

## Urszula MARMOL

AGH AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA W KRAKOWIE, WYDZIAŁ GEODEZJI GÓRNICZEJ I INŻYNIERII ŚRODOWISKA,  
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

# Wykrywanie dróg z wykorzystaniem transformaty falkowej

Dr inż. Urszula MARMOL

Od 2006 roku adiunkt w Katedrze Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska. Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie.



e-mail: entice@agh.edu.pl

### Streszczenie

W niniejszym artykule na wybranym polu testowym przeprowadzono próbę wyodrębnienia dróg z wykorzystaniem informacji o intensywności pochodzącej z danych laserowych oraz informacji geometrycznej i radiometrycznej zawartej w zdjęciach lotniczych. W procesie badawczym wykorzystano możliwości jakie niesie transformata falkowa w zakresie ekstrakcji krawędzi na obrazie. Kończącym etapem prac było scalenie informacji. Uzyskany obraz przebiegu dróg jest zgodny z istniejącą ortofotomapą.

**Słowa kluczowe:** LIDAR, ortofotomapa, teoria falek, intensywność odbicia.

## Road detection using wavelet transform

### Abstract

Road detection based on remote sensing data is an important research theme allowing performing many spatial analysis. Recently the possibility of road network extraction using the elevation data from airborne laser scanning has aroused great interest. The carried out studies revealed the potential of LIDAR data, but also their limitations and shortcomings. Based on the performed investigations it can be concluded that the most reliable results are obtained by integrating the laser and image data. In this paper the road extraction test is carried out on the selected test field, using the information of the intensity derived from the laser data and the geometric and radiometric information contained in aerial photographs. Based on the laser data, the exact parameter of intensity, the initial image of the roads was generated with use of simple morphological operators. The next step was to detect the edges based on orthophotos using the wavelet transform. Wavelet transformation proved to be a useful tool to detect sudden changes in brightness. The final stage of the work was to merge the information from these two sources. The resulting image corresponds to the roads in the orthophotomap. In conclusion, it can be stated that the integration of photogrammetry and laser data is the optimal approach to solving problems of spatial object detection.

**Keywords:** LIDAR, orthophotomap, wavelet theory, intensity.

## 1. Wprowadzenie

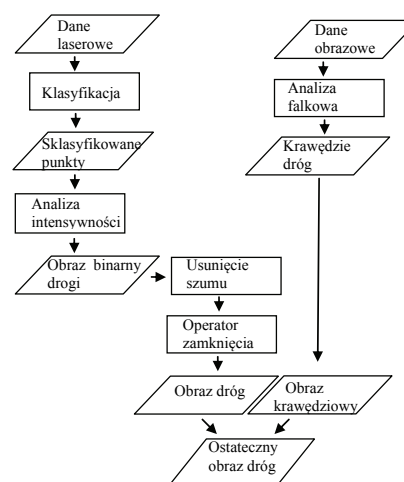
Wykrywanie dróg na podstawie danych teledetekcyjnych jest istotnym zagadnieniem badawczym, pozwalającym na przeprowadzenie wielu analiz przestrzennych. W ostatnim czasie duże zainteresowanie wzbudziła możliwość ekstrakcji sieci drogowej i kolejowej z wykorzystaniem danych wysokościowych pochodzących z lotniczego skaningu laserowego [1-3]. Przeprowadzone badania ujawniły potencjał tkwiący w danych lidarowych, ale także ich ograniczenia i mankamenty [4]. W świetle przeanalizowanych prac badawczych można wysunąć wniosek, że najbardziej wiarygodne wyniki zostaną uzyskane poprzez integrację danych laserowych i obrazowych. W niniejszym artykule na wybranym polu testowym przeprowadzono próbę wyodrębnienia dróg z wykorzystaniem informacji o intensywności pochodzących z danych laserowych oraz informacji geometrycznej i radiometrycznej zawartej w zdjęciach lotniczych.

## 2. Opis danych źródłowych

W pracach badawczych wykorzystano fragment miasta Espoonlathi w Finlandii. Pole testowe charakteryzuje się urozmaiconą miejską siecią drogową. Dane laserowe zostały pozyskane w 2006 r. o średniej gęstości 17 punktów/m<sup>2</sup>. W trakcie nalotu zostały także wykonane zdjęcia lotnicze aparatem cyfrowym Rollei. Na ich podstawie została wygenerowana ortofotomapa o pikselu terenowym równym 6 cm.

## 3. Metodologia badań

Opracowany algorytm przebiegał w następujących etapach (rys. 1).



Rys. 1. Schemat wykrywania dróg  
Fig. 1. Workflow of road extraction

## 4. Klasyfikacja danych laserowych na podstawie intensywności

Przegląd literatury i prowadzonych dotychczas badań ujawnił, że wykorzystanie w procesie ekstrakcji dróg wyłącznie parametru intensywności punktów laserowych nie przynosi spektakularnych wyników. Parametr ten jest niejednoznaczny i ze względu na duże zaszumienie [4] prowadzi do wyodrębnienia nie tylko dróg, ale także innych elementów o podobnych wartościach intensywności.

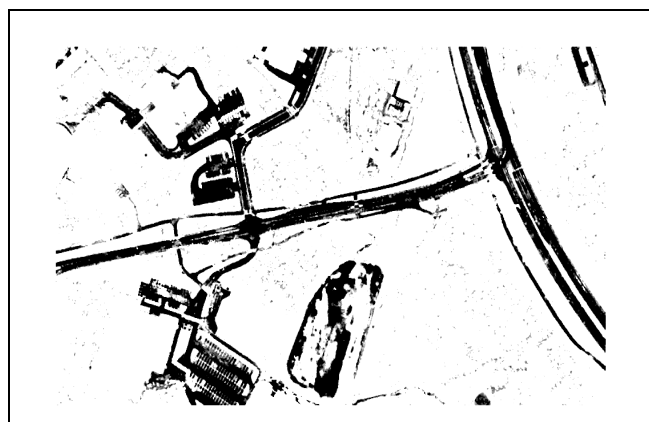
Na wybranym polu testowym przeprowadzono taką klasyfikację. Rezultat przedstawiony na rys. 2 potwierdził wcześniejsze ustalenia. Inne obiekty infrastruktury mają zbliżony współczynnik odbicia do intensywności dróg, co sprawia, że wykorzystanie wyłącznie tego parametru nie przynosi satysfakcjonujących wyników.

Dane laserowe zostały zapisane w postaci obrazu binarnego, z wykorzystaniem interpolacji metodą najbliższego sąsiada. Jak wspomniano powyżej intensywność nie jest parametrem jednoznaczny. Intensywność charakterystyczna dla dróg pojawia się także dla obszarów roślinnych. Zauważono, że błędy te mają charakter zakłóceń punktowych typu „pieprz i sól”. Zdecydowano się więc na zastosowanie nieliniowego filtra medianowego, o wybranej empirycznie masce 5x5, w celu usunięcia tych błędów.



Rys. 2. Obszar badawczy (na górze) i analiza parametru intensywności (na dole)  
Fig. 2. The test area (on the top) and intensity analysis (on the bottom)

W kolejnym etapie na obrazie pozbawionym szumu przeprowadzono morfologiczny operator zamknięcia o elemencie strukturalnym w formie kwadratu o rozmiarze  $3 \times 3$ . Końcowy rezultat został zaprezentowany na rys. 3.



Rys. 3. Wykrycie dróg na podstawie danych laserowych  
Fig. 3. Road extraction using laser data

## 5. Wykrywanie krawędzi na ortofotomapie z wykorzystaniem transformaty falkowej

### 5.1. Podstawy teorii falek

Funkcja  $\psi(x)$  jest nazywana falką podstawową, jeśli jej transformata Fouriera spełnia warunek dopuszczalności:

$$0 < c_\psi := \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\hat{\psi}(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty, \quad (1)$$

co oznacza, że falka podstawowa ma charakter oscylacyjny i dąży do zera jak  $x \rightarrow \pm\infty$  [5].

Poprzez przesuwanie i przeskalowanie, można utworzyć rodzinę falek, zgodnie z zależnością:

$$\Psi_{ab}(x) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{x-b}{a}\right), \quad (2)$$

gdzie:  $\psi$  – falka podstawowa,  $a$  – parametr skali,  $b$  – parametr przesunięcia,  $x$  – współrzędna przestrzenna.

Transformację falkową danej funkcji  $f(x)$  otrzymujemy poprzez całkowanie iloczynu funkcji sygnału z funkcją falkową. W zastosowaniach praktycznych stosuje się diadyczne transformacje falkowe. Podstawiając  $a = \frac{1}{2^j}$  i  $b = \frac{k}{2^j}$  otrzymujemy rodzinę falek:

$$\Psi_{jk}(x) = 2^{\frac{j}{2}} \psi(2^j x - k), \quad (3)$$

Dyskretną transformację falkową funkcji  $f(x)$  definiuje się jako:

$$DWT(j, k) = 2^{\frac{j}{2}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \cdot \psi(2^j x - k) dx, \quad (4)$$

Funkcję  $f(x)$  można więc wyrazić w postaci podwójnej sumy:

$$f(x) = \sum_{j=0}^{J-1} \sum_{k=0}^{K-1} d_{jk} \Psi_{jk}(x), \quad (5)$$

Współczynniki  $d_{jk}$  wyznaczane są zgodnie z zależnością:

$$d_{jk} = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \cdot \psi_{jk}(2^{-j} x - k), \quad (6)$$

### 5.2. Analiza wielorozdzielcza

Z dyskretną transformacją falkową ściśle związana jest analiza wielorozdzielcza (ang. *MRA – multiresolution analysis*). Polega ona na wielopoziomowej reprezentacji sygnału. Na każdym poziomie sygnał jest przedstawiany jako suma reprezentacji szczegółowej i zgrubnej. Reprezentacja zgrubna na tym poziomie jest dalej przetwarzana do następnego poziomu, znów w formie reprezentacji szczegółowej i zgrubnej itd. [6].

Jeśli chcemy dokonać analizy wielorozdzielczej sygnału, niezbędna jest falka skalująca  $\varphi(t)$ , dla której:

$$\Phi_{jk}(x) = 2^{\frac{j}{2}} \varphi(2^j x - k), \quad (7)$$

Rozwinięcia w szereg funkcji  $f(x)$  dokonuje się wykorzystując funkcję bazową  $\psi(x)$  oraz funkcję skalującą  $\varphi(x)$ :

$$f(x) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_{jk} \varphi_{jk}(x) + \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sum_{j=0}^{\infty} d_{jk} \Psi_{jk}(x), \quad (8)$$

Falka  $\psi(t)$  ma charakter pasmowo-przepustowy, więc współczynniki  $d_{j,k}$  zawierają informację o wyższych częstotliwościach, to znaczy detalach, natomiast współczynniki  $a_{j,k}$  zawierają informację dolnoprzepustową wraz ze składową stałą, czyli stanowią aproksymację sygnału.

Analizę wielorozdzielczą sygnału można przedstawić za pomocą algorytmu Mallata [7]:

$$f_j = S_j + D_j + \dots + D_n + \dots + D_1 \quad n = J - j, \quad (9)$$

gdzie:  $S_j$  jest to aproksymacja sygnału,  $D_n$  to odpowiednio detale na różnych poziomach dekompozycji,  $j$  – jest to poziom dekompozycji, a  $J$  – poziom MRA.

### 5.3. Wykrywanie krawędzi na ortofotomapie

Falkowa reprezentacja funkcji może być uogólniona na drugi wymiar i znaleźć zastosowanie w przetwarzaniu i analizie obrazów [8], a także innych danych przestrzennych, zapisanych w postaci rastra [9].

Jednym z poruszanych zagadnień jest wykrywanie krawędzi na obrazach [10-11]. W niniejszych badaniach oparto się na wymienionych powyżej pracach.

W rozwinięciu falkowym obrazu występują cztery komponenty: tzw. zgrubny (LL) i trzy detaliczne: detal pionowy (LH), poziomy (HL) i diagonalny (HH) [8].

Krawędzie, matematycznie, są charakteryzowane przez warunek Lipschitza. Mówimy, że funkcja spełnia warunek Lipschitza z wykładnikiem  $\alpha$  na przedziale  $[a, b]$ , wtedy i tylko wtedy, gdy dla każdego  $x, x_0$  w przedziale, istnieje pewna stała  $K$ , taka że:

$$|f(x) - f(x_0)| \leq K|x - x_0|^\alpha, \quad (10)$$

W [9] udowodniono, że funkcja  $f(x)$  spełnia warunek Lipschitza na przedziale  $[a, b]$ , wtedy i tylko wtedy, gdy jej transformata falkowa spełnia zależność:

$$|W_{2^j} f(x)| \leq K(2^j)^\alpha, \quad (11)$$

Analiza falkowa została przeprowadzona w środowisku MATLAB na dwóch poziomach dekompozycji. Jest zagadnieniem złożonym wybór właściwej falki do rozwiązania problemu detekcji dróg. Związku z faktem, że istnieje wiele rodzajów falek, ocena jakości otrzymanych rezultatów może stanowić cel odrębnych badań. W niniejszym opracowaniu zdecydowano się na wybór najprostszej falki Haara.

Wynikiem transformaty są trzy zbiory obrazów: filtracja horyzontalna, wertykalna i diagonalna. Na rys.4 zamieszczono wynik dla drugiego poziomu rozdzielczości.

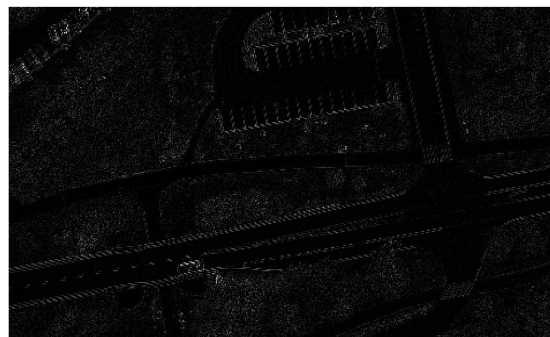


Rys. 4. Dekompozycja na drugim poziomie rozdzielczości (od góry LH, HL i HH)  
Fig. 4. Wavelet analysis for second level of decomposition (from the top: LH, HL i HH)

Obraz modułu maksimum, łączący trzy powyższe filtracje został przeliczony ze wzoru:

$$M_s f(x, y) = \sqrt{|W_s^1 f(x, y)|^2 + |W_s^2 f(x, y)|^2 + |W_s^3 f(x, y)|^2}, \quad (12)$$

Wynik scalenia jest przedstawiony na poniższym rysunku.



Rys. 5. Scalenie obrazów LH, HL i HH  
Fig. 5. Fusion of LH, HL and HH images

### 6. Integracja danych

Końcowym etapem badań była integracja wyników uzyskanych z dwóch źródeł: danych laserowych i ortofotomapy.

Po nałożeniu dwóch obrazów na siebie, zauważono, że uzyskane wyniki wzajemnie się uzupełniają, co przyczynia się do poprawy wyznaczenia dróg.

Wyniki oparte na intensywności, w przypadku małych dróg, były niejednoznaczne. Ze względu na niewielką ilość pikseli sklasyfikowanych jako drogi było problematyczne wyodrębnienie tych fragmentów. Włączenie analizy falkowej pozwoliło na wykrycie krawędzi w tych obszarach i segmentację obiektów.

Z drugiej strony analiza falkowa wykryła wiele dodatkowych krawędzi na całości obszaru, które nie stanowiły granic dróg. Przyjęcie zasady, że usuwane są krawędzie w otoczeniu których nie ma pikseli o intensywności charakterystycznej dla dróg, pozwoliło na wyeliminowanie niewłaściwych obszarów.

Uzyskany efekt końcowy nie jest do końca prawidłowy. Jednakże transformata falkowa wydaje się być interesującym narzędziem, które może zostać wykorzystane nie tylko do obrazów, ale także danych laserowych [5].

### 7. Podsumowanie

Niniejsze prace badawcze miały na celu przeanalizowanie możliwości wykrycia dróg z wykorzystaniem danych laserowych i ortofotomapy.

W przypadku danych laserowych badano dodatkowy parametr pozyskiwany w trakcie nalotu, czyli intensywność. Intensywność jest interesującym atrybutem danych laserowych, mogącym znaleźć zastosowanie w rozwiązywaniu wielu zagadnień. Jednakże jest to parametr niejednoznaczny i stosowany oddzielnie może zafałszować uzyskane rezultaty.

Włączenie w proces badawczy informacji z innych źródeł uwiarygodnia otrzymane wyniki i przyczynia się do poprawy dokładności.

W pracy wykorzystano niestandardowe narzędzie jakim jest transformata falkowa do wykrycia krawędzi na ortofotomapie.

Scalenie informacji pochodzących z tych dwóch źródeł pozwoliło na uzyskanie zadawalającego efektu końcowego w postaci przebiegu dróg zgodnego z istniejącą ortofotomapą.

Zastosowany schemat postępowania wymaga dalszych weryfikacji, pozwalających na określenie dokładności metody. Jednak uzyskane rezultaty wstępne wydają się być obiecujące i otwierające interesujący obszar do dalszych badań.

## 8. Literatura

- [1] Silva C. R., Centeno J. A. S., Henriques M. J.: Automatic Road Extraction on Aerial Photo and Laser Scanner Data. International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering vol. 19, s. 99-103, 2011.
- [2] Clode S., Kootsookos P., Rottensteiner F.: The automatic extraction of roads from LIDAR data. IAPRS, vol.35, part 3B, s. 231-236, 2004.
- [3] Pyka K., Borowiec N., Poręba M., Słota M., Kundzierewicz T.: Wykorzystanie lotniczego skaningu laserowego do pomiaru torów kolejowych. PAK, nr 03, s. 260-263, 2012.
- [4] Rottensteiner F., Trinder J., Clode S., Kubic K.: Building detection using LIDAR data and multispectral images. Proceedings of DICTA, Sydney, Australia, pp. 673-682, 2003.
- [5] Keller W., Borkowski A.: Wavelet based buildings segmentation in airborne laser scanning data set. Geodesy and Cartography Vol. 60, No 2, s. 99-121, 2011.
- [6] Knitter – Piątkowska A.: Wykorzystanie transformacji falkowej do wykrywania uszkodzeń w konstrukcjach obciążonych statycznie i dynamicznie. Rozprawa doktorska. Politechnika Poznańska, 2009.
- [7] Mallat S.: A theory for multiresolution signal decomposition. The wavelet representation. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.11, s. 674-693, 1989.
- [8] Pyka K.: Zastosowanie transformacji falkowej do detekcji i usuwania szumów z danych rastrowych. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 17b, s. 681-689, 2007.
- [9] Borkowski A., Sońnica K.: Zastosowanie dyskretnej transformacji falkowej do filtracji danych lotniczego skaningu laserowego. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 20, 2009, s. 35-45, 2009.
- [10] Mallat S., Zhong S.: Characterization of signals from multiscale edges. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.14 (7), s. 710-732, 1992.
- [11] Chen T., Wang J., Zhang K.: A wavelet transform based method for road centerline extraction. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 70 (12), s.1423-1431, 2004.

otrzymano / received: 29.10.2013

przyjęto do druku / accepted: 03.02.2014

artykuł recenzowany / revised paper

## INFORMACJE

www.energoelektronika.pl  
WORTAL BRANŻOWY



## Regionalne Seminarya / Szkolenia dla Służb Utrzymania Ruchu

06.02.2014 - Bielsko-Biała

13.03.2014 - Legnica

24.04.2014 - Ełk

22.05.2014 - Mielec

26.06.2014 - Zamość

02.10.2014 - Szczecin

20.11.2014 - Włocławek

11.12.2014 - Konin



Ilość miejsc  
ograniczona

Jeżeli jesteś zainteresowany uczestnictwem w Seminarium, zaprezentowaniem produktu lub nowego rozwiązania napisz do nas: [marketing@energoelektronika.pl](mailto:marketing@energoelektronika.pl)

Energoelektronika.pl tel. (+48) 22 70 35 291

Partnerzy:

