

**WYKORZYSTANIE WIELOMIANOWYCH POWIERZCHNI  
RUCHOMYCH W PROCESIE FILTRACJI DANYCH POCHODZĄCYCH  
Z LOTNICZEGO SKANINGU LASEROWEGO**

**FILTERING OF AIRBORNE LASER SCANNING DATA  
USING A MOVING POLYNOMIAL SURFACE MODEL**

**Andrzej Borkowski, Grzegorz Józków**

Institut Geodezji i Geoinformatyki, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

**SŁOWA KLUCZOWE:** skaning laserowy, filtracja, wielomianowa powierzchnia ruchoma, estymacja odporna, funkcja wagowa, funkcja tłumienia

**STRESZCZENIE:** Lotniczy skaning laserowy dostarcza punktowej informacji geometrycznej o fizycznej powierzchni ziemi i znajdujących się na niej obiektach. W procesie opracowania danych centralnym zagadnieniem jest identyfikacja punktów należących do odpowiednich powierzchni. W pracy przedstawiono algorytm hierarchicznej identyfikacji punktów należących do powierzchni terenu. Algorytm bazuje na aproksymacji danych pomiarowych metodą ruchomych powierzchni wielomianowych, przy czym parametry powierzchni wyznaczone są z wykorzystaniem estymacji odpornej metodą M-estymatorów. W procesie estymacji wykorzystano asymetryczne funkcje tłumienia. Test algorytmu wykonano na rzeczywistych danych pozyskanych z wykorzystaniem systemu ScaLARS. Dla oceny skuteczności algorytmu wykonano ręczną klasyfikację punktów, porównując się skalibrowanym w tym samym układzie zdjęciem lotniczym. Błąd identyfikacji punktów terenowych oszacowano na poziomie około 2 %.

## **1. WPROWADZENIE**

Lotniczy skaning laserowy staje się, w ostatnich latach, wiodącą technologią w zakresie pozyskiwania informacji geometrycznej o topograficznej powierzchni terenu i znajdujących się na niej obiektach. Przyczynia się do tego automatyzacja procesu pomiarowego, dalsze doskonalenie algorytmów kalibracji, prowadzące do wzrostu dokładności, oraz znaczny wzrost rozdzielczości skanowania.

W procesie opracowania danych skaningu laserowego centralnym zagadnieniem jest identyfikacja punktów należących do odpowiednich powierzchni i ich klasyfikacja (*segmentation*), będące w dalszej kolejności podstawą do modelowania tych powierzchni. Dotyczy to głównie budynków (dachów) oraz topograficznej powierzchni terenu. Przedmiotem zainteresowania w niniejszej pracy jest ta ostatnia powierzchnia. Pod pojęciem filtracji rozumiemy natomiast jakąś formę automatycznej eliminacji punktów nie należących do modelowanej powierzchni. Ważność, a jednocześnie złożoność tego

zagadnienia podkreśla mnogość publikacji, w których proponowane są różne algorytmy i rozwiązania. Generalnie można wyróżnić następujące, najważniejsze grupy metod:

- bazujące na odpornej predykcji liniowej (Kraus, 2000; Kraus, Pfeifer, 2001, Briese *et al.*, 2002),
- polegające na iteracyjnym przybliżaniu pewnej, odpowiednio wybranej powierzchni startowej (TIN) do danych pomiarowych (Axelsson, 1999, 2000),
- wykorzystujące operatory matematycznej morfologii (kryterium spadków terenu) (Vosselman, Maas, 2001; Sithole, 2001),
- wykorzystujące analizę skupień (Roggero, 2001; Filin, Pfeifer, 2006),
- bazujące na minimalizacji energii powierzchni, zależnej od jej nachylenia (spadku) (Elmqvist *et al.*, 2001; Elmqvist, 2002) i w postaci uogólnionej (Borkowski, 2005).

Wymieniane metody realizują filtracje w dziedzinie współrzędnych. Odmienne podejście, polegające na filtracji w dziedzinie częstotliwości z wykorzystaniem techniki FFT przedstawiono w pracy (Marmol, Jachimski, 2004). Próbę filtracji, również w dziedzinie częstotliwości, z wykorzystaniem analizy falkowej (*wavelet*) podjęto w pracy (Borkowski, Keller, 2006).

Wszystkie metody filtracji można podzielić dalej na dwie grupy: metody bazujące na nieregularnie rozrzuconych w płaszczyźnie  $xy$  danych oryginalnych i metody oparte o regularną siatkę, najczęściej kwadratów. W ostatnim przypadku filtracja musi być poprzedzona odpowiednim przetworzeniem (interpolacją) danych oryginalnych.

Przegląd i charakterystykę stosowanych algorytmów i metod filtracji przedstawiono w pracach: (Borkowski, 2004; Sithole, Vosselman, 2004). W ostatniej pracy podjęto również próbę oceny ilościowej omawianych metod, podano ich właściwości filtracyjne i ograniczenia.

Na podstawie literatury przedmiotu, przeprowadzonych analiz, oraz doświadczenia autorów związanego z opracowaniem danych skaningu laserowego można, w odniesieniu do algorytmów filtracji, sformułować następujące wymagania:

- filtracja powinna być prowadzona w miarę możliwości na danych oryginalnych,
- algorytm powinien mieć dobre właściwości dopasowania do lokalnych struktur powierzchni terenu,
- algorytm powinien umożliwiać uwzględnienie dodatkowej informacji a-priori,
- ze względu na wielkość zbiorów danych skaningu laserowego, rzędu  $10^6$ , nie bez znaczenia jest również złożoność obliczeniowa algorytmu.

W kontekście sformułowanych wymagań podjęto w niniejszej pracy próbę przystosowania znanej metody aproksymacji, metody wielomianu ruchomego, dla potrzeb filtracji danych skaningu laserowego. Powierzchnia wielomianowa niskiego stopnia dopasowywana jest lokalnie do danych pomiarowych, przy czym parametry modelu obliczane są z wykorzystaniem metody odpornej M-estymatorów. W dalszej części pracy przedstawiony zostanie algorytm i jego numeryczna realizacja. Test algorytmu zostanie wykonany na rzeczywistych danych skaningu laserowego, pochodzących z obszaru doliny rzeki Widawy, gdzie skanowanie wykonano systemem ScaLARS.

## 2. WIELOMIAN RUCHOMY

Wielomian dowolnego stopnia  $n$  w przestrzeni  $\mathbf{R}^2$  można zapisać w postaci:

$$z(x,y) = \sum_{i,j} a_{ij} x^i y^j, \quad i,j = 0,1,2,\dots \quad (1)$$

Korzystne właściwości aproksymacyjne wykazują, jak wiadomo, tylko wielomiany niskiego stopnia. Stąd idea wielomianu ruchomego, polegająca na aproksymacji danych pomiarowych wielomianem niskiego stopnia, dopasowanym do najbliższego otoczenia punktu interpolowanego. Dla naszych zastosowań przyjmijmy wielomian drugiego stopnia,

$$z(x,y) = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y + a_{11}xy + a_{20}x^2 + a_{02}y^2, \quad (2)$$

którego nieznane parametry  $a_{ij}$  oblicza się lokalnie, oddzielnie w każdym punkcie interpolowanym metodą najmniejszych kwadratów,

$$\sum_{i=1}^n p_i v_i^2 \rightarrow \min, \quad (3)$$

gdzie  $v_i$  są odchyłkami powierzchni w punktach pomiarowych,  $i = 1,2,\dots,n$ ,

$$v_i = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y + a_{11}xy + a_{20}x^2 + a_{02}y^2 - h_i, \quad (4)$$

a  $p_i$  wagami wysokości w punktach pomiarowych. Wagi te maleją wraz ze wzrostem odległości od punktu wyznaczanego  $P(x_j, y_j)$  i obliczane są najczęściej według zależności

$$p_i = (c/d_i)^r, \quad (5)$$

w której  $c$  jest wartością stałą, często równą minimalnej odległości pomiędzy punktami pomiarowymi,  $c = \min(d_{ik})$ , a

$$d_i = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}. \quad (6)$$

Wykładnik potęgi  $r$  determinuje wpływ punktów pomiarowych na przebieg powierzchni wielomianowej. Im większa wartość  $r$  tym bardziej lokalny charakter wielomianu. Parametry wielomianu (2) otrzymujemy się z rozwiązania układu obserwacyjnego (4) dla  $n$  punktów pomiarowych. W zapisie macierzowym układ obserwacyjny przyjmie postać:

$$\mathbf{v} = \mathbf{A}\mathbf{x} - \mathbf{h}, \mathbf{P}, \quad (7)$$

gdzie

$$\mathbf{v} = [v_1 \ v_2 \ \dots \ v_n]^T, \quad \mathbf{x} = [a_{00} \ a_{10} \ a_{01} \ a_{11} \ a_{20} \ a_{02}]^T, \quad \mathbf{P} = \text{diag}\{p_1 \ p_2 \ \dots \ p_n\},$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & x_1 y_1 & x_1^2 & y_1^2 \\ 1 & x_2 & y_2 & x_2 y_2 & x_2^2 & y_2^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_n & y_n & x_n y_n & x_n^2 & y_n^2 \end{bmatrix},$$

a jego rozwiązanie dane jest zależnością:

$$\hat{\mathbf{x}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{h}. \quad (8)$$

Powyższe rozwiązanie nieoznaczone układu równań liniowych jest kosztowne numerycznie. W realizacji praktycznej wykorzystuje się najczęściej rozkład trójkątny macierzy  $(\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})$  na przykład rozkład LU.

### 3. ODPORNA ESTYMACJA PARAMETRÓW

Estymacja parametrów modelu metodą najmniejszych kwadratów (8) oznacza znaczny wpływ na estymowane parametry również obserwacji ostających od reszty obserwacji (obarczonych błędami grubymi). Aby wyeliminować wpływ takich obserwacji stosujemy odporną estymację parametrów. W metodzie tej parametry otrzymuje się w wyniku rozwiązania zadania minimalizacyjnego

$$\sum_{i=1}^n p_i \rho(v_i) \rightarrow \min . \quad (9)$$

Wprowadzona tutaj funkcja jest tak zwaną funkcją straty, która może być interpretowana jako odchylenie estymatora od poszukiwanej optymalnej wartości tego estymatora. Celowym jest zatem minimalizować te odchylenia. Rozwiązując zadanie minimalizacyjne (9) otrzymuje się układ równań normalnych, który odpowiada iteracyjnemu rozwiązaniu zadania najmniejszych kwadratów

$$\sum_{i=1}^n p_i w(v_i)^{(k-1)} v_i^2 \rightarrow \min . \quad (10)$$

Wprowadzona dodatkowa funkcja wagowa  $w(v_i)$  związana jest z funkcją straty i obliczana iteracyjnie w  $k$ -tym kroku iteracji na podstawie poprawek z poprzedniego kroku ( $k-1$ ). Funkcja ta nazywana jest często funkcją tłumienia, która modyfikuje dotychczasowe wagi obserwacji,

$$\bar{p}_i = p_i w(v_i) . \quad (11)$$

Uwzględniając zmodyfikowaną macierz wag, estymowane parametry wyznacza się w  $k$ -tym kroku iteracji z zależności (Koch, 1996):

$$\hat{\mathbf{x}}^k = (\mathbf{A}^T \bar{\mathbf{P}}^{(k-1)} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \bar{\mathbf{P}}^{(k-1)} \mathbf{h} . \quad (12)$$

Proces iteracyjny kończy się po uzyskaniu zgodności estymatora z poprzednim krokiem iteracji, na założonym poziomie dokładności.

Kluczowym zagadnieniem w estymacji odpornej jest wybór odpowiedniej funkcji tłumienia. W niniejszej pracy wykorzystano następujące funkcje:

- funkcja Hubera

$$w(v) = \begin{cases} \frac{\sigma}{|v|}, & |v| > \sigma \\ 1, & |v| \leq \sigma \end{cases} , \quad (13)$$

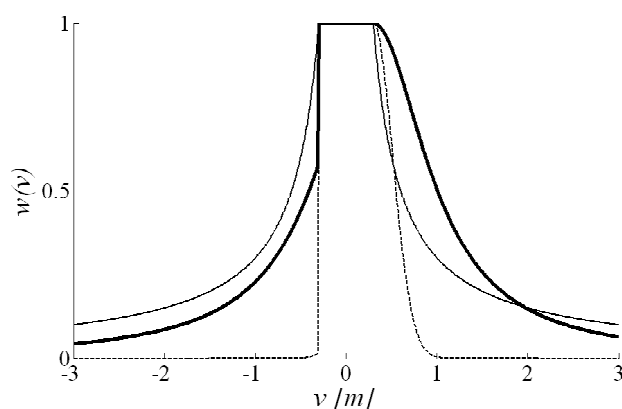
- funkcja Krausa (Kraus, 2000)

$$w(v) = \begin{cases} \frac{1}{1 + (\alpha|v - \sigma|)^\beta}, & |v| > \sigma \\ 1, & |v| \leq \sigma \end{cases} , \quad (14)$$

- funkcja Gaussa

$$w(v) = \begin{cases} e^{-(v-\sigma)^2/\sigma^2}, & |v| > \sigma \\ 1, & |v| \leq \sigma \end{cases} , \quad (15)$$

gdzie  $\sigma$  jest dobieranym empirycznie parametrem determinującym zakres błędów przypadkowych. W funkcji tłumienia (14) występują dwa dodatkowe parametry  $\alpha$  i  $\beta$ , również dobierane empirycznie. Funkcje tłumienia dla ustalonych wartości parametrów zobrazowano na rysunku 1. Należy zwrócić uwagę, że klasyczna funkcja Hubera (13) jest funkcją symetryczną, podczas gdy dwie pozostałe są funkcjami asymetrycznymi. W zastosowaniu do filtracji danych skaningu laserowego właściwość ta powinna być korzystniejsza.



Rys. 1. Funkcje tłumienia dla  $\sigma = 0.3 m$ : funkcja Hubera (linia cienka), funkcja Krausa ( $\alpha = 2$ ,  $\beta = 2$ ) (linia gruba) i funkcja Gaussa (linia przerywana)

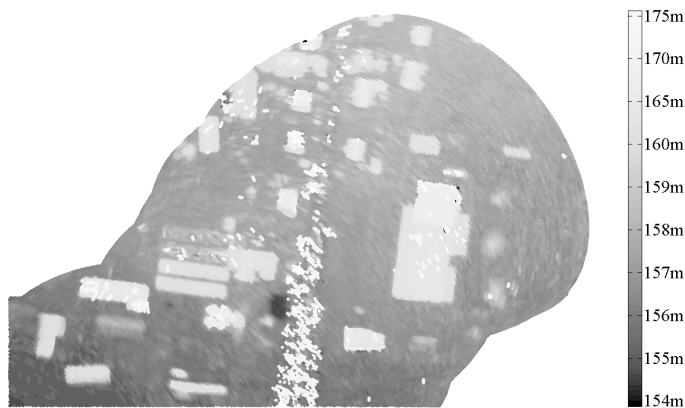
#### 4. REALIZACJA NUMERYCZNA I PRZYKŁAD TESTOWY

Zbiór testowy pochodzi z obszaru doliny rzeki Widawy, okolice wsi Szewce na granicy Wrocławia. Wykorzystany został fragment jednego skanu pomiarowego. Obszar zbioru testowego obejmuje powierzchnię 8.7 ha i zawiera 127 175 punktów. Współrzędne poziome są w układzie 2000, natomiast wysokości punktów, to wysokości elipsoidalne (elipsoida WGS-84). W procesie filtracji układ wysokościowy nie ma znaczenia. Rozkład punktów zbioru testowego przedstawiono na rysunku 2. Teren będący przedmiotem opracowania jest stosunkowo płaski, zawiera luźną zabudowę, drogę przebiegającą w nasypie oraz luźne i zwarte grupy drzew i krzewów.

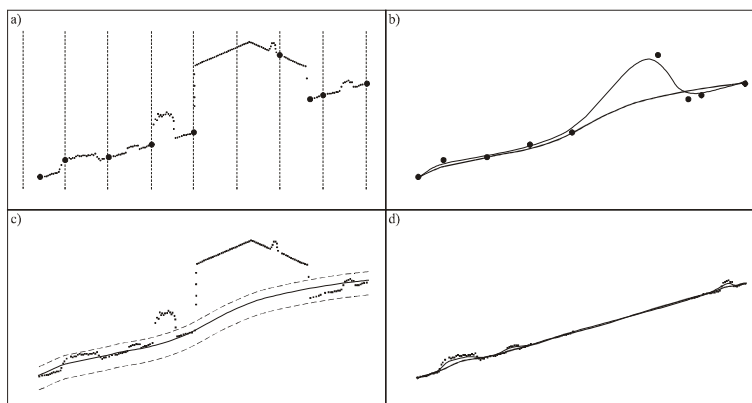
W algorytmie wykorzystano ideę filtracji hierarchicznej zaproponowanej w pracy (Briese *et al.*, 2002). Schemat tej metody dla profilu terenowego przedstawiono na rysunku 3. Filtracja hierarchiczna metodą ruchomego wielomianu realizowana jest w czterech etapach:

- podział obszaru na mniejsze podobszary i wybranie dla każdego z nich punktu reprezentatywnego, najczęściej punktu o najmniejszej wysokości (rys. 3a),
- interpolacja wysokości w punktach reprezentatywnych metodą wielomianu ruchomego (rys. 3b); stworzony zostaje model trendu, nie uwzględniający lokalnych form powierzchni terenu,
- usunięcie ze zbioru wszystkich punktów, które nie mieszczą się w ustalonym buforze trendu terenu (rys. 3c),

- interpolacja wysokości w punktach mieszczących się w buforze metodą wielomianu ruchomego (rys. 3d).



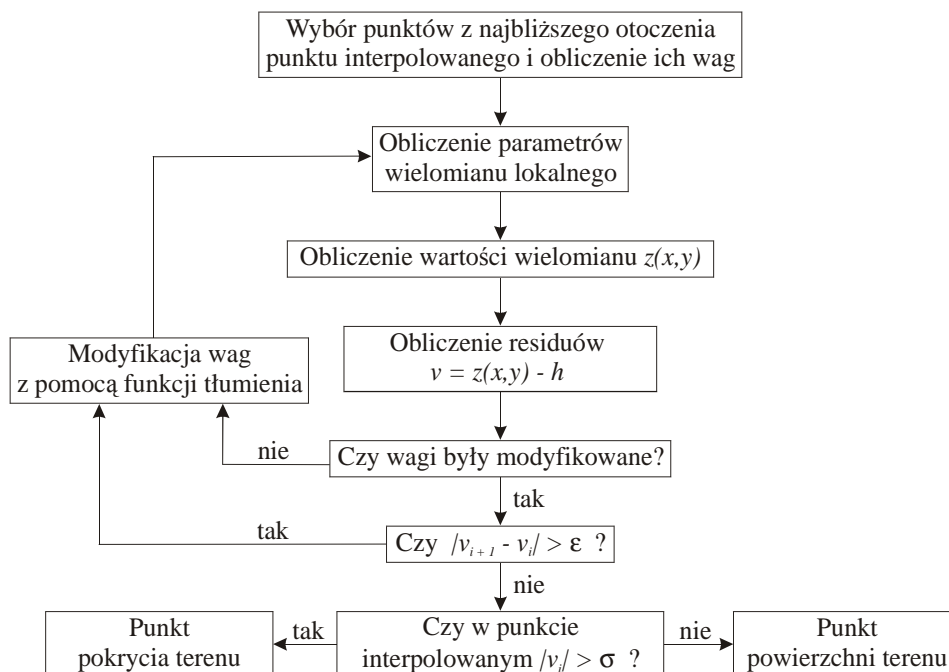
Rys. 2. Przykład testowy: rzut pomierzonych punktów na płaszczyznę  $xy$



Rys. 3. Etapy filtracji hierarchicznej (Briese *et al.*, 2002) – objaśnienia w tekście

W przykładzie testowym obszar podzielono na 410 przylegających do siebie kwadratów o boku 15 m, w których wyznaczono punkty reprezentatywne. Szerokość bufora ustalono na 3 m powyżej i poniżej trendu. Po wyinterpolowaniu wysokości w punktach reprezentatywnych w buforze znalazło się 110 271 punktów. Odrzucone punkty to głównie pochodzące z odbić wielotorowych oraz punkty będące odbiciami od drzew i dachów budynków. Ostatni etap filtracji miał na celu identyfikację punktów (wśród pozostałych) będących odbiciami od niskich elementów pokrycia terenu np. niskiej roślinności. Schemat obliczeń tego etapu dla pojedynczego punktu przedstawiono na rysunku 4.

Jako lokalne otoczenie punktu wybrano kwadrat o boku 30 m, którego środkiem był interpolowany punkt. Zwiększanie obszaru otoczenia lokalnego nie poprawia efektów filtracji (wagi punktów znacznie oddalonych są wówczas bardzo małe), a zmniejszanie powoduje, iż w lokalnym otoczeniu może znaleźć się mała liczba punktów, przez co wielomian zostanie dopasowany tylko do kilku punktów, a nie do lokalnego otoczenia.



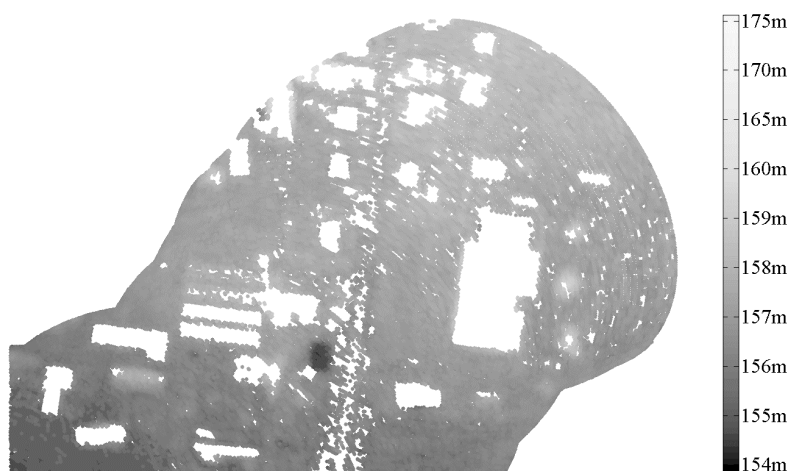
Rys. 4. Schemat algorytmu filtracji metodą ruchomych powierzchni dla pojedynczego punktu

Parametry  $c$  i  $r$  funkcji wagowej (5) dobrano eksperymentalnie jako  $c = 1$ ,  $r = 0.5$ . Wartość parametru  $c$  odpowiada mniej więcej średniej odległości pomiędzy punktami. Parametr  $r$  decyduje o lokalnym charakterze powierzchni wielomianowej - im jest on większy, tym mniejszy wpływ punktów dalszych.

Eksperymenty numeryczne przeprowadzono z wykorzystaniem wszystkich trzech funkcji tłumienia. Najlepsze efekty filtracji uzyskiwano dla funkcji Krausa (14), ze względu na jej asymetryczność i dużą elastyczność, wynikająca ze swobodnego doboru parametrów  $\alpha$  i  $\beta$ .

Jako istotną różnicę residuów  $(v_{i+1} - v_i)$  z dwóch kolejnych iteracji przyjęto wartość  $\varepsilon = 0.1 m$ . Zmniejszanie jej nie poprawia wyników filtracji, a powoduje wydłużenie procesu iteracyjnego. Za istotne residuum obliczone z ostatniej iteracji uznano takie, którego wartość jest większa niż poziom błędów skaningu,  $\sigma = 0.3 m$ .

W wyniku przeprowadzonej w ten sposób filtracji zakwalifikowano 90 178 punktów jako należących do powierzchni terenu. Punkty te przedstawione są na rysunku 5.



Rys. 5. Rzut na płaszczyznę  $xy$  punktów powierzchni terenu

Aby ocenić poprawności filtracji metodą ruchomych powierzchni, wykonano dla obszaru testowego ręczną filtrację posiłkując się skalibrowanym w układzie 2 000 zdjęciem lotniczym oraz mapą topograficzną. Stwierdzono, że około 2 000 punktów zakwalifikowano metodą ruchomych powierzchni błędnie jako punkty powierzchni terenu. Podczas filtracji ręcznej okazały się one punktami pokrycia terenu. Przy tej liczbie punktów daje to błąd filtracji na poziomie 2 %. Jednocześnie trzeba stwierdzić, że filtracja ręczna może również zawierać pewien margines błędu. Zdarzały się bowiem punkty, które w filtracji automatycznej zostały, na podstawie wysokości, odrzucone jako punkty pokrycia terenu, na zdjęciu trudno było jednak znaleźć dla tego uzasadnienie.

Błędnie zakwalifikowane punkty to głównie:

- punkty odbite od dolnych fragmentów ścian budynków,
- punkty odbite od niewielkich, zwartych i niskich elementów pokrycia terenu np. gęste krzewy,
- punkty znajdujące się przy granicy obszaru opracowania.

Te ostatnie błędy można znacznie zminimalizować uwzględniając sąsiednie skany.

## 5. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono algorytm hierarchicznej identyfikacji punktów należących do powierzchni terenu. Algorytm bazuje na aproksymacji danych pomiarowych metodą ruchomych powierzchni wielomianowych, przy czym parametry powierzchni wyznaczone są z wykorzystaniem estymacji odpornej metodą M-estymatorów.

Przeprowadzone testy pokazały, że najlepsze rezultaty filtracji otrzymuje się wykorzystując funkcję wagową odwrotnie proporcjonalną do odległości pomiędzy punktami oraz asymetryczną funkcję tłumienia podaną wzorem (14). Oszacowany w odniesieniu do filtracji ręcznej błąd filtracji automatycznej na poziomie 2 % należy uznać za niewielki. Można jednak spodziewać się, że w terenach o bardziej urozmaiconej rzeźbie, w szczególności zawierających nieciągłości, na przykład na wąskich obwałowaniach,



wynik filtracji może być gorszy. Pomocne w takich sytuacjach powinno być wprowadzenie informacji a priori, w postaci kilku punktów znajdujących się na obwałowaniu. Będzie to przedmiotem dalszych prac mających na celu udoskonalenie algorytmu.

Algorytm jest stosunkowo prosty, bazuje na danych oryginalnych, a dzięki możliwości swobodnego doboru parametrów funkcji wagowej i funkcji tłumienia posiada również dobre właściwości aproksymacji lokalnych struktur terenu.

## 6. LITERATURA

- Axelsson P., 1999. Processing of laser scanner data - algorithms and applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54(2), s. 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, s. 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. *Roczniki Geomatyki*, tom III, zeszyt 4, s. 35-42.
- Borkowski A., Keller W., 2006. An Attempt to ALS-data filtering in wavelet domain. 8<sup>th</sup> 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, s. 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, s. 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, s. 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, s. 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, s. 23-30.
- Koch K.-R. 1996. Robuste Parameterschätzung. *AVN*, 103, s. 1-18.
- 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, s. 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, s. 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*, Vo. 59, s. 85-101.

Vosselman G., Maas H.-G., 2001. Adjustment and filtering of raw laser altimetry data. OEEPEWorkshop on Airborne Laserscanning and Interferometric SAR for Detailed Digital Elevation Models, Stockholm, 1-3 march.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2005-2007 jako projekt badawczy nr 4T12E0172. Obliczenia wykonano w systemie MATLAB, licencja nr 101979, grant obliczeniowy Wrocławskiego Centrum Sieciowo-Superkomputerowego.

## **FILTERING OF AIRBORNE LASER SCANNING DATA USING A MOVING POLYNOMIAL SURFACE MODEL**

**KEY WORDS:** laser scanning, filtering, moving polynomial surface, robust estimation, weighting function

### **Summary**

Within recent years, airborne laser scanning has become the leading technology of acquiring discrete geometrical information about ground surface and objects existing on it. The main issue in data processing is the identification and classification of points belonging to the proper surfaces. Thereafter, these points constitute the basis for surface modelling. The problem of classification concerns roofs of buildings and the topographical ground surface. The latter one is the subject of the research in the presented work. The form of an automatic elimination of points not belonging to the modeled surface is called a filtration.

Based upon a literature review concerning airborne laser scanning data filtration, the analysis and experience of authors in data processing, the following filtration requirements can be formulated:

- if possible, the filtration process should be carried out on the original data,
- the algorithm should have the property of suitable conformity to the local terrain structures,
- the algorithm should take into consideration additional information a-priori,
- due to the very large size of laser scanning data sets, in the order of  $10^6$  points, the complexity of the filtration algorithm is important.

In the context of above mentioned requirements, the method of moving polynomial surface in the process of airborne laser scanning data filtration was adapted in this work. The small rank polynomial surface was locally fit to the measured data in the iteration process. Parameters of the surfaces were calculated based upon M-estimators of the robust estimation method. In the estimation process, the distance inverse function as the weighting function and the asymmetrical damping function were used. The filtration algorithm was applied using the hierarchical method.

The algorithm tests were executed on the real data captured by ScaLARS system. In order to evaluate the correctness of the algorithm, hand points classification using air photos, calibrated in the same coordinate system, was carried out. The terrain points identification accuracy was evaluated on

the level of about 2 %. A discussion of results is included and the advantages and defects of the presented algorithm are discussed in the paper.

The proposed algorithm is relatively simple, and is based upon the original data and, due to free choice of weighting and damping functions parameters, has properties of suitable approximation of the local terrain structures.

Dr hab. inż. Andrzej Borkowski  
e-mail: borkowski@kgf.ar.wroc.pl  
tel. +71 3205609

Mgr inż. Grzegorz Józków  
e-mail: jozkow@kgf.ar.wroc.pl  
tel. +71 3201951