

GĘSTOŚĆ CHMURY PUNKTÓW POCHODZĄCEJ Z MOBILNEGO SKANOWANIA LASEROWEGO

DENSITY OF POINT CLOUDS IN MOBILE LASER SCANNING

Artur Warchol

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji,
Katedra Geodezji

SŁOWA KLUCZOWE: mobilne skanowanie laserowe, chmura punktów, gęstość

STRESZCZENIE: Dzięki intensywnemu rozwojowi technologia LiDAR (Light Detection And Ranging) jest w ostatnim czasie co raz bardziej popularną metodą pozyskiwania informacji przestrzennej. Rejestrowanie przestrzeni za pomocą skanerów laserowych zamontowanych na mobilnej platformie łączy w sobie szybkość pozyskiwania gęstej chmury punktów z dokładnościami centymetrowymi. Jest to więc bardzo skuteczne rozwiązanie do pozyskiwania informacji o obiektach wydłużonych (liniowych), a także ich otoczeniu. Wynikowa chmura punktów, aby mogła być wykorzystywana do poszczególnych zastosowań, musi spełniać określone parametry, zarówno dokładnościowe jak i jakościowe. Zwykle zamawiający określa wartości parametrów, które w projekcie należy uzyskać. O ile w kwestii parametrów dokładnościowych nie pojawiają się rozbieżności co do metodyki, o tyle w przypadku gęstości chmury punktów sytuacja nie jest jednoznaczna. Ze względu na specyfikę danych MLS (Mobile Laser Scanning), nie można tu zastosować bezpośrednio rozwiązań z ALS (Airborne Laser Scanning). Podawanie również gęstości chmury punktów jako ilorazu liczby punktów przez „płaskie” pole powierzchni powstające z rzutu granicy projektu na płaszczyznę, powoduje mylne wrażenie o gęstości chmury punktów na zeskanowanych obiektach. A właśnie gęstość chmury punktów na obiektach jest kluczowym kryterium w kwestii jej przydatności do dalszego przetwarzania i wykorzystania (np. możliwość rozpoznania obiektów na chmurze).

W niniejszym artykule, na trzech polach testowych, zbadano trzy różne metody obliczania gęstości zbioru danych LiDAR dzieląc liczbę punktów: najpierw przez „płaskie” pole powierzchni, następnie przez „trójwymiarowe”, a kończąc na metodzie voxelowej. Najbardziej wiarygodną wydaje się być metoda voxelowa, która oprócz samych lokalnych wartości gęstości, przedstawia ich przestrzenny rozkład.

1. WPROWADZENIE

Podczas wykonywania projektów za pomocą skanowania laserowego techniką LiDAR, gęstość wynikowej chmury punktów jest niezwykle ważnym parametrem. Decyduje ona o możliwości rozpoznawania poszczególnych obiektów, a także, identyfikacji szczegółów. W sytuacji gdy gęstość jest zbyt mała, dane stają się nieprzydatne do konkretnych zastosowań.

Gęstość wynikowej chmury punktów zbieranej przez naziemny system mobilnego skanowania laserowego w głównej mierze zależy od następujących czynników:

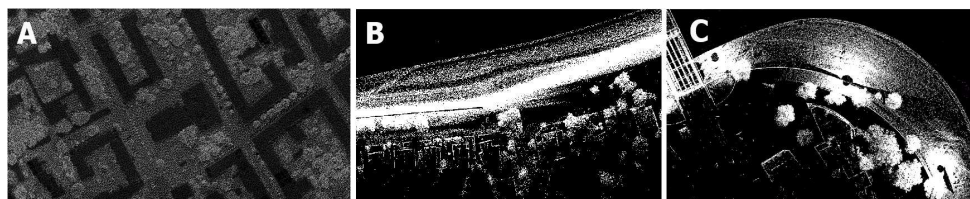
- częstotliwości generowania impulsów,
- częstotliwości generowania linii,
- ustawionej rozdzielczości kątowej wysyłanej wiązki,
- prędkości przejazdu,
- odległości od skanera,
- kąta w stosunku do padającej wiązki lasera.

Potwierdzenie tych założeń znajduje się w literaturze np. (Pu *et al.*, 2011). Część z tych parametrów można zdefiniować przed wykonaniem skanowania np. częstotliwość generowania impulsów i linii czy rozdzielczość kątową. Inne, jak prędkość przejazdu, są wynikiem założeń projektowych (np. nie szybciej niż 20 km/h) oraz bieżącej sytuacji terenowej. W rezultacie prędkość poruszania się platformy skanującej (samochodu) nigdy nie będzie stała podczas całego procesu skanowania. Występujące w trakcie rejestracji trudności powodujące zwolnienie bądź przyspieszenie ruchu platformy będą przekładały się na gęstość zebranej chmury punktów. Pozostałe z wymienionych powyżej parametrów (odległość od skanera i kąt pomiędzy powierzchnią obiektu, a padającą nań wiązką lasera) wynikają bezpośrednio z geometrii skanowanej przestrzeni i operator nie ma wpływu na ich wartości. Szczegółową analizę parametrów geometrycznych wykonywanego skanowania mobilnego oraz ich skutków na wynikowej chmurze punktów możemy znaleźć w pracy (Cahalane *et al.*, 2010)

W systemach skanujących (ALS, TLS - Terrestrial Laser Scanning, MLS) jednym z najważniejszych parametrów determinujących gęstość wynikowej chmury punktów, jest rozdzielczość kątowa. Producent określa minimalną zmianę kątową, jaką jest w stanie zrealizować instrument pomiarowy, natomiast operator zwykle może wybrać wielokrotności tej wartości. Przy skanowaniu lotniczym ALS, wszystkie mierzone obiekty znajdują się w „podobnej” odległości od skanera. Różnice między najkrótszą i najdłuższą odległością od skanera do obiektu, w stosunku do odległości od platformy są nieznaczne. Na przykład: wysokość lotu 800 m nad terenem, a budynki do 30 m wysokości. Składając to z równymi odstępami kątowymi wysyłanej wiązki otrzymujemy punkty chmury w podobnych odległościach od siebie. W przypadku technologii TLS i MLS wpływ ten jest znacznie większy, ponieważ obiekty znajdują się na różnych odległościach (zwykle od 1.5

do kilkudziesięciu albo kilkuset metrów). Przy równej zmianie kątowej obiekty na większych odległościach są przedstawiane przez znacznie mniejszą liczbę punktów niż te, które znajdują się najbliżej skanera. Oprócz gęstości pojawia się więc w literaturze pojęcie równomierności (Pu *et al.*, 2011, Wężyk, 2014). Parametr ten jest definiowany jako stosunek średniej odległości punktów w kierunku przemieszczania się (odstęp pomiędzy sąsiednimi liniami skanowania) do średniej odległości punktów w kierunku poprzecznym do kierunku przemieszczania się (odstęp punktów w linii skanowania). Dogłębną analizę poszczególnych parametrów jakościowych pozwalających ocenić jakość chmury punktów można znaleźć w pracy (Yoo *et al.*, 2010). Szczegółowo opisano w niej m.in. kompletność i gęstość z rozróżnieniem na gęstość lokalną liczoną dla każdego punktu chmury oraz gęstość średnią, a także współczynnik jednorodności/równomierności chmury punktów.

Przykłady chmur punktów z różnych platform, o różnej równomierności przedstawiono na rysunku 1. Wyraźnie widać różnicę między chmurą ze skanowania lotniczego (Rys. 1a) – równomierne rozłożenie punktów na całym obszarze, oraz koncentrację punktów w pobliżu trasy przejazdu systemu skanującego (Rys. 1b) czy też poszczególnych stanowisk (Rys. 1c). Tak więc podczas analiz na chmurach punktów uzyskanych z TLS i MLS gęstość powinna być rozpatrywana łącznie z równomiernością.



Rys. 1. Przykłady chmur punktów z różnych zestawów skanujących: lotniczy (A), mobilny - samochód (B) oraz naziemny - stacjonarny (C)

Dla odbiorcy końcowego, ustawiana przez operatora wartość rozdzielczości kątowej nie jest parametrem intuicyjnym. Z tego też względu producenci często zamieniają ją na konkretny przykład (punkty co ok. 7 mm na 10 metrach odległości).

W przypadku skanowania lotniczego temat gęstości został precyzyjnie omówiony zarówno w literaturze zagranicznej (Naus, 2008), jak i polskiej (Wężyk, 2014, GUGiK 2011a, GUGiK 2011b, GUGiK 2013a, GUGiK 2013b). Metodologia, jest więc znana i nie budzi wątpliwości. Natomiast w przypadku projektów TLS czy MLS takich opracowań nie ma, więc w ramach każdego projektu zamawiający ustala z wykonawcą gęstość pozyskiwanej chmury punktów np. na podstawie informacji producenta (7mm na 10m). Innym rozwiązaniem jest określenie przez zamawiającego celu wykonywanego skanowania (wektoryzacja oznakowania poziomego jezdni, modelowanie ornamentów na kolumnach), do którego wykonawca na podstawie własnego doświadczenia dobiera odpowiednią gęstość chmury do pozyskania. Równie istotnym parametrem co gęstość, jest również średnia odległość pomiędzy punktami chmury. O tym że gęstość jest ważnym i przydatnym parametrem świadczy m.in. publikacja (Pastucha i Słota, 2012). W tej publikacji

wykorzystano lokalne różnice gęstości chmury punktów do wykrywania położenia słupów trakcyjnych.

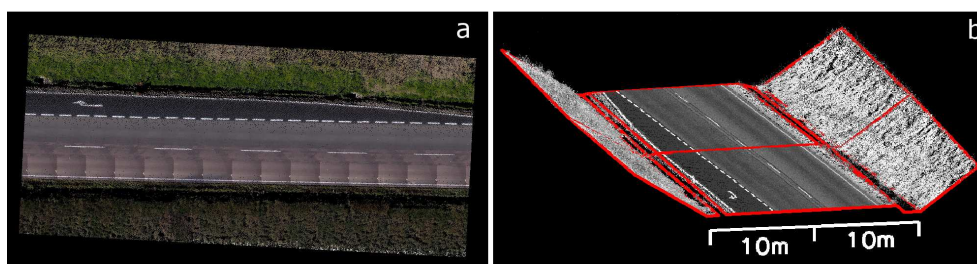
2. DANE ŹRÓDŁOWE I OBSZAR BADAŃ

Badania przeprowadzono na trzech polach testowych (A, B, C) różniących się od siebie rozkładem punktów w chmurze. Podstawowe dane charakteryzujące pola testowe zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Podstawowe informacje o polach testowych, na których badano gęstość chmury punktów

Oznaczenie	Pola testowe		
	A – droga	B – mieszane	C - budynek
Obszar [m ²]	2513.1	464.82	989.3
Liczba punktów	834833	1807989	7766535
System skanujący	Riegl VMZ-2000	Riegl VMX-250	Riegl VMX-250
Lokalizacja	okolice Horn (Austria)	Kraków – wały nad Wisłą	Wenecja, Włochy

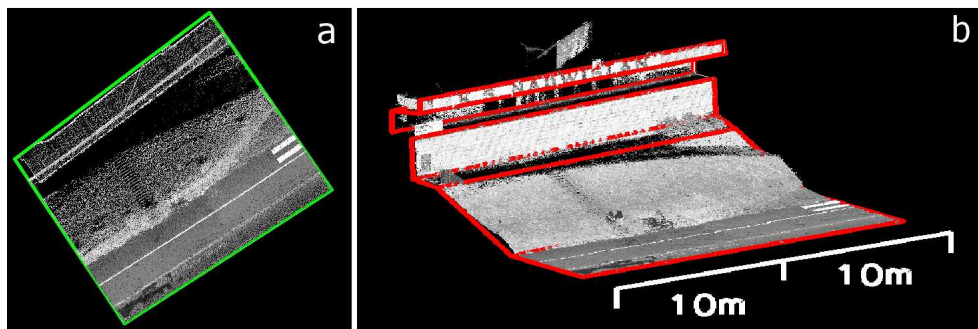
Dla lepszego zobrazowania zróżnicowania chmur punktów na poszczególnych polach testowych zaprezentowano je na rysunkach 2 do 4. Na rysunku 2 przedstawiono pole testowe A (droga): po lewej stronie (rys. 2a) w widoku z góry – chmura punktów kolorowana po wartościach RGB, a po stronie prawej (rys. 2b) chmura punktów w widoku izometrycznym kolorowana według wartości współczynnika intensywności odbicia. Geometria chmury punktów w ramach tego pola testowego nie jest skomplikowana – trzy pasy drogi asfaltowej w wykopie, skarpy porośnięte niską trawą.



Rys. 2. Pole testowe A – droga: po lewej (a) widok z góry, chmura punktów kolorowana po wartościach RGB, po prawej stronie (b) – widok izometryczny, chmura punktów kolorowana po wartościach współczynnika intensywności odbicia, linie w kolorze czerwonym reprezentują powierzchnię wykorzystywaną do obliczenia gęstości

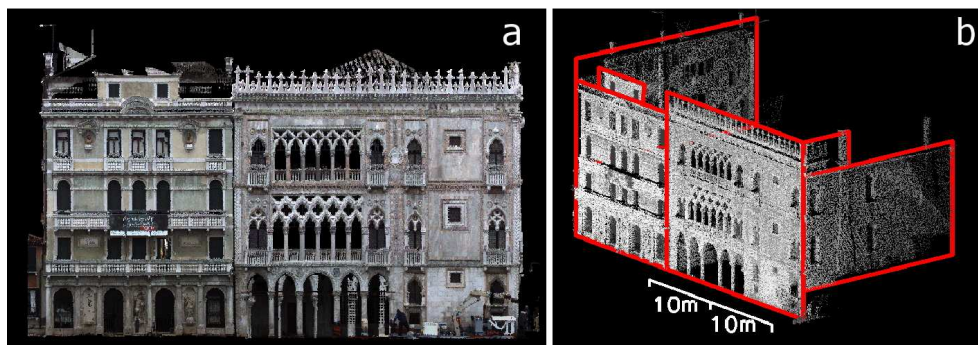
Na rysunku 3 zaprezentowano pole testowe B (mieszane): po lewej stronie (rys. 3a) w widoku z góry, natomiast po stronie prawej (rys. 3b) w widoku izometrycznym. W obu

przypadkach zbiory punktów kolorowane wg wartości współczynnika intensywności odbicia. Pole testowe B to fragment umocnionego wału nad rzeką Wisłą w Krakowie. Na koronie wału ziemnego znajduje się wysoki na ok. 3 m mur, za którym wzniesiony został budynek klubu sportowego „Nadwiślan”.



Rys. 3. Pole testowe B – mieszane: po lewej stronie (a) widok z góry, po stronie prawej (b) widok izometryczny, w obu przypadkach chmura punktów kolorowana po wartościach współczynnika intensywności odbicia, linia zielona wskazuje zasięg pola testowego, natomiast, linie w kolorze czerwonym reprezentują powierzchnię wykorzystywaną do obliczenia gęstości

Trzecie pole testowe (C) to zewnętrzne ściany pałacu Ca' d'Oro w Wenecji, w którego wnętrzach ma obecnie siedzibę muzeum Galleria Giorgio Franchetti. Kilkukondygnacyjny pałac wraz z sąsiednim budynkiem położone są nad Canal Grande, a zostały przedstawione na rysunku 4. Po stronie lewej (rys. 4a) widok ścian frontowych od strony kanału (chmura punktów kolorowana wg wartości RGB), natomiast po stronie prawej (rys. 4b) widok izometryczny chmury punktów kolorowanej wg wartości współczynnika intensywności odbicia.

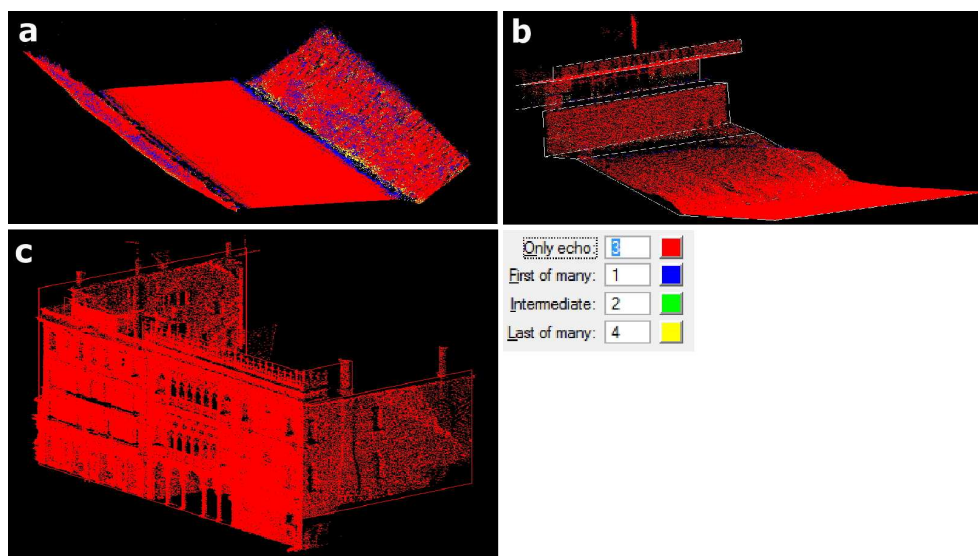


Rys. 4. Pole testowe C – budynek, pałac Ca' d'Oro w Wenecji, po stronie lewej (a) ściana frontowa, chmura punktów kolorowana po wartościach RGB, po stronie prawej (b) – widok izometryczny, chmura punktów kolorowana po wartościach współczynnika intensywności odbicia, linie w kolorze czerwonym reprezentują powierzchnię wykorzystywaną do obliczenia gęstości

Osobnym zagadnieniem jest dobór punktów branych pod uwagę do obliczeń gęstości. W projektach ALS w ogólności, mając na uwadze aspekt kontrolny obliczeń gęstości zdecydowano się na wykorzystywanie jedynie punktów pochodzących z jedyne oraz ostatniego odbicia (ang. *Only + Last Echo*) (Wężyk, 2014, GUGiK 2011a, GUGiK 2011b, GUGiK 2013a, GUGiK 2013b). W przypadku wskaźnika gęstości chmury punktów z MLS, rozsądnym wydaje się branie pod uwagę wszystkich odbić impulsów laserowych. Dodatkowym argumentem na poparcie tej tezy jest procentowy udział poszczególnych „ech” wśród wszystkich punktów danej chmury, który przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Procentowy udział poszczególnych odbić w projektach ALS i MLS

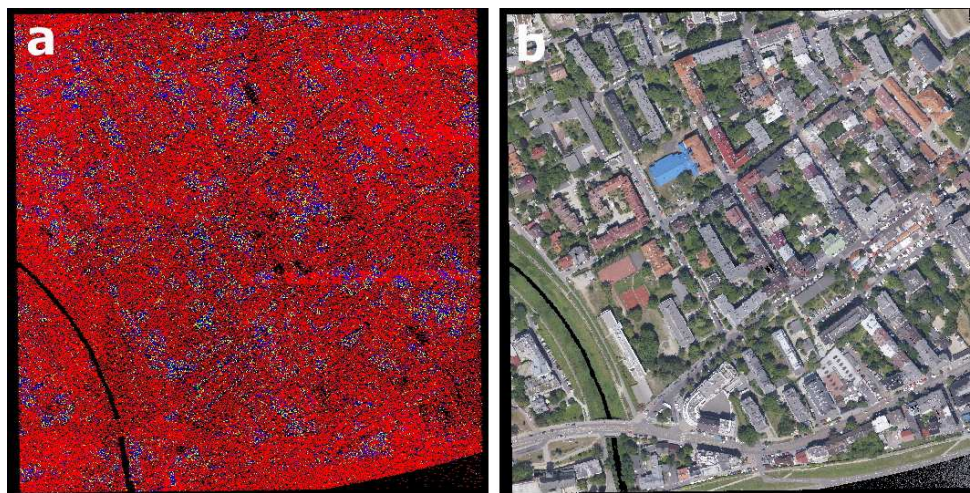
Odbicia	ALS [%]	MLS – A [%]	MLS – B [%]	MLS – C [%]
Jedynie	76.4	95.8	99.4	100.0
Pierwsze	12.0	2.3	0.3	-
Pośrednie	1.8	0.0	0.0	-
Ostatnie	9.8	2.0	0.3	-



Rys. 5. Przestrzenny rozkład punktów pochodzących z poszczególnych odbić (kolor czerwony - jedyne odbicie, niebieski - pierwsze z wielu, żółty - ostatnie z wielu, zielony – odbicia pośrednie) na polach testowych A (a), B (b) oraz C (c) – chmura punktów MLS

Przestrzenny rozkład zobrazowano dla poszczególnych pól testowych na rysunku 5. Kolorem czerwonym oznaczono punkty pochodzące z jedyne odbicia. W kolorze niebieskim przedstawiono pierwsze z wielu odbić, w żółtym ostatnie z wielu, natomiast

pośrednie za pomocą koloru zielonego. Dla porównania zarówno w tabeli 2, jak i na rysunku 6, zaprezentowano odpowiednio wartości oraz przestrzenny rozkład poszczególnych ech dla chmury punktów pochodzącej ze skanowania lotniczego. Wyraźnie widać (tabela 2), iż w projektach MLS procentowy udział „wielu odbić” jest zdecydowanie mniejszy niż w projektach ALS. W poniższych badaniach wykorzystano wszystkie odbicia chmury punktów MLS.



Rys. 6. Przestrzenny rozkład punktów pochodzących z poszczególnych odbić (kolor czerwony - jedyne odbicie, niebieski - pierwsze z wielu, żółty - ostatnie z wielu, zielony – odbicia pośrednie) po stronie lewej (a) oraz chmura punktów kolorowana po wartościach RGB (prawa strona - b) – projekt ALS

3. METODYKA BADAŃ

W celu wyłonienia najbardziej obiektywnej metody obliczenia i przedstawienia gęstości chmury punktów sprawdzono trzy metody.

Metoda 1.

Pierwsza metoda, najbardziej intuicyjna, polegała na obliczeniu ilorazu liczby wszystkich punktów chmury przez rzutowane na płaszczyznę poziomą pole powierzchni badanego obszaru. „Płaskie” pole powierzchni przedstawiono na rysunku 7 przy pomocy koloru żółtego i oznaczono jako P1. Metoda taka jest również wykorzystywana w pracy (Pastucha i Słota, 2012).

Metoda 2.

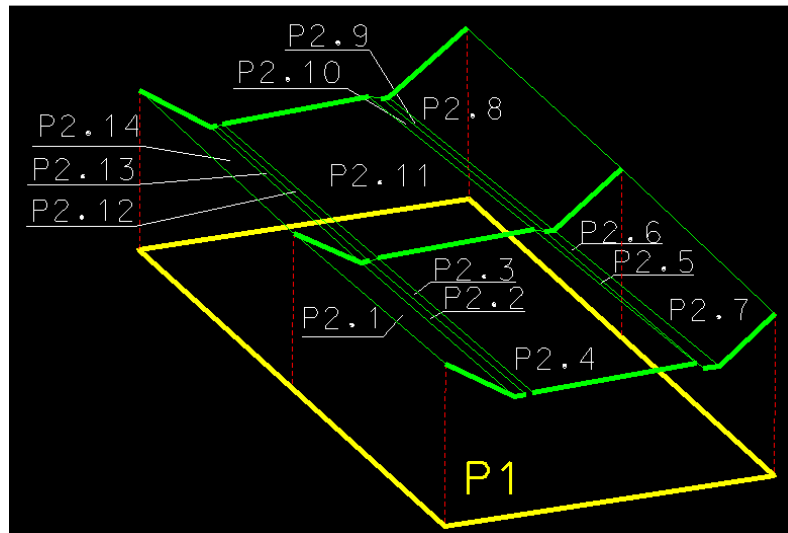
Metoda druga polegała na podzieleniu liczby wszystkich punktów zbioru przez „trójwymiarowe” pole powierzchni. Jest to więc suma pól oznaczonych na rysunku

7numerami od P2.1 do P2.14, oraz obrysowanych w kolorze zielonym. Jak można przypuszczać suma pól P2.1 do P2.14 będzie większa niż ich rzut na płaszczyznę, czyli P1.

Obrysy obszarów zliczanych do pola powierzchni dla tej metody, w odniesieniu do wybranych pól testowych, zaznaczono w kolorze czerwonym na rysunkach 2, 3 i 4.

Metoda 3.

Metoda trzecia, czyli podejście voxelowe, polegała na podziale chmury punktów na sześciany o objętości 1 m^3 . Narożniki poszczególnych voxelów przyjmowały wartości „pełnych” metrów w zakresie od minimum do maksimum po każdej ze współrzędnych. Następnie dla każdego voxelu zliczano liczbę punktów znajdujących się w jego wnętrzu i dzielono przez jego objętość, czyli przez 1 m^3 . Otrzymane w tej metodzie wyniki przedstawiono dla każdego z pól testowych w postaci histogramu (Rys. 9).



Rys. 7. Prezentacja sposobów obliczania pola powierzchni dla metody 1 i 2, na przykładzie pola testowego A, w kolorze żółtym zaznaczono zrzutowane na płaszczyznę poziomą pole powierzchni badanego obszaru (metoda 1), natomiast w kolorze zielonym „trójwymiarowe” pole powierzchni, czyli sumę pól oznaczonych numerami od P2.1 do P2.14

Oprócz wartości wskaźnika gęstości dla każdego pola testowego A, B, C obliczono średnią odległość pomiędzy punktami chmury (SR – ang. *spatial resolution*). W tym celu skorzystano ze wzoru (1), zaproponowanego w pracy (Boulaassal *et al.*, 2011).

$$SR = \frac{1}{\sqrt{\text{density}}} \quad (1)$$

gdzie:

density – gęstość chmury punktów w pkt/m^2

Wzór ten w oryginalnej postaci wykorzystano do obliczeń w metodzie 1 i 2, natomiast dla metody 3, ze względu na zmianę wymiaru dzielnika zmodyfikowano go do postaci (2).

$$SR = \frac{1}{\sqrt[3]{density}} \quad (2)$$

gdzie:

density – gęstość chmury punktów w pkt/m³

4. WYNIKI

Po wykonaniu analiz wszystkimi trzema metodami dla trzech pól testowych uzyskane wyniki zestawiono w tabeli 3.

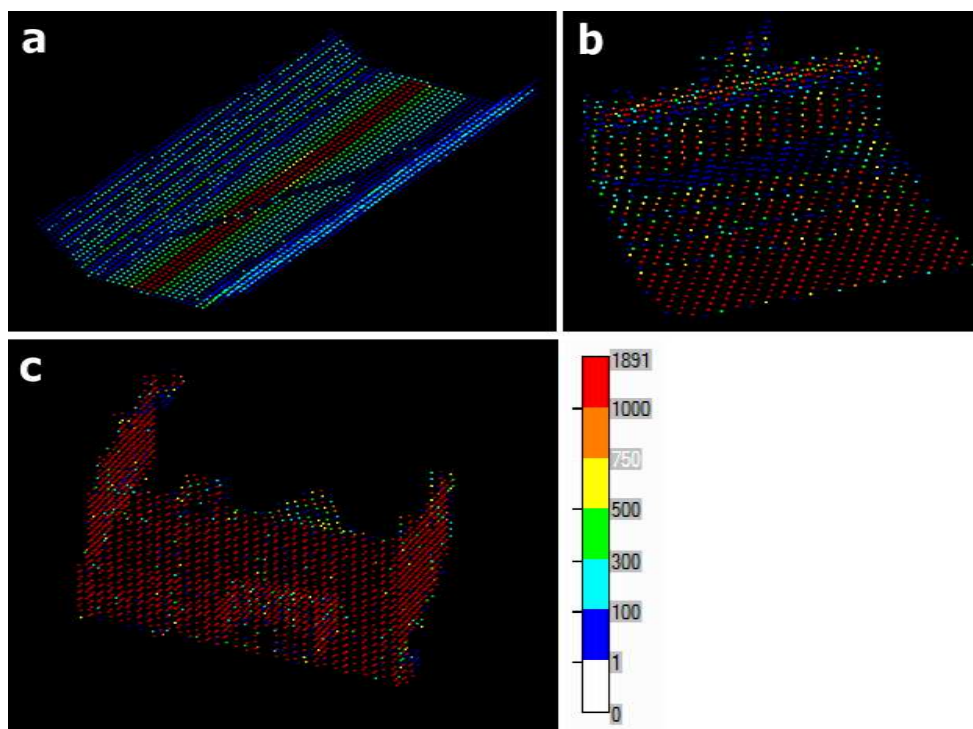
Tabela 3. Zestawienie wyników gęstości i *SR* dla metod 1, 2 i 3 oraz pól testowych A, B i C

Pole A	Liczba punktów	Dzielnik (pole powierzchni lub objętość)	Gęstość	<i>SR</i>
Metoda 1.	834833 pkt	2513.1 m ²	332 pkt/m ²	0.055 m
Metoda 2.	834833 pkt	2735.28 m ²	305 pkt/m ²	0.057 m
Metoda 3.	834833 pkt	-	od 1 pkt/m ³	od 1.000 m
			do 1891 pkt/m ³	do 0.081 m
Pole B				
Metoda 1.	1807989 pkt	464.82 m ²	3889 pkt/m ²	0.016m
Metoda 2.	1807989 pkt	624.98 m ²	2893 pkt/m ²	0.019m
Metoda 3.	1807989 pkt	-	od 1 pkt/m ³	1.000 m
			do 9375 pkt/m ³	0.047m
Pole C				
Metoda 1.	7766535 pkt	989.3 m ²	7851 pkt/m ²	0.011m
Metoda 2.	7766535 pkt	1243.99 m ²	6243 pkt/m ²	0.013m
Metoda 3.	7766535 pkt	-	od 1 pkt/m ³	1.000 m
			do 16342 pkt/m ³	0.039m

Jak można było przypuszczać pole powierzchni liczone w metodzie 2 było zawsze większe niż pole powierzchni liczone w metodzie 1. Przy tej samej liczbie punktów gęstość w metodzie 2 na każdym z pól testowych była co do wartości mniejsza niż w metodzie 1. Lokalne wartości gęstości obliczone w metodzie 3 są zdecydowanie wyższe niż wartości średnie dla całego obszaru wykazane w metodach 1 i 2. Zwykle są one lokalnie 2.5 krotnie wyższe, a czasami nawet 6-cio krotnie.

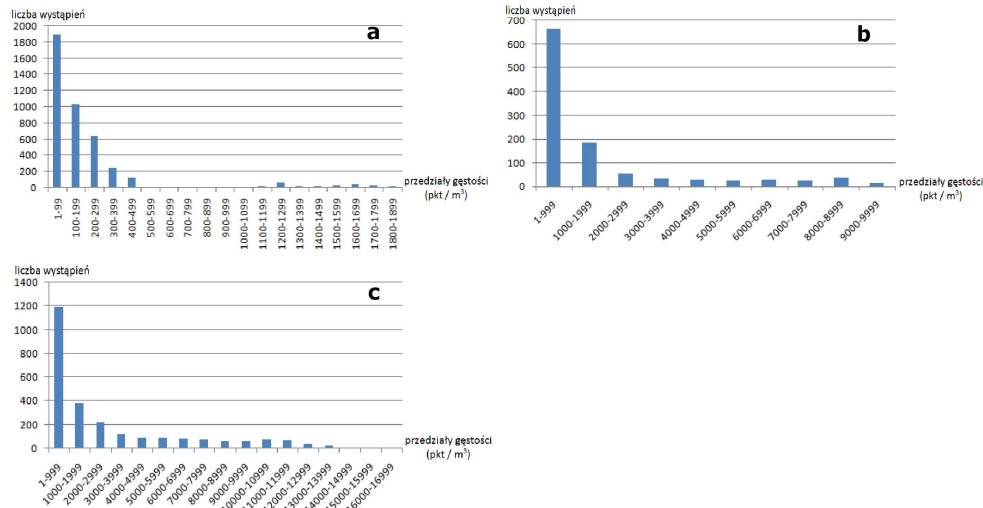
Średnia odległość między punktami chmury (SR) w przypadku metod 1 i 2 przyjmuje wartości zbliżone, natomiast w metodzie 3 są one bardziej zróżnicowane. W obszarach o niższej gęstości punkty są od siebie bardziej oddalone, natomiast w miejscach o wyższej gęstości znajdują się bliżej siebie. Obliczone wartości są jednak i tak wyższe od obliczonych w metodzie 1 i 2. Wydaje się więc że wzór (2) przeszacowuje wartości SR , sztucznie rozrzucając punkty w przestrzeń 3D, w przypadku gdy reprezentują one płaszczyznę. Najbliższą prawdy będzie więc przy w przypadku wskaźnika SR dla metody 2.

W celu lepszego zobrazowania przestrzennego rozkładu gęstości, wyniki z metody 3 dla wszystkich pól testowych (A, B, C) przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Przestrzenne zobrazowanie rozkładu gęstości z metody 3 dla pól testowych A (a), B (b) oraz C (c), jednakowa dla wszystkich pól skala wyraża liczbę punktów na m^3

Dodatkowo wyniki dla metody 3 przedstawiono również w postaci histogramów (Rys. 9), które wykonano dla każdego pola testowego (A-a, B-b, C-c) po usunięciu voxelu o zerowej liczbie punktów chmury.



Rys. 9. Histogramy dla metody 3: pole testowe A (a), B (b) oraz C (c), na osi poziomej przedziały gęstości (liczba punktów na m^3), natomiast na osi pionowej liczba wystąpień

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Gęstość chmury punktów jest ważnym wskaźnikiem, który pozwala zweryfikować przydatność konkretnego zbioru danych do wybranych zastosowań. Ze względu na duże różnice w otrzymywanych wartościach używanie pojedynczej wartości (średniej – metoda 1 oraz 2) dla chmur punktów pochodzących ze skanowania naziemnego (TLS) bądź mobilnego (MLS) stwarza mylne wrażenie co do gęstości chmury punktów. Przekłada się to również na zafałszowaną średnią odległość pomiędzy punktami chmury. Zdecydowanie bardziej obiektywna jest metoda 3, która wykorzystując podejście voxelowe podaje lokalne wartości gęstości, dodatkowo łączy w sobie informację o gęstości i równomierności. Metoda 3 może też być stosowana do przybliżonego/zgrubnego modelowania, upraszczania chmury czy też zmniejszania jej rozmiaru na dysku. Do obliczania średniej odległości pomiędzy punktami chmury najlepsza wydaje się metoda 2, która odnosi liczbę punktów chmury do kształtu analizowanego obiektu.

LITERATURA

Boulaassal H., Landes T., Grussenmeyer P., 2011. Reconstruction of 3D vector models of buildings by combination of ALS, TLS and VLS data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVIII-5/W16, 2011, ISPRS Trento 2011 Workshop, 2-4 March 2011, Trento, Italy <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XXXVIII-5-W16/239/2011/isprsarchives-XXXVIII-5-W16-239-2011.pdf>, dostęp 11.10.2015.

Cahalane C., McCarthy T., McElhinney C.P., 2010. Mobile mapping system performance - An initial investigation into the effect of vehiclespeed on laser scan lines. Remote Sensing & Photogrammetry Society Annual Conference - From the sea-bed to the cloud tops, Cork, Ireland, 2010.

GUGiK, 2011a. Warunki techniczne na wykonanie lotniczego skaningu laserowego (LiDAR) oraz opracowanie produktów pochodnych. Załącznik nr 1 do SIWZ – Warunki techniczne.

GUGiK, 2011b. Warunki techniczne na realizację usługi polegającej na wykonaniu zadań wsparcia i zadań kontroli dotyczących zamówień realizowanych przez Wykonawców ISOK w ramach zamówienia „Usługa weryfikacji danych i koordynacji działań w ramach projektu ISOK”. Załącznik nr 1 do SIWZ– Warunki techniczne INiK.

GUGiK, 2013a. Warunki techniczne na pozyskanie danych wysokościowych w technologii LiDAR oraz opracowanie produktów pochodnych. Załącznik nr 1 do SIWZ – Szczegółowy Opis Przedmiotu Zamówienia wraz z załącznikami – Warunki techniczne.

GUGiK, 2013b. Warunki techniczne na realizację usługi weryfikacji danych w ramach projektu ISOK– INiK3. Załącznik nr 1 do SIWZ – Szczegółowy Opis Przedmiotu Zamówienia – WT INiK3.

Naus T., 2008. Unbiased LiDAR Data Measurement. Portland http://www.asprs.org/a/society/committees/lidar/Unbiased_measurement.pdf. dostęp 11.10.2015.

Pastucha E., Słota M., 2012. Opracowanie i ocena skuteczności działania algorytmu segmentacji słupów trakcyjnych pomierzonych techniką mobilnego skaningu laserowego. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 24, s. 267-278.

Pu S., Rutzinger M., Vosselman G., OudeElberink S., 2011. Recognizing basic structures from mobile laser scanning data for road inventory studies. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66 (6 SUPPL.), s. S28-S39.

Wężyk P. (Ed.), 2014. *Podręcznik dla uczestników szkoleń z wykorzystania produktów LiDAR*. Warszawa.

Yoo H.J., Goulette F., Senpauroca, J., Lepere G., 2010. Analysis and improvement of laser terrestrial mobile mapping systems configurations. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVIII, part 5, s. 633-638.

DENSITY OF POINT CLOUDS IN MLS PROJECTS

KEY WORDS: mobile laser scanning, point clouds, density

Summary

The LiDAR (Light Detection And Ranging) technology is becoming a more and more popular method to collect spatial information. The acquisition of 3D data by means of one or several laser scanners mounted on a mobile platform (car) could quickly provide large volumes of dense data with centimeter-level accuracy. This is, therefore, the ideal solution to obtain information about objects with elongated shapes (corridors), and their surroundings. Point clouds used by specific applications must fulfill certain quality criteria, such as quantitative and qualitative indicators (i.e. precision, accuracy, density, completeness). Usually, the client fixes some parameter values that must be achieved. In terms of the precision, this parameter is well described, whereas in the case of density point clouds the discussion is still open. Due to the specificities of the MLS (Mobile Laser Scanning), the solution from ALS (Airborne Laser Scanning) cannot be directly applied. Hence, the density of the final point clouds, calculated as the number of points divided by "flat" surface area, is inappropriate. We present in this article three different ways of determining and interpreting point cloud density on three different test fields. The first method divides the number of points by the "flat" area, the second by the "three-dimensional" area, and the last one refers to a voxel approach. The most reliable method seems to be the voxel method, which in addition to the local density values also presents their spatial distribution.

Dane autora:

dr inż. Artur Warchoł
e-mail: awarchol@ar.krakow.pl
telefon: 12 662 45 18

Przesłano 15.10.2015
Zaakceptowano 26.12.2015