

SKANOWANIE

Analizy wykorzystania naziemnego skaningu laserowego w inwentaryzacji architektonicznej jednego z warszawskich kościołów podjął się zespół badawczo-rozwojowy Katedry Teledetekcji i Geoinformatyki WAT w Warszawie pod kierownictwem dr. inż. Michała Kędzierskiego. Prace wykonano instrumentem Leica ScanStation 2 należącym do rodziny Leica Geosystems HDS.

MICHAŁ KĘDZIERSKI,
PIOTR WAŁCZYKOWSKI,
ANNA FRYŚKOWSKA

Naziemny skaningu laserowy staje się powoli technologią znaną architektom i konserwatorom zabytków. Stosuje się go głównie jako narzędzie do zbierania danych do dokumentacji niezbędnej w odtworzeniu stanu faktycznego obiektu sprzed renowacji. Jednak zbyt mało uwagi zwraca się na możliwości badania uszkodzeń budowli sakralnych zarówno pod względem kształtu, jak i struktury. Najczęściej zniszczeniu ulegają elementy polichromiczne rzeźb, malowideł i ornamentów. W Polsce zasady inwentaryzacji architektonicznej regulują wytyczne techniczne G-3.4. Przewidują one wymagane materiały i informacje o aktualnym stanie obiektu, które umożliwią późniejsze wykorzystanie w pracach projektowych i technicznych służących ochronie zabytków.

● PRACE BADAWCZE

W ramach projektu zeskanowaliśmy: elewację kościoła, główne sklepienie, ołtarze, ambonę i organy. Nasza praca polegała na zbadaniu potrzeb przeprowadzenia działań konserwatorskich czy pozyskania danych do celów architektonicznych. Dlatego skupiliśmy się nie tylko na stworzeniu modelu przestrzennego elewacji kościoła, ale również na zbadaniu precyzji skanera oraz przydatności zdolności zageśćnienia ścieżki skanowania poniżej 1 mm w miejscach wystąpienia pęknięć lub zniszczeń.

Z uwagi na kolumny i wysokość obiektu ustalono, że pomiary wykonane będą z trzech stanowisk, by można było pokryć punktami wszystkie elementy elewacji. Wybór stanowisk został podyktowany warunkami ekspozycji fasady, częściowo zasłoniętej przez obiekty, takie jak drzewa i samochody. Wynikiem skanowania elewacji budynku z rozdzielczością 7 mm

były osobne skany – tzw. ScanWorlds – zapisane w postaci chmur punktów.

Tak powstałe skany muszą być połączone i zorientowane względem siebie. Wzajemna orientacja skanów pozyskanych z różnych stanowisk zwana jest rejestracją. Rejestracja skanów może odbyć się poprzez manualne odnalezienie odpowiadających sobie szczegółów pomierzonych obiektów na pokrywających się obszarach skanów. Możliwe jest też rozwiązanie w pełni automatyczne – przez wyszukiwanie punktów homologicznych w postaci celów HDS (metoda najbliższego punktu – ICP) bądź na podstawie cech geometrycznych obiektów (powierzchni płaskich lub konturów obiektów). Przykładem takiego rozwiązania jest zaproponowany przez C. Brennera i C. Dolda algorytm orientacji wzajemnej skanów, który najpierw automatycznie wyróżnia powierzchnie płaskie w każdej osobnej chmurze punktów, a następnie przyporządkowuje sobie trójki takich elementów pomiędzy różnymi zestawami pomierzonych danych. Służy to do wyznaczenia składowych orientacji wzajemnej: obrotu i przesunięcia względem siebie wszystkich chmur punktów, tworzących skan danego obiektu. Matematycznie sprawdza się to do wyznaczenia sześciu stopni swobody – najpierw macierzy rotacji R (zależność między punktami z dwóch skanów) i później wektora przesunięcia między punktami (t), wykorzystując de-



Rys. 1. Tarcze celownicze HDS

finię płaszczyzny (wyznaczoną przez wektory normalne n, m, p), analizę wektorów własnych oraz transformację. Takie podejście zapewnia równomierny rozkład błędów wyznaczenia wielkości kątowych orientacji pomiędzy dwoma odpowiadającymi sobie wektorami.

Łączenie skanów przeprowadziliśmy z wykorzystaniem pięciu tarcz celowniczych HDS (rys. 1), rozmieszczonych w taki sposób, aby były widoczne ze wszystkich stanowisk. Środki takich tarcz bardzo silnie odbijają światło, co pozwala na późniejsze, precyzyjne określenie ich położenia w przestrzeni. W procesie automatycznej rejestracji obrazów wyznaczone zostały błędy na każdym punkcie (tarczy celowniczej), a średni błąd wyniósł 0,004 m. Dokładność rejestracji i błędy na poszczególnych tarczach przedstawione są w tabeli poniżej.

Analizując wyniki łączenia skanów można stwierdzić, że wektorowe opracowanie elewacji kościoła może zostać przeprowadzone z dokładnością na poziomie 0,005 m. W przypadku tego opracowania daje to błąd względny na poziomie 1:6000. Na podstawie naszych badań stwierdzi-

RAPORT Z ŁĄCZENIA SKANÓW (wartości błędów w metrach)

Nazwa	ScanWorld	ScanWorld	Błąd średni	Wektor błędu	Błąd poziomy	Błąd pionowy
TargetID: 10	ScanWorld 1	ScanWorld 2	0,002	(-0,001, -0,001, -0,001)	0,001	-0,001
TargetID: 12	ScanWorld 1	ScanWorld 2	0,001	(-0,001, -0,001, -0,000)	0,001	0,000
TargetID: 14	ScanWorld 1	ScanWorld 2	0,002	(0,002, -0,001, -0,000)	0,002	0,000
TargetID: 10	ScanWorld 1	ScanWorld 3	0,003	(0,001, -0,003, -0,001)	0,003	0,001
TargetID: 12	ScanWorld 1	ScanWorld 3	0,008	(-0,006, 0,005, 0,000)	0,008	0,000
TargetID: 14	ScanWorld 1	ScanWorld 3	0,005	(0,005, -0,002, 0,000)	0,005	0,000
TargetID: 14	ScanWorld 2	ScanWorld 3	0,004	(0,003, -0,003, 0,000)	0,004	0,000
TargetID: 12	ScanWorld 2	ScanWorld 3	0,007	(-0,005, 0,004, 0,000)	0,007	0,000
TargetID: 10	ScanWorld 2	ScanWorld 3	0,003	(0,001, -0,002, 0,002)	0,002	0,002
TargetID: 11	ScanWorld 2	ScanWorld 3	0,004	(0,002, 0,001, -0,003)	0,002	-0,003

ZABYTKÓW

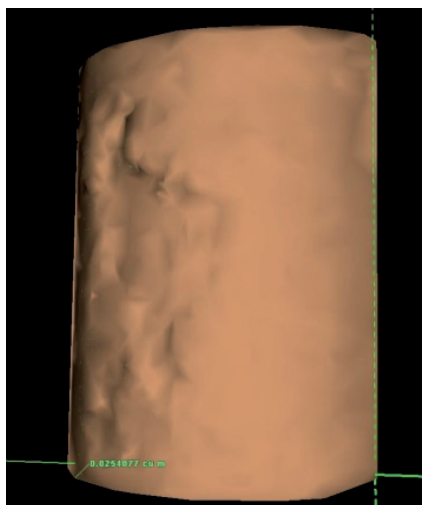
liśmy, iż nie ma potrzeby stosowania pomiarów na przykład metodą ciągu poligonowego, ponieważ największa dokładność może być uzyskana za pomocą tarcz HDS. W celu wiarygodnego szacowania błędu i pewności rejestracji skanów powinno się używać co najmniej 5 równomiernie rozmieszczonych w przestrzeni markerów (minimalna liczba to 3).

● SZACOWANIE WIELKOŚCI USZKODZEŃ

Za pomocą skanera pomierzyliśmy uszkodzenie kolumny (rys. 2), które



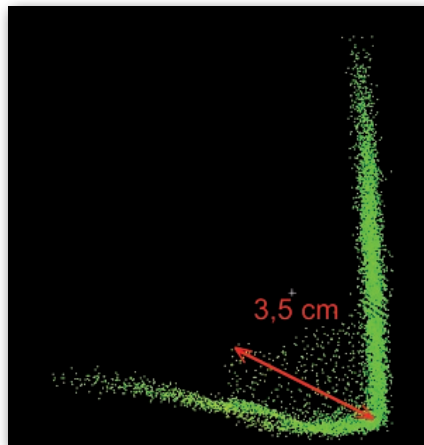
Rys. 2. Widok uszkodzenia kolumny (skan i zdjęcie)



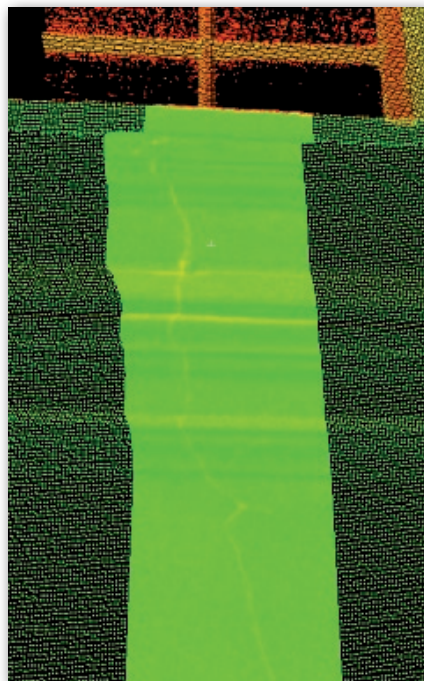
Rys. 3. Możliwość detekcji i oszacowania wielkości pęknięć na obiekcie w miejscach trudno dostępnych

w kolejnym kroku zostało zamodelowane (rys. 3). Jego wielkość z obliczeń wyniosła ok. 1350 cm³. Oszacowaliśmy także głębokość szczeliny na podstawie jej przekroju (rys. 4). W miejscach niewralgicznych ścieżka skanowania została zagęszczona poniżej 1 mm (rys. 5). Jednak z uwagi na dokładność kątową skanera, żeby spełnić ten rygor, odległość do skanowanego obiektu nie może przekraczać 17 m.

Na podstawie badań stwierdziliśmy (z poziomem ufności 0,95), iż głębokość szczeliny można wyznaczyć, jeśli nie jest



Rys. 4. Fragment przekroju szczeliny



Rys. 5. Wizualizacja przebiegu pęknięcia (maksymalna rozdzielczość skanowania)

LEICA SCANSTATION 2



Ten uniwersalny skaner impulsowy charakteryzuje się wysoką dokładnością wyznaczenia pozycji (6 mm) i odległości (4 mm), a przede wszystkim niespotykaną dotąd zdolnością zagęszczenia ścieżki skanowania poniżej 1 mm. Takie rozwiązanie jest szczególnie przydatne przy precyzyjnych pomiarach niewielkich elementów architektonicznych czy przemysłowych. Zaletą systemu jest również możliwość wizualnego umiejscowienia pojedynczego, specyficznego punktu czy wybranego elementu obiektu na badanej powierzchni i wykonanie jego bardzo dokładnego pomiaru.

Optyka skanera składa się z pojedynczego zwierciadła, nadającego wiązce światła kierunek wychodzenia i powracania. Laser ma kolor zielony i jest widoczny dla człowieka. Wielkość plamki padającej na obiekt waha się od 4 do 6 mm w odległości od przeszkody nieprzekraczającej 50 m. System ma zdolność rejestracji nawet do 50 000 pkt/s. Zasięg pracy, gwarantowany przez producenta to 300 m (przy poziomie odbicia sygnału 90%, przy 18% będzie to 130 m). Urządzenie charakteryzuje się również poszerzonym w stosunku do poprzedniej wersji ScanStation polem widzenia (360° x 270°). Duże zasięgi pozwalają na skanowanie trudno dostępnych miejsc (stropy, tunele, mosty, wysokie budowle, kolumny, wieże) i monitorowanie rozległych obszarowo prac w terenie. Instrument posiada wbudowany aparat cyfrowy o rozdzielczości 1 megapiksela.

Sterowanie pracą urządzenia odbywa się za pośrednictwem komputera (podłączonego przez port Ethernet) z oprogramowaniem Leica CycloneSCAN. Zapewnia ono obsługę całego procesu skanowania i przetwarzania pomiarów. W aplikacji można zdefiniować gęstość ścieżki, obszar, a także sekwencje skanowania kolejnych obiektów.



Ten uniwersalny skaner impulsowy charakteryzuje się wysoką dokładnością wyznaczenia pozycji (6 mm) i odległości (4 mm), a przede wszystkim niespotykaną dotąd zdolnością zagęszczenia ścieżki skanowania poniżej 1 mm. Takie rozwiązanie jest szczególnie przydatne przy precyzyjnych pomiarach niewielkich elementów architektonicznych czy przemysłowych. Zaletą systemu jest również możliwość wizualnego umiejscowienia pojedynczego, specyficznego punktu czy wybranego elementu obiektu na badanej powierzchni i wykonanie jego bardzo dokładnego pomiaru.

Optyka skanera składa się z pojedynczego zwierciadła, nadającego wiązce światła kierunek wychodzenia i powracania. Laser ma kolor zielony i jest widoczny dla człowieka. Wielkość plamki padającej na obiekt waha się od 4 do 6 mm w odległości od przeszkody nieprzekraczającej 50 m. System ma zdolność rejestracji nawet do 50 000 pkt/s. Zasięg pracy, gwarantowany przez producenta to 300 m (przy poziomie odbicia sygnału 90%, przy 18% będzie to 130 m). Urządzenie charakteryzuje się również poszerzonym w stosunku do poprzedniej wersji ScanStation polem widzenia (360° x 270°). Duże zasięgi pozwalają na skanowanie trudno dostępnych miejsc (stropy, tunele, mosty, wysokie budowle, kolumny, wieże) i monitorowanie rozległych obszarowo prac w terenie. Instrument posiada wbudowany aparat cyfrowy o rozdzielczości 1 megapiksela.

Sterowanie pracą urządzenia odbywa się za pośrednictwem komputera (podłączonego przez port Ethernet) z oprogramowaniem Leica CycloneSCAN. Zapewnia ono obsługę całego procesu skanowania i przetwarzania pomiarów. W aplikacji można zdefiniować gęstość ścieżki, obszar, a także sekwencje skanowania kolejnych obiektów.

ona mniejsza niż 2 mm. Poniżej tej wartości, z uwagi na właściwości lasera, możliwości określenia i pomiaru struktury wewnętrznej pęknięcia są ograniczone.

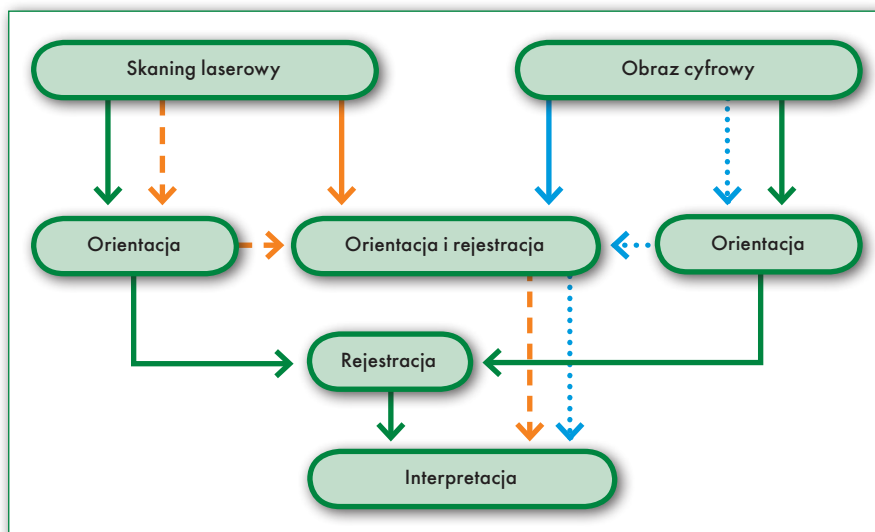
• TEKSTUROWANIE

Kolejnym z przykładów wykorzystania możliwości naziemnego skaningu laserowego do sporządzania dokumentacji zabytków sakralnych jest wykonanie precyzyjnych modeli sklepień wraz z ich strukturą i pokryciem. W tym celu można wykorzystać wewnętrzną lub zewnętrzną wysokorozdzielczą kamerę cyfrową.

Aby stworzyć teksturę, używa się danych z pomiarów laserowych łącznie z obrazami z aparatu. Wówczas mamy do czynienia z dwoma zupełnie odmiennymi podejściami obrazowania struktury badanej powierzchni. Podczas gdy skaner realizuje pozyskanie metrycznej informacji w postaci chmury punktów o dokładnym znaniu położenia każdego z nich, dane z obrazu cyfrowego otrzymanego z kamery cyfrowej muszą być poddane dalszej obróbce i przetworzeniu w model 3D. Ponadto „tradycyjna” fotogrametria realizuje pomiar w sposób pasywny, gdzie konieczne jest oświetlenie obrazowanego przedmiotu. Daje jednak w zamian bardzo dokładne informacje na temat jego barwy, pokrycia czy topologii. Najlepszym rozwiązaniem wydaje się być połączenie obu technik, tylko wtedy bowiem możliwe jest odtworzenie realistycznych i metrycznych trójwymiarowych modeli obiektów o złożonej geometrii i teksturze (sufity, rzeźby czy elewacje – rys. 6).

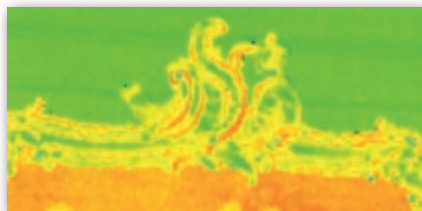


Rys. 6. Widok fragmentu sufitu kościoła po nałożeniu tekstury zdjęcia

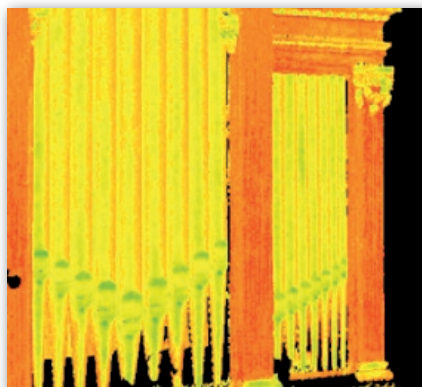


Rys. 7. Różne modele relacji i rejestracji danych na podstawie skaningu laserowego i kamery cyfrowej

Przedstawienie tekstury obiektu poprzez integrację danych ze skanera i kamery wymaga szczególnego podejścia do zagadnienia orientacji skanów. W procesie rejestracji pomiarów laserowych i danych obrazowych wykorzystywany jest algorytm wyodrębniający i wyszukujący obiekty homologiczne na obu obrazowaniach i przeprowadzający między nimi transformację. Integracja tych dwóch sposobów pozyskania danych może odbywać się w dwóch kierunkach: dane laserowe do obrazu (np. podczas generowania ortofoto) i obraz do danych ze skaningu (tworzenie realistycznych siatek na podstawie chmury punktów i przypisanych do nich kolorów pikseli z obrazu, rys. 7).



Rys. 8. Fragment polichromii ramy obrazu przedstawiony w tonacji intensywności odbicia skanera



Rys. 9. Fragment skanu organów kościelnych

W naszych pracach do teksturowania wykorzystaliśmy zdjęcia pochodzące z zewnętrznej kamery cyfrowej Kodak DCS 14n Pro z matrycą o wymiarach 4500 x 3000 pikseli i obiektywem o stałej ogniskowej 24 mm. Proces został przeprowadzony z wykorzystaniem 7 punktów homologicznych obrazu i skanu. Jego dokładność określa błąd średni wpasowania, który w tym przypadku wyniósł 0,84 piksela. Wykonanie takich opracowań przy pracach konserwatorskich szczególnie wtedy, gdy w dokumentacji potrzebne jest również przedstawienie fresków.

• NAJLEPSZA METODA INWENTARYZACJI

W Polsce metoda skaningu laserowego jest stosowana dopiero od kilku lat. Nie ulega wątpliwości, że z uwagi na czas i dokładność realizacji, jest to najlepsza metoda inwentaryzacji obiektów architektonicznych. Szybkość skanowania na poziomie kilkudziesięciu tysięcy punktów na sekundę jest wystarczająca do tego typu prac. Z takich pomiarów można wykonać różnego rodzaju analizy. Impulsowa zasada działania skanera Leica ScanStation 2 pozwala pozyskiwać dane niemożliwe do zarejestrowania przez instrument fazyowy (np. elementy polichromii czy obrazy – rys. 8, 9). Mogą one posłużyć do oceny zniszczeń i stanowić podstawowy materiał dokumentacyjny.

DR INŻ. MICHAŁ KĘDZIERSKI,
adiunkt, mkedzierski@wat.edu.pl

DR INŻ. PIOTR WALCZYKOWSKI,
adiunkt, pwalczykowski@wat.edu.pl

ANNA FRYŚKOWSKA,
asystentka, afryskowska@wat.edu.pl

Katedra Teledetekcji i Geoinformatyki WAT

21 – 23 października 2008

WIRTOTECHNOLOGIA

Międzynarodowe Targi Metod i Narzędzi
do Wirtualizacji Procesów

Pierwsza w Polsce
specjalistyczna wystawa systemów inżynierskich

Główna tematyka Targów

- skanery laserowe 3D
- systemy HDS
- Rapid Prototyping
- rzeczywistość wirtualna
- systemy ERP, MRP, PLM
- programy z grupy CAD, CAM, CAE
- biura projektowe

Wirtualna Technologia – Realny Biznes

Kontakt

Robert Torka – Menedżer Projektu
tel. 032 78 87 512, fax 032 78 87 526, tel. kom. 510 031 697
e-mail: wirtotechnologia@kolporter.com.pl
www.wirtotechnologia.pl

Adres do korespondencji

Expo Silesia – Kolporter EXPO
Sosnowiec, ul. Braci Mieroszewskich 124
www.exposilesia.pl

Współpraca merytoryczna



Organizator



Patronat Honorowy

prof. dr hab. Michał Kleiber
Prezes Polskiej Akademii Nauk



Miejsce ekspozycji



Główny Patron Medialny



Główny Patron Internetowy



Partnerzy Medialni

