

BADANIE SKANERA

Dokładność pomiaru skanerem jest kluczowym parametrem, który określa jego przydatność w inwentaryzacji obiektów inżynierskich, badaniu przemieszczeń czy wyznaczaniu wymiarów różnych elementów konstrukcyjnych. W Warszawskim Przedsiębiorstwie Geodezyjnym S.A. (WPG S.A.) podjęto się weryfikacji tego parametru i określenia ograniczeń stosowania skaningu laserowego.



PIOTR FALKOWSKI

Rozdzielczość pomiaru skanerem w wielu wypadkach pozwala na stworzenie modelu o gęstości punktów wyższej niż 1 pkt/cm². Jednak ze względu na błędy przypadkowe i ograniczenia interpretacyjne, nie zawsze jest możliwe poprawne wyznaczenie współrzędnych punktów z dokładnością adekwatną do rozdzielczości. Trzeba się więc zastanowić, jak określić najwyższą dokładność wyznaczenia współrzędnych punktu przy zastosowaniu różnych technik pomiaru i interpretacji chmury punktów. Szczególnie istotny jest tutaj potencjał programu do obróbki danych, a przede wszystkim rozwiązania i algorytmy ułatwiające i podnoszące dokładność interpretacji chmury punktów.

Podczas badań skupiono się na:

- analizie dostępnych instrumentów i oprogramowania,
- sprawdzeniu dokładności orientacji skanu z wykorzystaniem różnych technik pomiaru punktów osnowy,
- porównaniu dokładności wyznaczenia współrzędnych pojedynczego punktu na obiekcie na podstawie interpretacji obrazu wygenerowanego z chmury punktów i pojedynczych punktów oraz na podstawie automatycznego wykrywania kształtów obiektu.

● SKANERY POD LUPĄ...

W eksperymencie wykorzystano pomiary wykonane naziemnymi skanerami laserowymi. Najważniejszym kryterium podziału tych instrumentów jest zastosowana technika pomiaru odległości. Mamy więc dwie grupy: impulsowe i fazowe. Metoda pomiaru odległości wpływa na prędkość, dokładność i zasięg skanera. Technika impulsowa ma większy zasięg, wyższą dokładność, ale za to niższą prędkość pomiaru w porównaniu z systemem fazowym. Tabela 1 przedstawia parametry techniczne dwóch skanerów Leica. Można na ich podstawie stwierdzić, że instrument fazowy pozwala na pomiar współrzędnych punktów i odtworzenie kształtu powierzchni z dokładnością około dwukrotnie niższą niż w przypadku instrumentu impulsowego. Natomiast jego dużą zaletą, decydującą w wielu zastosowaniach o wyborze modelu tego typu, jest znacznie większa prędkość pracy.

Pomiary wykorzystane w badaniach, których rezultaty zaprezentowane są w artykule, wykonywane były naziemnym skanerem laserowym Leica HDS 4500 (z oprogramowaniem firmy Zoller-Fröhlich – Z+F LaserControl) na terenie kompleksu handlowo-biurowo-rozrywkowego Złote Tarasy w Warszawie. W tym modelu zastosowana jest fazowa metoda pomiaru odległości. Podczas obróbki danych zwracano uwagę na konieczność wprowadzania poprawki wynikającej z nieprostokątności osi skanera i błędów pomiaru odległości. Uwzględniano je na podstawie wyników kalibracji oraz parametrów wyznaczonych podczas pomiarów.

● ... I OPROGRAMOWANIE TEŻ

Do pracy z chmurą punktów wykorzystywane były dwie aplikacje: OctoCAD (firmy Scan 3D) oraz HDS Cyclone (Leica Geosystems). O ich wyborze do testów zadecydował fakt, że reprezentują dwa różne podejścia do obróbki chmury punktów.

OctoCAD bazuje na obrazach wygenerowanych na podstawie próbkowania natężenia odbitego promieniowania laserowego. Obrazy te dla całego skanu przetwarzane są na plik rastrowy z wykorzystaniem odwzorowania walcowego.

TABELA 1. PORÓWNANIE SKANERA IMPULSOWEGO I FAZOWEGO LEICA GEOSYSTEMS (DANE WG PRODUCENTA)

Model	HDS 3000	HDS 4500
Metoda pomiaru	impulsowa	fazowa
Zasięg	200 m	26 lub 52 m
Dokładność pomiaru punktu	6 mm dla 1-50 m	7,2 mm dla 10 m 16 mm dla 25 m
Dokładność wyznaczenia powierzchni	2 mm dla 1-50 m	1,6 mm dla 10 m 4,4 mm dla 25 m
Gęstość chmury punktów	3,1 mm dla 10 m 7,8 mm dla 25 m	3,5 mm dla 10 m 8,7 mm dla 25 m
Prędkość pomiaru	do 4000 pkt/s	do 500 000 pkt/s



FOT. JERZY PRZYWARA

Stosowane w programach techniki obróbki danych mają także wpływ na dokładność wyznaczenia współrzędnych. Szczególnie istotny wydaje się fakt, iż w przypadku automatycznego wykrywania kształtów program wyszukuje wiele punktów tworzących powierzchnię odpowiadającą zadanemu kształtowi. Pozwala to zminimalizować wpływ błędów przypadkowych. Z porównania zaprezentowanego w Tabeli 1. wynika, że dokładność wyznaczenia współrzędnych jednego punktu w chmurze punktów jest około 3-4-krotnie niższa niż precyzja określenia powierzchni na bazie grupy punktów. Szczególnie duża różnica występuje przy interpretacji pomiarów ze skanera fazowego, gdzie występują większe błędy przypadkowe w pomiarze odległości.

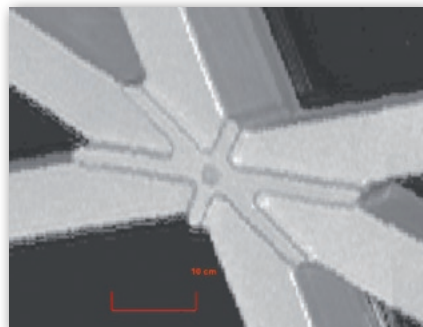
Drugim istotnym elementem podnoszącym dokładność pomiarów skanerem jest wyznaczenie poprawek do elementów orientacji wewnętrznej instrumentu. Zauważono (Bornaz, Rinaudo, 2004), że większość skanerów nie zachowuje stałych elementów orientacji wewnętrznej i nawet przy każdym uruchomieniu niektóre z nich ulegają

zmianie. Testowany program OctoCAD posiada możliwość wyznaczenia poprawek ze względu na nieprostokątność osi instrumentu i zmianę skali przy pomiarze odległości.

Sprawdźmy więc, jak technologie pomiaru skanerem i zaawansowane funkcje obliczeniowe oprogramowania wpływają na końcową dokładność pracy.

● PRAKTYCZNA WERYFIKACJA TEORII

Do wyznaczenia dokładności pomiaru współrzędnych skanerem laserowym wykorzystano dane z inwentaryzacji



Rys. 1. Obraz pojedynczego fotopunktu w programie OctoCAD

Złoty Tarasów, a dokładnie kopuły nad atrium budynku. Zarejestrowano 40 chmur punktów o wysokiej gęstości. W celu orientacji skanów w jednolitym układzie współrzędnych założono osnowę fotogrametryczną składającą się ze 112 tarcz o rozmiarach 10 x 10 cm. (współrzędne fotopunktów pomierzono bezlustrowo tachimetrem ze średnim błędem 1,2 mm). Została ona zaprojektowana tak, aby na każdym skanie widocznych było przynajmniej 5 fotopunktów. Dodatkowo w jednej z części obiektu powstał poligon testowy, gdzie dwukrotnie wykonano rejestrację chmury punktów, a osnowę wzbogacono o dodatkowe punkty kontrolne. Na każdej z chmur punktów widocznych było od 3 do 5 dodatkowych punktów kontrolnych.

● WPASOWANIE CHMURY PUNKTÓW

Pierwszym elementem poddanym sprawdzeniu była dokładność orientacji (wpasowania) chmury punktów na bazie osnowy. W badaniach porównano wyniki uzyskane w programach OctoCAD i HDS Cyclone. Dla OctoCAD wyznaczono wcześniej trzy parametry uwzględniające poprawki ze względu na nieprostokątność osi i zmianę skali. Kontrolę przeprowadzono na 6 chmurach punktów zarejestrowanych w części budowli z poligonem testowym. Porównaniom poddano zarówno wartości błędów średniego uzyskanego na podstawie poprawek do współrzędnych fotopunktów, jak i wartości błędów średniego z zastosowaniem poprawek do współrzędnych punktów kontrolnych (wynik w tabeli 3)

TABELA 2. ZESTAWIENIE MOŻLIWOŚCI PROGRAMÓW DO PRACY Z CHMURĄ PUNKTÓW

Oprogramowanie	OctoCAD	HDS Cyclone
Technika pomiaru	na dwuwymiarowym obrazie	bezpośrednio na chmurze punktów
Automatyczne pomiary tarcz (fotopunktów)	częściowo (eliminacja szumów wynikających z błędów pomiarów odległości)	tak (automatyczne wpasowanie modelu tarczy w chmurę punktów i w wygenerowany obraz)
Automatyczne wykrywanie kształtów	nie	tak
Możliwość kalibracji skanera	tak	nie

Dzięki temu pomiary wykonywane są na dwuwymiarowym obrazie na podstawie interpretacji wizualnej uzyskanego obrazu (tak jak w przypadku zwykłych zdjęć). Współrzędne przestrzenne pozyskiwane są poprzez odniesienie punktu z obrazu dwuwymiarowego do chmury punktów.

W programie HDS Cyclone praca odbywa się bezpośrednio na chmurze punktów. Aplikacja dysponuje wieloma narzędziami ułatwiającymi interpretację i pomiary. Szczególnie ważna jest możliwość automatycznego wykrywania kształtów.

Program OctoCAD zazwyczaj wykorzystywany jest w pracach związanych z inwentaryzacją architektoniczną obiektów. W takich zastosowaniach szczególnie istotny jest dokładny rysunek detali oraz prawidłowe zwiarytowanie do poprawnego stworzenia rzutów elewacji. Zastosowane w HDS Cyclone funkcje automatycznego wykrywania kształtów w znacznym stopniu ułatwiają tworzenie trójwymiarowych wektorowych modeli obiektów. Czyni to z niego idealne narzędzie do pomiarów związanych z inwentaryzacją obiektów przemysłowych czy do tworzenia dwu- i trójwymiarowych map do celów projektowych.

TABELA 3. WARTOŚCI BŁĘDÓW ŚREDNICH UZYSKANYCH PODCZAS ORIENTACJI SKANÓW

Oprogramowanie	OctoCAD [mm]	HDS Cyclone [mm]
Błąd wpasowania w punkty osnowy	3,9 (skan 36)	5,3 (skan 36)
	3,2 (skan 37)	5,7 (skan 37)
	4,8 (skan 38)	6,3 (skan 38)
	4,5 (skan 39)	6,5 (skan 39)
	3,4 (skan 40)	4,9 (skan 40)
Wartość średnia	4,0	5,7
Błąd wyznaczony na bazie punktów kontrolnych	6,3 (skan 36)	8,2 (skan 36)
	7,8 (skan 37)	8,0 (skan 37)
	6,8 (skan 38)	8,4 (skan 38)
	7,9 (skan 39)	8,8 (skan 39)
	6,7 (skan 40)	7,3 (skan 40)
Wartość średnia	7,1	8,1

Należy zwrócić uwagę na różne techniki pomiaru punktów sygnalizacyjnych w programach OctoCAD i HDS Cyclone oraz ich wpływ na dokładność wyznaczenia położenia wszystkich punktów. W pierwszym pozycja tarczki wskaźnikowa jest przez obserwatora (X, Y na obra-

zie intensywności, odległość od skanera interpolowana jest biliniowo z użyciem sąsiadujących punktów w chmurze). W drugim zaś pomiar fotopunktu odbywa się automatycznie poprzez wpisanie jego modelu w chmurę, co zwiększa dokładność. Mimo że w programie OctoCAD czynności nie są zautomatyzowane, to wartości błędów średnich obliczonych z wykorzystaniem poprawki do współrzędnych punktów po orientacji (tabela 3) są dla punktów kontrolnych niższe o około 12%. Należy zatem stwierdzić, że decydujący wpływ na taki wynik miały zastosowane poprawki do elementów orientacji wewnętrznej.

Uzyskane wartości błędów średnich są o około 20% gorsze od danych producenta, gdzie błąd średni wyznaczenia współrzędnych punktu kontrolnego można oszacować z podawanych dokładności identyfikacji i pomiaru punktu i wynosi on 5,0 mm/15 m. Zauważmy jednak, że wartość ta nie została wyznaczona na podstawie bezpośrednich pomiarów, ale przez szacowanie różnych parametrów z dokumentacji technicznej instrumentu, co znacznie obniża jej wiarygodność w porównaniach. Wyniki analizy zestawiono także z badaniami D. Dereka z Uniwersytetu w Perth (Gordon et al., 2003). Autor określił błąd średni wpasowania na poziomie 4,8 mm/10 m przy stabilnej i bardzo dobrze wyznaczonej osnowie. Aby wykorzystać ten wynik, należy przede wszystkim wprowadzić poprawkę ze względu na średnią odległość do punktów osnowy (na Złoty Tarasach wyniosła ona ok. 15 m). Wartość z badań Dereka poprawiono na podstawie danych nominalnych skanera (dla 10 i 25 m). Po wprowadzeniu poprawki ze względu na odległość wyinterpolowano błąd średni 7,7 mm/10 m.

Prezentowane wyniki wskazują, iż pomiary na Złoty Tarasach zostały wykonane i opracowane z podobną dokładnością, jaką uzyskiwali inni badacze (w porównaniu nie uwzględniono wpływu oprogramowania). Różnice wyników uzyskanych w programach OctoCAD i HDS Cyclone wskazują, iż dokładność orientacji skanów może być podniesiona o około 10-15% poprzez wprowadzenie poprawek do elementów orientacji wewnętrznej.

● POMIAR WSPÓŁRZĘDNYCH PUNKTU I LINII

Kolejnym etapem analizy było oszacowanie możliwości wyznaczenia współrzędnych pojedynczego punktu na obiekcie. W analizach zastosowano dwie techniki pomiaru:

- bezpośrednio z chmury punktów na podstawie analizy wygenerowanego obrazu,

- poprzez automatyczne wpasowanie kształtu obiektu i wyznaczenie współrzędnych z uzyskanych wektorowych elementów geometrycznych.

Próba została przeprowadzona na podstawie pomiarów elementów konstrukcji kopuły Złoty Tarasów. Wyznaczano współrzędne środka czopka na łączeniu elementów tworzących konstrukcję kopuły. Ma on kształt walca o wymiarach około 5 x 3 cm (średnica x wysokość). Prace wykonano w programie OctoCAD na podstawie pomiarów na wygenerowanym obrazie, a w programie HDS Cyclone poprzez automatyczne wpasowanie kształtu walca w chmurę punktów, a następnie poprzez wskazanie współrzędnych środka uzyskanej podstawy walca.

Wyznaczono w ten sposób współrzędne 31 punktów, które zostały także pomierzone metodą klasyczną (bezlustrowym tachimetrem). Wyniki zostały porównane pod kątem błędów średnich. Dla programu OctoCAD wyniósł on 13,22 mm (błąd maksymalny 31,5 mm), a dla HDS Cyclone – 9,5 mm (18,5 mm).

Wartości te jednoznacznie wskazują, że zastosowanie automatycznych pomiarów punktów znacznie podnosi dokładność wyznaczenia współrzędnych. Zauważmy również, że uzyskany w programie HDS Cyclone błąd maksymalny jest znacznie niższy od analogicznego błędu w programie OctoCAD. Dowodzi to, że automatyczna detekcja kształtów nie tylko zwiększa średnią dokładność pomiarów, ale także w dużym stopniu poprawia precyzję pomiarów obiektów o obniżonej identyfikowalności (położonych w większej odległości od skanera lub zarejestrowanych pod ostrym kątem). Dla takich punktów zarejestrowano też największe wartości odchyłek.



Rys. 2. Obraz pojedynczego elementu konstrukcji z programu OctoCAD

● BARDZO DOBRZE, ALE...

Zaprezentowane wyniki badań dokładnościowych wskazują, że technologia skaningu laserowego może znaleźć zastosowania w pomiarach, gdzie nie jest wymagana najwyższa precyzja wyznaczenia współrzędnych. Jednak wynik końcowy prac jest mocno uwarunkowany wieloma czynnikami. Bardzo ważna jest specyfika produktu wyjściowego. Pomimo dużej gęstości chmury punktów możliwości poprawy zdolności interpretacyjnych poprzez wykorzystanie obrazu intensywności (lub zdjęć cyfrowych) oraz względnie wysokiej dokładności wyznaczenia współrzędnych pojedynczego punktu w tej chmurze, dokładność identyfikacji konkretnych punktów i linii na obiekcie jest ograniczona. W metodologii pomiaru zamiast pomiaru pojedynczych punktów kładzie się nacisk na wykrywanie powierzchni i automatyczną identyfikację kształtów. Technika ta bazuje na wykorzystaniu wielu punktów jednocześnie, przez co wzrasta dokładność i zmniejsza się wpływ błędów przypadkowych.

Oddzielnym zagadnieniem wpływającym na zwiększenie dokładności pomiarów skanerem laserowym jest możliwość eliminacji w procesie postprocessingu błędów instrumentu. Stwierdzono, iż zastosowanie poprawek ze względu na nieprostokątność osi oraz poprawek do pomiaru odległości pozwala podnieść o około 10-15% dokładność pomiaru współrzędnych.

PIOTR FALKOWSKI

konsultacje Jacek Uchański,
wiceprezes WPG S.A.

Literatura

- Bae Kwang-Ho, Lichti Derek, 2004, „Automated registration of unorganised point clouds from terrestrial laser scanners”, Proceedings ISPRS Conference Commission V, Istanbul 2004
- Bornaz L., Rinaudo F., 2004, „Terrestrial laser scanner data processing”, Proceedings ISPRS Conference Commission V, Istanbul 2004
- Fidera Artur Chapman Michael, Hong Jingook, 2004, „Terrestrial lidar for industrial metrology applications: modelling, enhancement and reconstruction”, Proceedings ISPRS Conference Commission V, Istanbul 2004
- Gordon Stuart, Lichti Derek, Stewart Mike, 2004, „Application of a high-resolution, ground-based laser scanner for deformation measurements”, Proceedings ISPRS Conference Commission V, Istanbul 2004
- Gordon Stuart, Lichti Derek, Stewart Mike and Franke Jochen, 2003, „Structural deformation measurement using terrestrial laser scanners”, Proceedings 11th FIG Symposium on Deformation Measurements, Santorini, Greece
- Leica HDS 3000 and HDS 4500 data sheets, 2007 accessible at www.leica-geosystems.com
- Leica HDS Cyclone handbook, 2007, Leica Geosystems
- Lichti Derek, 2004, „A resolution measure for terrestrial laser scanners”, Proceedings ISPRS Conference Commission V, Istanbul 2004
- Z+F LaserControl handbook, 2007, Z+F documentation

Jeden instrument.
Trzy wymiary.
Do codziennego użytku.



Trimble® VX™ Spatial Station

Od pomiarów katastralnych, przez pomiary punktów geodezyjnych i pomiary powykonawcze, po pomiary objętości, Trimble VX Spatial Station to urządzenie do pomiarów geodezyjnych i obrazowania przestrzennego, które pracuje dla Ciebie.

Zaprojektowane tak, by rejestrować wszystko, od indywidualnych współrzędnych po kompletne skany 3D całych lokalizacji. Jeden Trimble VX oferuje zintegrowane rozwiązanie dla wielu zróżnicowanych potrzeb w zakresie gromadzenia danych. Dzięki precyzji i wszechstronności Trimble VX geodeci mogą teraz osiągnąć więcej każdego dnia.

Technologia Trimble VISION™

W terenie i w biurze, integracja technologii optycznych, obrazowania i skanowania 3D optymalizuje przepływ pracy i redukuje ilość koniecznych poprawek.

Napędy serwo MagDrive™

Duża szybkość i bardzo dokładne sterowanie zapewniają dokładne pozycjonowanie i większą efektywność.

Pomiary Trimble RealWorks™

Trimble RealWorks umożliwia użytkownikom przechwytywanie, odczytywanie i analizowanie danych z wielu różnych aplikacji geodezyjnych i obrazowania przestrzennego.

**Aby uzyskać więcej informacji,
odwiedź nas**

www.trimble.com/everyday

