

**ANALIZA DOKŁADNOŚCI PRZESTRZENNEJ DANYCH
Z LOTNICZEGO, NAZIEMNEGO I MOBILNEGO SKANINGU
LASEROWEGO JAKO WSTĘP DO ICH INTEGRACJI**

**ANALYSIS OF ACCURACY AIRBORNE, TERRESTRIAL AND MOBILE
LASER SCANNING DATA AS AN INTRODUCTION TO THEIR
INTEGRATION**

Artur Warchol

Katedra Geodezji, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: lotniczy skaning laserowy, naziemny skaning laserowy, mobilny skaning laserowy, integracja, dokładność

STRESZCZENIE: Poniższy artykuł przedstawia analizę dokładnościową trzech chmur punktów (dane lotnicze, naziemne i mobilne) pozyskanych dla tego samego obszaru. Badania przeprowadzono osobno dla współrzędnych (X,Y) – badając położenie załamów ścian budynków oraz osobno dla współrzędnej (Z) - porównując modele zbudowane na każdej z chmur. Jako pomiar referencyjny dla obu analiz (X,Y oraz Z) przyjęto wyniki z pomiaru tachimetrycznego.

1. WSTĘP

Technika rejestracji otaczającej nas przestrzeni poprzez skaning laserowy jest coraz łatwiej dostępna i częściej wykorzystywana. Do jej niewątpliwych zalet można zaliczyć np. szybkość oraz ilość pozyskiwanych danych. Pomimo wielu dostępnych rozwiązań technologicznych, wybór platformy (położenia skanera względem skanowanych obiektów), z racji geometrii układu skaner – obiekt wprowadza pewne ograniczenia np. skanowanie z pułapu lotniczego, w zadanym przedziale czasu, zwiększa powierzchnię skanowanego obszaru, ale zmniejsza dokładność opracowania oraz odwzorowanie powierzchni pionowych. Skaning naziemny jest bardzo precyzyjny i gęsty, ale nie jest w stanie (z poziomu gruntu) pozyskać informacji np. o kształcie dachu, a dla większych obszarów jest bardzo czasochłonny. Rejestracja z poziomu platformy mobilnej (samochód) zwiększa tempo pozyskiwania danych ale nie eliminuje pozostałych ograniczeń skaningu naziemnego. Dlatego też logicznym wydaje się integrowanie danych z różnych sensorów pomiarowych. Integracja chmur punktów z danymi obrazowymi była przedmiotem badań bardzo wielu naukowców oraz niezliczonej liczby publikacji. Znacznie rzadziej spotykanym tematem jest integracja chmur punktów pochodzących z różnych sensorów skanujących. O ile można jeszcze spotkać badania nad integracją dwóch chmur punktów: ALS (*Airborne Laser Scanning*) z TLS (*Terrestrial Laser Scanning*): (von Hansen *et al.*, 2008), (Ruiz *et al.*, 2004), (Fryškowska, Kędziński, 2010) (Miller P. E., 2008) lub

MLS (*Mobile Laser Scanning*) z ALS: (Rutzinger *et al.*, 2009) czy też MLS z TLS: (Baz I., *et al.*, 2008), o tyle ciężko jest znaleźć publikacje na temat integracji trzech chmur punktów. Poniższa analiza ma stanowić przyczynek do integracji lotniczego, naziemnego i mobilnego skaningu laserowego przy wykorzystaniu zalet każdej z platform.

2. OBSZAR BADAŃ I DANE

Obszar badań obejmował dwukilometrowy fragment rzeki Wisły w Krakowie, pomiędzy mostem Grunwaldzkim, poprzez zakole Wisły pod Wawelem, aż do ujścia rzeki Rudawy. Całość terenu pokryto danymi z trzech projektów: lotniczego (ALS), naziemnego (TLS) i mobilnego (MLS). Każdy z projektów wykonywany był w innym czasie, co stanowiło dodatkowe utrudnienie podczas dalszych analiz. Zakres obszaru przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Obszar badań

2.1. Dane ALS

Dane z pułapu lotniczego otrzymano z Biura Planowania Przestrzennego Urzędu Miasta Krakowa, które w roku 2006 zamówiło nalot dla obszaru całego miasta Krakowa. Chmurę punktów pozyskano przy użyciu systemu FLI-MAP 400, przy średniej wysokości lotu ok. 350 m, co przełożyło się na gęstość chmury pomiędzy 11, a 30 pkt/m². Współrzędne X,Y obliczono w Lokalnym Układzie Krakowskim (LUK) a współrzędną Z w układzie Amsterdam. Każdemu punktowi nadano również wartości RGB z wykonanych podczas nalotu zdjęć. Całość zapisano w postaci pliku ASCII (X Y Z R G B), którego fragment zamieszczono na rysunku 2.

```
-295201.470 31005.240 199.100 20 33 29
-295201.280 31004.430 198.890 21 30 29
-295200.720 31003.910 199.030 34 46 38
-295200.220 31004.010 198.990 34 44 38
-295200.160 31005.360 199.070 45 59 44
-295200.840 31005.510 199.140 21 34 30
-295200.690 31004.010 198.960 21 32 30
-295200.560 31003.570 198.950 22 30 27
```

Rys. 2. Fragment pliku z danymi ALS – kolumny X Y Z R G B

2.2. Dane TLS

Chmurę do zbioru „naziemnego” zarejestrowano przy użyciu impulsowego skanera laserowego firmy Riegl VZ-400 wraz z skalibrowanym aparatem fotograficznym Nikon D700. Cały obszar badań zeskanowano w dwóch sesjach pomiarowych (czerwiec i październik 2010), na które składało się 31 stanowisk skanera. Zamontowany na skanerze aparat wykorzystano m.in. do kolorowania chmury punktów oraz „czyszczenia” skanów. Położenie poszczególnych stanowisk skanera zamierzono tachimetrycznie na osnowę w układzie „2000”, a następnie wszystkie stanowiska złożono w jedną chmurę przy użyciu algorytmu ICP, zaimplementowanego w oprogramowaniu RiSCAN PRO. Całość projektu została złożona z błędem nieprzekraczającym 0.006 m dla sąsiednich stanowisk.

2.3. Dane MLS

Pomiar zestawem mobilnym firmy RIEGL VMX-250 przeprowadzono w czerwcu 2011r. pozyskując ok.300 mln punktów na odcinku 2km. Chmurę zarejestrowano bezpośrednio w układzie „2000”, dzięki czemu nie wymagała żadnych transformacji.

3. METODYKA BADAŃ

Aby można było porównać położenie przestrzenne chmur należało doprowadzić wszystkie zbiory do jednego układu współrzędnych. Zdecydowano się na obecnie obowiązujący układ „2000”, gdyż przeliczeniu podlegałaby wówczas tylko chmura ALS. Współrzędne X,Y poddano transformacji konforemnej II stopnia zgodnie z (Banasik, 2010), natomiast współrzędne Z przeliczono z układu Amsterdam do Kronsztadt 86 zgodnie ze wskazaniami (Serwis dla geodety UMK).

Do poniższych analiz wybrano fasady 6-ciu budynków, mur oporowy oraz 3 fragmenty asfaltowych alejek, które udało się zarejestrować we wszystkich trzech projektach. Jako dane referencyjne wykorzystano pomiary powyższych obiektów wykonane za pomocą tachimetru bezlusterowego. Analizę przeprowadzono niezależnie dla współrzędnych (X,Y) oraz (Z).

Dokładność XY

Z każdego zbioru punktów wyodrębniono fragmenty chmur które reprezentowały ściany wybranych budynków. Na ich podstawie zwektoryzowano załamania ścian, a następnie porównano położenie odpowiadających sobie wierzchołków.

Dokładność Z

Sprawdzono porównując wysokości punktów zlokalizowanych na asfaltowych alejkach i pomierzonych tachimetrem do modelu generowanego z kolejnych chmur (TLS, ALS, MLS).

4. WYNIKI

Poniżej zamieszczono tabelę 1 z zestawieniem różnic dx i dy z rozbiem na poszczególne obiekty (budynek, mur) oraz tabelę 2 z wartościami minimalnymi, maksymalnymi, średnimi, a także odchyleniem standardowym dla poszczególnych par tachimetr – chmura.

Tabela 1. Zestawienie różnic dx, dy dla poszczególnych chmur z rozbiem na obiekty

	tach-tls		tach-als		tach-mls	
	dx	dy	dx	dy	dx	dy
bud 1	-0.03	-0.01	-0.08	0.25	-1.76	-0.88
	-0.04	-0.03	-0.13	0.42	-1.77	-0.87
	-0.02	0.00	-0.05	0.44	-1.75	-0.85
	-0.02	-0.02	-0.11	0.35	-1.77	-0.87
	-0.02	0.02	-0.10	0.36	-1.74	-0.84
	-0.04	-0.03	-0.18	-0.18	-1.77	-0.87
bud 2	-0.23	-0.01	0.07	-0.27	-1.70	-0.88
	-0.02	-0.02	-0.07	0.20	-1.74	-0.87
	-0.03	-0.04	-0.25	-0.35	-1.77	-0.88
	0.00	0.00	-0.07	-0.07	-1.71	-0.85
	-0.01	-0.02	-0.26	-0.26	-1.75	-0.87
	-0.15	0.04	0.05	-0.12	-1.73	-0.81
bud3	-0.02	0.01	-0.04	0.31	-1.75	-0.83
	-0.01	-0.05	-0.12	0.12	-1.73	-0.88
	0.11	0.09	0.78	0.60	-1.63	-0.76
mur	0.04	0.10	-0.20	0.43	-1.59	-0.74
	0.09	0.12	-0.15	0.53	-1.56	-0.73
	0.09	0.10	0.44	-0.07	-1.61	-0.74
	0.04	0.11	-0.10	0.38	-1.56	-0.80
	0.07	-0.01	0.09	-0.25	-1.59	-0.95
bud 4	0.05	0.02	0.03	-0.26	-1.67	-0.89
	0.07	0.18	0.01	0.07	-1.66	-0.71
bud 5	0.08	0.03	0.16	-0.42	-1.65	-0.85
	0.11	0.06	0.19	-0.26	-1.62	-0.83
bud 6	0.06	0.02	0.11	-0.31	-1.67	-0.86
	0.02	0.01	0.92	-0.33	-1.68	-0.88

Tabela 2. Zestawienie statystyk dla różnic dx, dy

	tach-tls		tach-als		tach-mls	
	dx	dy	dx	dy	dx	dy
wartość minimalna	-0.23	-0.05	-0.26	-0.42	-1.77	-0.95
wartość maksymalna	0.11	0.18	0.92	0.60	-1.56	-0.71
wartość średnia	0.01	0.03	0.04	0.05	-1.69	-0.84
odchylenie standardowe	0.08	0.06	0.28	0.33	0.07	0.06

W tabeli 3 znajdują się statystyki dla różnic dz dla pól testowych P1, P2 oraz P3. Dla pola testowego P3 podano również w dodatkowej kolumnie (tach-mls_p) statystyki dla chmury MLS „poprawionej” – skorygowanej po współrzędnych X,Y o wartość średnią wg tabeli 2.

Tabela 3. Zestawienie statystyk dla różnic dz dla pól testowych P1, P2 oraz P3

		tach-tls	tach-als	tach-mls	
P1	wartość średnia	-0.193	-0.078	-0.986	
	wartość minimalna	-0.220	-0.114	-1.020	
	wartość maksymalna	-0.068	-0.053	-0.950	
	RMS	0.198	0.079	0.986	
	odchylenie standardowe	0.044	0.015	0.017	
P2	wartość średnia	-0.067	0.046	-0.997	
	wartość minimalna	-0.083	0.014	-1.040	
	wartość maksymalna	-0.033	0.081	-0.948	
	RMS	0.068	0.049	0.997	
	odchylenie standardowe	0.010	0.017	0.023	tach-mls_p
P3	wartość średnia	-0.125	0.042	-1.119	-0.989
	wartość minimalna	-0.174	-0.014	-1.464	-1.011
	wartość maksymalna	-0.056	0.146	-0.999	-0.900
	RMS	0.129	0.058	1.129	0.989
	odchylenie standardowe	0.030	0.041	0.147	0.024

5. PODSUMOWANIE

Jak można zauważyć dane TLS i ALS charakteryzują się bardzo małym błędem systematycznym na współrzędnych X i Y, a ich odchylenia standardowe są zgodne z literaturą. Natomiast chmura MLS obarczona jest znacznym błędem systematycznym zarówno po współrzędnych X, Y jak i po Z. Skorygowanie pola testowego P3 po współrzędnych X i Y poprawia znacząco wyniki dz dla chmury MLS (tabela 3, kolumny tach-mls i tach-mls_p). Dane MLS są obarczone znacznym błędem systematycznym, przy zachowaniu ich wewnętrznej zgodności geometrycznej. Usunięcie składowej systematycznej znacząco poprawia wynik, a jej wysoka wartość jest najprawdopodobniej spowodowana brakiem nawiązania pomiaru MLS do osnowy państwowej oraz nieużyciem podczas procesu wyrównania terenowych punktów kontrolnych zmierzonych w układzie „2000”.

6. LITERATURA

Banasik P., 2010. Pobrano z lokalizacji Serwis dla geodety UMK:
http://www.geodezja.krakow.pl/transformacja/Opracowanie_parametrow_transformacji_ma_p_wektorowych_i_rastrowych_z_Ukladu_Lokalnego_krakowskiego.pdf

Baz I., Kersten Th., Büyüksalih G., Jacobsen K. 2008, Documentation of Istanbul historic peninsula by static and mobile terrestrial laser scanning, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Beijing, Vol. XXXVII. Part B5.

Fryśkowska A., Kędziński M., 2010. Wybrane aspekty integracji danych naziemnego i lotniczego skaningu laserowego. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 21, s. 97-107.

von Hansen W., Gross H., Thoennessen U., 2008, Line-based registration of terrestrial and airborne lidar data, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Beijing, Vol. XXXVII. Part B3a.

Miller P. E., 2008, A robust surface matching technique for dem integration in the context of coastal geohazard monitoring, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Beijing, Vol. XXXVII. Part B3a.

Ruiz A., Kornus W., Talaya J., Colomer J.L., 2004, Terrain modeling in an extremely steep mountain: a combination of airborne and terrestrial lidar, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Istanbul, Vol. XXXV Part 3.

Rutzinger M., Oude Elberink S., Pu S., Vosselman G., 2009, Automatic extraction of vertical walls from mobile and airborne laser scanning data, *IAPRS*, Paris, Vol. XXXVIII, Part 3/W8.

Serwis dla geodety UMK:

http://www.geodezja.krakow.pl/transformacja/Informacja_zasob_w_ukladzie_2000.html

ANALYSIS OF ACCURACY AIRBORNE, TERRESTRIAL AND MOBILE LASER SCANNING DATA AS AN INTRODUCTION TO THEIR INTEGRATION

KEY WORDS: airborne laser scanning, terrestrial laser scanning, mobile laser scanning, cloud integration, accuracy

Summary

The following article presents an analysis of accuracy three point clouds (airborne, terrestrial and mobile) obtained for the same area. The study was conducted separately for the coordinates (X, Y) - examining the location of buildings vertex and separately for the coordinate (Z) - comparing models built on each of the clouds. As a baseline measurement for both analyzes (X, Y and Z), the totalstation measurement was taken.

Dane autora:

Mgr inż. Artur Warchol
e-mail: awarchol@ur.krakow.pl
telefon: +48 12 662 45 39
fax: +48 12 662 45 39