

KRAJOBRAZ A TURYSTYKA

Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego Nr 14
Komisja Krajobrazu Kulturowego PTG, Sosnowiec, 2010

Agnieszka OZIMEK, Piotr ŁABĘDŹ

Politechnika Krakowska
Wydział Fizyki, Matematyki i Informatyki Stosowanej
Kraków, Polska
e-mail: aozimek@pk.edu.pl

REJESTRACJA PANORAM WIDOKOWYCH W ZAKRESACH POZASPEKTRALNYCH JAKO NARZĘDZIE OCENY ATRAKCYJNOŚCI KRAJOBRAZU

*REGISTRATION OF PANORAMAS IN THE NON-VISIBLE RANGES
AS A TOOL OF LANDSCAPE ATTRACTIVENESS EVALUATION*

Słowa kluczowe: bliska podczerwień, cyfrowe analizy krajobrazu, przetwarzanie obrazu, NDVI, EVI
Key words: *near infrared, digital landscape analyses, image processing, NDVI, EVI*

Streszczenie Stopień nasycenia panoramy elementami przyrodniczymi może stanowić jeden ze wskaźników miary jej atrakcyjności, a zarazem posłużyć jako narzędzie klasyfikacji krajobrazu, czy oceny zmian w nim zachodzących. Precyzyjna segmentacja obrazu, mająca na celu wyróżnienie obiektów naturalnych oraz kulturowych na panoramach widokowych, jest praktycznie niemożliwa, jeżeli materiał stanowią fotografie rejestrowane w zakresie widma widzialnego. W artykule podjęto próbę zastosowania wskaźników NDVI oraz EVI, stosowanych w teledetekcji, dla wykrywania w panoramie elementów tworzących naturalnego.

Abstract *The extent of panorama saturation with natural elements can constitute one of indicators of its attractiveness, and at the same time, can serve as a tool for landscape classification or its transformation monitoring. The precise image segmentation, focussed on natural and cultural objects distinction, is practically impossible, while the photographs registered in the visible range are used analyses. In the paper the attempt has been made to utilize NDVI and EVI indexes, used in remote sensing, for natural elements detection.*

WPROWADZENIE

Proces urbanizacji, który został znacznie zintensyfikowany w ciągu ostatniego stulecia, doprowadził do sytuacji, w której krajobraz zawierający jedynie naturalne elementy stanowi widok deficytowy. Potrzeba kontaktu z przyrodą coraz rzadziej znajduje zaspokojenie. Dlatego percepcja widoków, w których przeważa tworzywo naturalne, budzi silne wrażenia emocjonalne.

Warto w tym miejscu zauważyć, że prócz roślin, które zwykle w przeważającej części składają się na przyrodniczy komponent sceny, istnieje szereg innych elementów pochodzenia naturalnego, jak woda, skały czy fragmenty gleby, których wyróżnienie nie będzie stanowiło tematu referatu.

Punkt wyjścia dla automatyzacji przetwarzania obrazu stanowi poprawna segmentacja fotografii, pozwalająca na wykrycie obiektów infrastruktury budowlanej i technicznej oraz roślinności. Jeżeli posługujemy się zdjęciami zarejestrowanymi w zakresie widzialnym, napotykamy na szereg trudności. Wymienić tu można całość warunków oświetleniowych (zmiennosc kąta padania światła słonecznego oraz jego barwy, zależną od pory dnia i roku), zmiany kontrastu i koloru obiektów wynikające z orientacji aparatu względem kierunku światła, pochłanianie i rozpraszanie atmosferyczne, a także sezonową zmienność barw roślinności, czy dystorsję perspektywiczną (Ozimek, Ozimek, 2009).

W teledetekcji stosowane są wskaźniki wegetacji NDVI oraz EVI, pozwalające precyzyjnie wyróżnić roślinność na podstawie wartości promieniowania w zakresie bliskiej podczerwieni (Sanecki, 2006; Struzik, 1999). Dla użytkownika krajobrazu analizy tego typu są jednak niemiarodajne, gdyż jego odbiór zwykle następuje z poziomu widzenia człowieka, a nie z pułapu lotniczego. W przeprowadzonych badaniach uproszczony ekwiwalent wrażeń wzrokowych stanowiły widoki kadrowane oraz szerokie panoramy.

AKWIZYCJA OBRAZU

Oko ludzkie postrzega kolory na podstawie rejestracji fali elektromagnetycznej w zakresie 380 – 760 nm. Zgodnie z teorią trójpodbudzeniową Younga-Helmholtza występują w nim trzy rodzaje receptorów odpowiedzialnych za widzenie fotopowe (dzienne) wrażliwych na określone długości fali odpowiadającej barwom: czerwonej (maksimum czułości 564 nm), zielonej (534 nm) oraz niebieskiej (420 nm) (Felhorski, Stanioch, 1973).

Te obserwacje w zakresie fizjologii percepcji wzrokowej znalazły przełożenie na najbardziej popularny w grafice komputerowej model kolorów RGB, w którym każdą barwę można zapisać używając składowych: czerwonej, zielonej oraz niebieskiej. Obraz taki zwykle zapisywany jest w postaci trójwymiarowej macierzy, a poszczególne tablice wchodzące w jej skład zwane są kanałami koloru RGB.

Model ten zastosowany jest również w przypadku matrycy aparatu fotograficznego (CCD), która pokryta jest układem filtrów RGB (wzór Bayera). Czułość matrycy

znacznie wykracza poza zakres widzialny, pozwalając na rejestrację fal o długości nawet do 1200 nm. Ze względu na negatywne efekty wizualne powodowane przez ultrafiolet (UV) oraz podczerwień (IR) aparaty fotograficzne posiadają fabrycznie wbudowane filtry, eliminujące zakresy pozaspektralne.

MATERIAŁ I URZĄDZENIA

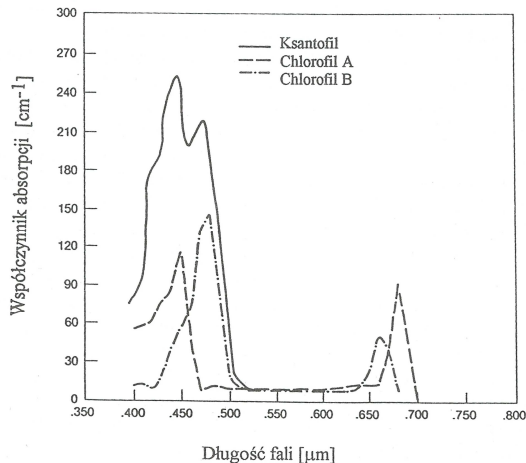
Do badań wybrano aparat Nikon D90 poddany przeróbce, polegającej na usunięciu wyżej wymienionych filtrów. Następnie fotografie wykonywane były po nałożeniu na obiektyw filtrów absorpcyjnych: przepuszczającego promieniowanie powyżej 850 nm (podczerwień) oraz przepuszczającego jedynie zakres widzialny (380 – 760 nm). Wspomniana powyżej możliwość separacji fal elektromagnetycznych o wybranych zakresach długości (kanały: czerwony, zielony, niebieski oraz podczerwień) umożliwiła otrzymanie obrazów przydatnych do dalszych analiz. Szczególnie znacząca będzie tu bliska podczerwień, wykorzystywana w systemach teledetekcyjnych do identyfikacji obszarów leśnych i rolniczych.

Aby fotografia przedstawiająca panoramę mogła stanowić materiał dla analiz klasyfikacyjnych oraz ilościowych, musi spełniać określone warunki. Najważniejszym z nich jest prawidłowa rejestracja. Pojęcie to obejmuje przede wszystkim wystarczającą rozdzielczość przestrzenną, która powinna co najmniej dorównywać kątowej rozdzielczości widzenia. Ta ostatnia, przy maksymalnym kontraście pomiędzy danym obiektem a jego otoczeniem, wynosi 1' (Bishop 2003). Fotografie zapisywano w rozdzielczości 4302 x 2860 pikseli z ekwiwalentną długością ogniskowej 120 mm. Rejestracja taka jest nadmiarowa względem możliwości ludzkiej percepcji (ok. 15''), a za wystarczającą rozdzielczość fotografii przydatnej dla analizy uznać należy (przy powyższej wartości ogniskowej) 1600 x 1200 pikseli.

Pojęcie poprawności rejestracji obrazu obejmuje także jej właściwą ostrość, poprawny balans bieli i naświetlenie. Fotografie wykonane przy ustawieniu aparatu w kierunku zbliżonym do kąta padania światła („pod światło”) są szczególnie trudne, lub wręcz nieprzydatne, do analizy ze względu na bardzo silne kontrasty i zafałszowanie barw.

METODY

O widmowym współczynniku odbicia w zakresie poszczególnych długości fali elektromagnetycznej decyduje budowa chemiczna związków pokrywających powierzchnię danego obiektu. Rośliny (liście) charakteryzujące się obecnością chlorofilu wykazują unikatową charakterystykę spektralną, polegającą na odbijaniu znacznej ilości światła w zakresie zieleni i podczerwieni, natomiast pochłanianiu w zakresie czerwieni (ryc. 1 i 2). Pozwala to odróżnić je od innych elementów widoku o barwie zielonej, która pochodzi z zastosowanych barwników (zielone dachy czy elewacje budynków) (ryc. 3).



Ryc. 1. Absorpcja promieniowania słonecznego przez zielone części roślin i odpowiedzialne za to składniki. *Źródło: Struzik, 1999.*

Fig. 1. Solar radiance absorption by green parts of plants and their components responsible for this. *Source: Struzik, 1999.*

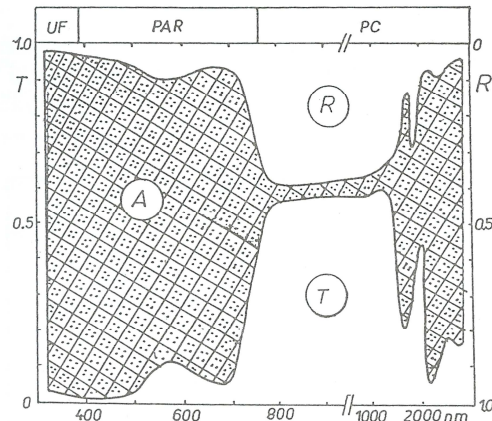
W rozpoznaniu satelitarnym, prócz rejestracji w zakresie widzialnym, przydatny okazuje się zatem zapis promieniowania w zakresie bliskiej podczerwieni (760 – 3000 nm). Na jego podstawie wyprowadzono wskaźniki wegetacji, pozwalające na precyzyjne wyróżnienie roślin (Sanecki 2006). Pierwszy z nich stanowi NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), opisany wzorem:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

gdzie NIR – obraz rejestrowany w podczerwieni, R – kanał czerwony.

W obrazowaniu satelitarnym i lotniczym, gdzie odległości sensora od obiektu są znaczne, dużą rolę odgrywają zakłócenia atmosferyczne. Ponadto ortogonalna projekcja powoduje, że w przypadku niepełnego pokrycia roślinnego, poważną składową obrazu stanowi kolor gleby. Aby uwzględnić powyższe czynniki, zaproponowano wskaźnik EVI (Enhanced Vegetation Index), który opisuje wzór:

$$EVI = G \frac{NIR - R}{NIR + C_1 R + C_2 B + L}$$

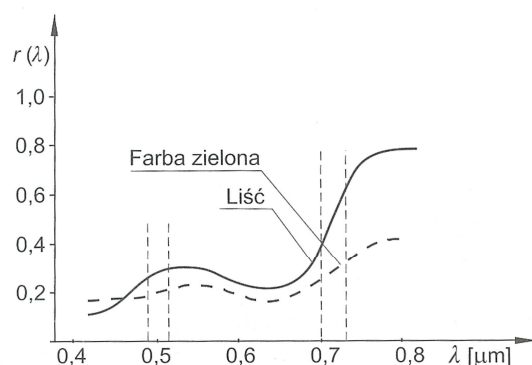


Ryc. 2. Względne wartości odbiowości (R), transmisji (T) i absorpcji (A) liści topoli w zakresie od ultrafioletu do podczerwieni.

Źródło: Struzik, 1999.

Fig. 2. Relative values of reflectance (R), transmission (T) and absorption of poplar leaves in the range from ultraviolet to infrared).

Source: Struzik, 1999.



Ryc. 3. Widmowy współczynnik odbicia dla liścia zielonego i farby ciemnozielonej.

Źródło: Sanecki, 2006.

Fig. 3. Spectral coefficient of reflectance for a green leaf and for dark green paint.

Source: Sanecki, 2006.

gdzie: G – współczynnik pozyskania, C1 i C2 – współczynniki korekcyjne uwzględniające rozproszenie światła w atmosferze.

Współczynniki te podlegają kalibracji w zależności od wykorzystywanych urządzeń. Najpopularniejszy wariant stanowi MODIS EVI (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)

$$\text{MODIS EVI} = 2.5 \frac{\text{NIR} - \text{R}}{\text{NIR} + 6 * \text{R} + 7.5 * \text{B} + 1}$$

Obrazy, otrzymane jako wyniki działań arytmetycznych na fotografiach rejestrujących różne zakresy fal elektromagnetycznych, poddane muszą zostać binaryzacji mającej na celu wyróżnienie klasy obiektów (zieleń czy obiekty budowlane) kolorem białym oraz tła - barwą czarną. Ze względu na automatyzację tego procesu podjęto próby zastosowania metody Otsu, która działa w oparciu o analizę dyskryminacyjną. Obraz w skali szarości ma L (zwykle 256) poziomów jasności [0, L-1]. Histogram (wykres obrazujący rozkład poziomów intensywności) może być traktowany jako rozkład prawdopodobieństwa występowania pikseli o zadanym poziomie (Malin, Smiatacz, 2005). Przyjęty próg powoduje, że zostanie on podzielony na dwie klasy; obiektów (ob) oraz tła (b), których prawdopodobieństwa wynoszą odpowiednio:

$$p_{ob} = \sum_{k=0}^t p_k \quad \text{oraz} \quad p_b = \sum_{k=t+1}^{L-1} p_k \cdot$$

$$\text{Wartości średnie dla klas wynoszą odpowiednio: } \mu_{ob} = \sum_{k=0}^t \frac{k p_k}{p_{ob}} \quad \text{oraz} \quad \mu_b = \sum_{k=t+1}^{L-1} \frac{k p_k}{p_b}.$$

Wariancje dla klasy obiektów i tła oblicza się następująco:

$$\sigma_{ob}^2 = \sum_{k=0}^t (k - \mu_{ob})^2 \frac{p_k}{p_{ob}} = \frac{1}{p_{ob}} \sum_{k=0}^t (k - \mu_{ob})^2 p_k$$

oraz

$$\sigma_b^2 = \sum_{k=t+1}^{L-1} (k - \mu_b)^2 \frac{p_k}{p_b} = \frac{1}{1 - p_{ob}} \sum_{k=t+1}^{L-1} (k - \mu_b)^2 p_k$$

Dla całego obrazu średnie oraz wariancja globalna wynoszą: $\mu_T = \sum_{k=0}^{L-1} p_k$

$$\text{oraz } \sigma_T^2 = \sum_{k=0}^{L-1} (k - \mu_T)^2 p_k$$

Wariancja globalna może zostać zapisana także jako suma wariancji wewnątrzklasowej σ_W (Within-classvariance) oraz wariancji międzyklasowej σ_B (Between-classvariance):

$$\sigma_T^2 = \sum_{k=0}^t (k - \mu_T)^2 p_k + \sum_{k=t+1}^{L-1} (k - \mu_T)^2 p_k = p_{ob} \sigma_b^2 + (1 - p_{ob}) \sigma_{ob}^2 + (\mu_{ob} - \mu_T)^2 p_{ob} + (\mu_b - \mu_T)^2 (1 - p_{ob})$$

Warto tu zauważyć, że wariancja globalna dla danego obrazu jest stała i nie zależy od wartości progu t , jaka została przyjęta, natomiast dobór progu ma wpływ na wartość wariancji wewnątrzklasowej oraz międzyklasowej: $\sigma_B^2 = p_{ob}p_b(\mu_{ob} - \mu_b)^2$

Minimalizacja wariancji wewnątrzklasowej jest zatem równoważna maksymalizacji wariancji międzyklasowej. Zwykle obliczana jest wariancja międzyklasowa, ze względu na mniejszy nakład obliczeniowy (Malina, Smiatacz, 2005).

W opracowanym algorytmie, w przypadku, gdyby binaryzacja z zastosowaniem tej metody okazała się nieskuteczna, możliwy jest ręczny dobór progu na podstawie empirycznej oceny otrzymanych rezultatów.

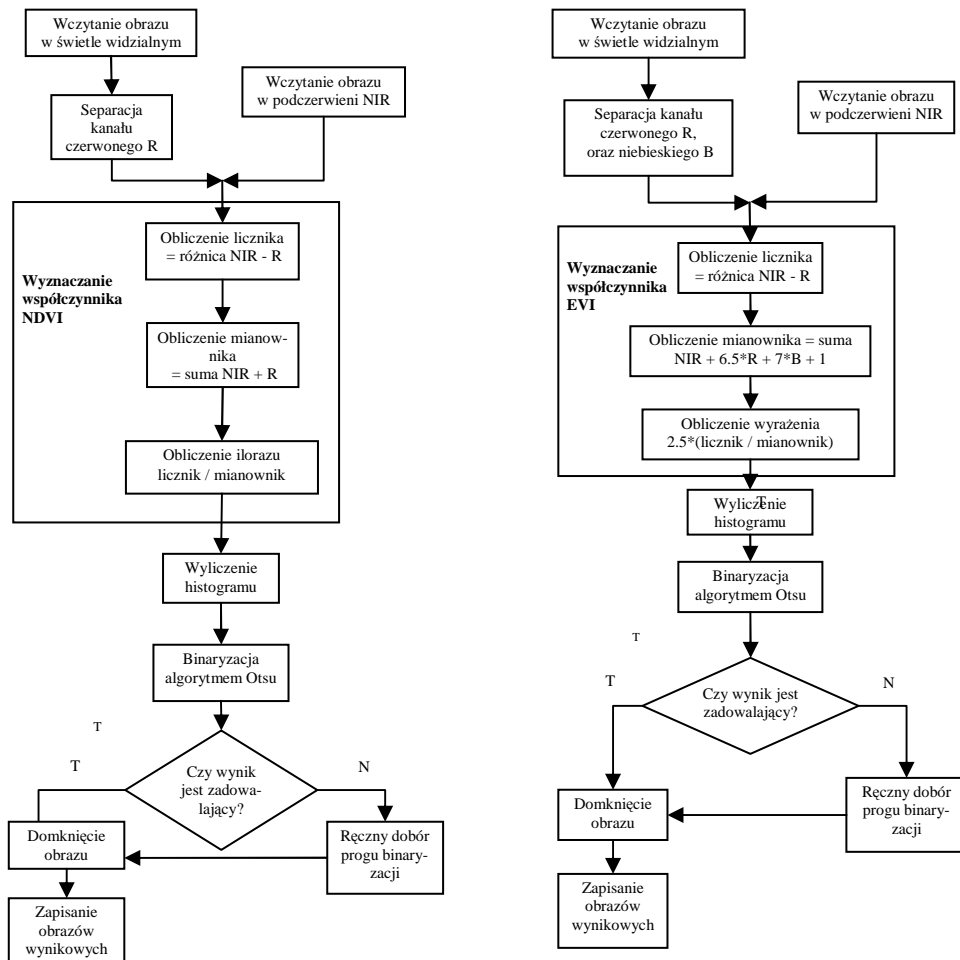
Ze względu na konieczność generalizacji otrzymanych obrazów, mającej na celu usunięcie drobnych szczegółów (np. pikseli odizolowanych czy niewielkich otworów w obiektach) i uzyskanie zwartych obszarów wyróżnionej zieleni, zastosowano operację morfologiczną zwaną zamknięciem (domknięciem). Morfologia matematyczna bazuje na założeniu, że obrazy traktować można jako zbiory, a co za tym idzie, wykonywać na nich analogiczne operacje. Fundamentalnym pojęciem w tego typu transformacjach jest szablon strukturalny, który tu może być rozumiany jako maska zawierająca współczynniki 0 oraz 1. Element ten przesuwany jest po całym obrazie i w przypadku napotkania konfiguracji pikseli zgodnej ze wzorcem wykonywana jest zadana operacja.

Podstawowe operacje morfologiczne stanowią dylatacja (w przypadku obrazów binarnych jednoznaczna z filtrem minimalnym) i erozja (w powyższym przypadku równoznaczna z filtrem maksymalnym) (Malina, Smiatacz, 2005).

Zamknięcie jest funkcją przekształcenia obrazu złożoną z kolejno wykonywanych operacji: dylatacji, a następnie erozji. Efekt jego działania można porównać do wyniku przemieszczania koła (szablonu strukturalnego) po zewnętrznej stronie brzegu figury i dodaniu do niej wszystkich tych punktów, które nie mogą być osiągnięte przez koło. Operacja doskonale sprawdza się przy wypełnianiu szczelin i drobnych otworów wewnątrz obiektu oraz wygładzaniu jego brzegu (Nieniewski, 1998).

Obliczenia wykonano przy pomocy programu napisanego w środowisku programu Matlab z wykorzystaniem biblioteki funkcji Image Processing Toolbox, dedykowanej przetwarzaniu obrazu.

Poniżej przedstawiono algorytmy obliczania wskaźnika NDVI oraz EVI:

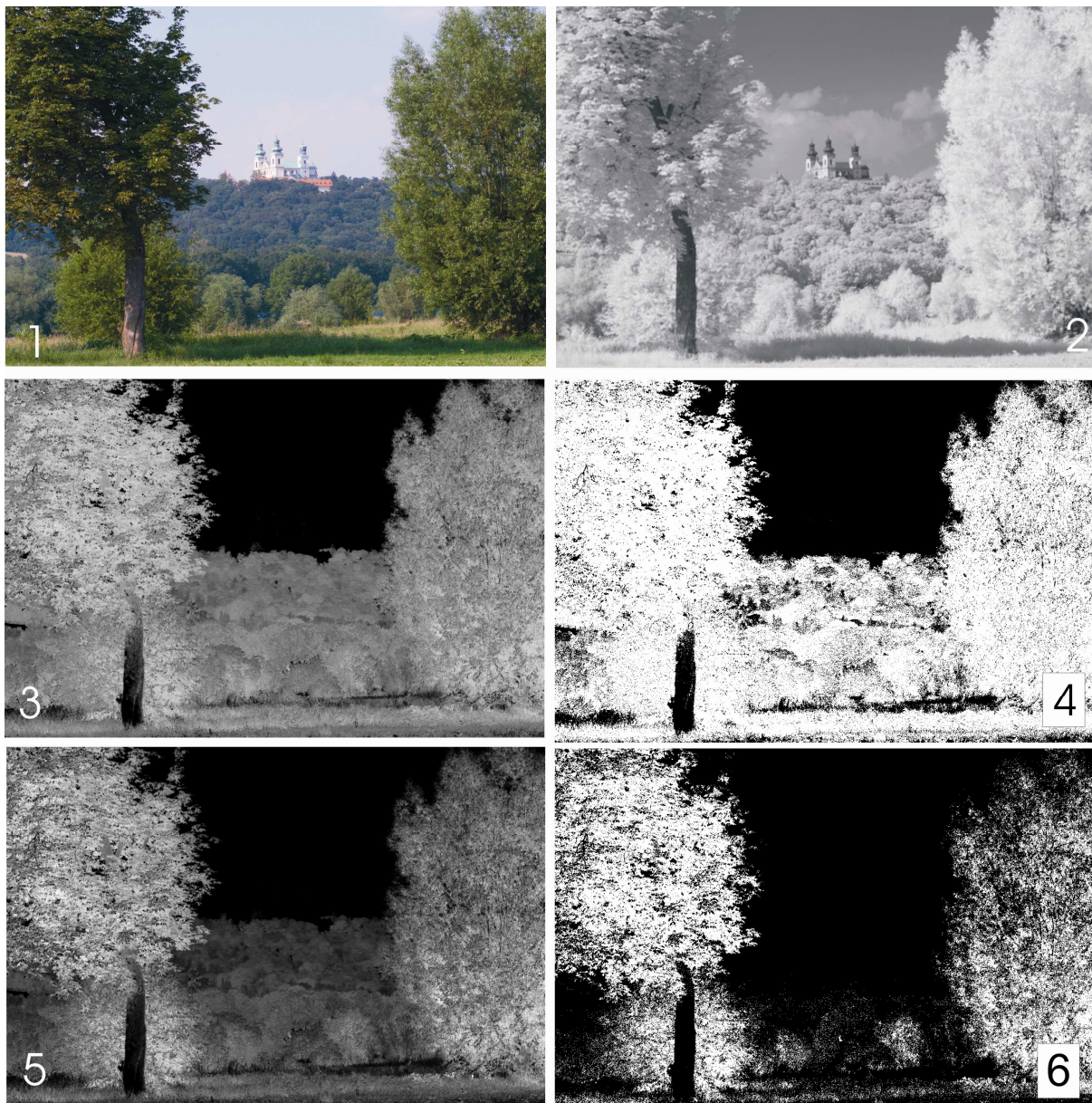


WYNIKI

Otrzymane wyniki potwierdzają zasadność zastosowania wskaźników wegetacji w automatycznym wyróżnianiu elementów roślinnych na panoramach widokowych.

Należy podkreślić, że wyróżnieniu podlegają jedynie zielone części roślin (liście), z pominięciem pni drzew widocznych przeważnie na pierwszym planie. Te ostatnie rysują się w kanale podczerwieni jako stosunkowo ciemne (fot. 2)

Kolejny problem sprawiają wyschnięte kwiatostany traw, które z jednej strony słabo promieniują w podczerwieni (ze względu na ograniczoną ilość chlorofilu), zaś z drugiej – przyjmując barwę brązową lub żółtą, posiadają stosunkowo wysokie wartości w kanale czerwonym (fot. 3 – 8).



Fot. 1. Obraz rejestrowany w zakresie widzialnym.

Photo 1. An image registered in the visible range.

Fot. 2. Obraz rejestrowany w podczerwieni.

Photo 2. An image registered in the infrared.

Fot. 3. Wskaźnik wegetacji NDVI.

Photo 3. NDVI – vegetation indicator.

Fot. 4. NDVI – obraz zbinaryzowany.

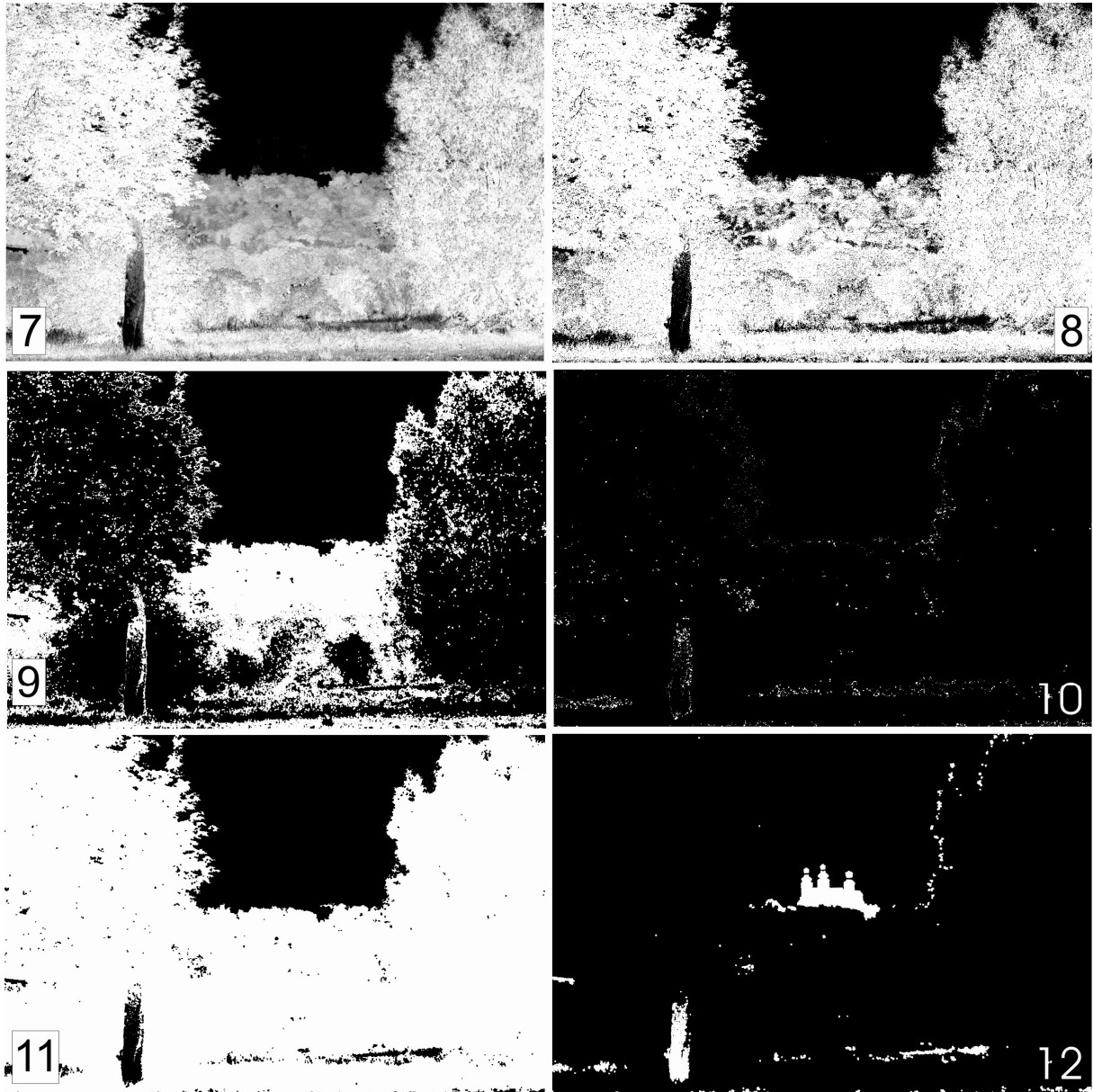
Photo 4. NDVI – an image binarized.

Fot. 5. Wskaźnik wegetacji MODIS EVI.

Photo 5. MODIS EVI – vegetation indicator.

Fot. 6. MODIS EVI – obraz zbinaryzowany.

Photo 6. MODIS EVI – an image binarized.



Fot. 7. Wskaźnik wegetacji EVI bez współczynników kalibracyjnych.

Photo 7. EVI – vegetation indicator without calibration factors.

Fot. 8. EVI bez współczynników kalibracyjnych – obraz zbinaryzowany.

Photo 8. EVI – vegetation indicator without calibration factors – image binarized.

Fot. 9. Różnica pomiędzy wskaźnikiem NDVI oraz MODIS EVI

Photo 9. The difference between NDVI and MODIS EVI.

Fot. 10. Różnica pomiędzy wskaźnikiem NDVI oraz EVI bez współczynników kalibracyjnych.

Photo 10. The difference between NDVI and EVI without calibration factors.

Fot. 11. Obraz po wykonaniu operacji zamknięcia.

Photo 11. An image after closing operation.

Fot. 12. Odfiltrowanie tła oraz elementów roślinnych

Photo 12. Image background and greenery filtered out.

Różnica pomiędzy wartościami rejestrowanymi w zakresie podczerwieni i czerwieni nie może zatem stanowić w tym przypadku efektywnego wskaźnika (fot. 3, 5, 7, 11). Drobne błędy pojawiają się także w miejscach silnie zacienionych oraz w konturach roślin (fot. 10 - 12).

Porównując rezultaty otrzymane w przypadku zastosowania wskaźników NDVI oraz MODIS EVI zauważono, że ten pierwszy daje znacznie lepsze efekty (fot. 3 i 4). Prawie identyczny rezultat można natomiast otrzymać po wyeliminowaniu współczynników kalibrujących EVI. Jest to zrozumiałe, gdyż są one specjalnie dobrane do danego typu urządzeń (spektrometrów) oraz odległości sensorów od obiektu, a co za tym idzie, stopnia rozproszenia światła w atmosferze.

WNIOSKI I UWAGI KOŃCOWE

Omówiony powyżej algorytm odfiltrowania zieleni stanowi jeden z etapów segmentacji panoramy widokowej, która ma na celu dalsze cyfrowe analizy parametrów charakterystycznych dla danego widoku. W wyniku jego zastosowania można dokonać zarówno wyróżnienia zieleni, jak i elementów infrastruktury technicznej i budowlanej.

Ocena średniej jasności obrazu pozwoli oszacować stopień urbanizacji analizowanego terenu. Może stanowić także punkt wyjścia dla analiz kształtów elementów składowych widoku, bazujących na współczynnikach kształtu czy pomiarze wymiaru fraktalnego, który pozwala na analizę struktury widokowej krajobrazu (Łabędź et al., 2010). Dzięki rejestracji panoramy w zadanych odstępach czasowych można monitorować proces zmian zachodzących w danym widoku.

Przeniesienie zasad obliczania wskaźników wegetacji ze zobrażeń ortogonalnych na widoki z poziomu widzenia człowieka napotyka pewne trudności. Są one spowodowane innym kątem patrzenia, w którym znaczną rolę odgrywa nakładanie się planów (tu widoczne w przypadku suchych kwiatostanów traw), widoczność pni, czy cień własny koron drzew.

Artykuł koncentruje się wokół zagadnienia widoczności, lecz warto w tym miejscu zauważyć, że ten aspekt stanowi jedynie jedną ze składowych wchodzących w zakres procesu percepcji (Ervin, Steinitz, 2003). Nie podjęto tu także prób waloryzacji

SŁOWNICZEK

Segmentacja obrazu – podział obrazu, mający na celu identyfikowanie obszarów jednolitych pod względem określonych własności, takich jak: poziom jasności, tekstura czy barwa.

Dystorsja perspektywiczna – zniekształcenie powodujące, że gabaryt obiektu rzutowanego na powierzchnię obrazu jest zależny od jego odległości. Jest nierozłącznie związana z charakterystyką postrzegania ludzkiego.

Wzór Bayera – rozkład filtrów na matrycy aparatu cyfrowego, przepuszczających światło o określonej długości fali, służący do rozdzielania barw na trzy składowe.

Wzór ten ma postać szachownicy, w której połowa elementów przepuszcza kolor zielony, a co czwarty - kolor niebieski lub czerwony.

Binaryzacja – jedna z metod segmentacji, w wyniku której otrzymujemy obraz zawierający jedynie dwie wartości: 0 - reprezentujące barwę czarną, oraz 1 - reprezentujące barwę białą.

Filtr minimalny/maksymalny – operacja, której efektem jest wybór do obrazu wynikowej wartości minimalnej/maksymalnej z otoczenia danego piksela. Rozmiar tego obszaru jest określany parametrem filtru.

Algorytm binaryzacji Otsu – zamiana obrazu monochromatycznego (w skali szarości) na czarno-biały (dwupoziomowy), w której wykorzystano rachunek prawdopodobieństwa oraz metody statystyczne. Pozwala ona na stosunkowo efektywne automatyczne wyróżnianie klas obiektów i tła.

Zamknięcie – operacja, której przeprowadzenie ma na celu usunięcie drobnych otworów w obiektach widocznych na obrazie oraz wygładzenie ich brzegu.

LITERATURA

- Bishop I., 2003: Assessment of visual qualities, impacts, and behaviours, in the landscape, by using measures of visibility, [w:] Environment and Planning B: Planning and Design, volume 30, s. 677 – 688.
- Ervin S., Steinitz C., 2003: Landscape visibility computation: necessary, but not sufficient, [w:] Environment and Planning B: Planning and Design, volume 30, s. 757 – 766.
- Felhorski W., Stanioch W., 1973: Kolorymetria trójchromatyczna, WNT, Warszawa, s. 38 – 40.
- Łabędź P., Ozimek A., Ozimek P., 2010: Box-counting Dimension in Landscape Photographs Analyses, [w:] Peer Reviewed Proceedings of Landscape Architecture 2010, Wichmann, Berlin, s. 138 – 147.
- Malina W., Smiatacz M., 2005: Metody cyfrowego przetwarzania obrazów, Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa, s. 34 – 36 oraz 133 – 135.
- Nieniewski M., 1998: Morfologia matematyczna w przetwarzaniu obrazów, Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa, s. 21 – 36.
- Ozimek A., Ozimek P., 2009: Algorytmy przetwarzanie obrazu w wyróżnianiu tworzywa kulturowego i przyrodniczego na fotografiach krajobrazowych, [w:] Nauka, przyroda, technologie, Tom 3, zeszyt 1, #12, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, s. 1 – 11.
- Sanecki J. (pr. Zb.), 2006: Teledetekcja. Pozyskiwanie danych, WNT, Warszawa, s. 27 -31.
- Struzik P., 1999: Zastosowanie informacji satelitarnej AVHRR/NOAA do klasyfikacji rodzaju pokrycia terenu. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa, s. 17 – 20 i 29 – 32.