INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH
INFRASTRUCTURE AND ECOLOGY OF RURAL AREAS

Nr 1/III/2012, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 219–230
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

Ireneusz Borowiecki, Aleksandra Michalik

KLASYFIKACJA CHMURY PUNKTÓW LOTNICZEGO SKANINGU LASEROWEGO Z ZASTOSOWANIEM PROGRAMÓW TILTAN TLID, TERRASCAN VRMESH

CLASSIFICATION OF POINTS CLOUD FROM AERIAL LASER SCANNING WITH THE USE OF PROGRAMS TILTAN TLID, TERRASCAN VRMESH

Streszczenie

W artykule przedstawiono analizę wyników procesu automatycznej klasyfikacji chmury punktów lotniczego skaningu laserowego. Badania przeprowadzono na wydzielonym fragmencie miejscowości Brzeg o powierzchni 21.37 ha (obiekt testowy składał się z 3048246 punktów lidarowych).

Automatyczną klasyfikację wykonano przy zastosowaniu następujących programów: Tiltan Tlid (v. 3.21), TerraSolid (v. 011.007) oraz VRMesh Survey (v. 6.1), natomiast do edycji chmury punktów - aplikację Furgo Viewer.

Na podstawie przeprowadzonej analizy ilościowej, jakościowej oraz wizualnej sklasyfikowanej chmury punków sformułowano wnioski dotyczące użytkowania wykorzystanych aplikacji.

Słowa kluczowe: lotniczy skaning laserowy, filtracja, chmura punktów, klasyfikacja

Summary

An analysis of results of the process of automatic classification of the points cloud gained from the aerial laser scanning was presented. Research was conducted on the separated part of the area of 21.37 ha from the city Brzeg. The tested object comprised 3048246 lidar points. The automatic classification was performed with the use of the following programs: Tiltan Tlid (v. 3.21), TerraSolid (v. 011.007) and VRMesh Survey (v. 6.1).To the edition of the cloud of points an application Furgo Viewer was used.

On the basis of qualitative, quantitative and visual analysis conducted on the classified cloud of points, conclusions regarding the use of exploited applications were drawn.

Key words: *airborne laser scanning, filtration, cloud of points, classification.*

WPROWADZENIE

Lotniczy skaning laserowy należy obecnie do wiodących technologii, które zrewolucjonizowały metody pozyskiwania informacji o fizycznej powierzchni ziemi i obiektach na niej występujących. Altimertia laserowa podlega dynamicznemu rozwojowi, rozdzielczość skanowania współczesnego skanera laserowego dalekiego zasięgu umożliwia skanowanie nawet do 50 punktów na metr kwadratowy. Udoskonaleniom podlega również proces pomiarowy i algorytmy kalibracji, co wpływa na podnoszenie poziomu osiąganych dokładności.

Należy zauważyć liczne zalety lotniczego skaningu laserowego, wyróżniające go wśród technologii pozyskiwania informacji o powierzchni ziemi.

Do istotniejszych zalet technologii altimerii laserowej zaliczamy:

− niezależność od warunków pogodowych (podstawa chmur wyższa od wysokości lotu, przy czym negatywny wpływ wywierają jedynie ulewne deszcze i mgła),

− niezależność od warunków oświetleniowych (skanowanie w nocy),

− przenikanie przez warstwę roślinności,

− duża gęstość punktów przestrzennych,

− wysoka dokładność wyznaczenia współrzędnej Z,

− krótki czas otrzymania produktu końcowego i relatywnie niskie koszty stosowania technologii ALS dla dużych obszarów.

Do zastosowań technologii lotniczego skaningu laserowego należy [Kurczyński , Preuss 2003]:

− realizowanie zadań planistycznych i urbanistycznych,

− budowa przestrzennego modelu DSM aglomeracji miejskich 3D i DTM,

− badanie zasięgu źródeł zanieczyszczeń,

− inwentaryzacja i konserwacja, projektowanie przebiegu linii energetycznych, dróg, torów, rurociągów, wałów przeciwpowodziowych i innych wydłużonych obiektów infrastruktury,

− obrazowanie obszarów kopalń odkrywkowych, wyznaczanie pojemności zbiorników,

− pomiar mas ziemnych (hałdy, wysypiska, itp.),

− pomiar terenów podmokłych,

− ocena zniszczeń po kataklizmach (huragany, trzęsienia ziemi, powodzie),

− generowanie modeli terenu dla terenów leśnych (np. zarządzanie drzewostanem: wysokość drzew, średnica korony, gęstość zalesienia, oszacowanie biomasy, określanie granic lasu, itp.),

− monitoring przemieszczeń lodowców (pomiar powierzchni zaśnieżonych i pokrytych lodem).

Oprócz zalet , lotniczy skaning laserowy ma także wady np.: brak odbić impulsu lasera od powierzchni wody, trudności w wyznaczaniu linii szkieletowych, linii nieciągłości terenu, krawędzi elewacji budynków i dachów.

Dlatego altimetria laserowa wymaga nie tylko unowocześniania technologii pomiaru, ale przede wszystkim doskonalenia procesu przetwarzania surowych danych.

Prawidłowość działania algorytmów automatycznej klasyfikacji, filtracji i ekstrakcji są przedmiotem licznie prowadzonych badań naukowych. Poprawienie skuteczności algorytmów nawet o 1% powoduje znaczne oszczędności czasu w procesie usuwania błędów, zwłaszcza gdy ręczną, manualną korektę wykonujemy dla dużych zbiorów danych (teren o dużej powierzchni).

Również wybór właściwego oprogramowania przeznaczonego do automatycznego grupowania danych stanowi ważną decyzję, przede wszystkim ze względu na zróżnicowane możliwości wykorzystania programów oraz dość wysoką cenę specjalistycznych, profesjonalnych narzędzi.

W artykule podjęto próbę porównania trzech dostępnych aplikacji służących do automatycznej klasyfikacji chmury punktów: Tiltan Tlid, TerraScan oraz VRMesh.

TECHNOLOGIA LOTNICZEGO SKANINGU LASEROWEGO

Lotniczy skaning laserowy LIDAR (*Light Detection and Ranging*), nazywany także ALS (*Airborne Laser Scanning*) sprowadza się do pomiaru odległości z lecącego statku powietrznego (helikoptera lub samolotu) do punktów powierzchni ziemi. Skaner laserowy z bardzo dużą częstotliwością skanuje teren ruchem wahadłowym w kierunku prostopadłym do kierunku lotu, oraz we wzajemnie zachodzących na siebie, równoległych pasach o pokryciu około 30%.

System LIDAR składa się z segmentu lotniczego (pokładowego) do którego należy dalmierz laserowy, odbiornik do rejestracji danych, inercjalny system nawigacyjny (INS), system pozycjonowania trajektorii lotu (GPS), kamera video, system planowania i zarządzania lotem oraz segmentu naziemnego w skład którego wchodzi naziemna stacja referencyjna GPS i stacja robocza przeznaczona do obróbki danych. Przetworzenie danych z systemu pomiaru odległości, GPS i INS pozwala na obliczenie współrzędnych X, Y, Z punktów tworzących chmurę, przy czym stopień gęstości punktów jest wystarczający dla uzyskania trójwymiarowego modelu reprezentującego powierzchnię terenu i jego pokrycie.

W procesie przetwarzania źródłowych danych lotniczego skaningu laserowego istotne zadanie stanowi określenie punktów należących do właściwych powierzchni. Powyższy proces odbywa się na drodze klasyfikacji oraz filtracji chmury punktów.

Klasyfikacją nazywamy „poukładanie" punktów do odpowiednich zbiorów (warstw), natomiast filtrację stanowi proces eliminowania punktów nie należących do właściwej powierzchni np.: wyodrębnienie punktów znajdujących się na powierzchni terenu.

Atrybuty danych oraz ich numeracja określone są przez ASPRS (*American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*). Klasyfikację powinno przeprowadzać się według standardu przedstawionego w tabeli 1.

Tabela 1. Klasyfikacja punktów wg. ASPRS
Table 1. Classification of points according to ASPRS

ASPRS Standard Point Classes Classification Value	Meaning	Znaczenie
0	Created, never classified	Utworzona, niesklasyfikowana
1	Unclassified	Niesklasyfikowana
2	Ground	Powierzchnia terenu
3	Low Vegetation	Niska roślinność
4	Medium Vegetation	Średnia roślinność
5	High Vegetation	Wysoka roślinność
6	Building	Zabudowa
7	Low Point (noise)	Punkty poniżej pow. (szumy)
8	Model Key-point (mass point)	Punkty kluczowe NMT
9	Water	Woda
10	Reserved for ASPRS Definition	Zarezerwowane dla ASPRS
11	Reserved for ASPRS Definition	Zarezerwowane dla ASPRS
12	Overlap Points	Punkty pokrywające się
13-31	Reserved for ASPRS Definition	Zarezerwowane dla ASPRS

Źródło: http://www.asprs.org/a/society/committees/standards/asprs_las_format_v11.pdf [dostęp: 1 luty 2012].

Klasyfikację i filtrację przeprowadza się automatycznie przy zastosowaniu specjalistycznego oprogramowania. Na proces automatycznej filtracji w zasadniczym stopniu wpływa np.: ukształtowanie terenu, wraz ze wzrostem stopnia urozmaicenia i skomplikowania terenu ostateczny efekt filtracji zawiera więcej błędów. Natomiast na terenach zurbanizowanych ważnym zagadnieniem jest odfiltrowanie obiektów np.: budynków, przy czym podobnie jak w przypadku powierzchni terenu, także stopień skomplikowania zabudowy wpływa na ilość błędów w procesie automatycznej klasyfikacji.

Algorytmy filtracyjne stosowane w specjalistycznych programach są niedoskonałe, dlatego stanowią pole do nieustannych badań naukowych. Zwiększenie efektywności poprawnej filtracji powoduje znaczne oszczędności czasu w procesie manualnej korekty błędnie zaklasyfikowanych punktów.

Wyróżniamy grupy metod stosujące [Borkowski 2005, Borkowski , Jóźków 2007]:

− odporną predykcję liniową [Kraus 2000, Kraus , Pfeifer 2001, Briese et al. 2002],

− iteracyjne przybliżenie odpowiednio wybranej powierzchni startowej (TIN) do danych pomiarowych [Axelsson 1999, 2000],

− analizę skupień [Roggero 2001, Filin , Pfeifer 2006],

− operatory matematycznej morfologii (kryterium spadków terenu) [Vosselman , Maas 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 , Jachimski 2004] lub falek (wavelets) [Borkowski , Keller 2006].

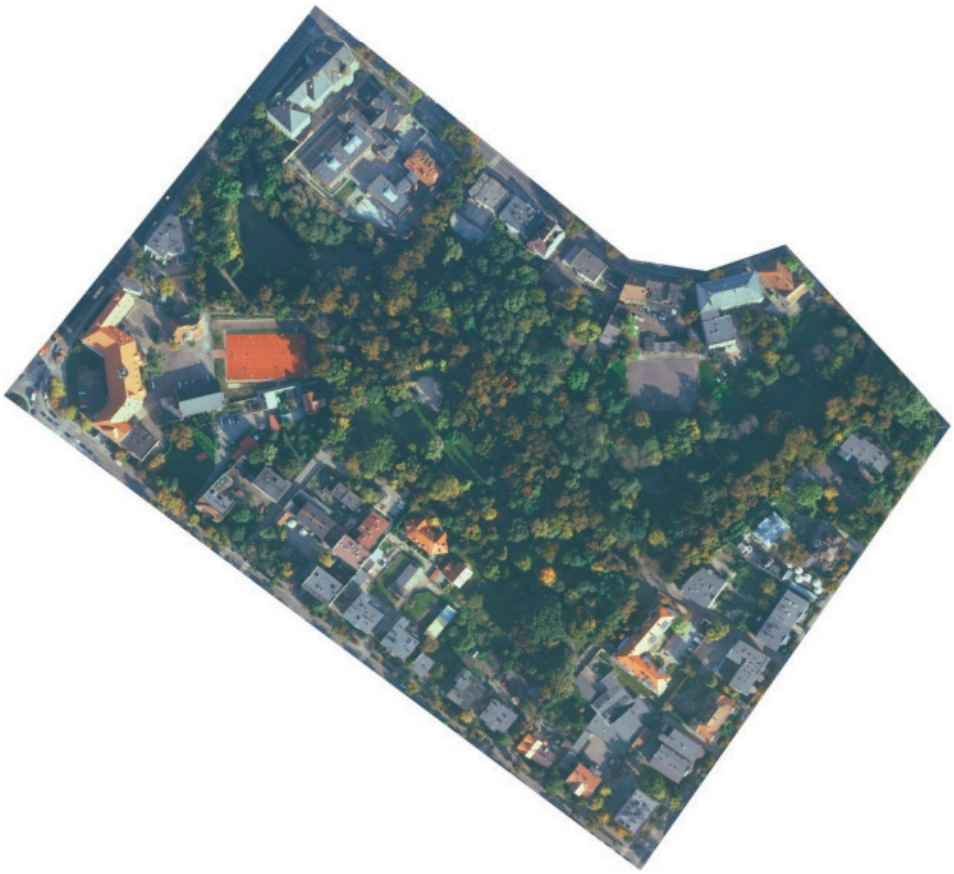
AUTOMATYCZNA KLASYFIKACJA CHMURY PUNKTÓW MIEJSCOWOŚCI BRZEG

Testowa surowa chmura punktów pochodzi z nalotu wykonanego na obszarze miasta Brzeg.

Dane wykorzystane w artykule udostępnione zostały przez Urząd Marszałkowski Województwa Opolskiego, który realizuje projekt „Opolskie w Internecie – system informacji przestrzennej i portal informacyjno – promocyjny Województwa Opolskiego". Należy tutaj także skierować słowa podziękowania do tarnowskiej firmy MGGP Aero, która przekazała dane oraz udostępniła jeden z programów wykorzystanych w badaniach (Tiltan Tlid).

Lotniczy skaning laserowy dla miasta Brzeg wykonano 23 października 2010 roku. Średnia gęstość chmury punktów podczas nalotu wyniosła 6 pkt/m^2, pokrycie pomiędzy poszczególnymi pasami wynosiło około 50%, co daje rzeczywistą gęstość na poziomie 11-12 pkt/m^2. Podczas nalotu zastosowano skaner RIEGL Airborne Laser Scanner LMS-Q680i.

Klasyfikacją objęto obiekt badawczy o powierzchni 21.37 ha, wyodrębniona chmura zawierała 3048246 punktów. Wybrany fragment miejscowości Brzeg (rys. 1) charakteryzuje się zwartą zabudową w zewnętrznym fragmencie obszaru. Warto także zwrócić uwagę na różnorodny kształt budynków, nie zawsze występują kąty proste pomiędzy sąsiednimi ścianami. Dachy budynków posiadają złożoną geometrię o różnym stopniu nachylenia oraz wiele detali architektonicznych np.: okna dachowe dwuspadowe, czy liczne kominy. W centrum obszaru badawczego znajduje się roślinność niska, średnia i wysoka.



Rysunek 1. Granice zewnętrze obszaru badawczego
Figure 1. External borders of the investigated area

Automatyczna klasyfikacja chmury punktów jest procesem umożliwiającym szybkie pogrupowanie danych. Znajomość parametrów otrzymanej chmury punktów, jak również atrybutów niezbędnych do klasyfikacji czyni proces mało skomplikowanym. W artykule dokonano klasyfikacji w trzech różnych programach: Tiltan Tlid, TerraScan oraz VRMesh.

Proces klasyfikacji wybranego fragmentu przeprowadzono według ogólnie przyjętego schematu kolejności przypisywania punktów chmury do poszczególnych klas. Najpierw wychwycono punkty odstające znacznie od powierzchni (należące do klasy *low point***)**. Następnie sklasyfikowano *ground* oraz przypisano odpowiednie parametry klasom *low*, *medium* oraz *high vegetation*. Ostatni etap stanowiła klasyfikacja budynków. Należy zwrócić uwagę, że parametry dostępne w poszczególnych aplikacjach różnią się, zatem niemożliwym było zastosowanie identycznych wartości dla wszystkich programów. Ponieważ każ-

dy program charakteryzuje się innym algorytmem i parametrami, dobierano atrybuty klasyfikacji tak, aby uzyskać jak najbardziej pożądany efekt. W każdym z programów sam proces klasyfikacji przebiega jednoetapowo (Tiltan Tlid, VRMesh) lub wieloetapowo (TerraScan).

Kolejny etap eksperymentu badawczego stanowiło zestawienie i porównanie wyników jakie otrzymano po sklasyfikowaniu identycznej chmury punktów w trzech aplikacjach.

Zestawienie ilości punktów w danej klasie zilustrowało poziom odmienności klasyfikacji w poszczególnych programach (tabela 2). Program Tlid i VRMesh mają zbliżoną liczbę punktów będących reprezentacją powierzchni terenu, natomiast aplikacja TerraScan przyporządkowała do tej klasy mniej punktów. Różnica w liczebności klas roślinności wynika z przyjęcia różnych przedziałów wysokości dotyczących roślinności, np. program Tlid nie posiada punktów w przedziale średniej roślinności, ponieważ w wersji aplikacji zastosowanej do przeprowadzenia doświadczenia nie występuje funkcja klasyfikacji średniej roślinności.

Różnice ilości punktów w klasie *building* wynikają z dokładności algorytmów służących do detekcji obiektów budowlanych. Po analizie otrzymanych chmur punktów można zauważyć, że najdokładniej klasyfikację budynków przeprowadzono z zastosowaniem programu Tlid.

Tabela 2. Zestawienie ilości punktów w poszczególnych klasach dla obszaru testowego
Table. 2. Number of points in particular classes of the test area

Klasa Class	Tiltan – Tlid	TerraScan	VRMesh Survey
Utworzona, niesklasyfikowana *Created, never classified* (0)	657	2 732	–
Niesklasyfikowana *Unclassified* (1)	44 878	–	–
Powierzchnia terenu *Ground* (2)	1 294 757	1 161 729	1 274 665
Niska roślinność *Low Vegetation* (3)	63 152	349 252	330 735
Średnia roślinność *Medium vegetation* (4)	–	95 351	285 245
Wysoka roślinność *High vegetation* (5)	1110215	1 031 099	759 449
Zabudowa *Building* (6)	534 587	407 897	393 487
Punkty poniżej powierzchni (szumy) *Low Point (noise)* (7)	–	186	19
Zarezerwowane dla ASPRS *Reserved for ASPRS* (10)	–	–	4 646

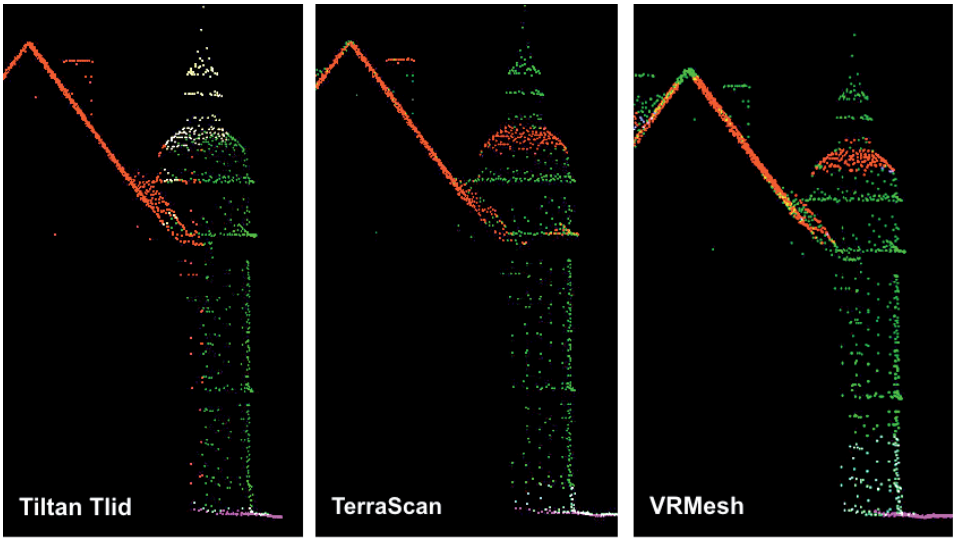
Liczebność klas *unclassified* oraz *low point* jest inna w każdym programie, co świadczy o różnorodności przyporządkowania punktów, które nie odpowiadają zadanym kryteriom.

Należy zwrócić uwagę, że zestawienie ilościowe nie stanowi obrazu jakości oraz dokładności uzyskanych chmur punktów. Pokazuje jednak na jakiej zasadzie działają poszczególne programy oraz do jakich klas mogą przyporządkować punkty wybrane aplikacje.

ANALIZA WYBRANYCH FRAGMENTÓW OBSZARU BADAWCZEGO

Różnice wynikające z pracy aplikacji widoczne są najbardziej na małych obszarach. Wówczas można zauważyć błędy w działaniach algorytmów przyporządkowujących punkty do danej klasy. Wykonano analizę poprawności automatycznej klasyfikacji dla kilku obiektów, z których dwa opisano poniżej.

Pierwszy obszar poddany szczegółowej analizie stanowił nieregularny budynek z wieżą oraz licznymi kominami (rys. 2).



Rysunek 2. Efekt automatycznej klasyfikacji (nieregularny budynek z wieżą)
Figure 2. An effect of the automatic classification (an irregular building with a tower)

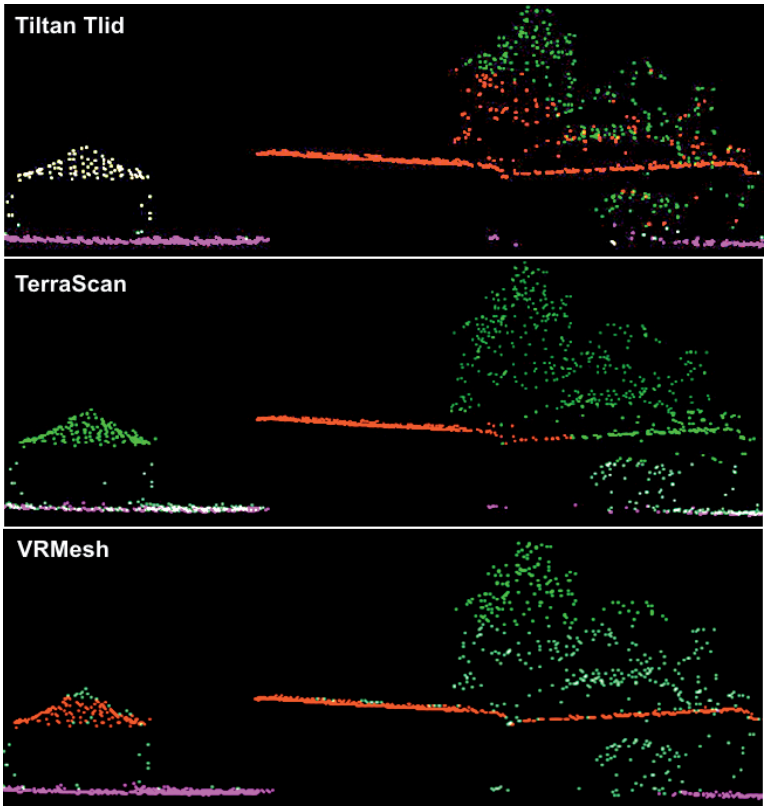
We wszystkich programach można zauważyć, że podstawę wieży przyporządkowano do klasy roślin (kolor zielony) zamiast do budynków. W programie TerraScan i VRMesh dach wieżyczki sklasyfikowano prawidłowo do grupy zabudowań (kolor czerwony). Natomiast w aplikacji Tlid część punktów z bu-

dowli została przyporządkowana do klasy 1 (niesklasyfikowane). Na rysunku widać także punkty reprezentujące kalenicę. Błędne przyporządkowanie powyższych danych jest najbardziej zauważalne w programie VRMesh.

Klasyfikowany obiekt pokazuje różnice w pracy algorytmów poszczególnych aplikacji, co tylko potwierdza trudności związane z wykonywaniem poprawnej (bezbłędnej) klasyfikacji dla bardziej skomplikowanych budynków.

Różnorodność algorytmów wykorzystanych w pracy programów służących automatycznej klasyfikacji chmury punktów widoczne są przede wszystkim na obiektach odbiegających od przyjętych przez aplikację standardów.

Klasyfikacja garażu i altanki (niska zabudowa) przebiegała odmiennie w poszczególnych aplikacjach (rys. 3). Do błędów można zaliczyć przyporządkowywanie punktów znajdujących się nad budynkami (a będących obrazem drzew) do grupy *building*, zamiast do klas roślinności. Również dość częstą pomyłką algorytmów jest klasyfikacja części dachu budynku do klas roślinności.



Rysunek 3. Efekt automatycznej klasyfikacji (garaż i altanka)
Figure 3. An effect of the automatic classification (garage and bower)

Dokładna analiza uzyskanych chmur punktów pozwoliła zauważyć systematyczne błędy w pracy programów. Sam widok całej chmury punktów pokazywał liczne defekty, natomiast analiza wybranych fragmentów obszaru badawczego potwierdziła tylko występowanie błędów systematycznych.

Programy TerraScan, Tiltan Tlid i VRMesh zastosowano dla konkretnych obszarów i chmur punktów, co nie jest jednak wyznacznikiem działania niniejszych programów w innym terenie.

WNIOSKI

1. Zautomatyzowanie postprocessingu danych lidarowych jest obecnie niezbędne do szybkiego otrzymania produktu końcowego, dlatego zdecydowano się na przeprowadzenie prac badawczych związanych z etapem klasyfikacji. Automatyczna klasyfikacja, która zapewnia redukcję czasu pracy z surową chmurą punktów powinna zawierać jak najmniej błędów, aby czas manualnej klasyfikacji niepoprawnych punktów ograniczyć do niezbędnego minimum.

2. Wybrany do analizy fragment miejscowości Brzeg charakteryzuje się różnorodnym zagospodarowaniem terenu, co pozwoliło uwidocznić różnice w procesie klasyfikacji z zastosowaniem programów Tiltan Tlid, TerraScan i VRMesh.

3. Wykonanie analizy ilościowej (tab. 2) i wizualnej (rys. 2 i 3) umożliwiło sformułowanie wniosków dotyczących poprawności przyporządkowania punktów do poszczególnych klas (*low point, unclassified, ground, low vegetation, medium vegetation, high vegetation, building*). Dostrzeżono między innymi trudności programów z klasyfikacją niskich budynków (np. garażów), defekty związane z elementami pokrycia dachu, błędy w filtracji danych (punkty reprezentujące klasę *ground*).

4. Przeprowadzona analiza wyników klasyfikacji pozwoliła również ukazać zalety, jak i wady programów, w których została wykonana automatyczna klasyfikacja chmury punktów.

5. Mocną stronę programu Tiltan Tlid izraelskiej firmy Tiltan Systems Engineering Ltd. stanowi dokładna filtracja punktów reprezentujących powierzchnię terenu. Także ekstrakcja budynków wypadła na tle pozostałych aplikacji najdokładniej. Natomiast do wad tego programu można zaliczyć błędy, które pojawiają się podczas klasyfikacji płaskich, niskich budynków.

6. Aplikacja TerraScan fińskiej firmy TerraSolid działająca w środowisku MicroStation jest programem bardzo złożonym i posiadającym wiele dodatkowych modułów. Automatyczna klasyfikacja chmury punktów w tym programie wykonywana jest w kilku etapach. Jego mocną stronę stanowi mnogość parametrów do wyboru podczas klasyfikacji dla klasy *ground*, dzięki czemu otrzymujemy dokładny model powierzchni terenu. Do słabszych stron aplikacji zali-

czamy algorytm wykonujący detekcję budynków, gdzie wiele ścian oraz małych elementów na dachach zostało przyporządkowanych do klas roślinności.

7. Program VRMesh jest najmłodszą aplikacją autorstwa amerykańskiej firmy Virtual Grid. Pomimo skąpego wyboru parametrów do klasyfikacji, wyniki uzyskane dzięki niemu nie odbiegają w znaczny sposób od wyników działania dwóch pozostałych programów. Do jego zalet zaliczamy dość dokładną filtrację punktów należących do powierzchni terenu, natomiast główną wadę stanowi błędna klasyfikacja elementów dachu (kominy, elementy wykończenia dachów). Praktycznie we wszystkich analizowanych fragmentach obszaru testowego aplikacja niepoprawnie przyporządkowała powyższe punkty do klas roślinności (niemal każda ściana budynku została sklasyfikowana błędnie).

8. Rozwój technik informatycznych oraz progresja lotniczego skaningu laserowego pozwalają zautomatyzować proces klasyfikacji, jednak nieodzowną jest kontrola poprawności przyporządkowania punktów do odpowiednich klas.

BIBLIOGRAFIA

Axelsson P. *Processing of laser scanner data - algorithms and applications*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 54(2), 1999, s. 138–147.

Axelsson P. *DEM generation from laser scanner data using adaptive TIN models*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIII-1/B4, 2000, s. 110-117.

Borkowski A. *Filtracja danych lotniczego skaningu laserowego z wykorzystaniem metody aktywnych powierzchni*. PTIP, Roczniki Geomatyki, Vol. III, Zeszyt 4. PTIP/WIEŚ JUTRA Warszawa 2005, s. 35-42.

Borkowski A., Keller W. 2006. *An Attempt to ALS-data filtering in wavelet dom*ain. 8th Bilateral Geodetic Meeting Poland-Italy. Wrocław, 22-24 June 2006. http://www.geo.ar.wroc.pl/8bgmpi/ [dostęp: 1 lipca 2010].

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

Briese C., Pfeifer N., Dorninger P. *Applications of the robust interpolation for DTM determination*. Symposium ISPRS Commision III, Photogrammetric Computer Vision, Graz, 9 - 13 September 2002. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIV / 3A, 2002, s. 55 – 61.

Elmqvist M., Jungert E., Persson A. und Soderman, U. *Terrain modelling and analysis using laser scanner data*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIV-3/W4, Annopolis Maryland, 22-24 October 2001, s. 219–227.

Elmqvist M. *Ground surface estimation from airborne laser scanner data using active shape models*. ISPRS, Commission III, Symposium Photogrammetric Computer Vision, Graz, September 9-13 2002, s. 114–118.

Filin S., Pfeifer N. *Segmentation of airborne laser scanning data using a slope adaptive neighborhood*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 60, 2006, s. 71–80.

Kraus K. *Photogrammetrie*. Band 3. Topographische Informatonssysteme. Dümmler, Köln, 2000.

Kraus K., Pfeifer N. *Advanced DTM generating from LIDAR data*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIV-3/W4, Annopolis Maryland, 22-24 October 2001, s. 23–30.

Kurczyński Z., Preuss R. *Podstawy fotogrametrii*. OWPW Warszawa, 2003.

Marmol U., Jachimski J. *A FFT based method of filtering airborne laser scanner data*. ISPRS Congress, Commision 3. Istambul, Turkey, 12-23 July 2004. http://www.isprs.org /commission3/wg3 [dostęp: 1 lipiec 2010].

Roggero M. *Airborne laser scanning: Clustering in row data*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIV-3/W4, Annopolis Maryland, 22-24 October 2001, s. 227–232.

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

Dr inż. Ireneusz Borowiecki
Katedra Geodezji
Uniwersytet Rolniczy im.H.Kołłątaja
ul. Balicka 253A
30-149 Kraków
telefon: +48 (12) 6624537
e-mail: iborowiecki@ar.krakow.pl

Mgr inż. Aleksandra Michalik
ProGea Consulting
ul. Pachońskiego 9, 31-223 Kraków
tel. +48 (12) 4150641
e-mail: aleksandra.michalik@progea.pl