imagery or image sequences of any size.

As part of my research, I proposed a new methodology for processing entire satellite images in the context of automatic image interpretation. This solution consists of three stages: (1) dividing the image into smaller fragments (tiles) of a size corresponding to the input parameter of the neural network (NN), (2) improving the spatial resolution using the NN, and (3) recombining the reconstructed tiles into a single coherent image. For merging the tiles, I applied time windows, demonstrating that the use of Hann, Hann-Poisson, Bartlett-Hann, or Triangular windows results in an image of comparable quality.

A key element of the methodology is the generative adversarial network (GAN), for which I used a multi-column discriminator and the Wasserstein loss function during training. My research demonstrated that employing a multi-column discriminator significantly accelerates the training process of the network. Additionally, I proposed a three-stage process for evaluating the quality of super-resolution (SR) images, which includes: (1) a global assessment, commonly used by researchers, where indicators are often inflated by a high representation of homogeneous surfaces, (2) a local assessment, enabling the identification of areas with lower or higher SR estimation quality, and (3) an analysis of the signal energy frequency distribution (PSD), which allows for determining the increase in the interpretative possibilities of the image data.

The culmination of my research was the development of a methodology for improving the spatial resolution of image sequences obtained by small satellites. During this research, I reviewed existing methods for sharpening data acquired through dynamic imaging techniques. Analyzing the experimental results, I decided to further enhance the generator of the designed GAN, as the generated images exhibited a characteristic texture caused by the model's low learning rate. To address this, I extended the generator model with a U-shaped encoder-decoder network. This modification led to an additional improvement in the interpretative quality of the images estimated by the generator.

The developed methodology allows for a fourfold improvement in spatial resolution and at least a twofold increase in the interpretative potential of images and image sequences obtained by small satellites. This capability is crucial in the field of security, especially in the context of escalating conflicts and the rapidly changing geopolitical environment.