

**OCENA PRZYDATNOŚCI POZIOMU MULTIFRAKTALNOŚCI DO
OPISU WYSOKOROZDZIELCZYCH DANYCH POZYSKANYCH PRZEZ
SATELITY LANDSAT**

**EVALUATION OF DEGREE OF MULTIFRACTALITY FOR
DESCRIPTION OF HIGH RESOLUTION DATA ACQUIRED BY
LANDSAT SATELLITES**

Anna Wawrzaszek¹, Martyna Walichnowska^{1,2}, Michał Krupiński¹

¹ Centrum Badań Kosmicznych Polskiej Akademii Nauk, Warszawa

² Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego,
Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Warszawa

SŁOWA KLUCZOWE: fraktal, mapa multifraktalności, analiza obrazu, klasyfikacja, zobrazowania satelitarne

STRESZCZENIE: W ramach pracy przeanalizowano 6 scen o trzydziestometrowej rozdzielczości pochodzące z satelitów Landsat 5, 7 i 8, zarejestrowane w sześciu zakresach długości fali i prezentujące obszar Warszawy. Stosując dwa algorytmy podziału dużych scen – sąsiadujący i pływający stworzono mapy multifraktalności. Przeprowadzona analiza pozwoliła ocenić, czy scena zarejestrowana w badanych zakresach wykazuje cechy multifraktalne oraz czy wybór rozmiaru podziału sceny w trakcie analiz ma istotny wpływ na uzyskane charakterystyki multifraktalne oraz ich błąd wyznaczenia. W ogólności pierwsza interpretacja przeprowadzonych analiz pokazała, że poziom multifraktalności stosowany dla danych o trzydziestometrowej rozdzielczości nie wykazuje bezpośredniego związku z formą pokrycia terenu. Należy przy tym jednak zaznaczyć, że rozważane dane nie zostały poddane wcześniejszemu przetworzeniu, co zgodnie z podjętą w pracy dyskusją, może stanowić jedną z metod polepszenia uzyskanych wyników.

1. WSTĘP

Opis multifraktalny danych obrazowych znalazł liczne zastosowania w mammografii (Stojić *et al.*, 2006; Lopes i Betrouni, 2009), w opisie sztucznych tekstur (Xia *et al.*, 2010), czy w odzyskiwaniu zdjęć (Xu *et al.*, 2006; Hu *et al.*, 2009). Charakterystyki multifraktalne zostały również wykorzystane do analizy zobrazowań satelitarnych, głównie danych radarowych (Yeo i Gan, 2001). Pełniejszy przegląd analiz fraktalnych i multifraktalnych danych satelitarnych można znaleźć m.in., w pracy Sun *et al.*, 2006; Wawrzaszek *et al.*, 2013. W szczególności warto podkreślić ostatnie badania, w ramach których wykazano użyteczność formalizmu multifraktalnego w kontekście opisu bardzo wysokorozdzielczych zobrazowań panchromatycznych z satelitów WorldView-2 i EROS-A (Drzewiecki *et al.*, 2013a; Drzewiecki *et al.*, 2013b, Wawrzaszek *et al.*, 2014).

W ramach niniejszej pracy postanowiono sprawdzić czy wysokorozdzielcze dane zarejestrowane w różnych zakresach długości fali również prezentują naturę multifraktalną

oraz czy ich opis za pomocą parametrów multifrakalnych może być przydatny do klasyfikowania treści zdjęcia.

Praca składa się z 5 rozdziałów i jest zorganizowana w następujący sposób. W rozdziale 2 opisujemy dane z satelitów Landsat wykorzystywane do analiz. Rozdział 3 prezentuje metodę wybraną do wyznaczania charakterystyk multifrakalnych i stworzenia map multifrakalności dla danych eksperymentalnych. Przykładowe wyniki analiz dla wysokorozdzielczych danych teledetekcyjnych przedstawia rozdział 4. Podsumowanie przeprowadzonych analiz oraz wyciągnięte wnioski zawiera rozdział 5.

2. DANE

Do analizy wybrano dane o trzydziestometrowej rozdzielczości przestrzennej pozyskane przez sensory w sześciu zakresach długości fali, umieszczone na satelitach Landsat 5, 7 i 8. Wszystkie sceny prezentują ten sam obszar (Warszawa) jako region cechujący się dużym stopniem zurbanizowania i zmieniający się na przestrzeni lat. Tabela 1 zawiera informacje o danych wybranych do analiz. W szczególności przedstawia: liczbę scen, ich czas rejestracji, rozdzielczość przestrzenną, spektralną i radiometryczną.

Tabela 1. Charakterystyka danych wybranych do analizy

Satelita (sensor)	Landsat 5 (TM)	Landsat 7 (ETM+)	Landsat 8 (OLI)
Liczba scen i czas rejestracji	4 sceny zarejestrowane w latach: 1986, 2006, 2007, 2009	1 scena zarejestrowana w 2000 roku	1 scena zarejestrowana w 2013 roku
Rozmiar scen	1024 × 1024 pikseli	1024 × 1024 pikseli	1024 × 1024 pikseli
Rozdzielczość przestrzenna	30 m	30 m	30 m
Rozdzielczość spektralna	B1: 450-520 nm B2: 520-600 nm B3: 630-690 nm B4: 760-900 nm B5: 1550-1750 nm B7: 2080-2350 nm	B1: 450-520 nm B2: 520-600 nm B3: 630-690 nm B4: 770-900 nm B5: 1550-1750 nm B7: 2090-2350 nm	B2: 450-510 nm B3: 530-590 nm B4: 640-670 nm B5: 850-880 nm B6: 1570-1650 nm B7: 2110-2290 nm
Rozdzielczość radiometryczna	8-bitów	8-bitów	12-bitów przekonwertowano do 16-bitów

W ramach pracy, w celu stworzenia map multifrakalności zastosowano dwa podziały sceny: podział sąsiadujący i pływający z kwadratowymi segmentami nachodzącymi na siebie w połowie. W szczególności dokonano podziału sceny na segmenty o boku 32 i 64 pikseli. Mniejsze wielkości segmentów zostały celowo pominięte jako niepozwalające na wyznaczenie funkcji multifrakalnych dla tak małych obszarów. Duże podziały takie jak 128, czy 256 pikseli uznano z kolei za zbyt duże dla badanego obszaru, by na ich podstawie wnioskować o powiązaniu parametrów multifrakalnych z pokryciem terenu, ponieważ charakteryzują się one małymi powierzchniami obszarów jednorodnych.

3. METODYKA BADAŃ

Do wyznaczenia charakterystyk multifraktalnych z danych obrazowych przyjęto metodę zliczania boksów (z ang. *Box-Counting Method*). Wybrana metoda pozwala wyznaczyć dla dwuwymiarowych zdjęć w skali szarości funkcje multifraktalne, a następnie związane z nimi parametry ilościowe. Metoda ta wraz ze schematycznym diagramem została przedstawiona m.in. w pracy Wawrzaszek *et al.*, 2014. Poniżej przedstawiono skrótowo jej główne etapy.

W pierwszym etapie analizy wyznaczona zostaje miara SUM dana wzorem:

$$p_i^{\text{SUM}}(\delta) = \sum_{(k,l) \in \Omega_i} g(k, l), \quad (1)$$

gdzie $g(k, l)$ oznacza wartość piksela o współrzędnych (k, l) , Ω_i jest zbiorem punktów należących do i -tego boks δ , a $i = 1 \dots N(\delta)$ i wielkość $N(\delta) = (N/\delta)^2$ określa liczbę boksów δ , na jaką można podzielić rozważany obraz o rozmiarze $N \times N$.

Następnie wyznaczona zostaje znormalizowana miara $p_i^{\text{SUM}}(\delta)$ postaci:

$$\mu_i^{\text{SUM}}(\delta) = \frac{p_i^{\text{SUM}}(\delta)}{\sum_{i=1}^{N(\delta)} p_i^{\text{SUM}}(\delta)}. \quad (2)$$

W kolejnym etapie rozważamy skalowanie miary μ_i^{SUM} na różnych skalach δ i dla różnych momentów rzędu q , gdzie $q \in R$ i $-\infty < q < +\infty$. W tym celu skonstruujemy funkcje partycji $\chi(q, \delta)$ wyrażoną wzorem:

$$\chi(q, \delta) = \sum_{i=1}^{N(\delta)} (\mu_i^{\text{SUM}}(\delta))^q, \quad (3)$$

która dla struktur multifraktalnych przy $\delta \rightarrow 0$ skaluje się zgodnie z relacją:

$$\chi(q, \delta) \propto \delta^{D_q(q-1)}, \quad (4)$$

a D_q oznacza tu wymiary uogólnione (Hentschel i Procaccia, 1983; Halsey *et al.*, 1986). Dalej, logarytmując obustronnie relacje (4) i rozważając nachylenia $\log \chi(q, \delta)$ względem $\log(\delta)$ uzyskujemy wartości D_q jako funkcji q zgodnie ze wzorem:

$$D_q = \begin{cases} \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\log(\chi(q, \delta))}{(q-1) \log(\delta)}, & q \neq 1 \\ \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\sum_{i=1}^{N(\delta)} \mu_i(\delta) \log(\mu_i(\delta))}{\log(\delta)}, & q = 1 \end{cases}. \quad (5)$$

Zmienność funkcji D_q pokazanej schematycznie w pracy Wawrzaszek *et al.*, 2013, rys. 3.1 określona jest parametrem

$$\Delta = D_{-\infty} - D_{+\infty}, \quad (8)$$

który to definiuje poziom multifraktalności i ilościowo opisuje niejednorodności występujące w analizowanych danych (Szczepaniak i Macek, 2008). Warto jednak podkreślić, że ze względu na skończoność danych i w celu rozważania dość małych

fragmentów sceny koniecznym było przyjęcie ograniczenia dla parametru q : $-5 \leq q \leq 5$ i w tym zakresie indeksu q przeprowadzono dalsze analizy. W szczególności poziom multifraktalności wyznaczono stosując relację $\Delta = D_{-5} - D_5$.

Warto również zaznaczyć, że parametr Δ jako ilościowa charakterystyka wybrana do konstruowania map multifraktalności, został wyznaczony dla każdego z segmentów powstających podczas podziału sąsiadującego i pływającego sceny. Przy podziale sąsiadującym, segmenty jedynie stykały się ze sobą bez możliwości nachodzenia. Natomiast przy podziale pływającym segmenty nachodziły na siebie w połowie zarówno w poziomie, jak i w pionie, co powodowało, że części obrazu były pokrywane przez kilka segmentów jednocześnie. Jako że parametr Δ był wyznaczany dla każdego z segmentów niezależnie, prowadziło to z kolei do sytuacji, w których dla części analizowanego obrazu obejmowanego przez kilka segmentów równocześnie, parametr Δ był wyznaczany kilkukrotnie. W takich przypadkach przyjęto uśrednianie wyznaczonych wartości Δ . Więcej informacji o przyjętych podziałach oraz stosowanej metodologii do konstrukcji map multifraktalności można znaleźć w pracy Walichnowska, 2014.

4. WYNIKI

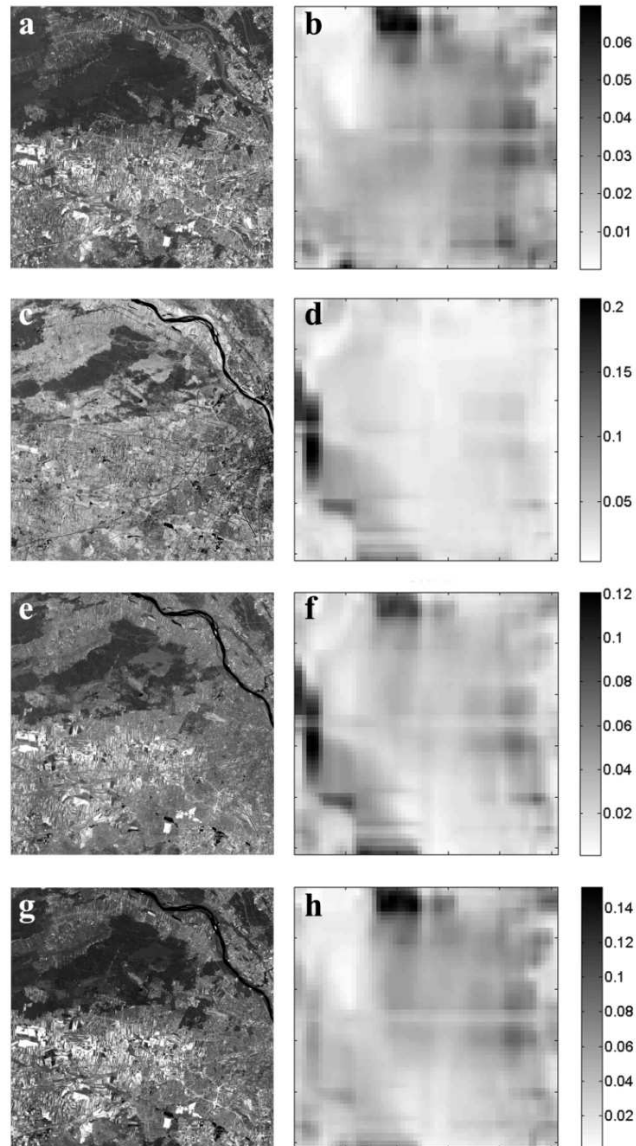
4.1. Mapy multifraktalności

Przykładowe mapy multifraktalności uzyskane dla sceny z 2013 roku z satelity Landsat 8 prezentuje rysunek 1. Dokładniej, lewa strona rysunku przedstawia dane zarejestrowane w jednym z czterech wybranych kanałów: czerwonym (rys. 1a), bliskiej podczerwieni (rys. 1c), średniej podczerwieni 1 (rys. 1e), średniej podczerwieni 2 (rys. 1g). Z kolei prawa strona rysunku prezentuje wartości poziomu multifraktalności wyznaczone dla wybranych danych zakodowane w skali szarości. Parametr Δ wyznaczono przy zastosowaniu pływającego podziału sceny na segmenty o boku 32 pikseli. Warto dodać, że pominięte na rysunku dane z kanału niebieskiego i zielonego również zostały rozwiązane w naszych analizach, a wyznaczone mapy multifraktalności były bardzo zbliżone do wyników dla kanału czerwonego. Pierwsza interpretacja uzyskanych map pozwala wnioskować, że wysokorozdzielcze zdjęcia zarejestrowane w poszczególnych kanałach mają naturę multifraktalną.

Dalej, porównując wyznaczone mapy multifraktalne pomiędzy kanałami można zauważyć znaczące różnice w otrzymanych zakresach multifraktalności. Najmniejsze wartości parametru Δ obserwuje się dla danych z kanału czerwonego, największe dla bliskiej podczerwieni. Zauważyć można również, że zupełnie różne obszary sceny są wyróżnianie podwyższonym poziomem multifraktalności dla danych z kanału czerwonego niż dla bliskiej podczerwieni czy średniej podczerwieni 1. Trudno jednak to związać z określoną formą pokrycia terenu, w szczególności z zabudową, która dla danych VHR prezentowała podwyższony poziom multifraktalności (Wawrzaszek *et al.*, 2013). Z kolei tereny wodne, które dla danych VHR przyjmowały zerowe wartości parametru Δ , tutaj podobnych zachowań nie wykazały.

Należy się teraz zastanowić jak na uzyskane wyniki wpłynął przyjęty podział sceny. Rysunek 2 prezentuje mapy multifraktalności wyznaczone dla sceny z 2006 roku z satelity Landsat 5 zarejestrowanej w kanale czerwonym. Na rysunku 2 pokazano efekt działania podziału sąsiadującego i pływającego sceny na kwadratowe segmenty o boku równym 32

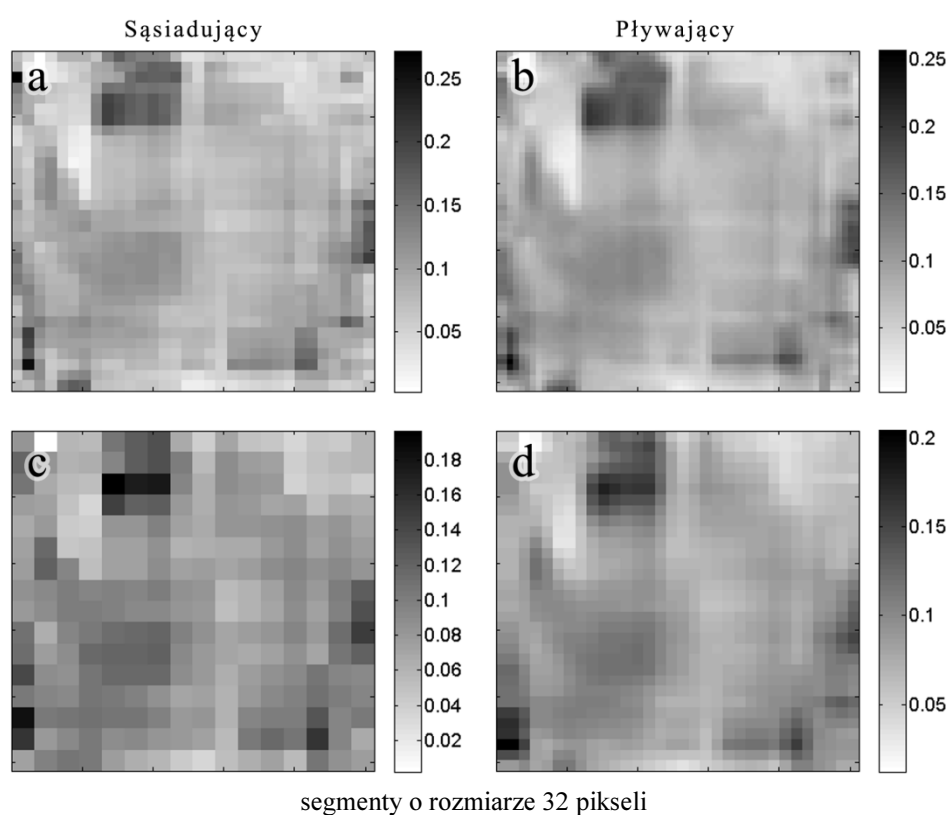
piksele (rys. 2 a i c) i 64 piksele (rys. 2 b i d). Przy stosowaniu podziału pływającego sceny uwidacznia się spodziewany efekt rozmycia na mapie multifraktalnej. W ogólności jednak podział sąsiadujący i pływający doprowadziły do oznaczenia podobnych regionów sceny wyższym poziomem multifraktalności.



Rys. 1. Fragment sceny z satelity Landsat 8 zarejestrowanej w 2013 roku w czterech wybranych kanałach: czerwonym (a), bliskiej podczerwieni (c), średniej podczerwieni 1 (e), średniej podczerwieni 2 (g) z wyznaczonymi dla nich mapami multifraktalności Δ (b, d, f, h). Parametr Δ wyznaczono przy użyciu pływającego podziału sceny na kwadratowe segmenty o boku 32 pikseli

Kolejny ważny aspekt to analiza błędu wyznaczenia wielkości Δ . W przypadku prezentowanych tu badań został on określony jako suma błędów wyznaczenia wymiarów D_{-5} i D_5 (rozdział 3). W ogólności, za błędy D_q przyjęto błędy wyznaczenia współczynników kierunkowych prostych, dopasowywanych do $\log(\chi(q, \delta))$ względem $\log(\delta)$ (równanie 5) przy zastosowaniu metody najmniejszych kwadratów.

Błąd wyznaczenia Δ dla p podziału na segmenty o boku 32 pikseli wyniósł od 0 do 0.02 natomiast dla segmentów o rozmiarze 64 pikseli wahał się od 0 do 0.01. Opierając się na tych wynikach, można przypuszczać, że stosowanie większych segmentów prowadzi do zmniejszenia błędu wyznaczenia poziomu multifraktalności i pozwala z większą ufnością rozważać wyznaczone charakterystyki.



Rys. 2. Mapy multifraktalności Δ wyznaczone dla fragmentu sceny z satelity Landsat 5 z 2006 roku (kanał czerwony) przy użyciu podziału sąsiadującego (panel lewy) i pływającego (panel prawy) sceny. W trakcie analiz zastosowano dwie wielkości kwadratowych segmentów: 32 (a, b) i 64 (c, d) piksele

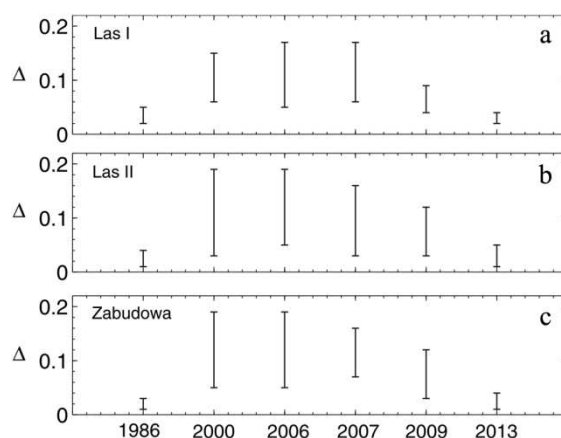
Porównanie wyników z rysunku 1b i 2b pozwala ocenić również zmianę poziomu multifraktalności pomiędzy latami 2006 (czas akwizycji: 3 lipca) a 2013 (czas akwizycji: 20 czerwca). Po pierwsze, uwidacznia się wyższy zakres wartości dla poziomu

multifraktalności obserwowany dla danych z satelity Landsat 5. Dalej porównanie wyników między rysunkami 1b i 2b pokazuje, że niektóre fragmenty scen zachowały poziom multifraktalności, a w innych fragmentach wystąpił spadek. Ponownie trudno jednak na podstawie wyznaczonych map multifraktalności wnioskować o pokryciu terenu.

Więcej wyników dla danych z satelitów Landsat, które potwierdzają przedstawione powyżej wnioski można znaleźć w pracy Walichnowska, 2014.

4.2. Multifraktalność a wybrane formy pokrycia terenu

Kolejnym przeanalizowanym aspektem była próba wyodrębnienia form pokrycia terenu na podstawie zadawania określonych wartości poziomu multifraktalności Δ . W szczególności skupiono się na badaniu jednorodnych próbek reprezentujących las, bądź zabudowę. Przykładowo, wzięto pod uwagę dwie próbki lasu oraz jedną próbkę zabudowy zarejestrowane w kanale czerwonym i wyznaczone dla nich poziomy multifraktalności. Zakresy wartości parametru Δ , wyznaczonego dla próbek lasu na przestrzeni lat 1986-2013, mieściły się w przedziale od 0.02 do 0.17 (rys. 3 a) oraz w przedziale od 0.01 do 0.19 (rys. 3 b). Podobne wartości, od 0.01 do 0.19 (rys. 3 c), uzyskano dla zabudowy.



Rys. 3. Wartości zakresów poziomów multifraktalności Δ wyznaczone dla dwóch próbek lasu i zabudowy na przestrzeni lat 1987-2013

Interesujący jest efekt wyższego poziomu multifraktalności w latach 2000-2009 bez względu czy rozważano jednorodną próbkę lasu, czy też zabudowy. Wyjaśnienia tego zagadnienia można szukać w braku korekcji atmosferycznej danych, lub różnicach w rozdzielczości radiometrycznej poszczególnych sensorów (Tabela 1).

W ogólności wyniki pokazały nachodzenie na siebie zakresów wartości dla lasu i zabudowy. Podobny efekt zaobserwowano dla innych próbek lasu i zabudowy jak i dla danych z pozostałych kanałów spektralnych. Na tej podstawie można wnioskować, że poziom multifraktalności wyznaczony dla wysokorozdzielczych scen z satelitów Landsat nie wykazuje związku z formami pokrycia terenu.

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W ramach pracy przeanalizowano 6 scen pochodzących z satelitów Landsat, których dane objęły okres 27 lat. Dzięki rozpiętości czasowej przetworzono informacje zarejestrowane w różnych warunkach i pochodzące z różnych sensorów i zarejestrowane w sześciu zakresach długości fali.

W ogólności badania pokazały, że wysokorozdzielcze sceny mogą zostać opisane charakterystykami multifraktalnymi we wszystkich rozważanych zakresach długości fal.

Co więcej, zaobserwowano najniższy poziom multifraktalności dla danych z kanału czerwonego, największe zaś dla danych bliskiej podczerwieni, co jest zgodne z wynikami z pracy Cheng, 1999. Analiza pokazała również, że zupełnie różne obszary sceny są wyróżniane podwyższonym poziomem multifraktalności dla danych z kanału czerwonego, bliskiej podczerwieni i średniej podczerwieni 1.

W pracy podjęta została również próba wstępnej oceny przydatności uzyskanych map z poziomami multifraktalności do wybywania informacji z obrazu. Analiza jednorodnych próbek lasu i zabudowy pokazała, że wyznaczony dla nich poziom multifraktalności zmieniał się na przestrzeni analizowanych lat, by w latach 2000-2009 przyjmować znacząco większe wartości. W ogólności podczas badań nie udało się jednoznacznie powiązać formy pokrycia terenu z analizowanym poziomem multifraktalności, czego głównym powodem mogła być trzydziestometrowa rozdzielczość przestrzenna analizowanych danych. Wynik ten porównany z rezultatami analizy multifraktalnej dla danych o bardzo dużej rozdzielczości (Drzewiecki et al., 2013b), wydaje się potwierdzać wnioski przedstawione w pracach dotyczących analizy teksturowej, gdzie wykazano spadek efektywności analizy teksturowej (ze względu na zmniejszanie się różnic w teksturze obrazu) wraz ze zmniejszeniem rozdzielczości przestrzennej obrazu (Lewiński et al., 2014; Kupidura, 2015). Można przypuszczać, że wcześniejsze przetworzenie danych obrazowych za pomocą filtrów Sigma lub medianowego (Wawrzaszek et al., 2014), bądź dokonanie korekcji atmosferycznej rozważanych danych skutkowałoby polepszeniem wyników. Pozostawia to otwarte perspektywy badawcze.

Kończąc rozważania podjęte w niniejszej pracy, warto wspomnieć o kierunkach dalszych analiz. Można również przeprowadzić bardziej szczegółowe badania podziału pływającego sceny. W szczególności, można dokładniej rozważyć wpływ stopnia nachodzenia boksów czy operacji uśredniania na uzyskane wyniki. Ważnym zagadnieniem pozostaje również stosowanie teoretycznych modeli w celu precyzyjnego wyznaczenia poziomu multifraktalności (Szczepaniak i Macek, 2008). Nie jest to jednak zadanie trywialne, wymagające rozważenia wielu teoretycznych multifraktali i dostosowania metodologii do analizy danych obrazowych.

PODZIĘKOWANIA

Badania przeprowadzono przy wsparciu Narodowego Centrum Nauki (NCN): grant NN 526 1568 40.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work has been supported by the Polish National Science Centre (NCN) through grant NN 526 1568 40.

LITERATURA

- Cheng, Q., 1999. Multifractality and spatial statistics. *Computer and Geosciences* 25, s. 949 - 961.
- Drzewiecki W., Wawrzaszek A., Krupiński M., Aleksandrowicz S., Bernat K., 2013a. Comparison of selected textural features as global content-based descriptors of VHR satellite image – the EROS-A study. Federated Conference on Computer Science and Information Systems, s. 43-49.
- Drzewiecki W., Wawrzaszek A., Aleksandrowicz S., Krupinski M., Bernat, K., 2013b. Comparison of selected textural features as global content-based descriptors of VHR satellite image. Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2013 IEEE International, doi: 10.1109/IGARSS.2013.6723801, s. 4364 – 4366.
- Halsey T. C., Jensen M. H., Kadanoff L. P., Procaccia I., Shraiman B. I., 1986. Fractal measures and their singularities: The characterization of strange sets. *Physical Review A*, 33(2), doi:10.1103/PhysRevA.33.1141, s. 1141–1151.
- Hentschel H., Procaccia I., 1983. The infinite number of generalized dimensions of fractals and strange attractor. *Physica D*, 8, s. 435–444.
- Hu M. G., Wang J. F., Ge Y., 2009. Super-Resolution Reconstruction of Remote Sensing Images Using Multifractal Analysis. *Sensors*, 9, s. 8669-8683.
- Kupidura P., 2015. *Wykorzystanie granulometrii obrazowej w klasyfikacji treści zdjęć satelitarnych*. Prace Naukowe, Geodezja z. 55, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Lewiński S., Aleksandrowicz S., Banaszekiewicz M. 2014. Testing texture of VHR panchromatic data as a feature of land cover classification. *Acta Geophysica*, 63(2), 547-567.
- Lopes R., Betrouni N., 2009. Fractal and multifractal analysis: A review. *Medical Image Analysis*, 13, s. 634-649.
- Sun W., Xu G., Gong P., Liang S., 2006. Fractal analysis of remotely sensed images: A review of methods and applications. *International Journal of Remote Sensing*, 27 (22), s. 4963-4990.
- Stojić T., Reljin I., Reljin B., 2006. Adaptation of multifractal analysis to segmentation of microcalcifications in digital mammograms. *Physica A*, 367, s. 494–508.
- Szczepaniak A., Macek W.M., 2008. Asymmetric multifractal model for solar wind intermittent turbulence. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 15, s. 615-620.
- Walichnowska M., 2014, *Implementacja opisu multifraktalnego na potrzeby analizy obrazowań satelitarnych*, praca magisterska, Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego, Warszawa.
- Wawrzaszek A., Krupiński M., Aleksandrowicz S., Drzewiecki W., 2013a. Formalizm multifraktalny w analizie obrazowań satelitarnych. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 25, s. 261-272.
- Wawrzaszek A., Aleksandrowicz S., Krupiński M., Drzewiecki W., 2014. Influence of Image Filtering on Land Cover Classification when using Fractal and Multifractal Features. *Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformation*, 2, s. 101–115.

Xia Y., Feng D., Zhao R., Zhang Y. 2010. Multifractal signature estimation for texture image segmentation. *Pattern Recognition Letters*, 31, s. 163-169.

Xu Y., Ji H., Fermuller C., 2006. A projective invariant for textures. *IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, New York.

Yeo T.S., Gan D., 2001. A multifractal approach for auto-segmentation of SAR images, *IEEE Geoscience & Remote Sensing Symposium (IGARSS) 2001*, 5, s. 2301-2303.

EVALUATION OF DEGREE OF MULTIFRACTALITY FOR DESCRIPTION OF HIGH RESOLUTION DATA ACQUIRED BY LANDSAT SATELLITES

KEY WORDS: fractal, multifractal map, image analysis, classification, satellite images

Summary

In the frame of this work six satellite images (at six spectral bands) from Landsat 5, Landsat 7 and Landsat 8 have been analysed. For this purpose 30 meter resolution images showing the regions of Warsaw have been used. The conducted research allowed for verification if the whole scene presents multifractal features and if size of the division of the scene used during the analysis has a significant influence on the multifractal characteristic and error in their calculation. Initial interpretation of the obtained results showed, that the use of degree of multifractality determined for remote sensing data with the 30 meters resolution does not reveal direct relation with land cover classes. It should be noted, however, that the considered data have not been the subject of a previous processing, which according to the discussion performed in this work can be considered as one of the methods to achieve an improvement in results.

Dane autorów:

Dr Anna Wawrzaszek
e-mail: sanna@cbk.waw.pl
telefon: (+48 22) 496 64 07
fax: (+48 22) 840 31 31

Martyna Walichnowska
e-mail: jakumawa@outlook.com
telefon: (+48 22) 496 64 07
fax: (+48 22) 840 31 31

Michał Krupiński
e-mail: mkrupinski@cbk.waw.pl
telefon: (+48 22) 496 62 05
fax:(+48 22) 840 31 31

Przesłano 7.10.2015
Zaakceptowano 20.12.2015