

DOKŁADNOŚĆ OPRACOWAŃ Z WYKORZYSTANIEM POMIARU METODĄ SKANINGU LASEROWEGO — LIDAR. STANDARD ASPRS

Ryszard Tukaj



Wprowadzenie

Wykorzystanie systemu LiDAR w pomiarach geodezyjnych jest w ostatnich latach metodą zdobywającą coraz większy udział na rynku opracowań danych dla szeroko pojętych Systemów Informacji Geograficznej (GIS).

Ocenia się, że w roku 1995 na świecie pracowały tylko 3 systemy LiDAR, w roku 2000 było ich 58, a obecnie liczba ta wynosi już 143. Wzrastają również możliwości techniczne systemów. Tak szybki rozwój tej technologii spowodowany jest w głównej mierze wysoką efektywnością pomiaru, a co za tym idzie konkurencyjnością cenową. Choć LiDAR nie zastępuje całkowicie tradycyjnych metod fotogrametrycznych i teledetekcyjnych, to z całą pewnością rozszerza ofertę usług firm działających na rynku, a w wielu przypadkach przewyższa te metody pod względem jakości i kosztów opracowania produktu końcowego.

Pomimo tego, iż rynek opracowań wykorzystujących tą metodę przeszedł już fazę wstępnych zastosowań i studiów ciągle wydają się, że istnieje wiele nieporozumień co do standardów określających jakość produktu końcowego. Prawdopodobnie winą za taki stan rzeczy można by obarczyć zarówno firmy świadczące usługi na tym rynku jak i ich klientów. Usługodawcy często nie precyzują jak np. zmieniać się będzie dokładność na projekcie w zależności od pokrycia i ukształtowania terenu, czy też jak podana dokładność została wyznaczona i sprawdzona. Z kolei końcowi odbiorcy mają w zwyczaju bezkrytycznie stosować kryteria i standardy ustalone dla opracowań fotogrametrycznych zapominając, że LiDAR jest zupełnie inną metodą pomiaru. Należy jednak zauważyć, iż jednolite standardy i specyfikacje dotyczące opracowań LiDAR dopiero są tworzone.

Z uwagi na wielkość rynku amerykańskiego i jego pozycji jako lidera w ilości opracowań opisywaną tu technologią, wydaje się właściwym śledzenie trendów i kierunków w jakim zmierzają tam prace nad rozwojem tej technologii.

Mając na uwadze troskę o usystematyzowanie kwestii związanych z jakością danych pochodzących z pomiaru LiDAR oraz dokładności produktów finalnych opracowanych z tych danych jak i jednolitego jej opisu w kwietniu br. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) ogłosiło dokument: „ASPRS Guidelines — Vertical Accuracy Reporting for Lidar Data”¹.

1. Dokładność pionowa

Dokładność pionowa jest podstawowym kryterium opisującym dokładność opracowań Numerycznego Modelu Terenu, a wymogi co do jej wielkości zależą od przeznaczenia tworzonego produktu końcowego.

¹ ASPRS Guidelines — Vertical Accuracy Reporting for Lidar Data — v.1.0 — ASPRS2004

Bardzo istotnym jest by przed rozpoczęciem prac określić wymagania dokładnościowe dla wszystkich produktów końcowych, gdyż wprowadzane na etapie opracowań finalnych np. sposoby generalizacji czy tzw. wygładzania warstwic mogą wprowadzić pewne zaburzenia dokładności².



Rys. 1. Przykład DTM uzyskanego z pomiaru LiDAR (TMCE)

Z uwagi na fakt, iż dokument odwołuje się do dwóch głównych amerykańskich standardów dokładnościowych celowym wydaje się choć pobieżne ich opisanie i przytoczenie zależności pomiędzy nimi:

- **NMAS (National Map Accuracy Standard)** — dokładność opracowania opisana za pomocą zadanego cięcia warstwicowego i skali mapy produktu końcowego.
- **NSSDA (National Standard for Spatial Data Accuracy)** — dokładność opracowania opisana z pomocą RMSE (z) (root mean square error — średni błąd kwadratowy) lub „Accuracy (z)” — dla zdefiniowania dokładności na poziomie ufności 95% (przy rozkładzie normalnym odchyłek na punktach kontrolnych).

Tabela 1. Porównanie dokładności pionowej standardów NMAS/NSSDA

NMAS Contour Interval	NSSDA RMSE(z)	NSSDA Accuracy(z)
0,5ft	0,15 ft or 4,6 cm	0,30 ft or 9,1 cm
1,0ft	0,30 ft or 9,2 cm	0,60 ft or 18,2 cm
2,0ft	0,61 ft or 18,5 cm	1,19 ft or 36,3 cm
4,0ft	1,22 ft or 37,0 cm	2,38 ft or 72,6 cm
5,0ft	1,52 ft or 46,3 cm	2,98 ft or 90,8 cm
10,0ft	3,04 ft or 92,7 cm	5,96 ft or 181,6 cm

(1) $NMAS\ CI = 3,2898 * RMSE(z)$

(2) $NMAS\ CI = Accuracy(z) / 0,5958$

(3) $Accuracy(z) = 1,9600 * RMSE(z)$ (przy rozkładzie normalnym odchyłek na punktach kontrolnych).

² Guidelines and Specifications for Flood Hazard Mapping Partners — FEMA 2002

Dokument zaleca by przy określaniu żądanej dokładności produktu końcowego posługiwano się parametrem „Accuracy (z)”. W wielu przypadkach parametr ten może być jednak niewystarczający lub niejednoznaczny dla właściwego zaplanowania i przeprowadzenia pomiaru, z uwagi na zmiany rzeźby terenu i jego pokrycia na obszarze projektu.

Dlatego zaleca się co następuje:

1. Wprowadzić pojęcie „podstawowej” dokładności wysokościowej, czyli dokładności uzyskanej na otwartym, płaskim terenie sprawdzanej na poziomie ufności 95% (przy rozkładzie normalnym odchyłek na punktach kontrolnych).
2. W przypadku gdy wymagana jest informacja na temat dokładności na terenach innych niż wymieniono w pkt. 1 wprowadzić pojęcie „uzupełniającej” dokładności wysokościowej sprawdzanej, wykorzystując metodę 95 percentyl (odchyłki na punktach kontrolnych nie spełniające warunków rozkładu normalnego), dla każdej kategorii terenu.
3. Jeżeli produktem końcowym będą warstwice, dokładność wysokościowa wynikająca ze wzoru (1) musi być utrzymana na obszarze całego projektu, dla każdej kategorii terenu. Oznacza to, że dla każdej klasy należy oddzielnie obliczyć dokładność wysokościową — „podstawowa” dla terenów otwartych, płaskich oraz „uzupełniająca” dla innych kategorii pokrycia terenu. Wielkości te należy przedstawić w odpowiednim raporcie.
4. Dla map warstwicowych opracowanych dla obszaru obejmującego wiele różnych kategorii pokrycia terenu powinno się zastrzec, że były „opracowane z dokładnością do” podając najgorszą dokładność „podstawową” lub „uzupełniającą” danej kategorii terenu objętego mapą
5. W pewnych przypadkach korzystnym może się okazać określenie różnych wymogów dokładnościowych dla różnych kategorii terenu. Powinno to być jasno określone w specyfikacji projektu.



Rys. 2. Przykład danych uzyskanych z pomiaru LiDAR (TMCE)

2. Dokładność pozioma

W opracowaniach danych wysokościowych dokładność pozioma w dużym stopniu jest funkcją wymaganej dokładności wysokościowej. Gdy wymagana jest duża dokładność wysokościowa wtedy konieczne jest również utrzymanie wysokiej dokładności poziomej danych.

Kontrola dokładności poziomej danych jest często trudniejsza do przeprowadzenia, niż dokładności pionowej.

Wynika to m.in. z faktu, iż niejednokrotnie na obszarze objętym projektem brak jest dobrze zdefiniowanych elementów topograficznych koniecznych do przeprowadzenia takiej kontroli.

ASPRS nie wymaga jednak kontroli dokładności poziomej produktów końcowych opracowanych na podstawie danych pochodzących z pomiaru systemem LiDAR. Zamiast tego wymagane jest przedstawienie raportu określającego spodziewaną dokładność poziomą.

Minimalne wymogi co do dokładności poziomej w odniesieniu do danych pochodzących z pomiaru LiDAR zawiera tabela³

Tabela 2. Porównanie dokładności poziomej standardów NMAS/NSSDA

NMAS Skala Mapy	NSSDA RMSE(r)	NSSDA Accuracy(r) Poziom Ufności 95%
1" = 100' or 1:1200	2.20 ft or 67.0 cm	3.80 ft or 1.16 m
1" = 200' or 1:2400	4.39 ft or 1.33 m	7.60 ft or 2.32 m
1" = 400' or 1:4800	8.79 ft or 2.68 m	15.21 ft or 4.64 m
1" = 500' or 1:6000	10.98 ft or 3.35 m	19.01 ft or 5.79 m
1" = 1000' or 1:12000	21.97 ft or 6.69 m	38.02 ft or 11.59 m
1" = 2000' or 1:24000	26.36 ft or 8.04 m	45.62 ft or 13.91 m

Zróznicowanie zastosowania obu metod osiąganych dokładności wiąże się z dokładnościami wymaganymi w ich zastosowaniu. Generalnie NMT wielkoskalowy będzie się opierał o analizy NSSDA natomiast opracowania średnioskalowe w wystarczającym stopniu mogą opierać się o dokładności warstwic. Wykonanie dokładniejszego Modelu Terenu jest bardziej pracochłonne a co za tym idzie bardziej kosztowne. Należy pamiętać jakie elementy terenu mają wpływ na przydatność opracowanego Numerycznego Modelu Terenu wybierając właściwy wariant.

3. Kategorie pokrycia terenu

Z reguły wyodrębnia się 5 kategorii pokrycia terenu:

1. Teren odkryty
2. Wysokie trawy, uprawy rolne
3. Niskie drzewa
4. Lasy
5. Tereny miejskie

Jednak rodzaje kategorii ustalane są w zależności od specyfiki terenu obejmującego projekt.

ASPRS wymaga by kontrola dokładności na terenach odkrytych odbywała oddzielenie od kontroli na terenach zaklasyfikowanych do innych kategorii gdy inne kategorie zajmują znaczący procent powierzchni obejmującej projekt.

Dopuszczalne jest również określenie dokładności dla obszarów o różnym ukształtowaniu terenu.

4. Punkty kontrolne

Punkty kontrolne powinny być rozmieszczone równomiernie. Mogą jednak być rozmieszczone gęściej w miejscach sąsiadujących z bardziej znaczącymi obiektami i rzadziej w miejscach mniej istotnych.

³ LiDAR Accuracy — An Airborne Perspective — Airborne1 — 2004

ASPRS zaleca przyjęcie minimum 20 punktów kontrolnych (30 rekomendowane) w każdej z przyjętych kategorii pokrycia terenu. Punkty kontrolne powinny być przyjęte na obszarach płaskich lub lekko i równomiernie nachylonych. Nie należy przyjmować punktów w miejscach sąsiadujących z nagłymi zmianami nachylenia terenu. Punkty kontrolne powinny być pomierzone z dokładnością trzykrotnie przekraczającą założoną dokładność produktu końcowego. Dla przykładu: gdy tworzony jest Numeryczny Model Terenu na podstawie którego generowane są 2ft. warstwy, RMSE powinien być $\leq 18,5$ cm co oznacza, że punkty kontrolne powinny być pomierzone w taki sposób by ich $RMSE \leq 6,0$ cm.

5. Obliczenie RMSE(z)

W celu obliczenia RMSE(z) należy z utworzyć model terenu TIN i określić z niego wysokości punktów kontrolnych.

$$RMSE(z) = \sqrt{\frac{\sum (z_i - z_{ki})^2}{n}}$$

gdzie:

z_i — wysokość punktu kontrolnego (i) określona z modelu terenu TIN

z_{ki} — wysokość punktu kontrolnego (i) określona na podstawie pomiarów w terenie z dokładnością opisaną w pkt. 4

n — ilość mierzonych punktów kontrolnych

Należy pamiętać, iż w przypadku opracowania produktu końcowego w formie modelu terenu GRID generowanego z modelu TIN, należy sprawdzić jego dokładność nawet wtedy gdy model TIN spełniał założone kryteria dokładnościowe.



Rys. 3. Przykład DTM uzyskanego z pomiaru LiDAR (TMCE)

Konkluzja

Należy się spodziewać, że wprowadzany standard zdecydowanie przyczyni się to uporządkowania kwestii związanych z mocno dzisiaj dyskutowanym w środowisku tematem tak zwanej: „dokładności LiDARa” i w sytuacji gdy ze strony potencjalnego klienta pada pytanie: „...czy wasz system jest w stanie dostarczyć dane do produkcji warstwic 1ft?...” obie strony będą przekonane, że mówią o tym samym⁴.

Póki co warto chyba pamiętać że:

1. Producenci sprzętu z reguły podają wartości na poziomie ufności 68% (tzw. 1sigma) — 2sigma czyli poziom ufności 95% przytaczany jest bardzo rzadko.
2. Analiza dokładności oparta jest na porównaniu modelu do znanych punktów kontrolnych, ale bywa, iż jej szczegóły nie są zamieszczane w raportach.
3. Analizy dokładności całkowicie pomijają kwestie dokładności poziomych.

...i zadbać by wszystkie te zagadnienia były szczegółowo podane przez jednostki opracowujące dane.

Dokładność uzyskana na projektach opracowanych technologią LIDAR w firmie — TUKAJ MAPPING CENTRAL EUROPE (TMCE)

Firma TMCE obecna jest na rynku opracowań LiDAR od 2001r. kiedy poszerzyła swój asortyment usług o opracowania danych pozyskanych tą technologią. Realizowane tu projekty charakteryzują się wysokością jakością i uznaniem w oczach klientów.

Poniżej przedstawione zostaną parametry dokładnościowe kilku wybranych projektów obejmujących obszary o różnych kategoriach:

- Obszary rolne
- Obszary zabagnione
- Lasy

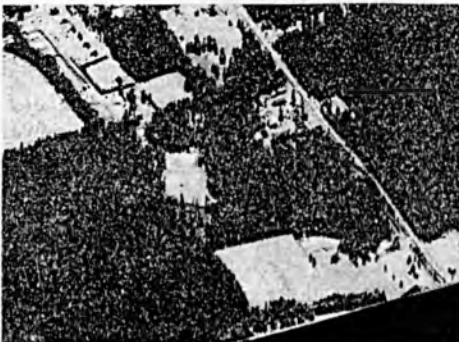
Nazwa Projektu: TASK ORDER 14

Kategoria terenu: Obszary rolne

Powierzchnia: 2478 km²

Ilość punktów kontrolnych: 59

RMSE(z) = 9.6cm



Rys. 4. Model terenu utworzony z danych przed filtracją (tzw. first return) — TMCE



Rys. 5. Model terenu utworzony z danych po przefiltrowaniu (tzw. bare earth) — TMCE

⁴ PE&RS vol. 70, no. 5 — May 2004

Nazwa Projektu: TASK ORDER 11
Kategoria terenu: Obszary zabagnione
Powierzchnia: 2394 km²
Ilość punktów kontrolnych: 63
RMSE(z) = 14,1cm

Nazwa Projektu: TASK ORDER 13
Kategoria terenu: Lasy
Powierzchnia: 4872 km²
Ilość punktów kontrolnych: 161
RMSE(z)= 12,5cm

Streszczenie

Artykuł traktuje na temat standardów tworzonych z myślą o uporządkowaniu kwestii związanych z dokładnością danych pozyskiwanych metodą skaningu laserowego LiDAR. Szeroko opisany został standard wprowadzany przez 161 American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.

Podano też przykładowe dokładności uzyskane na projektach realizowanych w firmie Tukaj Mapping Central Europe.

Abstract

Accuracy of mapping production based on laser scanning — LiDAR. ASPRS standards

This article intends to point the main idea of creating and classifying problems connected to accuracy of data from laser scanning technology — LIDAR. It was widely described by American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. As samples there is data shown based on projects done by TUKAJ MAPPING CENTRAL EUROPE.

Wykorzystano następujące publikacje

1. ASPRS Guidelines — Vertical Accuracy Reporting for Lidar Data — v.1.0 — ASPRS2004
2. Guidelines and Specifications for Flood Hazard Mapping Partners — FEMA 2002
3. LiDAR Accuracy — An Airborne Perspective — Airborne1 — 2004
4. PE&RS vol. 70, no. 5 — May2004

Recenzował: prof. dr hab. inż. Oleksandr Dorozhynskyy

Abstracts of articles published in the Journal of Planning Literature, Volume 29, Number 5, May 2004.

Abstracts

This abstract of a review of a book on the topic of urban planning and development is presented. The book is titled 'Urban Planning and Development: A Review of the Literature' and is edited by [Name]. The book is a comprehensive review of the literature on urban planning and development, covering a wide range of topics including urban theory, urban policy, and urban practice. The book is intended for a general audience and is a valuable resource for anyone interested in urban planning and development.

Abstracts of articles published in the Journal of Planning Literature



1. ASPRS (American Society of Photogrammetry and Remote Sensing) - Remote Sensing and GIS in Urban Planning and Development
2. Urban Planning and Development: A Review of the Literature
3. Urban Planning and Development: A Review of the Literature

Remote Sensing and GIS in Urban Planning and Development

