

Wioleta BŁASZCZAK-BAK¹
Anna SOBIERAJ-ŻŁOBIŃSKA²

METODA OptD DO REDUKCJI DANYCH W OPRACOWANIU WYNIKÓW POMIARÓW LINII ELEKTROENERGETYCZNYCH

Skaning laserowy to technologia dostarczająca we względnie krótkim czasie dużą ilość danych pomiarowych. Jest to zarazem pozytywna jak i negatywna cecha tej technologii. Z jednej strony w wyniku skaningu otrzymuje się dane, które szczegółowo odzwierciedlają pomierzony obiekt. Z drugiej strony trudność sprawia przetwarzanie takiej ilości danych i nie zawsze wszystkie dane ze skaningu są niezbędne do realizacji wybranego zadania. Z tych względów nieustannie trwają prace nad opracowaniem algorytmów umożliwiających usprawnienie ich przetwarzania. Jednym z rozwiązań jest zmniejszenie ilości danych.

W pracy przedstawiono wyniki redukcji danych pochodzących z pomiaru lotniczym skanowaniem laserowym napowietrznych sieci elektroenergetycznych. Pomiar były przeprowadzone na potrzeby inwentaryzacji. Uzyskaną chmurę punktów przetworzono wykorzystując metodę Optimum Dataset (OptD). Celem było sprawdzenie czy punkty obrazujące linie elektroenergetyczną nie zostaną utracone w trakcie przetwarzania metodą OptD.

W metodzie OptD jako kryterium optymalizacyjne przyjęto stopień redukcji czyli jaki procent punktów ma zostać usunięty z oryginalnego zbioru (p%). Badania przeprowadzono dla dwóch przypadków: 1) p%=70%, (zbiór Ω_1) oraz 2) p%=85% (zbiór Ω_2). Uzyskane wyniki pokazały, że metoda OptD nie zakłóca obrazu linii elektroenergetycznych. Liczba punktów obrazująca linie jest wystarczająca do prawidłowego wyznaczenia przebiegu tej linii.

Słowa kluczowe: przetwarzanie danych, lotniczy skaning laserowy, metoda redukcji

1. Wprowadzenie

Szybko rozwijające się technologie pomiarowe takie jak LiDAR (Light Detection And Ranging), MBES (Multi Beam Echo Sounder) powodują pozyskiwanie ogromnych ilości danych. Dysponując takimi zbiorami można generować

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Wioleta Błaszczak-Bak, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Instytut Geodezji, ul. Oczapowskiego 1/25, 10-719 Olsztyn; tel. (89)5233305; wioleta.blaszczak@uwm.edu.pl

² Anna Sobieraj-Żłobińska, Politechnika Gdańska, Katedra Geodezji, ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk; tel. (58)3472212; anna.sobieraj@pg.edu.pl

np. Digital Terrain Model (DTM) lub Digital Surface Model (DSM). Jednak przetwarzanie takiej ilości informacji, a zwłaszcza zmian zachodzących w czasie rzeczywistym jest praktycznie niemożliwe lub bardzo trudne [3]. Nieustannie trwają prace nad usprawnieniem przetwarzania zbiorów danych pozyskanych technologią LiDAR, tak aby mogły być wykorzystywane do budowy SIS (Spatial Information System) lub mogły stanowić źródło wielu innych opracowań. Jednym z projektów, który chce umożliwić zaawansowane wykorzystanie danych przestrzennych jest Centrum Analiz Przestrzennych Administracji Publicznej (CAPAP). W ramach realizacji projektu planuje się między innymi wykonanie zadania związanego z narzędziami, jakie będą użyte w trakcie wykorzystania danych przestrzennych. Zadanie to polega na utworzeniu platformy analitycznej umożliwiającej przeprowadzanie zaawansowanych analiz przestrzennych, w tym analiz na danych 3D, a także interpretację oraz wizualizację wyników analizy w postaci tekstowej oraz graficznej.

Również w ramach prac związanych z inwentaryzacją linii elektroenergetycznych z wykorzystaniem danych LiDAR można stosować metody redukcji, ponieważ wiele z pomierzonych elementów krajobrazu jest niepotrzebnych.

W tych i wielu innych przypadkach konieczne jest zmniejszanie liczebności danych w zbiorze pomiarowym. Zmniejszenie może odbywać się drogą generowania, redukcji, lub generalizacji gotowego DTM. Generowanie to zmniejszanie zbioru danych poprzez tworzenie siatki *grid* [4], [5], [6]. Redukcja pozwala na zmniejszenie liczebności zbioru danych poprzez usunięcie niektórych punktów. Wybór punktów do usunięcia odbywa się na podstawie różnych algorytmów [7],[8],[9]. Generalizacja DTM to natomiast uproszczenie DTM [10].

Redukcja liczebności danych pomiarowych w zbiorze jest innym zagadnieniem niż generalizacja DTM nazywana również redukcją ilościową danych wysokościowych [10]. Można wyróżnić różne metody generalizacji np.: filtrację globalną, stosowaną głównie dla modeli o regularnej siatce; filtrację lokalną polegającą na selekcji punktów kluczowych dla modelu terenu; podejście heurystyczne związane z generalizacją linii strukturalnych DTM [11]. Istnieją również inne podziały metod generalizacji. Zhou i Chen [12] wymieniają metody: generalizację linii trójwymiarowych, filtrację, metodę addytywną, metodę subtraktywną i metodę obiektową. Kolejnymi metodami związanymi z generalizacją są metody związane z technikami przetwarzania obrazów, traktując DTM w strukturze *grid* jako raster. Przykładem takiego przetworzenia jest zmiana rozdzielczości wynikowego modelu [13].

Do sporządzenia wielu opracowań np. przekrojów, map izolinii, inwentaryzacji linii elektroenergetycznych lepiej jest, jeśli korzystamy ze źródła w postaci danych rzeczywistych. Po zmniejszeniu liczebności punktów w chmurze użytkownik może pracować na danych rzeczywistych, uzasadniony jest zatem wybór redukcji.

Redukcja zbioru jest zagadnieniem wymagającym prawidłowego zaplanowania, tak aby zredukowany zestaw danych spełniał wszystkie oczekiwania u-

żytkownika. Oczywiście najlepiej jest, jeśli otrzymany wynik jest rozwiązaniem optymalnym pod względem ustalonych kryteriów. Do metod redukcji, które dają rozwiązanie optymalne należy metoda Optimum Dataset (OptD) [1], [2].

Podejście prezentowane jest w pracach [1], [2] i schematycznie przedstawiono je na rys. 1.

Proponowaną metodę OptD można zastosować w trakcie opracowania wyników z pomiaru linii elektroenergetycznych z wykorzystaniem lotniczego skaningu laserowego (Airborne Laser Scanning – ALS). Pomiary sieci elektroenergetycznych wykonuje się w na potrzeby inwentaryzacji, w celu poprawy bezpieczeństwa elektroenergetycznej sieci [14],[15].

Celem pracy jest porównanie przebiegu linii elektroenergetycznych po redukcji danych w zbiorze pomiarowym, oraz sprawdzenie czy punkty obrazujące linie elektroenergetyczną nie zostaną utracone w trakcie przetwarzania metodą OptD.

W pracy stosowano następujące podejście do przetwarzania danych ALS z pomiaru linii elektroenergetycznych:

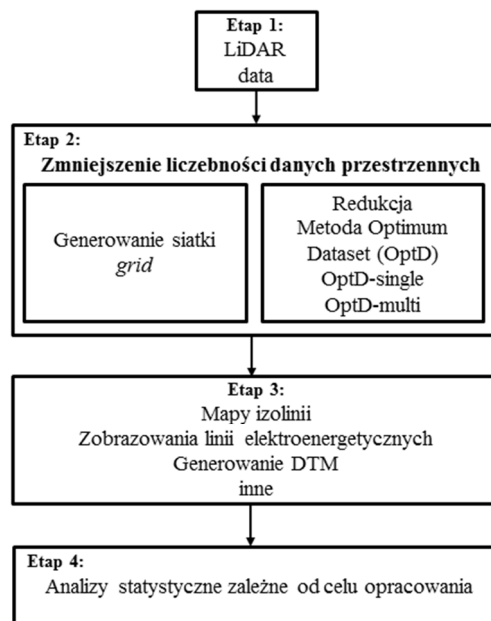
1. Pozyskanie chmury punktów ALS.
2. Przeprowadzenie analizy statystycznej zbioru.
3. Ustalenie kryteriów optymalizacyjnych.
4. Zastosowanie metody OptD-single do redukcji punktów w chmurze ALS.
5. Przeprowadzenie analiz statystycznych uzyskanych po redukcji zbiorów.
6. Podgląd linii elektroenergetycznych.
7. Analiza wyników.

1.1. Metoda Optimum Dataset

Metodę OptD możemy wykonać w dwóch wariantach:

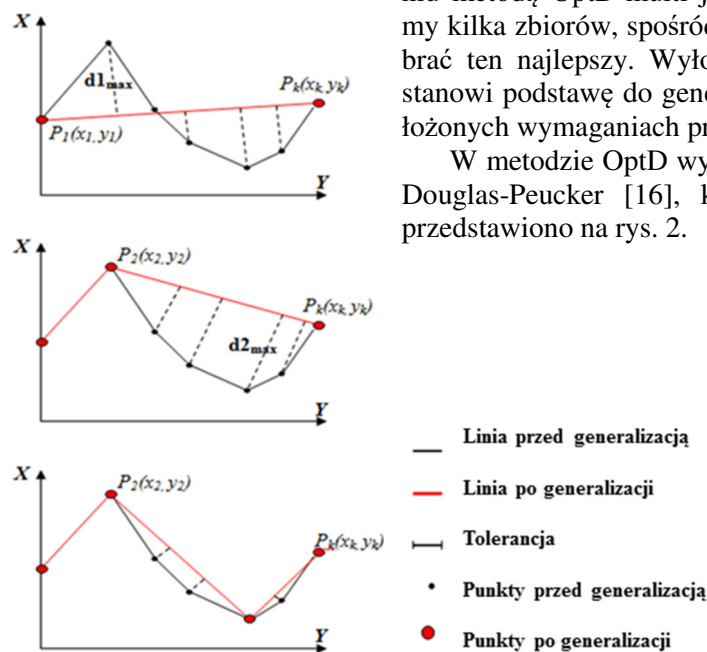
- metoda OptD z optymalizacją jednokryterialną nazwana **OptD-single**,
- metoda OptD z optymalizacją wielokryterialną nazwana **OptD-multi**.

Jeżeli wybieramy metodę OptD-single poszukiwany jest zbiór spełniający ściśle określony jeden warunek. Jeśli jednak podejmiemy decyzje o przetwarza-



Rys. 1. Zmniejszanie zbioru danych przestrzennych

Fig. 1. Decrease of the spatial dataset



Rys. 2. Zasada działania metody D-P (źródło: [1])

Fig.2. D-P method (source: [1])

Przed rozpoczęciem generalizacji metodą D-P należy przyjąć ustaloną wartość parametru κ , jak również zdefiniować linię podstawową. Linia podstawowa jest to linia wyznaczona przez punkty początku i końca generalizowanej linii. Współczynnik tolerancji κ jest to długość odcinka, którą określa użytkownik w zależności od przewidywanego poziomu generalizacji. Punkty, których odległości od linii podstawowej są mniejsze od wartości κ są eliminowane ze zbioru danych.

Algorytm metody D – P przebiega w następujących etapach:

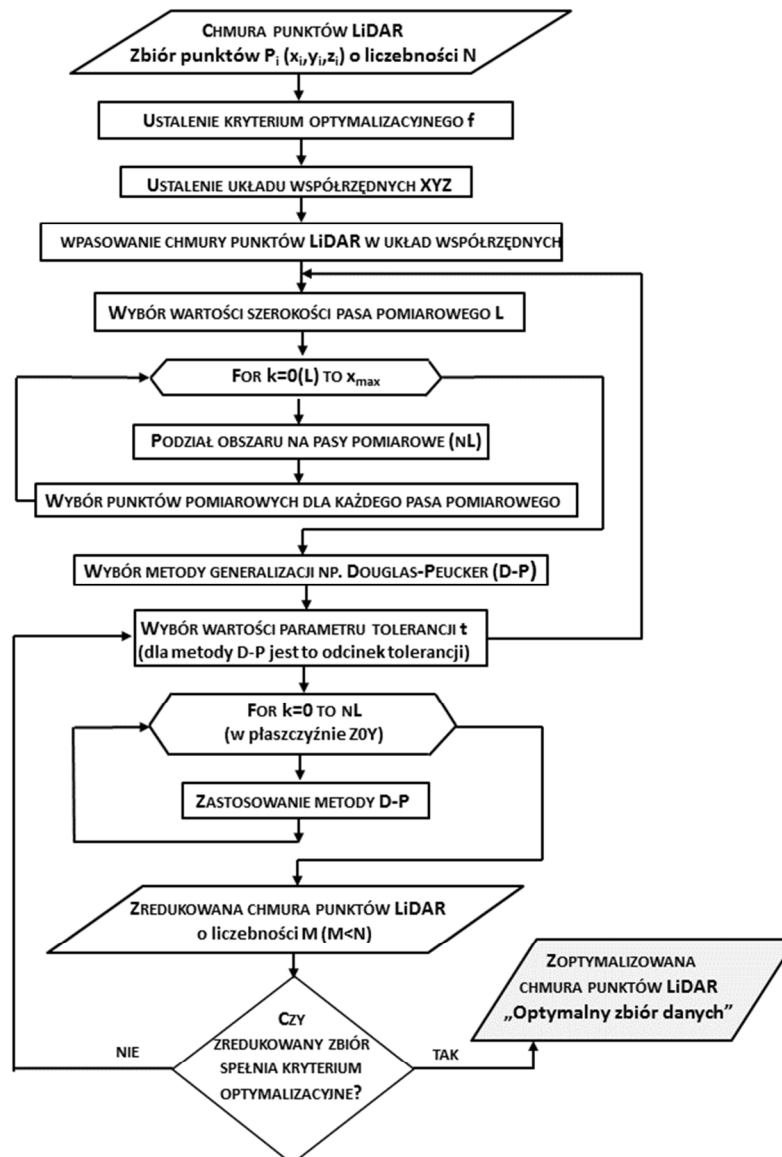
1. Wybór linii podstawowej, którą tworzą dwa punkty: początkowy zwany kotwicą ($P_1(x_1, y_1)$) i końcowy zwany pływakiem ($P_k(x_k, y_k)$) oraz ustalenie współczynnika tolerancji κ . Linia podstawowa prezentowana na rys. 2 jest pierwszym przybliżeniem linii po generalizacji.
2. Obliczenie odległości wszystkich punktów należących do opracowywanego pasa poszukiwań od linii podstawowej. W tym etapie następuje również wybór punktu, którego odległość od linii podstawowej jest największa. Na rys. 2 jest to odległość d_{\max} .
3. Jeżeli $d_{\max} \geq \kappa$ to punkt zostaje i staje się automatycznie drugim końcem nowo utworzonej linii podstawowej (np. punkt $P_2(x_2, y_2)$ na rys. 2). Jeżeli natomiast $d_{\max} < \kappa$ wówczas punkt zostaje usunięty z dalszych analiz.

niu metodą OptD-multi jako wynik otrzymamy kilka zbiorów, spośród których należy wybrać ten najlepszy. Wyłoniony zbiór danych stanowi podstawę do generowania DTM o założonych wymaganiach projektowych.

W metodzie OptD wykorzystano algorytm Douglas-Peucker [16], który schematycznie przedstawiono na rys. 2.

4. Realizacja algorytmu w pasie poszukiwań trwa do momentu, gdy zostaną zweryfikowane wszystkie wartości d_{\max} . Na rys. 2 zaprezentowano efekt działania algorytmu dla kilku wybranych kroków.

W pracy zdecydowano wykorzystać metodę OptD-single. Algorytm metody OptD-single w postaci schematu blokowego zaprezentowano na rys. 3.



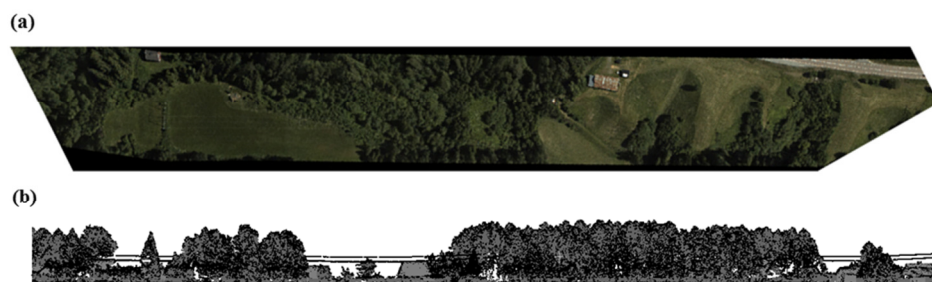
Rys. 3. Schemat blokowy algorytmu metody OptD-single (źródło: [1])

Fig.3. Flowchart of the OptD-single method (source: [1])

2. Wyniki badań

Chmura punktów ALS została udostępniona przez Firmę Vimap Sp. z o.o. w Olsztynie. Pomiary zostały wykonane 6 lipca 2017 roku, skanerem laserowym RIEGEL VUX1-UAV na wysokości lotu około 100m.

Fragment chmury punktów wykorzystany w pracy zawiera 2 332 746 punktów (zbiór Ω) i zaprezentowany został na rys. 4.



Rys. 4. Chmura punktów ALS udostępniona przez Firmę Vimap: (a) ortofotomapa, (b) widok z boku (źródło: opracowanie własne w CloudCompare v.2.6.0)

Fig. 4. ALS point cloud provided by Vimap: (a) orthophotomap, (b) side view (source: own study in CloudCompare v.2.6.0)

Charakterystykę statystyczną zbioru Ω przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Statystyka oryginalnego zbioru danych Ω

Table 2. Statistics of original dataset Ω

Parametr	Wartość
Liczba punktów	2 332 746
Zmax [m]	108.600
Zmin [m]	84.620
Zśr [m]	91.634
SD [m]	6.834
Średnia odległość między punktami [m]	0.036

Chmurę punktów ALS przetworzono wykorzystując metodę OptD-single. Jako kryterium optymalizacyjne przyjęto stopień redukcji czyli jaki procent punktów ma zostać usunięty z oryginalnego zbioru danych (p%).

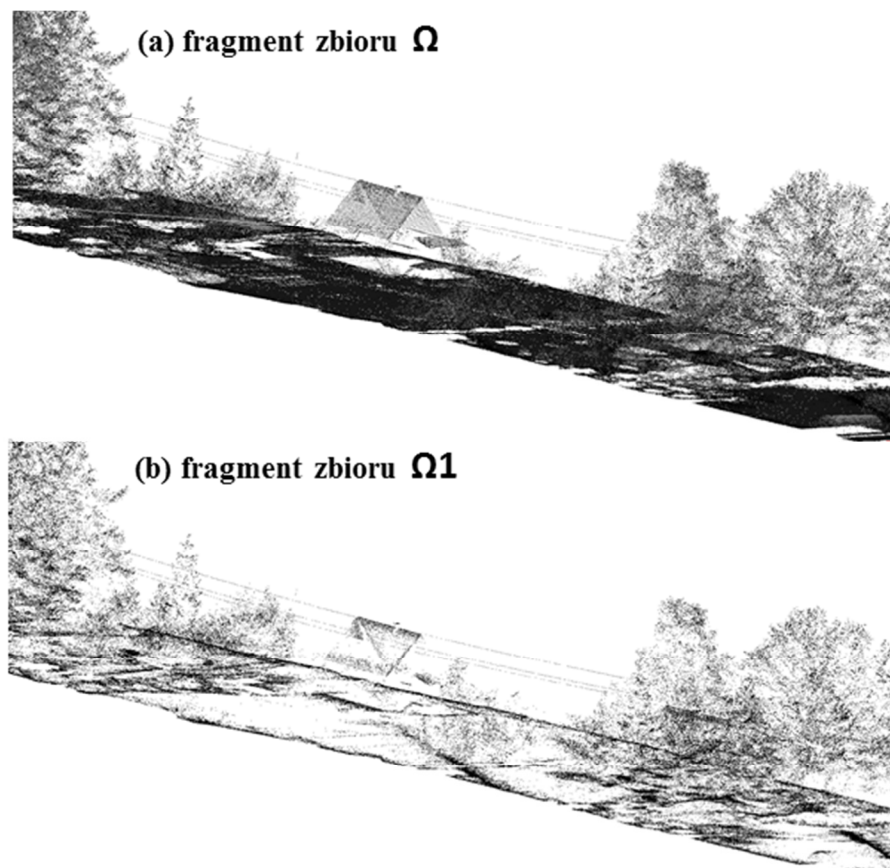
Założono, że wynikiem przetwarzania metodą OptD-single mają być dwa zbiory zredukowane o 70% i 85%. Aby spełnić to kryterium przyjęto 2 różne warianty w metodzie OptD-single:

- szerokość pasa poszukiwań 0.200m, tolerancja 2.000m (zbiór Ω_1),
- szerokość pasa poszukiwań 0.200m, tolerancja 4.000m (zbiór Ω_2).

Wybraną szerokość pasa poszukiwań przyjęto większą prawie sześciokrotnie niż średnia odległość między punktami w zbiorze, natomiast tolerancję w metodzie Douglas-Peucker [16] przyjęto najpierw jako 2.000m, a następnie 4.000m. Tak duża wartość wynika z faktu, że rozstęp wysokości wynosi około 24.000m.

W rezultacie otrzymano dwa zbiory danych: Ω_1 zawierający 676814 punktów (czyli około 30% punktów oryginalnego zbioru) oraz Ω_2 zawierający 360069 punktów (czyli około 15% punktów oryginalnego zbioru).

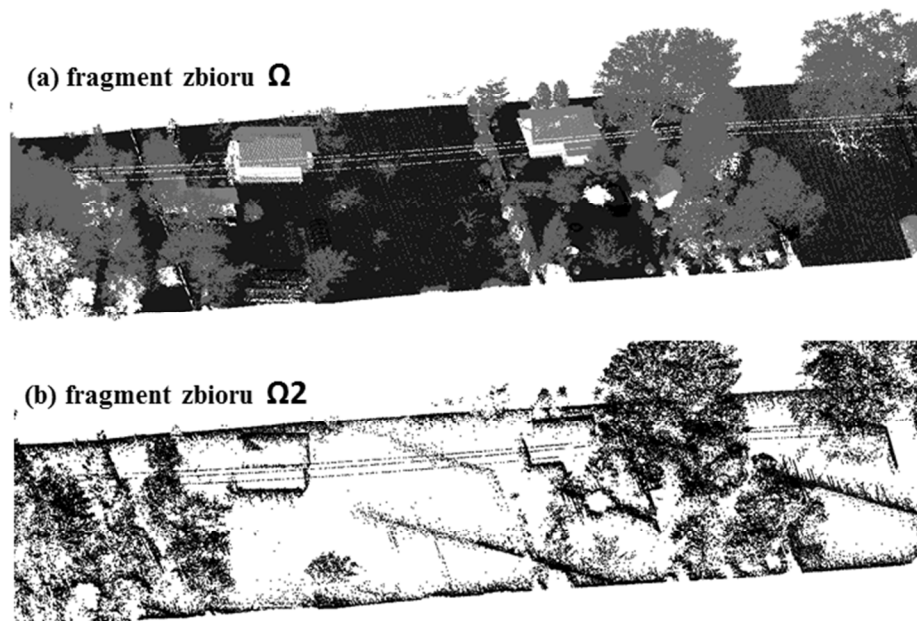
Na rys. 5 przedstawiono powiększony fragment oryginalnego zbioru Ω oraz zredukowanego zbioru Ω_1 .



Rys. 5. Powiększony fragment chmury punktów ALS (a) zbiór Ω , (b) zbiór Ω_1 (źródło: opracowanie własne w CloudCompare v.2.6.0)

Fig. 5. The zoomed fragment of the ALS point cloud: (a) Ω dataset, (b) Ω_1 dataset (source: own study in CloudCompare v.2.6.0)

Na rys. 6 przedstawiono natomiast powiększony fragment oryginalnego zbioru Ω oraz zredukowanego zbioru $\Omega 2$.



Rys. 6. Powiększony fragment chmury punktów ALS (a) zbiór Ω , (b) zbiór $\Omega 2$ (źródło: opracowanie własne w CloudCompare v.2.6.0)

Fig. 6. The zoomed fragment of the ALS point cloud: (a) Ω dataset, (b) $\Omega 2$ dataset (source: own study in CloudCompare v.2.6.0)

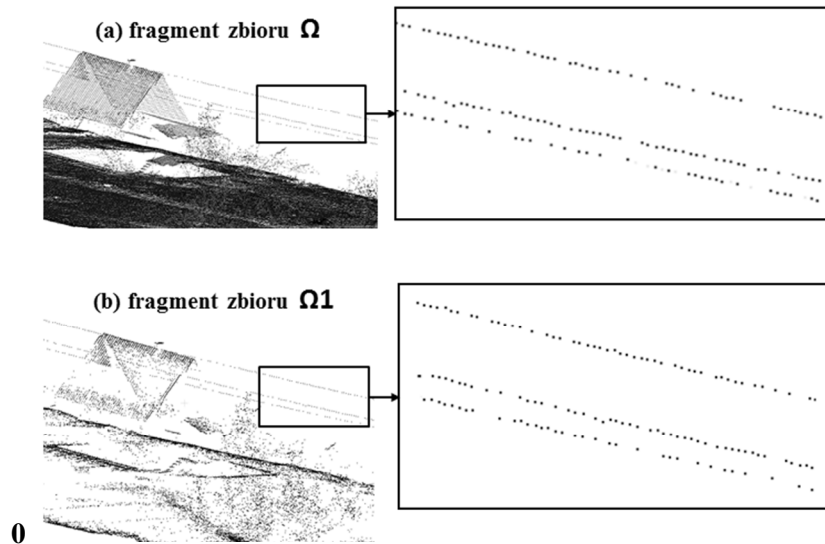
W tabeli 2 zestawiono parametry charakteryzujące zbiory otrzymane po zastosowaniu metody OptD-single.

Tabela 2. Statystyka zredukowanych zbiorów $\Omega 1$ i $\Omega 2$

Table 2. Statistics of reduced datasets $\Omega 1$ i $\Omega 2$

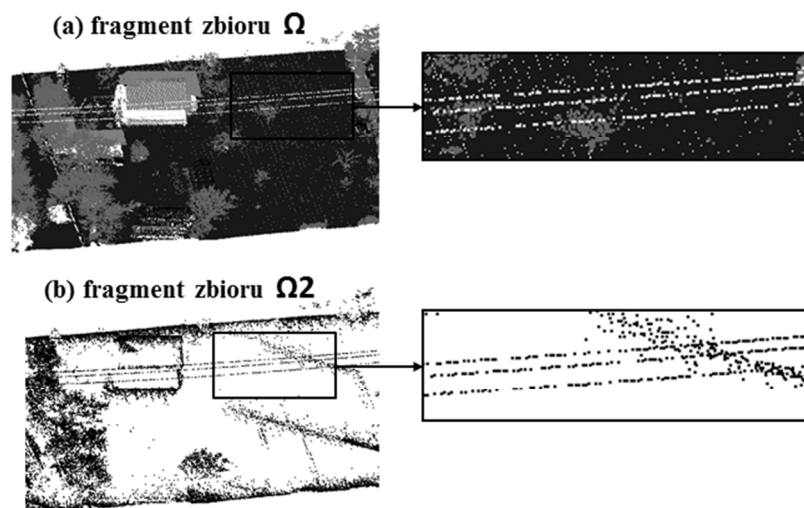
Parametr	Zbiór $\Omega 1$	Zbiór $\Omega 2$
Liczba punktów	676814	360069
Zmax [m]	108.600	108.600
Zmin [m]	84.620	84.620
Zśr [m]	92.389	92.526
SD [m]	6.557	6.727
Średnia odległość między punktami [m]	0.073	0.097

Następnie wybrano fragment zbiorów obrazujący linie elektroenergetyczne. Powiększone fragmenty zaprezentowano na rys. 7.



Rys. 7. Powiększony fragment chmury punktów ALS z liniami elektroenergetycznymi (a) zbiór Ω , (b) zbiór $\Omega 1$ (źródło: opracowanie własne w CloudCompare v.2.6.0)

Fig. 7. The zoomed fragment of ALS point clouds with power lines (a) Ω dataset, (b) $\Omega 1$ dataset (source: own study in CloudCompare v.2.6.0)

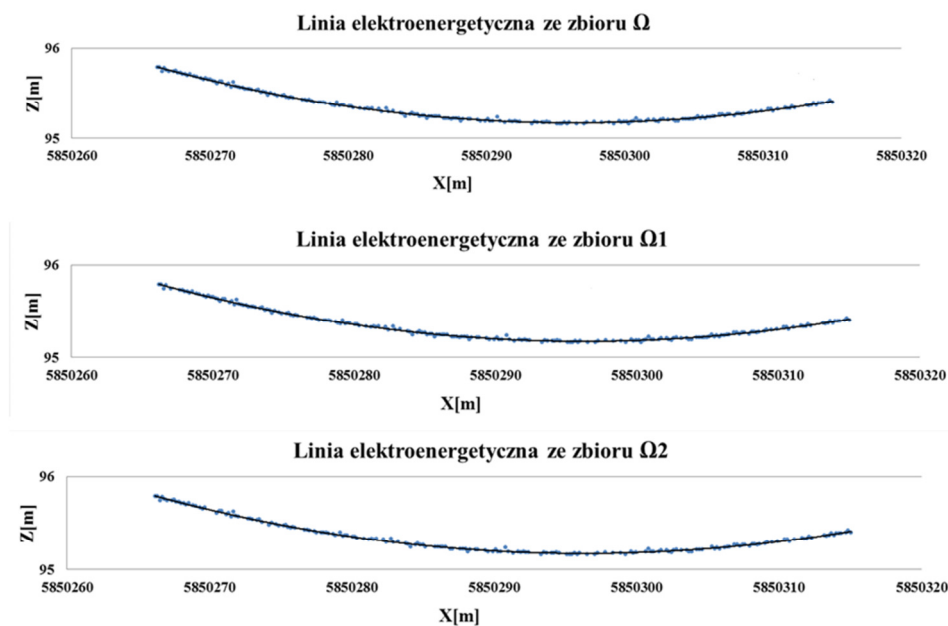


Rys. 8. Powiększony fragment chmury punktów ALS z liniami elektroenergetycznymi (a) zbiór Ω , (b) zbiór $\Omega 2$ (źródło: opracowanie własne w CloudCompare v.2.6.0)

Fig. 8. The zoomed fragment of ALS point clouds with power lines (a) Ω dataset, (b) $\Omega 2$ dataset (source: own study in CloudCompare v.2.6.0)

Na przedstawionych rysunkach widać, że redukcja (nawet 70%, 85%) nie zakłóca obrazu linii elektroenergetycznych. Liczba punktów obrazująca linie jest wystarczająca do prawidłowego wyznaczenia przebiegu tej linii.

W punkty obrazujące linie elektroenergetyczne wpasowano krzywe przedstawione na rys. 9.



Rys. 9. Wpasowanie krzywych reprezentujących linie elektroenergetyczne (źródło: opracowanie własne)

Fig. 9. Fitting of the curves representing power lines (source: own study)

Współczynnik determinacji R^2 obliczony dla analizowanych przypadków różni się w stosunku do zbioru Ω : dla zbioru $\Omega1$ o 0.0003, natomiast dla zbioru $\Omega2$ o 0.0002. Obliczono również odchylenie standardowe (sd) punktów reprezentujących linię elektroenergetyczną. Wynosi ono odpowiednio: $sd=0.174m$ dla zbioru Ω , $sd= 0.182m$ dla zbioru $\Omega1$ oraz $sd= 0.192m$ dla zbioru $\Omega2$.

3. Wnioski

W pracy zaprezentowano wyniki przetwarzania metodą OptD chmury punktów z pomiaru lotniczym skanowaniem laserowym linii elektroenergetycznych. Na podstawie prezentowanego przykładu można stwierdzić, że zmniejszenie liczebności zbioru metodą OptD nie powoduje utraty punktów niezbędnych do prawidłowego wyznaczenia przebiegu linii elektroenergetycznej, a odchylenie standardowe różni się o 0.008m dla zbioru $\Omega1$ oraz o 0.018 dla zbioru $\Omega2$.

Metoda OptD pozwoliła na zredukowanie zbioru ALS, natomiast zachowała punkty charakterystyczne, reprezentujące linie elektroenergetyczne. Takie podejście znacznie usprawnia prace związane z przetwarzaniem chmury punktów ALS.

Literatura

- [1] Błaszczak-Bąk W.: New Optimum Dataset method in LiDAR processing. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*. Vol.13/4(184), 2016, pp. 379-386, DOI: 10.13168/AGG.2016.0020.
- [2] Błaszczak-Bąk W., Sobieraj-Żłobińska A., Kowalik M.: The OptD-multi method in LiDAR processing. *Measurement Science of Technology*, Vol. 8, No. 7, 2017, 075009 (10pp) DOI: <https://doi.org/10.1088/1361-6501/aa7444>.
- [3] Liu H., Yang X.: Software reuse in the emerging cloud computing era. *Hershey, PA: Information Science Reference* 9, 2012, pp. 204-227.
- [4] Gościewski D.: Selection of interpolation parameters depending on the location of measurement points". *GIScience & Remote Sensing*, Vol. 50(5), 2013, pp. 515-526, DOI:10.1080/15481603.2013.827369.
- [5] Bauer-Marschallinger B., Sabel D., Wagner W.: Optimisation of global grids for high-resolution remote sensing data". *Computers & Geosciences*, Vol. 72, 2014, pp. 84-93. DOI: 10.1016/j.cageo.2014.07.005.
- [6] Suchocki C., Katzer J.: An example of harnessing Terrestrial Laser Scanner for remote sensing of saturation of chosen building materials. *Construction & Building Materials*, Volume 122, 30 September 2016, 400-405. ISSN czasopisma :0950-0618, DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.06.091.
- [7] Błaszczak-Bąk W., Janowski A., Kamiński W., Rapiński J.: Optimization algorithm and filtration using the adaptive TIN model at the stage of initial processing of the ALS point cloud. *Canadian Journal of Remote Sensing*, No. 37(6), 2011, pp. 583-589. DOI: 10.5589/m12-001.
- [8] Błaszczak-Bąk W., Janowski A., Kamiński W., Rapiński J.: ALS Data Filtration with Fuzzy Logic. *Journal of Indian Society of Remote Sensing*, No. 39, 2011, pp. 591-597. DOI: 10.1007/s12524-011-0130-2.
- [9] Chen Y.: High performance computing for massive LiDAR data processing with optimized GPU parallel programming". *University of Texas at Dallas. Book. Graduate Program in Geospatial Information Science*. 2012.
- [10] Bakula K.: The role of the reduction of elevation data obtained from airborne laser scanning in the process of flood hazard map creation". *PhD Thesis. Warsaw University of Technology*. 2014.
- [11] Weiber R.: Model and experimente for adaptivecomputer-assisted terrain generalization". *Cartograph and Geographic Information System*. Vol. 19, No. 3, 1992.
- [12] Zhou Q., Chen Y.: Generalization on of DTM for terrain analysis using a compound method. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol. 66, 2011, pp. 38-45.
- [13] Haile A., Rientjes T.: Effects of LiDAR resolution in flood modelling: A model stativity study for the city of Tegucigalpa". *Honduras. ISPRS EG III/3, III/4, V/3 Workshop "Laser scanning 2005"*. 2005.

- [14] Błaszczak-Bąk W., Janicka J., Pająk K., Sobieraj A., 2015: Problem jednoznacznej identyfikacji słupa elektroenergetycznego w procesie inwentaryzacji linii wysokiego napięcia metodą lotniczego skaningu laserowego, *Przegląd Geodezyjny*, 4/2015, pp. 7-10.
- [15] Błaszczak-Bąk W., Janicka J., Sobieraj A., 2015: Zastosowanie lotniczego skaningu laserowego do oceny stanu dróg w planowaniu transportu, *Logistyka*, 2015(4), pp. 2478-2486.
- [16] Douglas D. H.; Peucker T. K.: Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature". *Canadian Cartographer* 10(2), 1973, pp. 112-122.

THE OptD METHOD FOR DATA REDUCTION IN THE DEVELOPMENT OF SURVEYING OF POWER LINES

Summary

Laser scanning is a technology that provides a large amount of measurement data in a relatively short time. It is both a positive and a negative feature of this technology. On the one hand, as a result of scanning, data is obtained that accurately reflects the measured object. On the other hand, it is difficult to process such a large amount of data, and not all of the data from the scanning is necessary to accomplish the selected task. For these reasons, works on developing algorithms to improve data processing are constantly conducted. One of the solution is to reduce the amount of data. The paper presents the results of data reduction from surveying of overhead power lines by means of ALS. The measurements were carried out for inventory purposes. The obtained point cloud was processed using the Optimum Dataset method (OptD). The aim was to check whether the points displaying the power lines will not be lost during the OptD processing.

In the OptD method as the optimization criterion the degree of reduction was assumed. It is percentage of points which should be removed from the original dataset ($p\%$). The research was carried out for two cases: 1) $p\% = 70\%$, (dataset Ω_1) and 2) $p\% = 85\%$ (dataset Ω_2). The obtained results showed that the OptD method does not interfere with the image of power lines. The number of points displaying the lines is sufficient to correctly determine the course of this line.

Keywords: data processing, airborne laser scanning, reduction method

Przesłano do redakcji: 20.12.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.