

**ZASTOSOWANIE TRANSFORMACJI IR-MAD W DETEKCJI ZMIAN
NA ZDJĘCIACH SATELITARNYCH**

**APPLICATION OF IR-MAD TRANSFORMATION TO CHANGE DETECTION
ON SATELLITE IMAGES**

Sebastian Aleksandrowicz, Stanisław Lewiński, Andrzej Kotarba

Centrum Badań Kosmicznych Polskiej Akademii Nauk

SŁOWA KLUCZOWE: detekcja zmian, MAD, IR-MAD

STRESZCZENIE: W drugiej połowie lat dziewięćdziesiątych została opublikowana metoda analizy MAD (Multivariate Alteration Detection) służąca do wykrywania różnic występujących w wielowymiarowych zbiorach danych. Opracowano ją specjalnie dla celów detekcji zmian na podstawie zdjęć wielospektralnych i hiperspektralnych zarejestrowanych w różnym czasie. W ramach programu SATChMo/Geoland2 w Centrum Badań Kosmicznych rozpoznano możliwości zastosowania transformacji IR-MAD do detekcji zmian podstawowych form pokrycia terenu na zdjęciach satelitarnych wysokiej rozdzielczości. Prezentowana praca została wykonana na podstawie pary zdjęć KOMPSAT-2 obrazującej tereny północnej Hiszpanii w roku 2008 i 2010. Zaproponowany algorytm postępowania analizuje wyniki transformacji IR-MAD oraz dodatkowo informacje o pokrywie roślinnej i teksturze. Transformacja IR-MAD wykonywana jest na podstawie czterech kanałów spektralnych B, G, R i IR o rozdzielczości 4m, zdjęcia z pierwszego i drugiego terminu. Informacje uszczegóławiające możliwość zmian pokrywy roślinnej są pozyskiwane na podstawie wskaźników NDVI, natomiast źródłem informacji o teksturze są przetworzone za pomocą filtrów Sigma kanały panchromatyczne o rozdzielczości 1 m. Przyjęto założenia rozpoznawania zmian w pokryciu terenu, które nie są wynikiem naturalnych cykli fenologicznych. Najpierw identyfikowane są miejsca występowania zmian, następnie istnieje możliwość uzyskania informacji o ich charakterze.

1. WSTĘP

Rosnąca dostępność danych satelitarnych o bardzo wysokiej rozdzielczości przestrzennej (VHR) oraz zmiany pokrycia terenu wywołane działalnością człowieka oraz procesami naturalnymi, sprawiają, że obok nowych metod klasyfikacji, rozwijane są także metody detekcji zmian. Oczekiwana wartość informacyjna, którą niosą ze sobą zdjęcia to już nie tylko statyczne dane opisujące występowanie określonych elementów na powierzchni Ziemi, ale także informacje ilościowe oraz jakościowe charakteryzujące zmiany na niej zachodzące. Stworzenie skutecznych metod analizy danych wieloczasowych jest jednym z najważniejszych i najtrudniejszych wyzwań, jakie staną przed środowiskiem teledetekcyjnym w najbliższych latach (Bruzzone, 2001). W celu pozyskania informacji na temat zmian opracowano wiele algorytmów przetwarzania obrazów. Charakteryzują się one różnym stopniem złożoności oraz dokładności uzyskiwanych wyników. Przegląd stosowa-

nych metod detekcji zmian jest tematem wielu publikacji. Został on wykonany między innymi przez Coppin i Bauer (1996), Hall i Hay (2003) oraz przez Lu *et al.* (2004). Są one również prezentowane w publikacjach podręcznikowych (Jensen, 1996; Campbell, 2002). Podstawowe zagadnienia rozpoznawania zmian z zastosowaniem technik klasyfikacji obiektowej przedstawił Blaschke (2005). Próba usystematyzowania algorytmów związanych z analizą czasowych serii zdjęć została podjęta przez Jianya *et al.*, (2008).

Nielsen *et al.* (1998) zaproponowali wykorzystanie w procesie automatycznej detekcji zmian transformację MAD (*Multivariate Alteration Detection*). Parę lat później została ona zmodyfikowana (Nielsen, 2007), powstał algorytm przetwarzania IR-MAD (*Interactively Reweighted Multivariate Alteration Detection*). Transformacja MAD została zastosowana między innymi do detekcji zmian zabudowy na zdjęciach wysokiej rozdzielczości przez Doxani *et al.*, (2008).

2. TRANSFORMACJA MAD W DETEKCJI ZMIAN

Metoda detekcji zmian MAD oparta jest na analizie kanonicznej korelacji obrazu. Dla dwóch obrazów wielospektralnych (X i Y) obrazujących ten sam teren w dwóch punktach czasu, obliczane są kanoniczne zmienne losowe, które są następnie odejmowane od siebie. Te ortogonalne różnice zawierają maksimum informacji o łącznej zmianie we wszystkich kanałach spektralnych (Nielsen, 2007).

Transformację MAD możemy zdefiniować wzorem.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} a_p^T X - b_p^T Y \\ a_1^T X - b_1^T Y \end{bmatrix} \quad (1)$$

gdzie: a_i i b_i są współczynnikami standardowej analizy kanonicznej, które obliczamy z wykorzystaniem macierzy wariancji-kowariancji (dyspersji),

$$\sum_{12} \sum_{22}^{-1} \sum_{21} a = \rho^2 \sum_{11} a \quad (2)$$

$$\sum_{21} \sum_{11}^{-1} \sum_{12} b = \rho^2 \sum_{22} b \quad (3)$$

gdzie: $(X) \sum_{11}$ i $(Y) \sum_{22}$ – macierze dyspersji obrazów X i Y , \sum_{12} – kowariancja między X i Y , ρ – to korelacja kanoniczna $\rho = \text{Corr}\{a^T X, b^T Y\}$.

Rozszerzeniem metody MAD jest IR-MAD (*Iteratively Reweighted MAD*). W tym przypadku obliczane są standardowe zmienne kanoniczne oraz MAD. W następnych iteracjach do kolejnych obserwacji dodawane są wagi w_j (4), które zależą od wielkości zaobserwowanej zmiany.

$$w_j = P \{T_j > t\} \approx P(\chi^2 > t) \quad (4)$$

gdzie: T_j – suma kwadratów zmiennych MAD, χ – rozkład T_j

Zmiany wykryte przy użyciu opisanej powyżej techniki niewrażliwe są na afiniczne przekształcenia, jakim zostaje poddany obraz. Pozwala to na przetwarzanie danych poddanych normalizacji, kalibracji lub też danych, które pozyskane zostały z różnymi ustawieniami sensora.

3. ZASTOSOWANIE TRANSFORMACJI MAD W ALGORYTMIE DETEKCJI ZMIAN

3.1. Dane satelitarne oraz teren badań

Zadaniem opracowanego algorytmu jest detekcja zmian na zdjęciach satelitarnych o bardzo wysokiej rozdzielczości przestrzennej. Testy zostały wykonane na zdjęciach KOMPSAT-2 o rozdzielczości 1 m w kanale panchromatycznym (PAN) i 4 m w przypadku kanałów multispektralnych (MS) oraz FORMOSAT-2 o rozdzielczości wynoszącej odpowiednio 2 m i 8 m. Zostały one zarejestrowane w latach 2008, 2009, 2010 i obrazują tereny Hiszpanii (Torrelavega). Analizowano pary zdjęć KOMPSAT-2 oraz parę KOMPSAT-2 i FORMOSAT-2. Działanie algorytmu sprawdzono również na podstawie danych IKONOS obrazujących okolice Warszawy. Dodatkowo w procesie detekcji zmian wykorzystywany jest obraz klasyfikacji zdjęcia z pierwszego terminu. Jest ona wykona algorytmem SATChMo-K2 (Lewiński *et al.*, 2010). Docelowo prezentowane rozwiązanie, posłuży w ramach programu SATChMo, do detekcji zmian na terenie całej Unii Europejskiej. Przyjęte założenia powinny pozwolić na uzyskanie zadawalających wyników bez względu na warunki geograficzne i przyrodnicze – od terenów śródziemnomorskich po lasy na północy Europy.

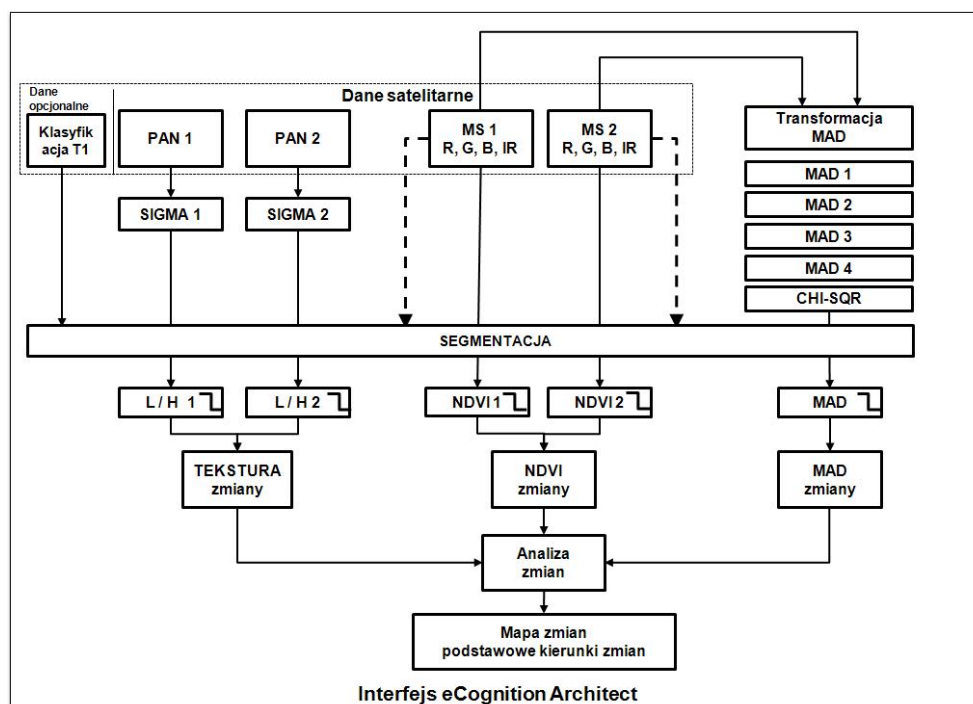
3.2. Algorytm detekcji zmian

Prezentowany algorytm detekcji zmian bazuje na transformacji MAD. Jego założenia zostały opracowane w Centrum Badań Kosmicznych PAN w ramach europejskiego projektu Geoland2/SATChMo (Seasonal and Annual Change Monitoring). Będzie on wykorzystywany do aktualizacji map pokrycia terenu. Algorytm jest połączeniem pikselowej metody detekcji zmian z możliwościami, jakie daje podejście obiektowe w oprogramowaniu eCognition. Składowe MAD generowane są z zastosowaniem procedury opracowanej w Juelich Research Centre (Canty, 2006) w oparciu o prace Nielsena (1998), która działa w oprogramowaniu ENVI. Niezależnie od już istniejących narzędzi w CBK PAN trwają prace nad własnym oprogramowaniem pozwalającym na generowanie składowych MAD w środowisku Matlab. Schemat blokowy algorytmu przedstawiony jest na rysunku 1.

Danymi wejściowymi są wysokorozdzielcze obrazy panchromatyczne (PAN) oraz wielospektralne (MS) zarejestrowane w czasie T1 i T2, klasyfikacja pokrycia terenu dla czasu T1 (opcjonalnie) oraz cztery komponenty transformacji IR-MAD i warstwy χ^2 .

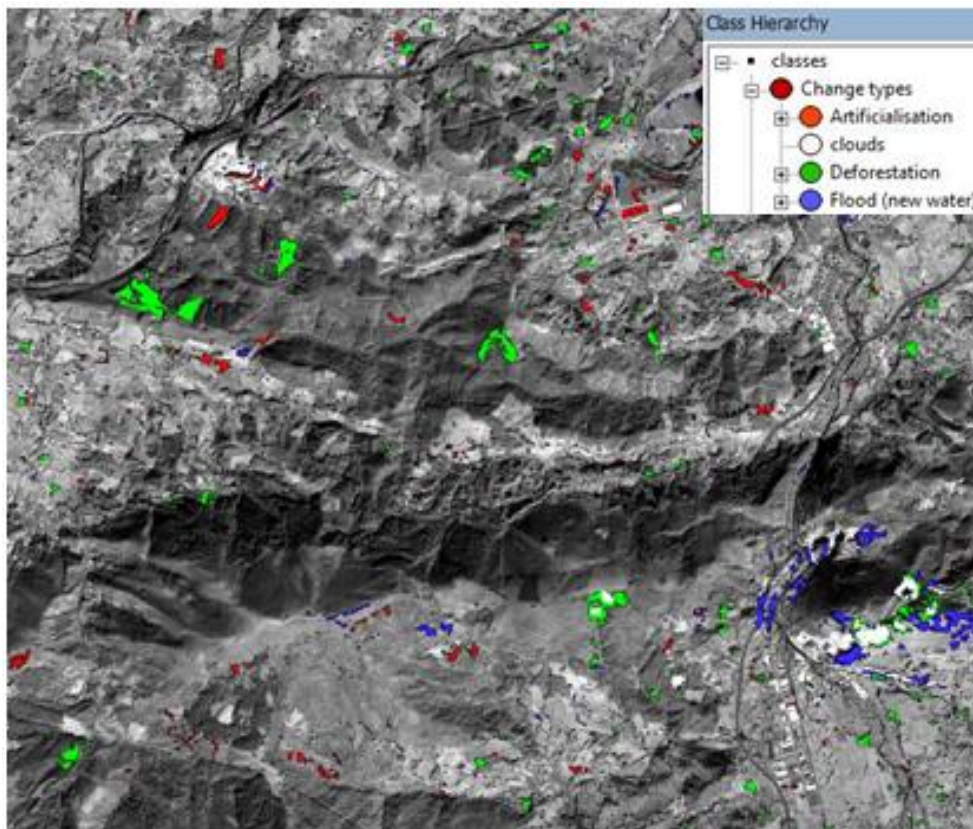
Podstawowym źródłem informacji o zmianach są wyniki transformacji MAD. Nie pozwalają one jednak na rozróżnienie tzw. zmian tematycznych (trwałych) od zmian będących wynikiem naturalnych różnic wynikających z fenologii roślinności zobrazowanej na pierwszy i drugim zdjęciu. W celu zminimalizowania wpływu fenologii wprowadzone zostały wartości progowe NDVI. Są one generowane automatycznie na podstawie wartości odchyłeń standardowych. Dodatkowo wykorzystywany jest podział treści zdjęć panchromatycznych na tzw. niską i wysoką teksturę. Ten sposób postępowania został zaproponowany przez de Kok i Wężyk (2008) i następnie zastosowany w algorytmie klasyfikacyjnym SATChMo-K2 (Lewiński *et al.*, 2010). Opiera się on na założeniu, że do tzw. niskiej tekstury należą klasy pokrycia terenu związane z rolnictwem oraz z wodą, natomiast pozostałe klasy należą do tzw. wysokiej tekstury. Obrazy tekstury zostały wygenerowane

z zastosowaniem filtra Lee-Sigma. Wartości progowe tekstury dla czasu T1 i T2 mogą być podane przez operatora lub obliczone automatycznie na podstawie klasyfikacji zdjęcia z pierwszego terminu. Następnie, na podstawie zdefiniowanych zależności, w formie drzewa decyzyjnego, między składowymi MAD, wartościami NDVI oraz teksturą określany jest charakter zmian, oraz równocześnie następuje filtracja zmian fenologicznych. Aktualnie wykrywane są zmiany związane z wylesieniami, nową zabudową oraz tereny zalane wodą. Przeprowadzone próby wykazały, że stosowana metoda pozwala na klasyfikowanie zachmurzenia, które nigdy nie występuje równocześnie w tych samych miejscach na dwóch zdjęciach.



Rys. 1. Schemat blokowy algorytmu detekcji zmian

W ramach projektu SATChMo detekcja zmian ma być przeprowadzana na dużej ilości zobrazowań przez wielu użytkowników o różnym poziomie znajomości oprogramowania. Z tego powodu, w programie eCognition stworzony został interfejs użytkownika (Architect), który ogranicza możliwość ingerencji w sposób działania algorytmu. Użytkownik decyduje o wielkości tworzonych obiektów segmentów natomiast dalsza część procesu odbywa się automatycznie. Jednocześnie stworzone zostały narzędzia do manualnej poprawy wyników otrzymanych w procesie automatycznym. Na rysunku 2, na tle zdjęcia satelitarnego, przedstawione są miejsca rozpoznanych zmian.



Rys. 2. Wynik detekcji zmian na zobrazowaniu KOMPSAT-2. Okolice Torrelavega, Hiszpania, lata 2008–2010

4. OCENA WYNIKÓW

Poprawność działania algorytmu została oceniona w ramach projektu SATChMo przez bułgarską firmę ReSAC. Zastosowano specjalnie w tym celu opracowaną metodykę wzorowaną na doświadczeniach Joint Research Center (JRC) i metodach oceny dokładności Land Parcel Identification System (LPIS). Polega ona na wyznaczeniu siatki kwadratów i na losowej selekcji obszarów, na których występują lub nie występują rozpoznane zmiany. Następnie, na podstawie zdjęć z okresu T1 i T2, wykonywana jest interpretacja wizualna i porównanie z wynikami uzyskanymi automatycznie. Ocena dokładności przeprowadzona przez dwóch niezależnych obserwatorów wykazała, że poprawność rozpoznania zmian wynosi około 75%. Równoległe do walidacji zewnętrznej w CBK PAN dokonano oceny dokładności metodą wizualną na kilku scenach Kompass2 między innymi z Polski, Włoch, Hiszpanii oraz Francji. We wszystkich przypadkach dokładność automatycznie rozpoznanych zmian w porównaniu ze zmianami określonymi manualnie wynosiła

ponad 70%. Należy jednak zaznaczyć, że algorytm wykrywa więcej zmian niż jest ich w rzeczywistości. Jest to spowodowane głównie różnicami w oświetleniu obu scen, oraz niedokładną ortorektyfikacją zdjęć. Otrzymane wyniki potwierdzają słuszność przyjętych założeń. Równocześnie prowadzone są dalsze prace nad udoskonaleniem metody – zwiększeniem wykrywalności zmian i zmniejszeniem ilości fałszywych alarmów.

Metoda detekcji zmian wykorzystująca składowe MAD nie była dotychczas powszechnie stosowana w Polsce. Algorytm obliczeń jest skomplikowany, a ocena i interpretacja otrzymanych wyników może być trudna. Zaproponowane rozwiązanie klasyfikacyjne pozwala na uzyskanie, wiarygodnych wyników i stworzenie maski zmian, która nie jest obciążona błędami wynikającymi z sezonowych różnic w wegetacji.

Przedstawione prace zostały wykonane w ramach projektu Geoland2 / SATChMo, który jest realizowany w Centrum Badań Kosmicznych PAN.

5. LITERATURA

- Bruzzone L., Smits P., 2001. Analysis of Multi-Temporal Remote Sensing Images, Proceedings of Multitemp 2001, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Vol. 2.
- Blaschke T., 2005. Towards a framework for change detection based on image objects. Remote Sensing and GIS for Environmental Studies, Gottinger Geographische Abhandlungen, Vol. 113.
- Campbell J.B., 2002. Introduction to remote sensing. Third edition. Taylor & Francis.
- Canty M. J., 2006. Image analysis, classification and change detection in remote sensing: with algorithms for ENVI/IDL.
- Coppin, P.R., Bauer, M. E., 1996. Digital change detection in forest ecosystems with remote sensing imagery. Remote Sensing Reviews, 13, pp. 207–234.
- Doxani G., Karantzas K., Tsakiri-Strati M., 2008. Automatic change detection in urban areas under a scale-space, object-oriented classification framework. Ed. E. A. Addink and F.M.B. Van Coillie, GEOBIA 2010, Geographic Object-Based Image Analysis, Ghent, Belgium, 29 June–2 July
- Hall O., Hay G. J., 2003. A Multiscale Object-Specific Approach to Digital Change Detection. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 4 (2003), pp. 311–327.
- de Kok R., Wężyk P., 2008. Principles of full autonomy in image interpretation. The basic architectural design for a sequential process with image objects. In: Object-Based Image Analysis. Blaschke Th., Lang S., Hay G.J. (Eds). Series: Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Springer Berlin Heidelberg, ISSN: 1863-2246, pp. 697–710.
- Jensen J. R., 2004 Introductory Digital Image Processing. A remote sensing perspective. Prentice-Hall Series in Geographic Information Science.
- Jianya G., Haigang S., Guorui M., Qiming Z., 2008. A review of multi-temporal remote sensing data change detection algorithms. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B7, pp. 757–762.
- Lewinski S., Bochenek Z., Turlej K., 2010. Object-oriented method for classification of VHR satellite images using rule-based approach. Geoinformation Issues, Vol. 2, No 2.
- Lu D., Mausel P., Brondizio E., Moran E., 2004. Change detection techniques. International Journal of Remote Sensing, 25, pp. 2365–2407.

Nielsen, A. A., Conradsen, K., Simpson, J. J., 1998. Multivariate alteration detection (MAD) and MAF processing in multispectral, bitemporal image data: New approaches to change detection studies, *Remote Sensing of Environment*, 64, pp. 1–19.

Nielsen A. A., 2007. The Regularized Iteratively Reweighted MAD Method for Change Detection in Multi- and Hyperspectral Data, *IEEE Transactions on Image processing*, Vol. 16, No. 2, pp. 463–478.

APPLICATION OF IR-MAD TRANSFORMATION TO CHANGE DETECTION ON SATELLITE IMAGES

KEY WORDS: change detection, MAD, IR-MAD

SUMMARY: In the second half of the 1990s, MAD (Multivariate Alteration Detection) method designed for detecting differences in multidimensional datasets was published. It was developed specifically for change detection performed on the basis of multispectral and hyperspectral images collected at different times. Within the framework of the European program SATChMo/Geoland2, the Space Research Centre of Polish Academy of Sciences has recognized the possibility of applying the IR-MAD transformation to detect changes of the main form of land cover on high resolution satellite images. Presented work was performed on the basis of a pair of KOMPSAT-2 images presenting area of Northern Spain in 2008 and 2010. The proposed algorithm analyses the results of the IR-MAD transformation and also additional information about vegetation cover and texture. Transformation of IR-MAD is performed on the basis of four spectral channels; B, G, R and IR with a resolution of 4 m, of the images from the first and second term. Additional information concerning a possibility of appearing changes in vegetation are derived on the basis of NDVI index and texture layer produced by Sigma filters of panchromatic channel of 1m resolution. An assumption was made for classified changes of land cover, which are independent of natural phenological cycles. First, places of changes are located and next information of their nature (direction of changes) is obtained.

Mgr inż. Sebastian Aleksandrowicz
e-mail: saleksandrowicz@cbk.waw.pl
telefon: +48 22 4966388
fax: +48 22 840 31 31

Dr hab. inż. Stanisław Lewiński
e-mail: stlewinski@cbk.waw.pl
telefon: +48 22 4966286
fax: +48 22 840 31 31

Dr Andrzej Kotarba
e-mail: akotarba@cbk.waw.pl
telefon: +48 22 4966399
fax: +48 22 840 31 31