

**OCENA POPRAWNOŚCI FILTRACJI DANYCH LOTNICZEGO SKANINGU  
LASEROWEGO METODĄ AKTYWNYCH POWIERZCHNI**

**CORRECTNESS EVALUATION OF THE FLAKES BASED FILTERING  
METHOD OF AIRBORNE LASER SCANNING DATA**

**Andrzej Borkowski, Grzegorz Józków**

Institut Geodezji i Geoinformatyki, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

**SŁOWA KLUCZOWE:** lotniczy skaningu laserowy, filtracja, aktywne powierzchnie, zadanie wariacyjne

**STRESZCZENIE:** W procesie tworzenia numerycznego modelu terenu (NMT) z danych lotniczego skaningu laserowego istnieje konieczność wydzielenia z surowej chmury punktów tylko tych, które były odbiciami wiązki lasera od powierzchni terenu. Zadanie to realizowane jest w znacznym stopniu automatycznie z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania służącego do klasyfikacji, bądź filtracji danych. W pracy przedstawiono algorytm filtracji bazujący na minimalizacji energii całkowitej powierzchni, która wyraża się sumą energii wewnętrznej i zewnętrznej. Energia wewnętrzna opisuje geometryczne właściwości modelowanej powierzchni i dla modelu *flakes* jest ważoną sumą jej krzywizny i nachylenia. Energia zewnętrzna opisuje natomiast rozbieżność pomiędzy estymowaną powierzchnią aktywną a danymi pomiarowymi i zależy od różnicy wysokości pomierzonej i aproksymowanej. W wyniku minimalizacji energii całkowitej, powierzchnia aktywna „dopasowuje” się do powierzchni terenu. Występujące w prezentowanym modelu zadanie wariacyjne rozwiązane zostało metodą bezpośrednią, tzw. metodą Ritza. Testy numeryczne wykonano na rzeczywistych danych skaningu, do których dołączone były dane referencyjne w postaci prawidłowo sklasyfikowanych punktów terenu i obiektów. Dzięki temu możliwe było określenie poprawności filtracji prezentowanej metody. W wyniku porównania danych referencyjnych ze zbiorami punktów po filtracji określone zostały błędy procentowe filtracji. Uzyskane wyniki potwierdziły wysoką skuteczność prezentowanej metoda - poprawność filtracji porównywalna jest z innymi metodami i wynosi ponad 90%.

## **1. WPROWADZENIE**

Jednym z finalnych produktów powstałych na podstawie danych lotniczego skaningu laserowego jest numeryczny model terenu (NMT). W procesie opracowania surowych danych skaningu najtrudniejszym etapem jest wydzielenie spośród wszystkich punktów jedynie tych, które należą do odpowiednich powierzchni. Zadanie to realizowane jest semi-automatycznie. Wykorzystywane jest w tym celu specjalistyczne oprogramowanie służące do klasyfikacji bądź filtracji. Klasyfikacja polega na podzieleniu chmury punktów na jednorodne podzbiory, w których elementem łączącym jest powierzchnia od której została odbita wiązka lasera (teren, roślinność, budynki). Filtracją natomiast nazwa się umownie

proces eliminacji punktów nie należących do modelowanej powierzchni. Najczęściej mamy do czynienia z filtracją w celu eliminacji punktów nie będących odbiciami od powierzchni terenu. Powstają wówczas dwa zbiory: punktów terenowych i nie terenowych, nazywanych często punktami obiektów. Stosowane algorytmy nie dają jednak stuprocentowej skuteczności, konieczna jest zatem późniejsza ręczna weryfikacja i korekta procesu automatycznego. Przy ogromnych zbiorach danych skaningu laserowego (nawet  $10^8$  punktów) każdy konieczny do wykonania proces ręczny niesie ze sobą znaczne wydłużenie czasu i wzrost kosztów opracowania. Celowe są zatem prace nad udoskonalaniem istniejących metod filtracji bądź poszukiwaniem nowych, bardziej skutecznych rozwiązań, gdyż zmniejszenie błędu filtracji automatycznej nawet o 1% przyczynia się do znacznej redukcji prac manualnych.

Śród wielu algorytmów filtracji można wyróżnić grupy metod wykorzystujące:

- odporną predykcję liniową (Kraus, 2000; Kraus i Pfeifer, 2001, Briese *et al.*, 2002),
- iteracyjne przybliżenie odpowiednio wybranej powierzchni startowej (*TIN*) do danych pomiarowych (Axelsson, 1999, 2000),
- analizę skupień (Roggero, 2001; Filin i Pfeifer, 2006),
- operatory matematycznej morfologii (kryterium spadków terenu) (Vosselman i Maas, 2001; Sithole, 2001),
- minimalizację energii całkowitej powierzchni, zależnej od jej nachylenia (spadku) (Elmqvist *et al.*, 2001; Elmqvist, 2002) i w postaci uogólnionej (Borkowski, 2005),
- techniki analiz częstotliwości opierające się o metodę *FFT* (Marmol i Jachimski, 2004) lub falek (*wavelets*) (Borkowski i Keller, 2006).

Szczegóły dotyczące wymienionych metod podano w pracach: (Borkowski, 2004; Sithole i Vosselman, 2004). W ostatniej pracy dokonano również oceny ilościowej algorytmów wraz z podaniem ich właściwości filtracyjnych i ograniczeń.

Przedstawiony w dalszej części pracy algorytm bazuje na danych przetworzonych na regularną siatkę kwadratów i wykorzystuje model aktywnej powierzchni (*flakes*) wprowadzony w pracy (Borkowski, 2004). Model ten jest uogólnieniem znanego z cyfrowego przetwarzania obrazów modelu aktywnego konturu (*snakes*). Otrzymuje się go w wyniku rozwiązania zadania wariacyjnego, w którym minimalizowana jest energia całkowita powierzchni.

Metoda aktywnych powierzchni została poddana testom numerycznym z wykorzystaniem rzeczywistych danych skaningu laserowego. Wyniki automatycznej filtracji porównane zostały z danymi referencyjnymi. Pozwoliło to na ilościową ocenę skuteczności proponowanej metody.

## 2. AKTYWNE POWIERZCHNIE (*FLAKES*)

Jeżeli wyobrazimy sobie dostatecznie małe, gładkie elementy powierzchni (*flakes*), którym przyporządkowana jest pewna energia, wówczas powierzchnia taka będzie dopasowywać się aktywnie do danych pomiarowych z jednoczesnym zachowaniem pewnych narzuconych właściwości geometrycznych tej powierzchni (Borkowski, 2005).

Całkowita energia powierzchni  $E_{tot}$  jest sumą energii wewnętrznej  $E_{int}$  i zewnętrznej  $E_{ext}$ :

$$E_{tot} = E_{int} + E_{ext} . \quad (1)$$

Energia wewnętrzna (2) opisuje właściwości geometryczne modelowanej powierzchni. W prezentowanej metodzie opisana jest jako ważona suma nachylenia powierzchni (*membrane kernel*) reprezentowanej przez kwadrat normy gradientu  $z_x^2 + z_y^2$  oraz krzywizny powierzchni (*thin plate kernel*) reprezentowanej przez sumę kwadratów drugich pochodnych  $z_{xx}^2 + 2z_{xy}^2 + z_{yy}^2$ :

$$E_{int} = \frac{\alpha}{2}(z_x^2 + z_y^2) + \frac{\beta}{2}(z_{xx}^2 + 2z_{xy}^2 + z_{yy}^2) , \quad (2)$$

gdzie:  $z_x = \frac{\partial z}{\partial x}$ ,  $z_{xx} = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2}$ , itd.

Parametry wagowe  $\alpha$  i  $\beta$  dobierane są swobodnie w zależności od zastosowania oraz pożądaných właściwości geometrycznych (gładkości) modelowanej powierzchni.

Zadanie wariacyjne minimalizacji całkowitej energii powierzchni:

$$E_{tot} = E_{int} + E_{ext} \rightarrow \min , \quad (3)$$

rozwiązane zostało metodą bezpośrednią (tzw. metodą Ritza), to znaczy poszukiwana funkcja  $z(x,y)$  aproksymowana jest,

$$z(x,y) \approx f(x,y) , \quad (4)$$

gdzie:  $f(x,y) = \sum_{i=1}^n c_i \varphi_i(x,y)$ .

Jako funkcję bazową przyjęto:

$$\varphi_i(x,y) = \varphi_i(x)\varphi_i(y) , \quad (5)$$

$$\varphi_i(s) = \begin{cases} \frac{1}{\Delta}(s - (i-1)\Delta) & , \quad (i-1)\Delta \leq s \leq i\Delta \\ 1 - \frac{1}{\Delta}(s - i\Delta) & , \quad i\Delta \leq s \leq (i+1)\Delta . \\ 0 & , \quad \text{pozostałe} \end{cases} \quad (6)$$

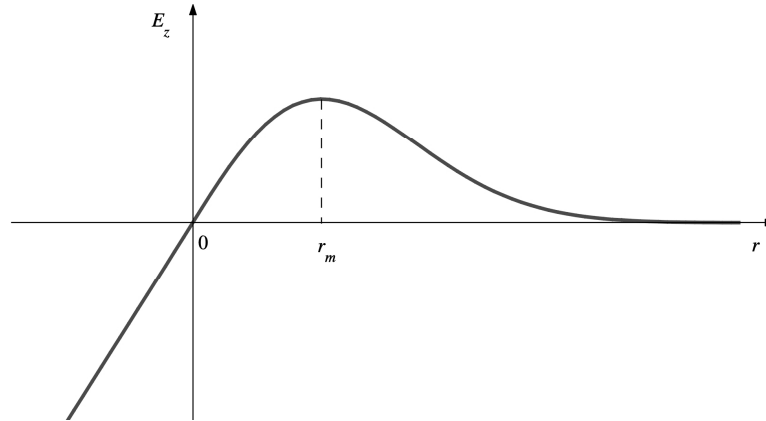
Otrzymano ekwiwalentne do zadania wariacyjnego liniowe równanie warunkowe w punkcie  $P(i,j)$  (\* - iloczyn Hadamarda):

$$B * Z + \frac{\partial E_{ext}}{\partial z_{i,j}} = 0, \quad (7)$$

$$\text{gdzie: } Z = \begin{bmatrix} z_{i-2,j+2} & z_{i-1,j+2} & z_{i,j+2} & z_{i+1,j+2} & z_{i+2,j+2} \\ z_{i-2,j+1} & z_{i-1,j+1} & z_{i,j+1} & z_{i+1,j+1} & z_{i+2,j+1} \\ z_{i-2,j} & z_{i-1,j} & z_{i,j} & z_{i+1,j} & z_{i+2,j} \\ z_{i-2,j-1} & z_{i-1,j-1} & z_{i,j-1} & z_{i+1,j-1} & z_{i+2,j-1} \\ z_{i-2,j-2} & z_{i-1,j-2} & z_{i,j-2} & z_{i+1,j-2} & z_{i+2,j-2} \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 & e & c & e & 0 \\ e & d & b & d & e \\ c & b & a & b & c \\ e & d & b & d & e \\ 0 & e & c & e & 0 \end{bmatrix}.$$

W prezentowanym modelu energia zewnętrzna  $E_{ext}$  traktowana jest jako rozbieżność pomiędzy danymi pomiarowymi a estymowaną powierzchnią aktywną. Zależna jest od odchyłek  $r$  pomiędzy wysokością pomierzoną  $z_d$ , a aproksymowaną  $z_i$  w  $t$ -tym kroku iteracji (Rys. 1):

$$\frac{\partial E_{ext}}{\partial z_i} = \begin{cases} r & \text{dla } r < 0 \\ re^{-r^2/s^2} & \text{dla } r \geq 0 \end{cases} \quad (8)$$



Rys. 1. Model energii zewnętrznej

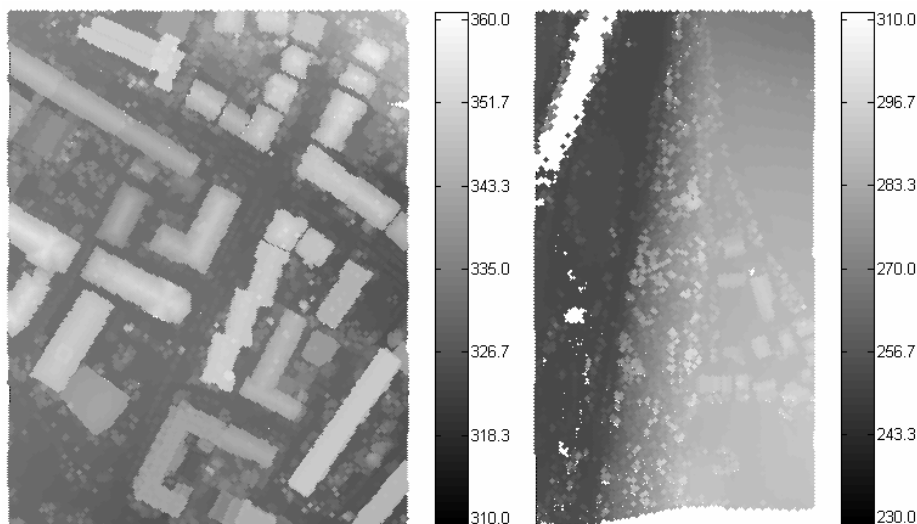
Aproksymacja danych pomiarowych modelem *flakes* realizowana jest iteracyjnie. Proces kończy się w momencie uzyskania zgodności powierzchni dwóch ostatnich kroków iteracji. Powierzchnia aktywna posiada wówczas najmniejszą energię i poprzez dane pomiarowe dopasowana jest do powierzchni terenu.

W ostatnim etapie dane pomiarowe porównywane są z powierzchnią wyestymowaną w ostatnim kroku iteracji. Jeżeli na zadanym poziomie istotności pomierzone punkty nie odstają od powierzchni *flakes* wówczas klasyfikowane są jako punkty terenu, w przeciwnym razie jako punkty obiektów.

### 3. DANE TESTOWE

Prezentowana w pracy metoda została przetestowana na oryginalnych danych lotniczego skaningu laserowego. Dane pozyskane zostały skanerem Optech ALTM. Zestawy testowe oprócz punktów skaningu posiadały również dane referencyjne. Dla każdego zestawu wydzielone zostały dwa podzbiory: poprawnie sklasyfikowanych punktów terenu oraz poprawnie sklasyfikowanych punktów obiektów. Podzbiory te umożliwiły dokonanie oceny dokładności filtracji.

Spośród 15 zestawów testowych (Vosselman, 2003) wybrano 7, na których przeprowadzono szczegółowe testy metody. Ilość punktów dla tych zbiorów wynosiła 8608÷52119. Odległości pomiędzy sąsiednimi punktami dla 4 zbiorów 1÷1.5 m (gęstość 0.67 punktu/m<sup>2</sup>), dla 3 zbiorów 2÷3.5 m (gęstość 0.18 punktu/m<sup>2</sup>). Szczegółowe omówienie zestawów testowych, zasadność ich wyboru oraz sposób przygotowania danych referencyjnych podano w pracy (Sithole, Vosselman, 2004). Przykładowe zbiory testowe („Samp12”, „Samp51”, „Samp71”) przedstawiono na Rys. 2.



Rys. 2. Zbiory testowe - przykłady

### 4. OCENA POPRAWNOŚCI

Procedura oceny poprawności prezentowanego algorytmu polegała na porównaniu zbiorów referencyjnych ze zbiorami powstałymi w wyniku filtracji automatycznej. Dane referencyjne to wydzielone ze zbioru danych testowych podzbiory:

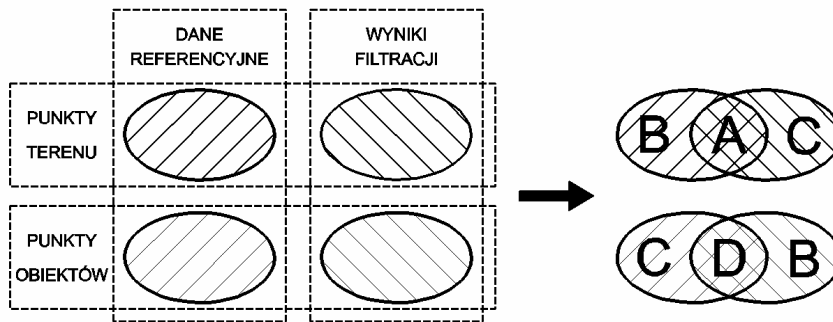
- prawidłowo sklasyfikowane punkty terenu – zbiór P,
- prawidłowo sklasyfikowane punkty obiektów – zbiór Q.

Również w wyniku filtracji przeprowadzonej na danych oryginalnych otrzymano dwa analogiczne podzbiory:

- punkty sklasyfikowane jako punkty terenu – zbiór R,
- punkty sklasyfikowane jako punkty obiektów - zbiór S.

Weryfikacja poprawności metody aktywnych powierzchni polegała na porównaniu w parach odpowiadających sobie wyżej wymienionych zbiorów (Rys. 3). W wyniku działań (część wspólna lub różnica) na obu parach powstały kolejne podzbiory:

- zbiór A - część wspólna zbiorów P i R ( $P \cap R$ ), są to punkty terenu zidentyfikowane przez algorytm prawidłowo (Rys. 4 – średnio szary kolor punktów),
- zbiór B - różnica zbiorów P i R ( $P \setminus R$ ) lub różnica zbiorów S i Q ( $S \setminus Q$ ) są to punkty terenu zidentyfikowane przez algorytm jako punkty obiektów (błąd filtracji typu pierwszego), (Rys. 4 – jasno szary kolor punktów),
- zbiór C - różnica zbiorów R i P ( $R \setminus P$ ) lub różnica zbiorów Q i S ( $Q \setminus S$ ) są to punkty obiektów zidentyfikowane przez algorytm jako punkty terenu (błąd filtracji typu drugiego), (Rys. 4 – czarny kolor punktów),
- zbiór D - część wspólna zbiorów Q i S ( $Q \cap S$ ) są to punkty obiektów zidentyfikowane przez algorytm prawidłowo, (Rys. 4 – ciemno szary kolor punktów).



Rys. 3. Porównanie danych referencyjnych z wynikami filtracji automatycznej

Poprzez określenie licznosci  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  podzbiorów A, B, C, D oraz udziału punktów błędnych w całkowitej ilości punktów możliwe jest określenie błędów procentowych filtracji. Obliczone zostały trzy rodzaje błędów procentowych.

Procentowy błąd typu pierwszego  $\sigma_1$  określany jest jako udział liczby punktów będących błędami typu pierwszego w ilości poprawnych punktów terenu:

$$\sigma_1 = \frac{b}{a+b}. \quad (9)$$

Procentowy błąd typu drugiego  $\sigma_2$  określany jest jako udział liczby punktów będących błędami typu drugiego w ilości poprawnych punktów obiektów:

$$\sigma_2 = \frac{c}{c+d}. \quad (10)$$

Całkowity procentowy błąd filtracji  $\sigma$  obliczony został jako udział wszystkich błędnie sklasyfikowanych punktów w całym zbiorze danych pomiarowych:

$$\sigma = \frac{b+c}{a+b+c+d}. \quad (11)$$

Procentową skuteczność filtracji można określić w sposób analogiczny obliczając udział poprawnie sklasyfikowanych punktów w zbiorze danych pomiarowych. Jest ona równa różnicy pomiędzy wartością 100% a procentowym błędem filtracji.

## 5. WYNIKI

Testów numeryczne opisanego algorytmu filtracji przeprowadzono na siedmiu zestawach testowych. Wyniki filtracji oraz rezultaty ich porównania z danymi referencyjnymi przedstawiono w tabeli Tab 1, oraz na (Rys. 4).

Błędy procentowe zarówno typu pierwszego (9), drugiego (10) jak i całkowity (11) dla wszystkich zestawów testowych nie przekraczają wartości 10%. Rezultaty filtracji przeprowadzonej metodą aktywnych powierzchni są zbliżone do uzyskiwanych innymi metodami (Sithole i Vosselman, 2004). Błędy filtracji typu pierwszego poza pojedynczymi nieregularnie rozrzuconymi punktami to głównie punkty leżące na granicy obszaru opracowania lub w pobliżu linii krawędziowych terenu (Rys. 4). Natomiast błędy typu drugiego to oprócz przypadkowych punktów skupiska mające charakter artefaktów.

## 6. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono algorytm umożliwiający automatyczne wydzieleniu z danych lotniczego skaningu laserowego punktów będących odbiciami od powierzchni terenu. Algorytm bazuje na aproksymacji danych pomiarowych aktywną powierzchnią (*flakes*).

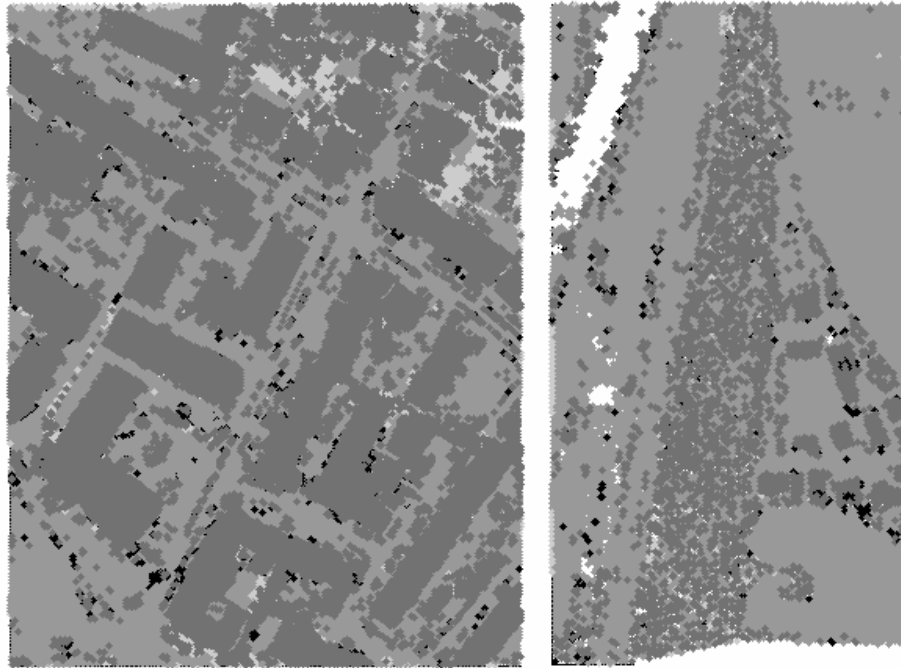
Przeprowadzone testy numeryczne na rzeczywistych danych skaningu oraz porównanie wyników filtracji z danymi referencyjnymi wykazały dużą skuteczność prezentowanego algorytmu. Poprawność filtracji dla wszystkich zestawów testowych wyniosła ponad 90%, przy czym w zależności od ukształtowania terenu oraz form pokrycia terenu całkowity procentowy błąd filtracji (11) wyniósł 1.4÷9.1%. Wartości błędów filtracji metodą *flakes* zbliżone są do błędów uzyskiwanych innymi metodami.

Błędy filtracji typu drugiego mające charakter artefaktów mogą być w łatwy sposób wyeliminowane na etapie ręcznej weryfikacji filtracji. Błędne punkty na skrajach obszaru opracowania nie powinny występować jeśli uwzględnione zostaną dane z przylegających obszarów. Jak wykazały testy również przerwy pomiędzy sąsiednimi skanami nie powodują błędnej klasyfikacji punktów w ich okolicach (Rys. 4).

Poprzez odpowiedni dobór parametrów wagowych  $\alpha$  i  $\beta$  (2) algorytm umożliwia uwzględnienie linii krawędziowych terenu.

**Tab 1.** Wyniki oceny poprawności filtracji metodą aktywnych powierzchni

Zbiór	Punktów	$a$	$b$	$c$	$d$	$\sigma_1$ [%]	$\sigma_2$ [%]	$\sigma$ [%]
Samp12	52119	24260	2431	693	24735	9.11	2.73	5.99
Samp21	12960	9939	146	112	2763	1.45	3.90	1.99
Samp22	32706	20939	1565	854	9348	6.95	8.37	7.40
Samp31	28862	15100	456	285	13021	2.93	2.14	2.57
Samp51	17845	13641	309	190	3705	2.22	4.88	2.80
Samp54	8608	3828	155	197	4428	3.89	4.26	4.09
Samp71	15645	13519	356	119	1651	2.57	6.72	3.04



Rys. 4. Wyniki porównania z danymi referencyjnymi - przykłady

Zaprezentowana metoda posiada pewien potencjał dalszego udoskonalenia co przynieść może znaczną poprawę jej skuteczności. Możliwe jest między innymi zastosowanie podejścia filtracji hierarchicznej, która dodatkowo powinna przyspieszyć cały proces poprzez znaczne ograniczenie ilości koniecznych do wykonania iteracji. Omawiane zagadnienie będzie przedmiotem dalszych badań.



## 7. LITERATURA

- Axelsson P., 1999. Processing of laser scanner data - algorithms and applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54(2), 138–147.
- Axelsson P., 2000. DEM generation from laser scanner data using adaptive TIN models. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXIII-1/B4 110–117.
- Borkowski A., 2004. Modellierung von Oberflächen mit Diskontinuitäten. *Deutsche Geodätische Kommission*, Reihe C, Heft Nr 575.
- Borkowski A., 2005. Filtracja danych lotniczego skaningu laserowego z wykorzystaniem metody aktywnych powierzchni. *PTIP, Roczniki Geomatyki*, Vol. III, Zeszyt 4, 35–42.
- Borkowski A., Keller W. 2006. An Attempt to ALS-data filtering in wavelet domain. *8th Bilateral Geodetic Meeting Poland-Italy*. Wrocław, 22–24 June. <http://www.geo.ar.wroc.pl/8bgmpi/>
- Briese C., Pfeifer N., Dorninger P., 2002. Applications of the robust interpolation for DTM determination. *Symposium ISPRS Commission III, Photogrammetric Computer Vision*, Graz, 9 - 13 September 2002. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXIV / 3A, 55 – 61.
- Elmqvist, M., Jungert, E., Persson, A. und Soderman, U., 2001. Terrain modelling and analysis using laser scanner data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXIV-3/W4, Annapolis, Maryland, 22-24 October, 219–227.
- Elmqvist, M., 2002. Ground surface estimation from airborne laser scanner data using active shape models. *ISPRS, Commission III, Symposium Photogrammetric Computer Vision*, September 9-13, Graz, 114–118.
- Filin S., Pfeifer N., 2006. Segmentation of airborne laser scanning data using a slope adaptive neighborhood. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 60, 71–80.
- Kraus K., 2000. Photogrammetrie. Band 3. Topographische Informatonssysteme. Dümmler, Köln.
- Kraus K., Pfeifer N. 2001. Advanced DTM generating from LIDAR data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXIV-3/W4, Annapolis, Maryland, 22-24 October, 23–30.
- Marmol U., Jachimski J., 2004. A FFT based method of filtering airborne laser scanner data. *ISPRS Congress*, 12-23 July, Istanbul, Turkey, Commission 3. <http://www.isprs.org/commission3/wg3>
- Roggero, M., 2001. Airborne laser scanning: Clustering in row data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXIV-3/W4, Annapolis, Maryland, 22-24 October, 227–232.
- Sithole, G., 2001. Filtering of laser altimetry data using a slope adaptive filter. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXIV-3/W4, Annapolis, Maryland, 22-24 October, 203–210.
- Sithole G., Vosselman G., 2004. Experimental comparison of filter algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 59, 85–101.
- Vosselman G., Maas, H.-G., 2001. Adjustment and filtering of raw laser altimetry data. *OEEPE Workshop on Airborne Laserscanning and Interferometric SAR for Detailed Digital Elevation Models*, Stockholm, 1-3 March.

Vosselman G., 2003. ISPRS TEST ON EXTRACTING DEMs FROM POINT CLOUDS: A comparison of existing automatic filters, Delft. <http://www.itc.nl/isprswgIII-3/filtertest/Reference.zip>

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2005-2007 jako projekt badawczy nr 4T12E01729. Obliczenia wykonano w systemie MATLAB, licencja nr 101979, grant obliczeniowy Wrocławskiego Centrum Sieciowo-Superkomputerowego.

### **CORRECTNESS EVALUATION OF THE FLAKES BASED FILTERING METHOD OF AIRBORNE LASER SCANNING DATA**

KEY WORDS: airborne laser scanning, filtering, flakes, variational problem

SUMMARY: In the process of creating digital terrain model from airborne laser scanning data, there is a need (a necessity) to extract, from the raw points cloud, only those points which are the reflections of laser beam from the ground. This task is performed mainly automatically, using specialized software for data classification or filtering. In the present paper, an algorithm based on surface energy minimisation was presented. The total energy of surface, is the sum of an internal and external energy. Internal energy describes geometrical properties of modelled surface and, in the flakes model, it is a weighted sum of surface membrane kernel and surface thin plate kernel. External energy describes difference between estimated active surface and measured data and depends on the measured height and approximated height. As a result of total surface energy minimisation, active surface is "matched" with the terrain surface. The variation problem, which occurs in the task of surface energy minimisation, was solved using direct method (Ritz method). Numeric tests were carried out on the real scanning data that contained referenced data in the form of correctly classified ground and object points. Throughout referenced data, the evaluation of presented filtering method correctness could be estimated. As a result of comparison of the referenced data with the sets of points, after filtering the percentage values of filtering, errors were calculated. The results achieved confirmed that flakes method is effective – the filtering correctness value is similar to the values obtained using other methods, and amounts to above 90%.

Dr hab. inż. Andrzej Borkowski, prof. nadzw.  
e-mail: [borkowski@kgf.ar.wroc.pl](mailto:borkowski@kgf.ar.wroc.pl)  
telefon: (71) 320 56 09

Mgr inż. Grzegorz Józków  
e-mail: [jozkow@kgf.ar.wroc.pl](mailto:jozkow@kgf.ar.wroc.pl)  
telefon: (71) 320 19 51