

**PORÓWNANIE DZIAŁANIA ALGORYTMÓW AKTYWNEGO MODELU  
TIN I PREDYKCJI LINIOWEJ DO SEGMENTACJI PUNKTÓW  
TERENOWYCH**

**COMPARISON OF TIN ACTIVE MODEL AND PREDICTION OF  
LINEAR ALGORITHMS FOR TERRAIN POINTS SEGMENTATION**

**Paulina Brodowska**

Zakład Fotogrametrii, Instytut Geodezji i Kartografii

**SŁOWA KLUCZOWE:** LIDAR, ALS, chmura punktów, algorytm aktywnego modelu TIN, predykcja liniowa, filtracja, segmentacja

**STRESZCZENIE:** Istotną część punktów pozyskanych z wykorzystaniem technologii lotniczego skaningu laserowego stanowią odbicia od obiektów leżących ponad powierzchnią terenu np. drzew, krzewów czy budynków. Jednoznaczna i dokładna segmentacja jest kluczowym procesem pozwalającym na identyfikację obszarów homologicznych pod względem określonych własności w zbiorze punktów, co z kolei umożliwia generowanie NMT czy modelowanie brył budynków. W niniejszej pracy przedstawiono porównanie dwóch najczęściej stosowanych algorytmów filtracji chmury punktów ALS: aktywnego modelu TIN oraz predykcji liniowej. Badania wykonano dla wyodrębnionych 24 pól testowych charakteryzujących się różnym ukształtowaniem i użytkowaniem terenu. Weryfikacja wyników automatycznych filtracji polegała na ich porównaniu ze zbiorami referencyjnymi. W wyniku tego porównania określono względne procentowe błędy segmentacji punktów terenowych, które kształtowały się na poziomie od 0% do około 20% i zależne były od charakteru badanej powierzchni oraz obiektów na niej występujących. Przeprowadzone testy potwierdziły wysoką skuteczność obydwu badanych algorytmów, pokazując jednocześnie ich pewne ograniczenia i różnice w przypadku filtracji terenów o skomplikowanym ukształtowaniu lub pokryciu. Oba algorytmy zwracają podobny wynik w przypadku klasyfikacji chmury punktów opisujących tereny wykorzystywane rolniczo oraz tereny, na których zlokalizowane są pojedyncze budynki, krzewy i drzewa oraz parkingi z samochodami. Metoda oparta na predykcji liniowej lepiej eliminuje punkty zarejestrowane w wyniku odbicia wiązki lasera od podjazdów/wiaduktów/mostów, niż algorytm aktywnego modelu TIN.

## **1. WSTĘP**

Konstrukcje instrumentów geodezyjnych i związane z nimi metody pomiarów doznały w ostatnich latach znaczących przeobrażeń technologicznych. Dotyczy to zarówno tachimetrów skanujących jak i skanerów laserowych, które umożliwiają uzyskanie w bardzo krótkim czasie dużych porcji danych w postaci nieregularnej chmury punktów posiadających współrzędne X, Y, Z. Wymiana doświadczeń pomiędzy sektorami naukowym i komercyjnym przyczyniła się do gwałtownego rozwoju technologii skaningu

laserowego (ALS), dla której z każdym dniem poszerza się obszar zastosowań.

Pozyskana surowa chmura punktów może być przedmiotem analiz wizualnych bez wstępnego przetwarzania, pod warunkiem dysponowania odpowiednim oprogramowaniem. Jednak najczęściej tego rodzaju dane, poddawane są różnym procesom filtracji i segmentacji, niezbędnym do wygenerowania Numerycznego Modelu Terenu (NMT), Numerycznego Modelu Pokrycia Terenu (NMPT) czy ekstrakcji poszczególnych elementów zlokalizowanych na zeskanowanym obszarze. Oprogramowania dedykowane chmurze punktów ALS posiadają szereg opcji oraz funkcji, przy czym zaimplementowane w nich algorytmy zazwyczaj nie są znane użytkownikowi dostatecznie szczegółowo. Z tego powodu konieczne jest testowanie aplikacji w celu poznania ich możliwości, ograniczeń oraz wpływu przyjętych parametrów na wynik poszczególnych procedur obliczeniowych.

W niniejszej pracy przedstawiono porównanie działania dwóch najczęściej stosowanych algorytmów segmentacji chmury punktów ALS: algorytm wykorzystujący predykcję liniową oraz aktywnego modelu TIN.

Algorytm bazujący na predykcji liniowej został opracowany w Instytucie Fotogrametrii i Teledetekcji Uniwersytetu Technicznego w Wiedniu i jest to metoda interpolacji oparta na iteracyjnym aproksymowaniu powierzchni z uwzględnieniem funkcji wagowej. Szczegóły dotyczące tego algorytmu podano w pracach: (Pfeifer *et al.*, 1999), (Pfeifer *et al.*, 2001), (Briese *et al.*, 2002), (Gajewski *et al.*, 2003), (Marmol, 2003).

Algorytm aktywnego modelu TIN został opracowany na Wydziale Geodezji i Fotogrametrii w Królewskim Instytucie Technicznym w Sztokholmie, a idea jego działania opiera się na iteracyjnym przybliżaniu odpowiednio wybranej początkowej powierzchni do danych pomiarowych. Dokładny opis metody podany został w pracach: (Axelsson, 1999), (Axelsson, 2000), (Piechocka *et al.*, 2004).

Do porównania ich funkcjonalności wykorzystane zostały dwa oprogramowania tj. SCOP++ oraz Terrasolid. Przeprowadzone testy z wykorzystaniem rzeczywistych danych pochodzących z LIDAR umożliwiły dostrzeżenie zalet i ograniczeń obu metod oraz określenie zakresu ich zastosowań.

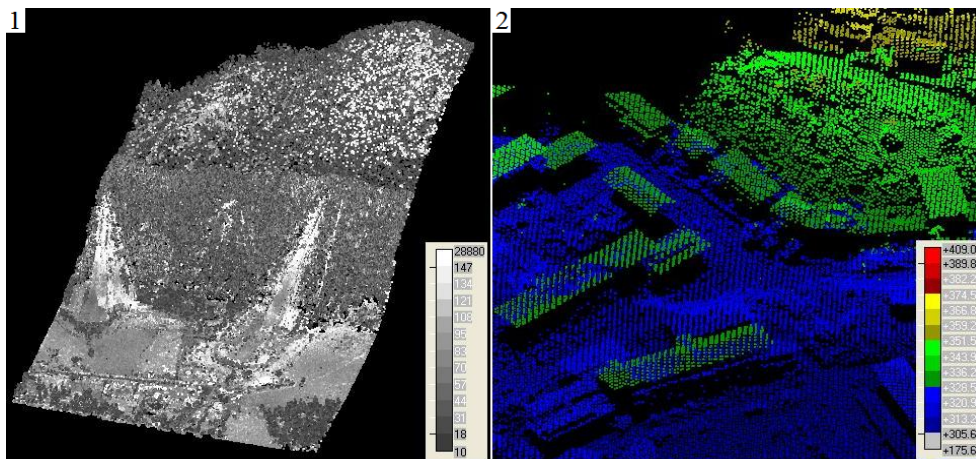
Procedurę weryfikacji wyników oparto na pracy (Stihole i Vosselman, 2004) przez co istnieje możliwość odniesienia otrzymanych wskaźników procentowych poszczególnych typów błędów do innych, znanych z literatury metod segmentacji.

## 2. DANE TESTOWE

Porównywane w pracy metody zostały przetestowane na oryginalnych danych pochodzących z lotniczego skaningu laserowego. Segmentację punktów terenowych przeprowadzono dla pięciu chmur punktów charakteryzujących się różną gęstością i pozyskanych dla obszarów o różnym ukształtowaniu i pokryciu terenu.

Pierwszy obszar to fragment miasta z dużymi budynkami biurowymi, typową zabudową jednorodziną oraz parkiem. Obszar ten charakteryzował się niewielkim zróżnicowaniem ukształtowania terenu i deniwelacją na poziomie 3 m. Obszar drugi zawierał gęstą zabudowę miejską i reprezentował teren pochyły. Obszary trzeci i czwarty reprezentują tereny wiejskie z pojedynczą zabudową jednorodziną, polami uprawnymi

oraz niewielkim stopniem zakrzaczenia i zadrzewienia. Ostatni obszar testowy obejmował swym zasięgiem tereny górskie. Gęstość poddanych testom chmur mieściła się w granicach od 0.2 pkt/m<sup>2</sup> dla obszaru czwartego do 6.5 pkt/m<sup>2</sup> dla obszaru pierwszego.



Rys. 1. Przykłady zbiorów testowych – chmura punktów wyświetlona według parametru intensywności odbicia (1), chmura punktów wyświetlona według parametru wysokości (2)

### 3. OPIS EKSPERYMENTU

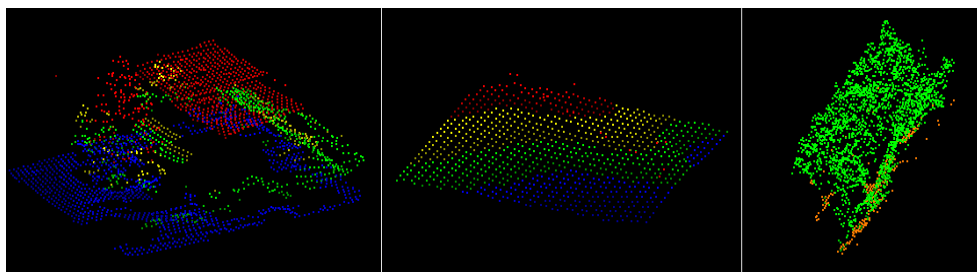
W niniejszej pracy w celu porównania działania dwóch prezentowanych algorytmów do wyodrębnienia punktów terenowych wykorzystane zostały dwa oprogramowania tj. SCOP++ oraz Terrasolid. Metoda segmentacji oparta na predykcji liniowej zaimplementowana jest w pierwszym z nich, natomiast algorytm aktywnego modelu TIN wykorzystuje aplikacja TerraScan, która jest jednym z modułów pakietu Terrasolid.

Aplikacja TerraScan umożliwia przeprowadzenie segmentacji punktów terenowych przy pomocy narzędzia *Classify ground*. Klasyfikacja punktów terenowych odbywa się poprzez iteracyjne budowanie modelu TIN. Pierwszym etapem jest wybranie kilku niskich punktów, które są z pewnością odbiciami od terenu. Na podstawie tych wybranych punktów budowany jest początkowy model TIN. Większość wygenerowanych w ten sposób trójkątów znajduje się poniżej terenu, a jedynie ich wierzchołki go dotykają. Płaszczyzna terenu jest modelowana poprzez kolejne iteracje, w których dodawane są kolejne punkty. Każdy kolejny dodany punkt powoduje uzyskanie coraz lepszego odwzorowania rzeźby terenu. Aby filtracja została prawidłowo wykonana wymagane jest zdefiniowanie kilku parametrów, zależnych od charakteru obszaru badań. Należą do nich: maksymalna długość budynku, największy dopuszczalny kąt pochylenia terenu oraz parametry iteracji tj. kąt i odległość.

W oprogramowaniu SCOP++ wykorzystano technikę filtracji hierarchicznej, która wykorzystuje cztery podstawowe kroki przetwarzania tj. *thin out*, *interpolate*, *filter* oraz *sort out*. Czynności te można stosować po kolei tworząc własne strategie, przy czym istnieje kilka zasad, którymi należy się kierować podczas wyboru kolejności poszczególnych etapów. W celu osiągnięcia poprawnych rezultatów wymagane jest

dostosowanie strategii do charakteru danych poddanych segmentacji. Elastyczność w projektowaniu strategii w połączeniu z możliwością wyboru szeregu parametrów na każdym etapie przetwarzania daje możliwość osiągnięcia zadawalających efektów filtracji. Niestety trudno jednak przewidzieć, w jaki sposób zmiany w oferowanych przez oprogramowanie domyślnych strategiach wpływają na wynik końcowy procesu. W przypadku braku możliwości osiągnięcia satysfakcjonujących rezultatów przy wykorzystaniu domyślnych ustawień, ich poprawa wiąże się z czasochłonnym eksperymentowaniem z różnymi strategiami filtrującymi.

Do oceny poprawności przeprowadzonych segmentacji z badanych obszarów wybrano 24 pola testowe (rys. 2). Zestaw tych zbiorów został wyselekcjonowany w taki sposób, aby sprawdzić jak badane algorytmy wykonują filtrację chmury punktów pozyskanych dla terenów o różnym ukształtowaniu (tereny płaskie, pagórkowate, góry) oraz zawierających różne obiekty (budynki, samochody, zakrzaczenia, pojedyncze drzewa, gęsta roślinność, rampy, wjazdy do garaży podziemnych).



Rys. 2. Przykłady pól testowych

Weryfikacja uzyskanych rezultatów polegała na porównaniu ich z danymi referencyjnymi i określeniu parametrów tego porównania. Dane referencyjne tj.:

- prawidłowo sklasyfikowane punkty terenowe (zbiór  $T_{REF}$ ),
- oraz prawidłowo sklasyfikowane punkty obiektów (zbiór  $O_{REF}$ ),

dla każdej z próbek powstały w wyniku manualnej klasyfikacji, która poprzedzona była analizą wizualną i interpretacją chmury punktów opartą na ortoobrazach oraz przekrojach. Wydzielone w ten sposób podzbiory umożliwiły dokonanie oceny poprawności i dokładności wykonanych filtracji.

W wyniku segmentacji punktów terenowych przeprowadzonej metodą aktywnego modelu TIN dla każdego pola testowego otrzymano dwa zbiory punktów tj.:

- punkty sklasyfikowane jako punkty terenu – zbiór  $T_T$ ,
- punkty sklasyfikowane jako punkty obiektu – zbiór  $O_T$ .

Również w rezultacie segmentacji przeprowadzonej z wykorzystaniem algorytmu bazującego na predykcji liniowej otrzymano dwa analogiczne podzbiory:

- punkty sklasyfikowane jako punkty terenu – zbiór  $T_p$ ,
- punkty sklasyfikowane jako punkty obiektu – zbiór  $O_p$ .

W celu określenia poprawności przeprowadzonych segmentacji na powyżej wymienionych zbiorach wykonano szereg działań (wyznaczono ich części wspólne oraz różnice), w wyniku których, każdy z punktów został przyporządkowany do następujących zbiorów:

- zbiór  $A_T$  – część wspólna zbiorów  $T_{REF}$  i  $T_T$  ( $T_{REF} \cap T_T$ ), są to poprawnie sklasyfikowane przez algorytm aktywnego modelu TIN punkty terenu,

- zbiór  $A_P$  – część wspólna zbiorów  $T_{REF}$  i  $T_P$  ( $T_{REF} \cap T_P$ ), są to poprawnie sklasyfikowane przez algorytm oparty na predykcji liniowej punkty terenu,
- zbiór  $B_T$  – różnica zbiorów  $T_{REF}$  i  $T_T$  ( $T_{REF} \setminus T_T$ ), są to punkty terenu sklasyfikowane przez algorytm aktywnego modelu TIN jako punkty obiektów (błąd filtracji pierwszego typu),
- zbiór  $B_P$  – różnica zbiorów  $T_{REF}$  i  $T_P$  ( $T_{REF} \setminus T_P$ ), są to punkty terenu sklasyfikowane przez algorytm oparty na predykcji liniowej jako punkty obiektów (błąd filtracji pierwszego typu),
- zbiór  $C_T$  – część wspólna zbiorów  $O_{REF}$  i  $O_T$  ( $O_{REF} \cap O_T$ ), są to poprawnie sklasyfikowane przez algorytm aktywnego modelu TIN punkty obiektów,
- zbiór  $C_P$  – część wspólna zbiorów  $O_{REF}$  i  $O_P$  ( $O_{REF} \cap O_P$ ), są to poprawnie sklasyfikowane przez algorytm oparty na predykcji liniowej punkty obiektów,
- zbiór  $D_T$  – różnica zbiorów  $O_{REF}$  i  $O_T$  ( $O_{REF} \setminus O_T$ ), są to punkty obiektów sklasyfikowane przez algorytm oparty na predykcji liniowej jako punkty terenu (błąd filtracji drugiego typu),
- zbiór  $D_P$  – różnica zbiorów  $O_{REF}$  i  $O_P$  ( $O_{REF} \setminus O_P$ ), są to punkty obiektów sklasyfikowane przez algorytm oparty na predykcji liniowej jako punkty terenu (błąd filtracji drugiego typu).

Jakość wykonanych segmentacji wyrażona jest poprzez procentowy udział błędnie zidentyfikowanych przez dany algorytm punktów w stosunku do ich całkowitej liczby. Dla obu metod wyodrębniania punktów terenowych wyznaczone zostały trzy rodzaje błędów tj.:

- błąd pierwszego typu  $\sigma_I$  (procentowy udział liczby punktów będących błędami typu pierwszego w liczbie poprawnych punktów terenu):

$$\sigma_{IT} = \frac{b_T}{a_T + b_T} \quad (1) \quad \sigma_{IP} = \frac{b_P}{a_P + b_P} \quad (2)$$

- błąd drugiego typu  $\sigma_{II}$  (procentowy udział liczby punktów będących błędami typu drugiego w liczbie poprawnych punktów obiektów):

$$\sigma_{IIT} = \frac{c_T}{c_T + d_T} \quad (3) \quad \sigma_{IIP} = \frac{c_P}{c_P + d_P} \quad (4)$$

- błąd całkowity  $\sigma$  (procentowy udział wszystkich błędnie zidentyfikowanych punktów w zbiorze danych pomiarowych):

$$\sigma_T = \frac{b_T + c_T}{a_T + b_T + c_T + d_T} \quad (5) \quad \sigma_P = \frac{b_P + c_P}{a_P + b_P + c_P + d_P} \quad (6)$$

gdzie:

$a_T, a_P, b_T, b_P, c_T, c_P, d_T, d_P$  - liczebność podzbiorów  $A_T, A_P, B_T, B_P, C_T, C_P, D_T, D_P$ .

#### 4. ANALIZA WYNIKÓW

Przeprowadzone badania potwierdziły wysoką skuteczność badanych metod segmentacji punktów terenowych dla większości typów ukształtowania i pokrycia terenu.

Poza jednym przypadkiem dla obydwu algorytmów uzyskano ponad 80% skuteczność segmentacji punktów terenowych. Uzyskane wyniki dla wyselekcjonowanych próbek zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki oceny poprawności przeprowadzonych segmentacji punktów terenowych

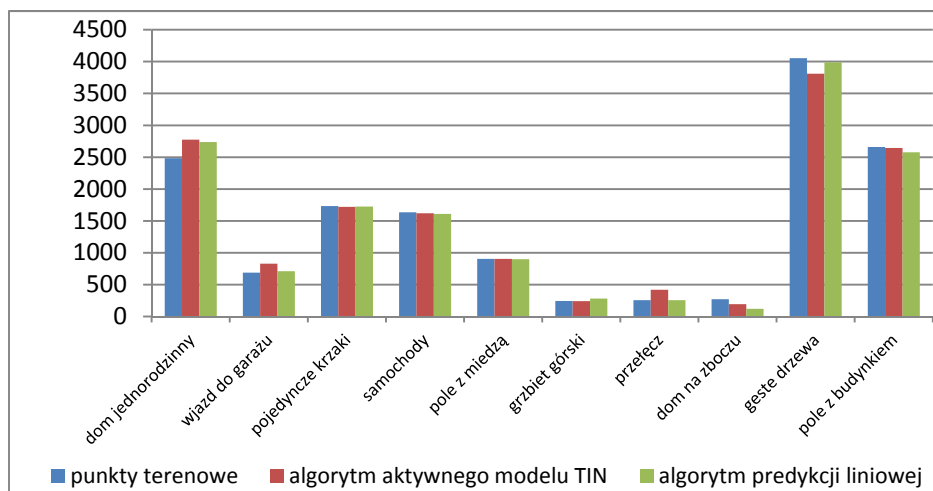
Nr obszaru (średnia gęstość)	NUMER PRÓBK	OPIS PRÓBK	LICZBA PKT W PRÓBCE	Algorytm aktywnego modelu TIN			Algorytm predykcji liniowej		
				błąd I typu $\sigma_{IT}$ [%]	błąd II typu $\sigma_{IIT}$ [%]	błąd całkowity $\sigma_T$ [%]	błąd I typu $\sigma_{IP}$ [%]	błąd II typu $\sigma_{IIP}$ [%]	błąd całkowity $\sigma_P$ [%]
OBSZAR 1 (6.5 pkt/m <sup>2</sup> )	1	dom jednorodzinny z otoczeniem	6093	13.18	2.26	<b>7.24</b>	16.36	5.81	<b>10.55</b>
	2	wjazd do garażu	2644	20.99	1.93	<b>7.90</b>	25.60	8.33	<b>12.97</b>
	3	schody przy budynku	53120	7.60	1.06	<b>4.15</b>	6.59	2.31	<b>4.28</b>
	4	pojedyncze krzaki	2008	0.00	4.20	<b>0.60</b>	0.00	2.83	<b>0.40</b>
	5	budynki na skarpie	8753	0.69	7.34	<b>5.02</b>	2.92	11.79	<b>8.91</b>
	6	rampa	51917	4.11	1.89	<b>3.17</b>	0.59	3.43	<b>1.87</b>
	7	samochody	1892	0.00	5.54	<b>0.79</b>	0.00	9.22	<b>1.37</b>
	8	budynek wysoki na skarpie	25249	0.16	2.95	<b>1.52</b>	0.83	6.84	<b>3.87</b>
	9	gęste drzewa	9010	0.00	4.71	<b>2.72</b>	0.00	1.35	<b>0.75</b>
OBSZAR 2 (0.9 pkt/m <sup>2</sup> )	10	blok z otoczeniem	1131	4.78	0.42	<b>2.03</b>	2.96	1.10	<b>1.77</b>
	11	dom na wzniesieniu	840	0.75	12.50	<b>6.90</b>	0.89	1.79	<b>1.31</b>
	12	dom na zboczu	503	0.00	25.32	<b>15.51</b>	0.00	39.79	<b>30.22</b>
OBSZAR 3 (0.2 pkt/m <sup>2</sup> )	13	pole z lasem i krzakami	39872	3.03	0.00	<b>0.62</b>	7.99	0.96	<b>2.41</b>
	14	pole z miedzą	7359	0.28	0.00	<b>0.27</b>	0.03	18.21	<b>0.72</b>
	15	gospodarstwo rolne	26673	1.42	0.02	<b>0.76</b>	9.43	15.61	<b>12.64</b>
OBSZAR 4 (0.2 pkt/m <sup>2</sup> )	16	pole z budynkiem	2789	0.00	10.42	<b>0.54</b>	0.00	38.86	<b>2.94</b>
	17	pole z miedzą	921	0.00	11.76	<b>0.22</b>	0.00	31.82	<b>0.76</b>
	18	pole	470	0.00	25.93	<b>1.49</b>	0.00	22.22	<b>1.28</b>
OBSZAR 5 (3.6 pkt/m <sup>2</sup> )	19	rów	1408	2.63	0.00	<b>2.56</b>	2.65	17.02	<b>3.13</b>
	20	część skoczni narciarskiej	2296	6.06	35.41	<b>12.63</b>	10.40	50.80	<b>19.16</b>
	21	grzbiet górski	5819	11.98	0.56	<b>1.03</b>	41.99	1.46	<b>3.42</b>
	22	zbocze	3455	20.33	0.16	<b>2.32</b>	19.81	4.09	<b>5.04</b>
	23	grzbiet górski	2557	11.71	2.25	<b>3.01</b>	27.03	3.08	<b>5.16</b>
	24	przełęcz	2880	38.95	0.00	<b>5.69</b>	42.41	4.16	<b>7.57</b>

Analizując wyniki oceny poprawności przeprowadzonych segmentacji, stwierdzono niewielkie różnice pomiędzy obiema metodami. Dla większości poddanych kontroli próbek wyznaczone błędy całkowite segmentacji metodą aktywnego modelu TIN są nieznacznie mniejsze od błędów uzyskanych dla metody opartej na predykcji liniowej. Oba algorytmy poprawnie klasyfikują punkty terenowe w przypadku pojedynczych budynków, pól uprawnych, rowów, pojedynczych krzewów i drzew oraz parkingów z samochodami.

W przypadku obszaru testowego obejmującego swym zasięgiem tereny górskie metoda aktywnego modelu TIN lepiej sklasyfikowała punkty terenowe dla każdej z sześciu badanych próbek. Jednakże, należy zauważyć, że dokładny wybór punktów referencyjnych w tym przypadku nie jest do końca wiarygodny, ponieważ trudno dokładnie wskazać punkty należące do terenu dla obszarów górskich porośniętych drzewami.

Algorytm zaimplementowany w programie SCOP++ dał lepsze rezultaty podczas wyodrębniania punktów terenowych zlokalizowanych w otoczeniu rampy. Algorytm aktywnego modelu TIN w tym przypadku niezależnie od wybranych parametrów błędnie sklasyfikował punkty zarejestrowane w wyniku odbicia od podjazdu do budynku jako punkty terenowe. Zatem zasadnym jest wykorzystywanie metody opartej na predykcji liniowej w przypadku segmentacji przeprowadzanej dla obszarów zawierających podjazdy, wiadukty czy mosty.

Zarówno algorytm aktywnego modelu TIN, jak i algorytm predykcji liniowej niepoprawnie wyróżnił punkty terenowe dla budynku zlokalizowanego na stromym zboczu. Spowodowane to było dużym kątem nachylenia zbocza oraz małą gęstością chmury punktów dla tej próbki.



Wykres 1. Porównanie metod segmentacji punktów terenowych z danymi referencyjnymi dla kilku wybranych próbek

Na wykresie 1, na osi rzędnych, umieszczono liczbę punktów terenowych prawidłowo sklasyfikowanych po zastosowaniu obydwu algorytmów oraz referencyjną liczbę punktów terenowych wyznaczoną podczas manualnej klasyfikacji dla kilku wybranych próbek. Natomiast na osi odciętych zamieszczono krótki opis poszczególnych próbek.

## 5. PODSUMOWANIE

W pracy porównano działanie dwóch algorytmów umożliwiających wydzielenie z danych pochodzących z lotniczego skaningu laserowego punktów zarejestrowanych jako odbicia od powierzchni terenu. W celu porównania ich działania do wyodrębnienia punktów terenowych wykorzystane zostały dwa komercyjne oprogramowania tj. SCOP++ oraz Terrsolid.

Obie testowane metody działają iteracyjnie i dają możliwość ich przeprowadzenia na oryginalnych danych bez konieczności interpolacji danych pomiarowych. Jakość segmentacji uzyskanej na podstawie tylko i wyłącznie danych pochodzących z lotniczego skaningu laserowego zależy przede wszystkim od charakteru badanej powierzchni i maleje wraz ze wzrostem jej złożoności, ale również jest zależna od ilości danych w chmurze punktów oraz wykorzystanego algorytmu.

Otrzymane wyniki potwierdziły wysoką skuteczność testowanych algorytmów - poprawność przeprowadzonych segmentacji jest porównywalna z rezultatami uzyskiwanymi dla tych metod w pracy (Sithole, Vosselman, 2004).

Na podstawie przedstawionych powyżej wyników nie można jednoznacznie stwierdzić, że któryś z badanych algorytmów jest optymalny. Przeprowadzone eksperymenty potwierdziły wysoką skuteczność obydwu algorytmów, ale jednocześnie pokazały ich pewne ograniczenia w przypadku segmentacji przeprowadzanej dla terenów o skomplikowanym ukształtowaniu lub pokryciu.

## 6. LITERATURA

Axelsson P., 1999, *Processing of laser scanner data – algorithms and applications*, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 54, 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/4B, s. 110-117.

Borkowski A., Józków G., 2007, *Ocena poprawności filtracji danych lotniczego skaningu laserowego metodą aktywnych powierzchni*. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 17a, s. 83-92.

Briese C., Pfeifer N., Dorninger P., 2002. *Applications of 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.

Gajski D., Fiedler T., Krtalić A., 2003, *Classification and filtering of airborne topographic lidar data*. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Vol. XXXIV, Part 6/W11, s. 100-104.

Kraus K., Pfeifer N., 2001, *Advanced DTM generation from LIDAR data*, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIV-3/W4, s. 23-30.

Marmol U., 2003, *Pozyskiwanie Numerycznego Modelu Powierzchni Topograficznej (NMPT) w oparciu o dane wysokościowe pochodzące z lotniczego skanera laserowego*, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków.

Pfeifer N., Reiter T., Briese C., Rieger W., 1999, *Interpolation of high quality ground models from laser scanner data in forest areas*.



Pfeifer N., Stadler P., Briese Ch., 2001, *Derivation of Digital Terrain Models in the SCOP++ environment*, Stockholm.

Piechocka (Borowiec) N., Marmol U., Jachimski J., 2004, *Stereometryczna weryfikacja DTM uzyskanego ze skaningu laserowego*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 14, Białobrzegi - Warszawa.

Sithole G., Vosselman G., 2004, *Experimental comparison of filter algorithms for bare-Earth extraction from air borne laser scanning point cloud*, ISPRD Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 59, s. 85-101.

Soininen A., 2011, *TerraScan User's Guide*.

### **COMPARISON OF TIN ACTIVE MODEL AND PREDICTION OF LINEAR ALGORITHMS FOR TERRAIN POINTS SEGMENTATION**

KEY WORDS: LIDAR, ALS, point cloud, active TIN model algorithm, linear prediction, filtration, segmentation

#### **Summary**

A significant part of the data points obtained by using airborne laser scanning technology come from points reflected from objects situated above the ground such as trees, shrubs or buildings. Clear-cut and accurate segmentation is a crucial stage in data processing which allows to identify the homologous regions in terms of specific properties within a dataset of points, which further allows to generate DTM's or model building shapes. This paper shows an analysis of the two most commonly used algorithms for ALS point cloud filtering: active TIN model and linear prediction. The study was performed on 24 specifically extracted testing samples characterized by different topography and land use. The verification of the results of the automatic filtration process of both algorithms was based on comparison to reference datasets. As a result of this comparisons the relative percentage errors of automatic segmentation were determined. The level of the estimated errors varies from 0% to around 20% and depends on the characteristics of the land and the objects which are on the surface. The conducted study confirmed the high efficiency of both evaluated algorithms, at the same time revealing their limitations and differences in the filtration process for areas of a complex topography or terrain coverage. Both algorithms provide similar classification of point clouds describing land use for agriculture, areas on which a single building, shrub or tree is located, and for used car parks. Method based on linear prediction works better than active algorithm TIN model in terms of points recorded by the laser beam being reflected from vehicles/flyovers/bridges.

Dane autora:

Mgr inż. Paulina Brodowska  
e-mail: paulina.brodowska@igik.edu.pl  
telefon: 22 329 19 86