

PRÓBA WYKORZYSTANIA NAZIEMNEGO SKANERA LASEROWEGO TRIMBLE CALLIDUS DO GENEROWANIA MODELU PRZESTRZENNEGO OBIEKTÓW INŻYNIERSKICH

*Tomasz Pałys, Geotronics Kraków
Zbigniew Siejka,
Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji Akademii Rolniczej w Krakowie
Katedra Geodezji
Kraków, ul. Balicka 253a*

1. Wprowadzenie

Naziemny system pomiarowy 3D Callidus należy do nowoczesnej generacji urządzeń pomiarowych umożliwiających w sposób masowy pozyskiwanie danych przestrzennych. Jest instrumentem, który może zrewolucjonizować geodezyjne pomiary inwentaryzacyjne, szczególnie w zastosowaniach inżynierjno-przemysłowych. Urządzenie to reprezentuje w pełni zautomatyzowaną technologię masowej inwentaryzacji i praktycznie eliminuje udział obserwatora z procesu pomiarowego.

Trimble Callidus jest panoramicznym laserowym systemem pomiarowym przeznaczonym do prowadzenia trójwymiarowych, bezstykowych pomiarów struktury obiektów (Callidus 2001). Pojedyncza obserwacja trwa około 10 minut, w tym czasie wykonywany jest jeden skan w płaszczyźnie poziomej w zakresie kąta pełnego i w płaszczyźnie pionowej w zakresie od zenitu 150 stopni w dół. Dzięki temu dostarczany jest model przestrzenny zawierający około 1 milion punktów o współrzędnych X, Y, Z, których część należy do interesujących nas obiektów, natomiast pozostałe stanowią tzw. „szum”.

Naziemny skaner laserowy uważamy za bardzo wydajne źródło danych przestrzennych, które można wykorzystać w szerokim zakresie do inwentaryzacji obiektów budowlanych typu drogi, wiadukty, tunele, jaskinie, podziemne korytarze, elewacje oraz wnętrza obiektów zabytkowych a także obiektów przemysłowych o złożonych strukturach np. rozdzielnie prądu ze stacjami transformatorowymi, rozdzielnie gazu czy rafinerie.

2. Budowa i zasada działania systemu

Podstawowe trzy elementy systemu pomiarowego stanowią: **instrument z głowicą skanującą, statyw oraz komputer pomiarowy** (ryc. 1). Zasadniczym elementem instrumentu jest głowica skanująca, której podstawę stanowi bardzo szybki dalmierz impulsowy. W głowicy skanera laserowego umieszczona jest kamera CCD, sensor wychylenia, kompas elektroniczny oraz elektroniczny system kontrolny. Na szczycie głowicy skanującej umieszczony jest adapter dla standardowego pryzmatu geodezyjnego. Pryzmat służy do określenia położenia skanera w przestrzeni i umożliwia transformację pomierzonych punktów do wyższego układu współrzędnych. Opcjonalnie kamera dostarcza zdjęcia panoramiczne lub zbliżenia dla udokumentowania mierzonych elementów. Niepoziomość instrumentu jest określana przez sensor nachylenia a odczyty korygowane o obliczone poprawki. Callidus wykorzystuje laser klasy I, przez co może być wykorzystywany bez ograniczeń bowiem jest w pełni bezpieczny dla otoczenia. Dzięki zastosowaniu unikalnej technologii pomiaru można wykonywać niezależnie od warunków oświetlenia — za-



Ryc. 1. System pomiarowy *Trimble Callidus* przygotowany do pracy



Ryc. 2. System pomiarowy *Trimble Callidus* umieszczony na specjalnym adapterze do pracy w pozycji odwrotnej

równy w dzień jak i w nocy. Pomiar odbywa się na zasadzie dokładnego, bezreflektorowego pomiaru odległości za pomocą bardzo szybkiego dalmierza impulsowego i odchylenia wiązki lasera. Głowica mierząca obraca się krok po kroku o założony interwał w płaszczyźnie poziomej 360° i pionowej 150° od zenitu a laser w sposób ciągły w określonym interwale wysyła wiązkę światła na skanowaną powierzchnię wyznaczając odległości do poszczególnych punktów, od których może odbić się impuls lasera. Na podstawie pomierzonych odległości i wyznaczonych wielkości kątowych określone są współrzędne przestrzenne „chmury punktów”.

System umożliwia ustawienie następujących interwałów pomiarowych:

- $0,0625^\circ$; $0,125^\circ$; $0,25^\circ$; $0,5^\circ$; $1,0^\circ$ w płaszczyźnie poziomej
- $0,25^\circ$; $0,5^\circ$; $1,0^\circ$ w płaszczyźnie pionowej

Przy ustawieniu domyślnym $0,25^\circ/0,25^\circ$ ilość punktów pomiarowych na pojedynczy skan wynosi 1 111 782.

Dla określenia dokładności pomiarowych punktów 3D zdefiniowano trzy grupy zakresu pomiarowego:

- dokładność milimetrowa — do 32 metrów
- dokładność centymetrowa — do 80 metrów
- dokładność decymetrowa — 80 do 100 metrów

Typowy zasięg pomiarowy wynosi 30 metrów, a przedstawione dokładności są ściśle związane z recepcją sygnału dla poszczególnych materiałów, z których wykonany jest mierzony obiekt.

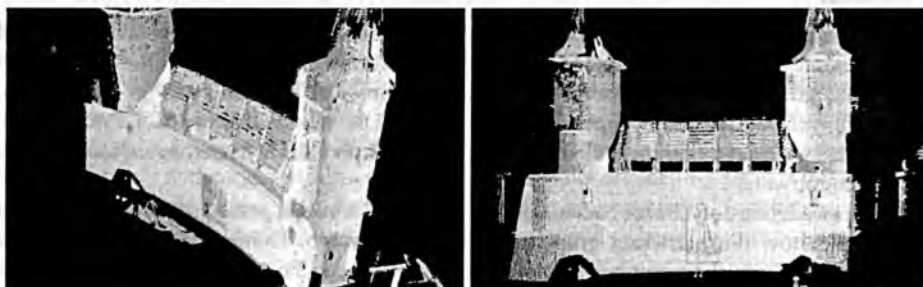
Zasadniczo instrument mocuje się na specjalnym statywie ale może również pracować bez statywu na specjalnych nóżkach za pomocą których poziomujemy go na libelę pudełkową. Możliwa jest również praca skanera w pozycji odwrotnej („do góry nogami” ryc. 2.) z wykorzystaniem specjalnego adaptera.

3. Przygotowanie pomiaru

Przygotowanie pomiarów rozpoczynamy od wykonania orientacji głowicy skanera. Można zrealizować to na trzy sposoby. Ustawić instrument na punkcie o znanych współrzędnych i połączyć go z punktem referencyjnym, określić jego położenie na podstawie wycięcia w przód wykorzystując do tego pryzmat zakładany na głowicę statywu lub wykorzystać funkcję automatycznego rozpoznawania luster geodezyjnych ustawionych na punktach dostosowania. Sterowanie systemem pomiarowym odbywa się za pomocą polowego komputera przemysłowego LMS, którego oprogramowanie umożliwi łatwą konfigurację głowicy skanującej. Można deaktywować rozdzielczość skanowania, parametry kamery, zakres pomiarowy i aktywować lub deaktywować automatyczne wyszukiwanie pryzmatów geodezyjnych.

Po dokonaniu ustawień i zainicjowaniu urządzenia pomiarowego pomiar jest wykonywany w pełni automatycznie. Podczas pomiaru dane są natychmiast przesyłane do komputera LMS i mogą być edytowane. Dzięki temu w czasie rzeczywistym jesteśmy w stanie „podglądać” skanowane powierzchnie.

Każdy pomierzony pojedynczy punkt ma swoje określone współrzędne przestrzenne X, Y, Z, natomiast „chmura punktów” odzwierciedla świat rzeczywisty. Na rysunku 3 przedstawiono przykłady pomierzonych fragmentów historycznego obiektu Barbakan w Krakowie.



Ryc. 3. Fragmenty „skanów” Barbakanu w Krakowie wykonane za pomocą systemu *Callidus*

4. Opracowanie pomierzonych danych

Pomierzoną chmurę punktów w pierwszym etapie opracowania poddaje się analizie za pomocą firmowego oprogramowania 3D Extractor. Na tym etapie można zmniejszyć ilość punktów, które będą podlegały dalszemu opracowaniu a także uzyskać informację o każdym punkcie oraz jego położeniu w stosunku do punktów sąsiednich.

Przy pomiarze skomplikowanych obiektów, gdy pomiar był wykonywany z kilku stanowisk możliwa jest transformacja pojedynczych skanów do jednego nadrzędnego układu i ich połączenie w jeden wspólny skan wynikowy.

Tak pomierzone punkty można edytować i generować z nich w sposób automatyczny: powierzchnie, krawędzie, podstawowe bryły (tj. walce, kule, stożki) oraz powierzchnie siatkowe. Generowane płaszczyzn można wykonywać na kilka sposobów:

- przy użyciu jednego punktu i narzuceniu dla niego dodatkowych warunków tj. poziom, pion, itp.,
- z wykorzystaniem fragmentu „chmury punktów” opisującej pewną geometrię,
- z wykorzystaniem pojedynczych punktów opisujących daną figurę geometryczną.

Oprogramowanie umożliwia zastosowanie logicznej klasyfikacji fragmentów płaszczyzn, daje możliwość usunięcia niepotrzebnych segmentów, umożliwia ograniczenie obszaru opracowania do interesującego nas zakresu. Możemy wpasowywać w grupy punktów płaszczyzn i bryły tworzyć obiekty typu walce, kule oraz oglądać widoki perspektywiczne modeli. Rysunek 4a przedstawia fragment pomierzonego obiektu bezpośrednio po zeskanowaniu a rysunek 4b ten sam obiekt po opracowaniu w programie 3d Extractor.



Ryc. 4. Obiekt pomierzony za pomocą systemu *Callidus*: a) przed obróbką powierzchni, b) po obróbce pomierzonych płaszczyzn

Tak przygotowane dane pomiarowe można eksportować w postaci plików *.dxf do programów CAD 3D w celu dalszego ich opracowania i wykorzystania.

5. Wnioski

Przedstawiony system pomiarowy uważamy za doskonałe narzędzie dla geodetów, architektów, projektantów, inżynierów, które może zostać wykorzystane w pomiarach dokumentacyjnych, szczególnie skomplikowanych obiektów, pomiarach kontrolnych i dokumentacji poszczególnych etapów budowy, pomiarach ilościowych powierzchni i objętości. Prezentowany skaner laserowy jest konkurencją dla fotogrametrycznych pomiarów naziemnych, które są kosztowne i długotrwałe.

Przeprowadzone dotychczas badania potwierdziły deklarowaną przez producenta dokładność pomiaru punktów dla pierwszej grupy zakresu pomiarowego. Kontrolny pomiar wybranych punktów pomierzonych za pomocą tachimetru elektronicznego Trimble 5503 z wykorzystaniem dalmierza bez odbłyśnikowego potwierdził zgodność wyników pomiarów na poziomie 5–7 mm. Jednak przy definiowaniu kształtów obiektów należałoby przeprowadzić bardziej szczegółowe badania a następnie zweryfikować modele testami statystycznymi. Należy również zwrócić uwagę, że inwentaryzacja dużych i złożonych obiektów wymaga stosowania obserwacji z wielu stanowisk, które następnie należy powiązać ze sobą aby uzyskać jeden model globalny. Na obecnym etapie badań najkorzystniejszym sposobem powiązania wielu układów instrumentalnych wydaje się wykorzystanie odpowiednio rozmieszczonych i zasygnalizowanych punktów wiążących.

Technologia skanowania laserowego znajduje coraz częściej zastosowanie gdy ważne są efekty ekonomiczne oraz liczy się szybkość, precyzja i pewność pomiaru (Gawecki 2004). Z tych względów technologią skanowania laserowego był wykonywany między innymi pomiar ruin World Trade Center w Nowym Jorku (miejsce ataku terrorystycznego 11 września 2001 roku). Obliczono, że pomiar metodą tradycyjną przy użyciu tachimetru elektronicznego trwałby 21 dni, natomiast użycie skanera skróciło wykonanie zadania do 3 dni i dodatkowo zwiększyło pewność co do jakości i kompletności wyników pomiaru.

Oprócz wielu zalet przedstawionego skanera laserowego należy również zwrócić uwagę na jego ograniczenia techniczne w tym przede wszystkim na brak możliwości pomiaru w temperaturze poniżej 0°C oraz na bardzo wysoką cenę urządzenia. Można jednak przewidywać, że podobnie jak wcześniej dalmierze, tachimetry a następnie odbiorniki GPS, skanery laserowe staną się wkrótce standardem w pomiarach geodezyjnych.

Streszczenie

W pracy przedstawiono możliwość wykorzystania laserowego systemu pomiarowego Trimble Callidus przeznaczonego do prowadzenia trójwymiarowych, bezstykowych pomiarów struktury obiektów. Leżące u podstawy technologie zarówno sprzętowe jak i oprogramowanie, umożliwiają szybki i automatyczny pomiar szczegółów oraz tworzenie niezbędnej dokumentacji. Dodatkowo z pomierzonej „chmury punktów” w bardzo prosty i komfortowy sposób można generować CAD-owski model przestrzenny.

Jest to doskonałe narzędzie dla geodetów, architektów, projektantów, inżynierów, firm zarządzających nieruchomościami, firm ubezpieczeniowych, policji i innych, dla których precyzyjne trójwymiarowe pomiary są niezbędne. Przyjazny program 3D-Extractor umożliwia łatwą obróbkę danych i eksport wyników do programów Cad-owskich w postaci plików dxf.

Abstract

Trimble Callidus is a measuring system for the three-dimensional measurement of room-structures without any contact. The underlying technologies in hard- and software make the fast and automatic collection and documentation of a location as well as the comfortable generation of 3D-CAD data from the collected measuring values possible.

The possibilities of application for Callidus are wide-spread. No matter, if buildings construction (data-collection, interfering edge models, revision documentation, virtual reality, simulations etc.) or deep workings (e.g. tunneling) Callidus delivers information that was not available up to now or only with large technical or temporal efforts. For archaeologists, it is possible to generate 3D-models of excavations. People working in the preservation of historic buildings and monuments can scan and archive sculptures and ornaments and — based on this — restore them.

Literatura

1. Callidus Precision Systems GmbH — Operating Instructions 2001.
2. Wojciech Gawęcki — „Jak korzystać z nowoczesności” *Geodeta* nr 5 / 2004.

Recenzował: prof. dr hab. inż. Oleksandr Dorozhynskyy

