

PÓLAUTOMATYCZNE MODELOWANIE BRYŁ BUDYNKÓW NA PODSTAWIE DANYCH Z LOTNICZEGO SKANINGU LASEROWEGO

SEMI-AUTOMATED BUILDING EXTRACTION FROM AIRBORNE LASER SCANNING DATA

Marcin Marjasiewicz¹, Tomasz Malej¹

¹ Wydział Geodezji i Kartografii, Politechnika Warszawska

SŁOWA KLUCZOWE: LiDAR, model 3D, RANSAC, CityGML, budynki, wizualizacja 3D

STRESZCZENIE: Tematem artykułu jest badanie możliwości półautomatycznego generowania brył budynków na podstawie chmury punktów pochodzącej z lotniczego skaningu laserowego. Zaproponowana metodyka oparta została o algorytm RANSAC zaimplementowanym w oprogramowaniu Cloud Compare. Algorytm umożliwia wykrywanie płaszczyzn w danych obarczonych szumem pomiarowym, dlatego dobrze sprawdza się w przypadku skaningu laserowego. W badaniach wykorzystano dane dostępne w państwowym zasobie geodezyjnym i kartograficznym – tj. chmury punktów z lotniczego skaningu laserowego pochodzące z projektu Informatycznego Systemu Osłony Kraju oraz przyziemia brył budynków z Bazy Danych Obiektów Topograficznych. Do przygotowania modeli wykorzystano pakiet oprogramowania ArcGIS oraz program SketchUP. Dokładność metody modelowania oceniono na dwóch polach testowych o różnych gęstościach chmury punktów. Zaproponowana metodyka umożliwiła stworzenie modeli charakteryzujących się dokładnością wyższą niż poziom LoD2 CityGML.

1. WPROWADZENIE

Początek XXI wieku to jeden z najprężniej rozwijających się technologicznie okresów. Choć technologię LIDAR (ang. Light Detection and Ranging) poznano już w XX wieku, to jej coraz nowsze zastosowania odkrywane są po dzień dzisiejszy. Produkty laserowego skaningu lotniczego, jak również naziemnego, stały się obiektem zainteresowań architektów, urbanistów, planistów i specjalistów od marketingu. Jednym z najbardziej pożądaných opracowań stały się trójwymiarowe modele miast. Znajdują one szerokie zastosowania w turystyce, telekomunikacji, energetyce, bezpieczeństwie publicznym czy zarządzaniu kryzysowym. Ich znaczenie wykorzystane może być w tworzeniu trójwymiarowych baz topograficznych (Cisło-Lesicka, 2010). W dobie ogólnodostępnego Internetu takie modele miast przybrały formę również komercyjną, stosowaną na szeroką skalę w ramach reklamy miast, hoteli, centrów handlowych, zabytków, ogrodów zoologicznych i wielu innych. Za pośrednictwem popularnych serwisów internetowych jak np. Google Earth, docierają do szerokiego grona odbiorców i wciąż przyciągają kolejnych.

Pierwsze trójwymiarowe miasta powstały pod koniec XX w. stosowaną również do dzisiaj metodą stereodigitalizacji dachów widocznych na zdjęciach lotniczych (Bujakiewicz i Preuss, 2009). Obecnie jednak, wszelkie działania prowadzą do rozwoju i automatyzacji przetwarzania danych fotogrametrycznych, do tworzenia produktu modeli 3D miast (Bujakiewicz i Preuss, 2010; Jarząbek-Rychard i Borkowski, 2010). Dotyczy to zarówno klasycznej techniki fotogrametrycznej jak i lotniczego skanowania laserowego, których wykorzystanie jest wciąż udoskonalane, dając coraz lepsze efekty. Obok nowych skanerów, powstają również nowe rodzaje oprogramowania służące do jak największej automatyzacji obróbki powstałej w wyniku skanowania chmury punktów. Kluczowe pozostaje zagadnienie przetworzenia wielogigabajtowego zbioru danych do modeli nadających się do opublikowania w Internecie. W tym kontekście, ważne jest zachowanie możliwie najmniejszego rozmiaru plików 3D przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej dokładności geometrycznej. Zastosowanie znajdują tu algorytmy pozwalające wykryć regularne kształty w chmurze punktów reprezentującej duże zbiory danych, w nadliczbowy sposób opisujące płaszczyzny dachów wymagane do tworzenia modelu 3D budynków, obciążonych również szumem pomiarowym. Możliwości wpasowywania płaszczyzn w chmury punktów są podstawą działania oprogramowań związanych z 3D modelowaniem budynków.

W pracy podjęto próbę wykorzystania ogólnodostępnego oprogramowania, wyposażonego w algorytm RANSAC umożliwiający wykrywanie wybranych płaszczyzn w zbiorze danych w postaci chmury punktów. Podejście to umożliwiło zamodelowanie z danych lotniczego skanowania laserowego budynków na poziomie wyższym niż wymagany w standardzie CityGML LoD 2.

2. METODYKA MODELOWANIA

W niniejszym rozdziale przedstawiono dane, które wykorzystano do tworzenia 3D modeli budynków, a także scharakteryzowano wykorzystywany algorytm i poszczególne etapy prowadzące do stworzenia gotowego trójwymiarowego produktu. Opisano tu również aspekt konwersji typów danych niezbędnej przy zmianie programu z oprogramowania do przetwarzania chmury punktów (Cloud Compare) do programu umożliwiającego modelowanie 3D (SketchUP).

2.1. Dane testowe

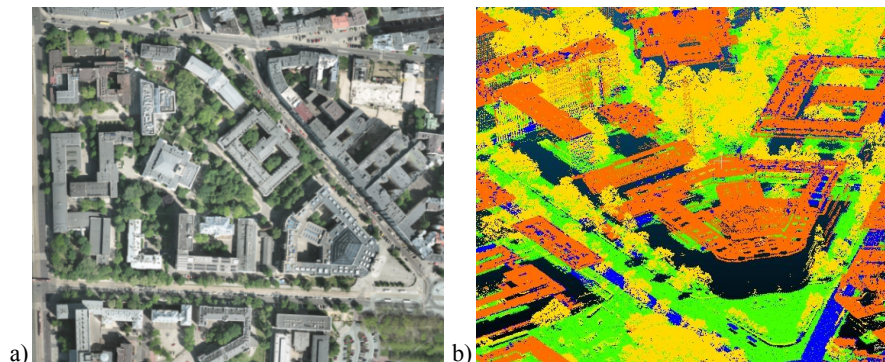
Pierwszym obszarem testowym jest fragment miasta Jasło w województwie podkarpackim. Wybrany fragment posiada bardzo zróżnicowane obiekty architektoniczne, począwszy od domów jednorodzinnych o dwuspadowych dachach, poprzez skomplikowane wielospadowe dachy, skończywszy na zabudowie blokowej (rys. 1). Do testów dysponowano chmurą punktów pozyskaną w ramach projektu ISOK, charakteryzującą się średnią gęstością punktów nie mniejszą niż 4 pkt./m², ortofotomapą o pikselu 0.10 m (Kurczyński i Bakula, 2013) oraz przyziemiami budynków z BDOT, których geometria pochodziła z Ewidencji Gruntów i Budynków i charakteryzowała się dokładnością 0.10 m.

Drugim obszarem testowym był teren Kampusu Centralnego Politechniki Warszawskiej. Dla tego obszaru wykorzystano chmurę punktów o gęstości 12 pkt./m² pozyskaną w ramach

projektu ISOK. Analogicznie jak przy pierwszym polu dysponowano ortofotomapą i BDOT. Na obszarze znajduje się wiele budynków o skomplikowanej architekturze, co było dodatkowym przedmiotem badań (rys. 2).



Rys. 1. Fragment miasta Jasło będący obiektem badań.

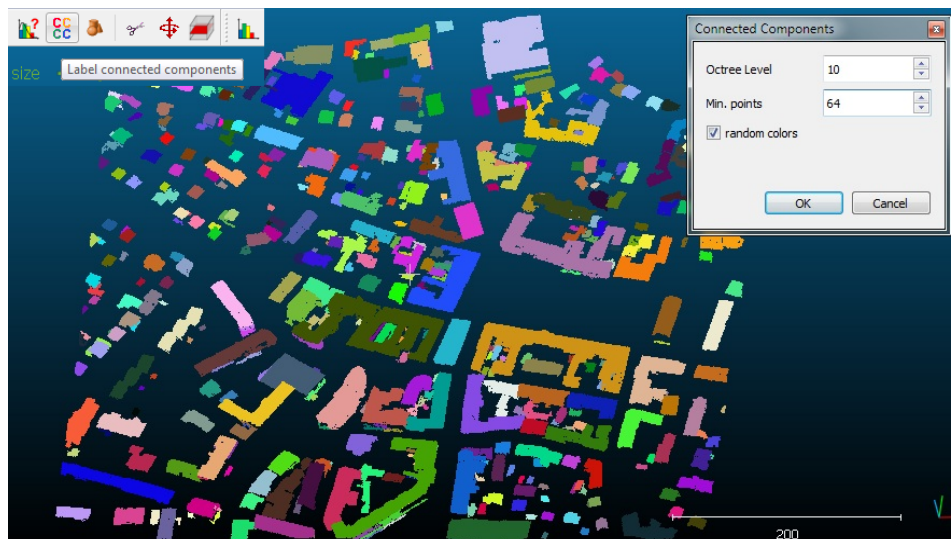


Rys. 2. Pole testowe – Kampus Centralny Politechniki Warszawskiej
a) fragment ortofotomapy b) fragment chmury punktów

2.2. Segmentacja chmury punktów

Chmury punktów z projektu ISOK są danymi już sklasyfikowanymi, dlatego przygotowanie danych ograniczyło się do filtracji warstwy "budynki i budowle" oraz do segmentacji chmury na poszczególne budynki. Do tego celu wykorzystano oprogramowanie Cloud Compare, które posiada narzędzia filtracji chmury punktów oraz narzędzie segmentacji „*Label connected components*” wykorzystujące podział danych na drzewo ósemkowe (ang. *octree levels*) - sposób podziału strukturalnego, w którym dane analizowane są w granicach sześciątów, generowanych w sposób malejący, przez podział

poprzedniego na osiem dwukrotnie mniejszych sześciątów. Drugim parametrem była minimalna liczba punktów definiujących pojedynczy segment chmury punktów. Przykładowy wynik segmentacji pokazany został na rysunku 3.



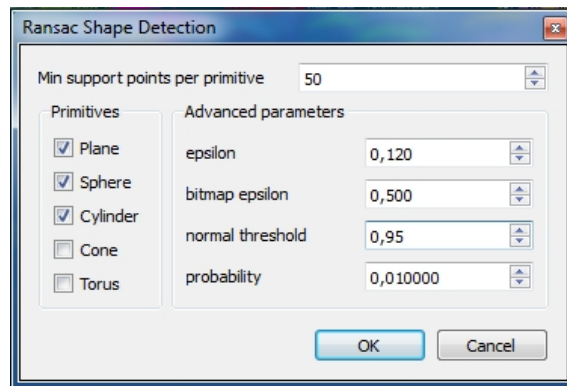
Rys. 3. Przykładowy efekt segmentacji chmury punktów

2.3. Wykorzystanie algorytmu RANSAC

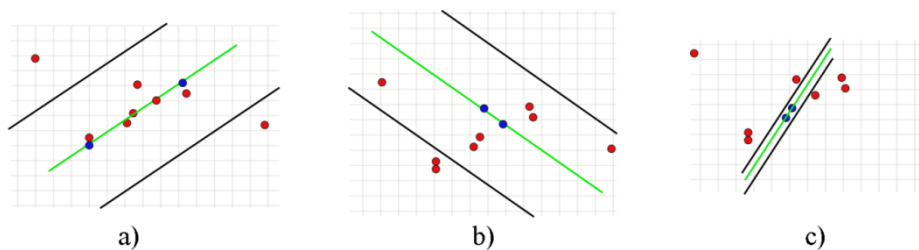
Algorytm RANSAC (ang. RANDOM SAMPLE CONSENSUS) został zaprezentowany po raz pierwszy na Stanford Research Institute International w 1981 roku przez Martina Fischler'a i Roberta Bolles'a. Algorytm ten, w odróżnieniu od innych proponowanych wtedy metod, umożliwiał estymację modelu na próbie zawierającej obserwacje odstające (Fischler, Bolles, 1981). Z tego też powodu jest on idealny do analiz danych z urządzeń, których obserwacje obciążone są pewnego rodzaju błędami. W przypadku skaningu lotniczego, algorytm pozwala przetwarzać chmury punktów obciążone szumem i błędnym pomiarem (Poręba, 2012).

Zasada działania RANSAC opiera się na iteracyjnym przetwarzaniu zbioru punktów w celu estymacji poszukiwanego modelu geometrycznego. Do badań wykorzystano algorytm RANSAC z modyfikacjami Ruwena Schnabel'a z 2007 roku, algorytm ten jest zaimplementowany w oprogramowaniu Cloud Compare. Działanie algorytmu sterowane jest za pomocą pięciu parametrów (rys. 4) :

- minimalnej liczba punktów potrzebnych do wygenerowania płaszczyzny,
- progu „epsilon” będącego maksymalną odległością testowanego punktu od teoretycznego modelu,
- rozdzielczości chmury punktów,
- progu prawdopodobieństwa dopasowania płaszczyzny,
- wartości „probability”.



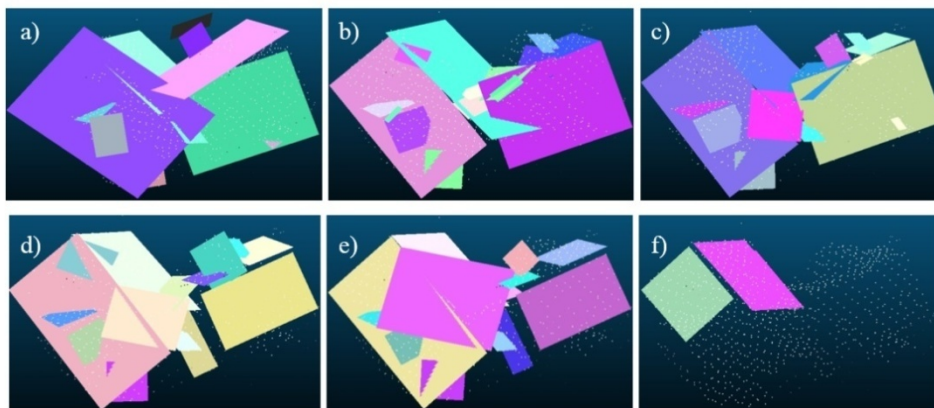
Rys. 4. Okno doboru parametrów algorytmu RANSAC w programie Cloud Compare



Rys. 5. Dobór parametru epsilon: a) prawidłowe wpasowanie (za duży epsilon) b) błędne wpasowanie (za duży epsilon) c) błędne wpasowanie (za mały epsilon) (Schnabel, 2007)

Odpowiedni dobór parametrów decyduje o dokładności wpasowania, wielkości płaszczyzn, ich liczbie, a przede wszystkim o zgodności wykrytych kształtów z rzeczywistością (rys. 5). Ponadto skrajnie zły dobór może skutkować nieukończeniem procesu wykrywania płaszczyzn.

Spośród wszystkich parametrów warto zwrócić uwagę na parametr epsilon (rys. 6).



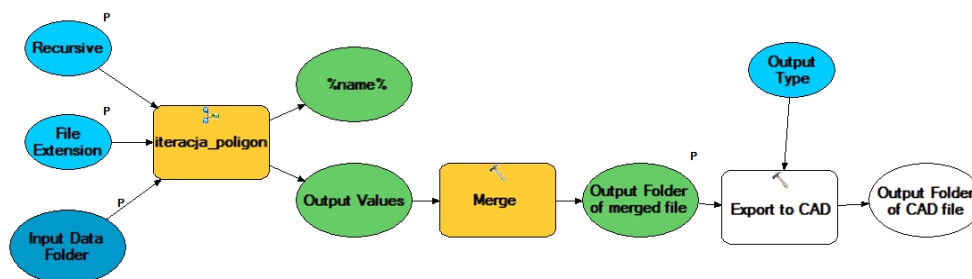
Rys. 6. Badanie parametru epsilon, a) 10.0m b) 1.0m c) 0.5m d) 0.2m e) 0.1m f) 0.01m

Podczas badań nad jego parametryzacją stwierdzono, iż dobór wartości epsilon jest bezpośrednio związany zarówno z charakterystyką skanowanego obiektu, jak i dokładnością skanowania. Parametr mówi o tolerancji, na podstawie której stwierdzamy, czy dany punkt kwalifikuje się do wyekstrahowanej płaszczyzny. Można to rozumieć, jako geometryczny bufor wokół płaszczyzny. Prawidłowo dobrana wartość powinna uwzględniać charakterystykę dokładnościową urządzenia wykonującego skanowanie, a także w pewnym stopniu rodzaj materiału z którego wykonana jest powierzchnia obiektu. Przykładowo, jeżeli na danych obszarze przeważają zabudowania z dachami wykonanymi z dachówki, należy parametr zwiększyć.

Ostatecznie w przypadku pierwszego pola testowego (typowej prostej zabudowy miejskiej), dysponując danymi ALS w standardzie I projektu ISOK, najlepsze efekty uzyskano przy następujących parametrach: minimalna liczba punktów: 18 pkt.; epsilon: 0.12 m; Bitmap epsilon: 0.500 m; Normal Threshold 0.95; Probability 0.001 (Malej i Marjasiewicz, 2014)

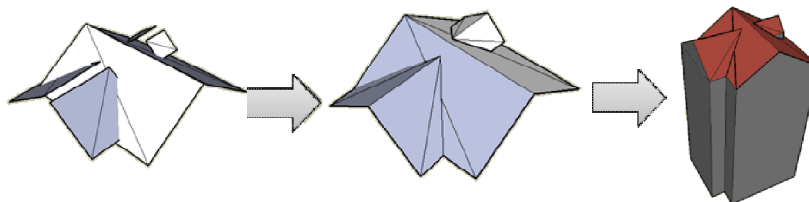
2.4. Konwersja i modelowanie płaszczyzn

Konwersję płaszczyzn wyekstrahowanych w Cloud Compare do środowiska programu SketchUP, wykonano w narzędziu Model Builder z ArcGIS. Stworzona aplikacja, której schemat pokazano na rysunku 7, umożliwiła automatyczne przetworzenie zbioru płaszczyzn do jednego pliku DXF. Taki zabieg zapewnił możliwość importu wszystkich płaszczyzn razem do programu SketchUP z zachowaniem georeferencji danych.



Rys. 7. Schemat aplikacji konwertującej płaszczyzny

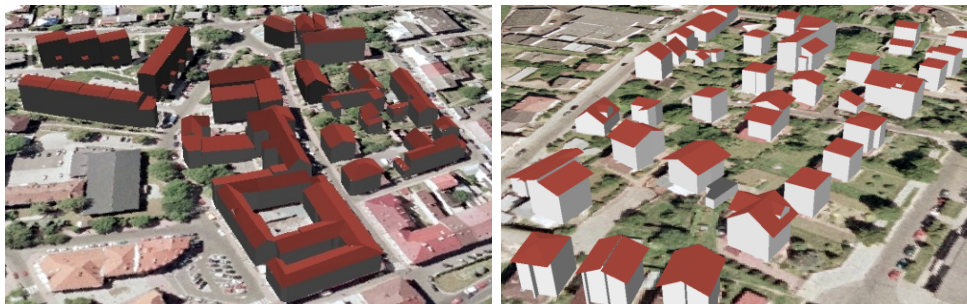
W dowolnym oprogramowaniu do edycji danych wektorowych, modelowanie dachów z tego typu danych przebiegać może za pomocą narzędzia przecinania płaszczyzn. Proces integracji brył dachów z przyziemiami budynków, wykonano w programie SketchUP za jego pomocą przecięcia płaszczyzn dachów i przyziemia, otrzymując kompletne bryły budynków. Graficzne przedstawienie przetwarzania wyekstrahowanych płaszczyzn do modelu budynku ukazano na rysunku 8. W przypadku tworzenia modelu Kampusu Głównego Politechniki Warszawskiej, oprogramowanie to wykorzystano również do manualnego otekstowania modeli z wykorzystaniem naziemnych obrazów cyfrowych.



Rys. 8. Efekt przecięcia się płaszczyzny dachu i przycięcia z przyziemiem budynku

3. REZULTATY

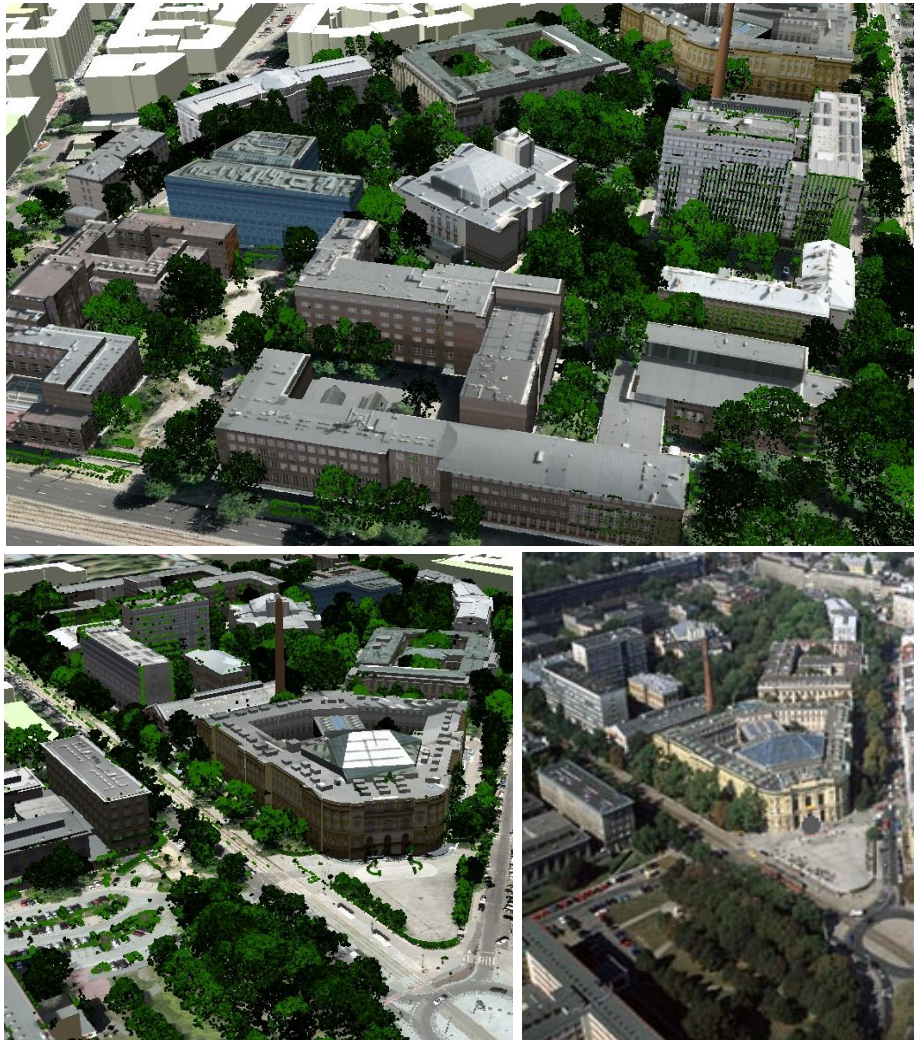
Wynikiem pracy wykorzystującej opracowaną i parametryzowaną metodykę postępowania z danymi z lotniczego skanowania laserowego (przy udziale przyziemi z BDOT i ewentualnych zdjęć naziemnych) są modele wykonane na dwóch polach testowych (rysunki 9 i 10).



Rys. 9. Modele budynków dla pola testowego miasta Jasło

4. CHARAKTERYSTYKA DOKŁADNOŚCIOWA

Utworzone modele budynków po ich otekstowaniu reprezentują bardzo duże podobieństwo w zestawieniu z analizowanym obiektem widocznym na zdjęciu lotniczym (rys. 10). W celu sprawdzenia poprawności wykrywanych płaszczyzn, wpływających na jakość modelowania 3D, przeprowadzono analizę dokładności. W celu oszacowania błędu wysokościowego modelu budynku, przeprowadzono kilkadziesiąt manualnych pomiarów różnicy wysokości modelu względem chmury punktów (analizy na przekrojach). Dodatkowo pomierzono dokładność sytuacyjną utworzonych modeli względem posiadanej ortofotomapy o pikselu równym 10 cm dla widocznych narożników przyziemia budynków. Wyniki przeprowadzonej analizy prezentuje tabela 1.



Rys. 10. Modele budynków dla pola testowego Kampusu Głównego Politechniki Warszawskiej wraz ze zdjęciem lotniczym tego obszaru

Tabela 1. Zestawienie dokładności otrzymanych modeli

Dokładność pozioma X, Y	Dokładność pionowa Z
Zależna od dokładności BDOT, oszacowana na podstawie pomiarów narożników widocznych przyziemi w oparciu o ortofotomapę o pikselu 10 cm, oszacowana na kilkanaście centymetrów.	Oszacowany na podstawie manualnych pomiarów (przekroje) wysokości budynku względem chmury punktów – Średni błąd wysokości: 0.08 m – Maksymalna odchyłka: 0.19 m

5. PODSUMOWANIE

Wyniki analiz potwierdzają wysoką dokładność modeli uzyskanych z lotniczego skanowania laserowego przy wykorzystaniu wybranego algorytmu ekstrakcji płaszczyzn z chmur punktów. Uzyskana dokładność pozioma i pionowa kwalifikują utworzone modele do poziomu LoD3 (dokładność 0.5 m) według standardu CityGML. Poziom ten może być jednak uzyskany jedynie w przypadku pełnego otekstutowania modelu i przy zachowania rozróżnialności fragmentów o rozmiarze 2 m. Utworzone małym nakładem pracy modele bez problemu spełniają wymagania bardziej ogólnego poziomu LoD2 (dokładność 2 m i rozróżnialność szczegółów na poziomie 4 m).

Wykonane eksperymenty zastosowania algorytmu RANSAC do wykrywania płaszczyzn udowodniły efektywność i dokładność niniejszej metody. Warto jednak zauważyć, że aby model został dobrze wykonany, parametryzacja algorytmu powinna uwzględniać dane wejściowe - należy znać charakterystykę chmury punktów (gęstości, typ skanera), jak i rodzaju występujących na modelowanym obszarze pokryć dachowych.

PODZIĘKOWANIA

Prace związane z modelowaniem 3D Kampusu Centralnego Politechniki Warszawskiej wykonane zostały w ramach projektu naukowego Stowarzyszenia Studentów Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej „Geoida” realizowanego pod opieką mgr inż. Krzysztofa Bakuły.

LITERATURA

Będkowski K., Wężyk P., 2010. Lotniczy skaningu laserowy. Teledetekcja i fotogrametria obszarów leśnych, *Geomatyka w Lasach Państwowych - cz. I podstawy*. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, s.326-334.

Bujakiewicz A., Preuss R. 2009. Ocena możliwości automatycznej rekonstrukcji 3D modeli budynków z danych fotogrametrycznych, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol. 19, s. 23-33.

Bujakiewicz A., Preuss R. 2010. Ekstrakcja informacji wektorowej w fotogrametrycznym systemie summit evolution – Arcgis 3D z uwzględnieniem topologii dachów, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol. 21, 53-62.

Cisło-Lesicka U., 2010. Pozyskiwanie informacji 3D o budynkach dla potrzeb trójwymiarowej wielorozdzielczej bazy topograficznej, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol. 21, s. 63-73.

Fischler M., Bolles R., 1981. Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. *Communications of the ACM*, 24(6), s. 381- 395.

Jarząbek-Rychard M., Borkowski A., 2010. Porównanie algorytmów RANSAC oraz rosnących płaszczyzn w procesie segmentacji danych z lotniczego skaningu laserowego, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol. 21, s.119-129.

Kurczyński Z., Bakuła K., 2013. Generowanie referencyjnego numerycznego modelu terenu o zasięgu krajowym w oparciu o lotnicze skanowanie laserowe w projekcie ISOK. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, wydanie specjalne - monografia „Geodezyjne Technologie Pomiarowe”, s. 59-68

Malej T., Marjasiewicz M., 2014. Ocena możliwości metody półautomatycznej w modelowaniu brył budynków terenów zurbanizowanych z danych z lotniczego skaningu laserowego, praca dyplomowa inżynierska, Wydział Geodezji i Kartografii Politechnika Warszawska.

Schnabel R., Wahl R., Klein R., 2007. Efficient RANSAC for Point-Cloud Shape Detection, *Computer graphics forum*, vol. 26, No. 2, s. 214-226.

SEMI-AUTOMATED BUILDING EXTRACTION FROM AIRBORNE LASER SCANNING DATA

KEY WORDS: LiDAR, 3D model, CityGML, RANSAC, buildings, visualization

Summary

The main idea of this project is to introduce a conception of semi-automated method for building model extraction from Airborne Laser Scanning data. The presented method is based on the RANSAC algorithm, which provides automatic collection planes for roofs model creation. In the case of Airborne Laser Scanning, the algorithm can process point clouds influenced with noise and erroneous measurement (gross errors). The RANSAC algorithm is based on the iterative processing of a set of points in order to estimate the geometric model. Research of using algorithm for ALS data was performed in available Cloud Compare and SketchUP software. An important aspect in this research was algorithm parameters selection, which was made on the basis of characteristics of point cloud and scanned objects. Analysis showed that the accuracy of plane extraction with RANSAC algorithm does not exceed 20 centimeters for point clouds of density 4 pts./m². RANSAC can be successfully used in buildings modelling based on ALS data. Roofs created by the presented method could be used in visualizations on a much better level than Level of Detail 2 by CityGML standard. If model is textured it can represent LoD3 standard.

Dane autorów:

inż. Marcin Marjasiewicz
Marjasiewicz.m@gmail.com
+48 888 807 632

inż. Tomasz Malej
Tmalej@gmail.com
+48 511 767 158

Przesłano 15.10.2014
Zaakceptowano 20.12.2014