Platforma własnej roboty

Systemy mobilnego skanowania laserowego coraz śmielej wkraczają do praktyki geodezyjnej. Co jednak zrobić, gdy nie stać nas na zakup kompletnego nowego zestawu? Rozwiązaniem może być budowa własnej mobilnej platformy pomiarowej z posiadanych już instrumentów.

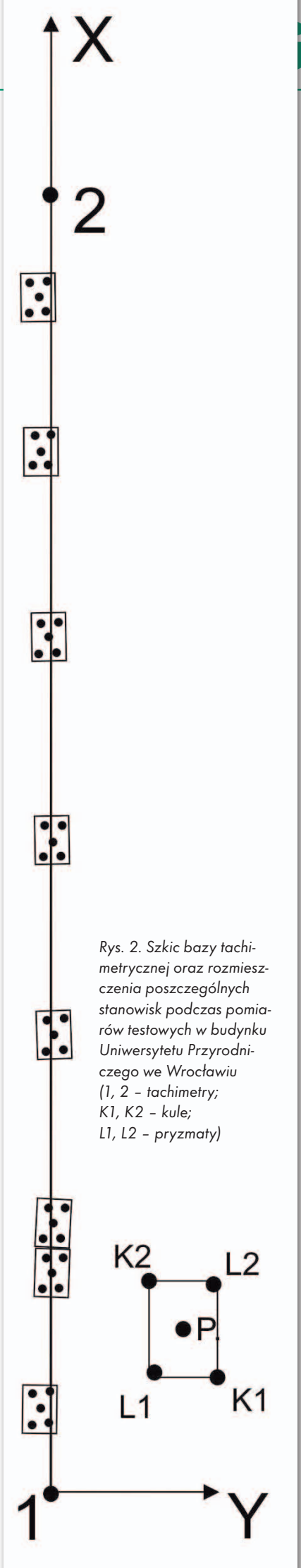
Grzegorz Bury,
Krzysztof Sośnica,
Andrzej Borkowski,
Lechosław Trznadel,
Marek Jędrzejczak

Systemy skanowania kinematycznego zapewniają gęstą, spójną oraz dokładną chmurę punktów, która wiernie odzwierciedla geometryczne oraz funkcjonalne właściwości obiektów. Ich przydatność rośnie zwłaszcza podczas pomiarów wydłużonych budowli lub wnętrz obiektów wielkopowierzchniowych. Tradycyjne rozwiązania stanowią integrację wielu komponentów. Za pozycjonowanie oraz wyznaczanie orientacji systemu odpowiadają zwykle odbiornik GNSS oraz jednostka nawigacji inercyjnej (IMU – *inertial measurement unit*). Sensorem pozyskującym dane przestrzenne zazwyczaj jest skaner profilowy. Ponadto system często wspomagany jest przez jednostkę pomiaru odległości (DMI – *distance measuring instrument*) montowaną na kole platformy skaningowej.

Obecnie na rynku oferowanych jest wiele gotowych zintegrowanych rozwiązań do mobilnego skanowania. Producenci sprzętu geodezyjnego – m.in. Leica, Trimble, Riegl, Optech czy Topcon – posiadają w swojej ofercie systemy wraz z oprogramowaniem do przetwarzania zgromadzonych danych. Rosnące ostatnio zapotrzebowanie na modelowanie informacji o budynkach i budowlach (BIM – *building information modeling*) skłoniło producentów do stworzenia systemów przeznaczonych typowo do skanowania wnętrz. Takim rozwiązaniem jest np. Leica Pegasus: Backpack, który łączy kamery cyfrowe



Rys. 1. Kompletny system mobilnego skanowania pracujący w trybie stop & go. Tachimetry robotyczne Trimble S8 tworzą bazę odniesienia



Rys. 2. Szkic bazy tachimetrycznej oraz rozmieszczenia poszczególnych stanowisk podczas pomiarów testowych w budynku Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu (1, 2 – tachimetry; K1, K2 – kule; L1, L2 – pryzmaty)

ze skanerem profilowym. Moduł IMU zapewnia wyznaczenie pozycji, kiedy brak jest sygnału GNSS. Dzięki technologii SLAM (*simultaneous localization and mapping*) w czasie rzeczywistym wykonywane jest kartowanie obiektu oraz pozycjonowanie.

Budujemy własny system

Wrocławskie przedsiębiorstwo geodezyjne WROGEO jest firmą doświadczoną w skanowaniu laserowym. W ramach współpracy z Instytutem Geodezji i Geoinformatyki Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu przedsiębiorstwo zaproponowało opracowanie platformy pomiarowej przeznaczonej do skanowania wnętrz w trybie ciągłym. Do jej budowy miały zostać wykorzystane wyłącznie komponenty stosowane w pracach geodezyjnych (tachimetry oraz skaner laserowy). Zadanie to zostało podjęte w ramach pracy magisterskiej napisanej przez Grzegorza Burego.

Z racji tego, że system (rys. 1) miał pracować we wnętrzach budynków, do jego konstrukcji nie mogły zostać wykorzystane urządzenia satelitarne. Pozycja oraz orientacja opracowanego rozwiązania wyznaczane są na podstawie obserwacji kątowo-liniowych dwóch robotycznych tachimetrów Trimble S8. Natomiast za pozyskiwanie chmury punktów odpowiada fazowy skaner laserowy Faro Focus 3D zamontowany w centralnym punkcie układu wózka. W narożnikach platformy umocowano dwie kule służące do orientacji skanera oraz dwa aktywne pryzmaty zwrotne, do których wykonywany jest pomiar tachimetryczny z zadanym interwałem czasu. System pracuje w lokalnym układzie współrzędnych utworzonym przez bazę tachimetryczną.

Chmura punktów

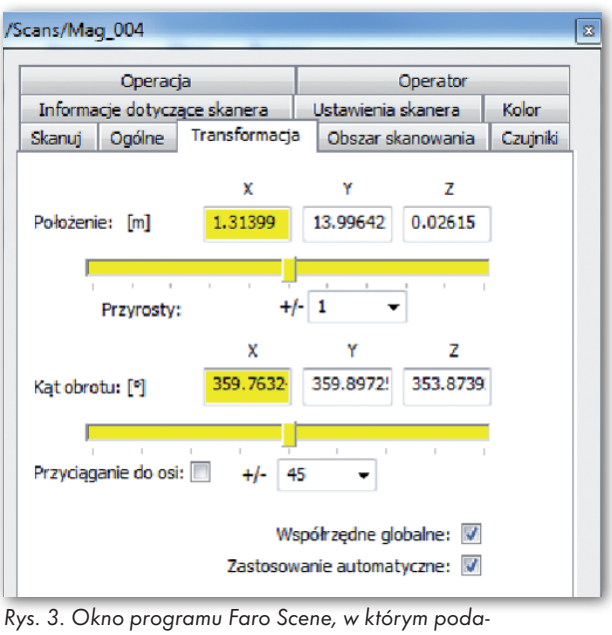
Na obecnym etapie prac powstało rozwiązanie pracujące w trybie stop & go. Platformę w ruch wprawia operator, przemieszczając system na wybrane wcześniej stanowiska w taki sposób, aby zadany obszar w pełni pokryć chmurą punktów. Skanowanie na kolejnych stanowiskach wyzwalane jest za pomocą aplikacji w smartfonie. Dzięki temu bezpośredni kontakt z instrumentem nie jest konieczny, a praca zostaje częściowo zautomatyzowana.

Pomiary tachimetryczne pryzmatów zwrotnych wykonywane są w celu dokonania transformacji pomierzonej chmury punktów do zadanego układu odniesienia. Pozycja luster wyznaczana jest w sposób ciągły, niezależnie przez każdy instrument, w zadanym przez operatora interwale czasu. Dodatkowo, konieczne jest wyznaczenie położenia sfer orientujących dane skaningu laserowego oraz pozycji samego instrumentu. Dokonuje się tego poprzez bezpośredni pomiar tachimetryczny, wykorzystując jako bazę pomiarową pozycje mocowań pryzmatów zwrotnych. Na etapie opracowania danych pozycje te stają się punktami dostosowania podczas transformacji elementów platformy do docelowego układu odniesienia.

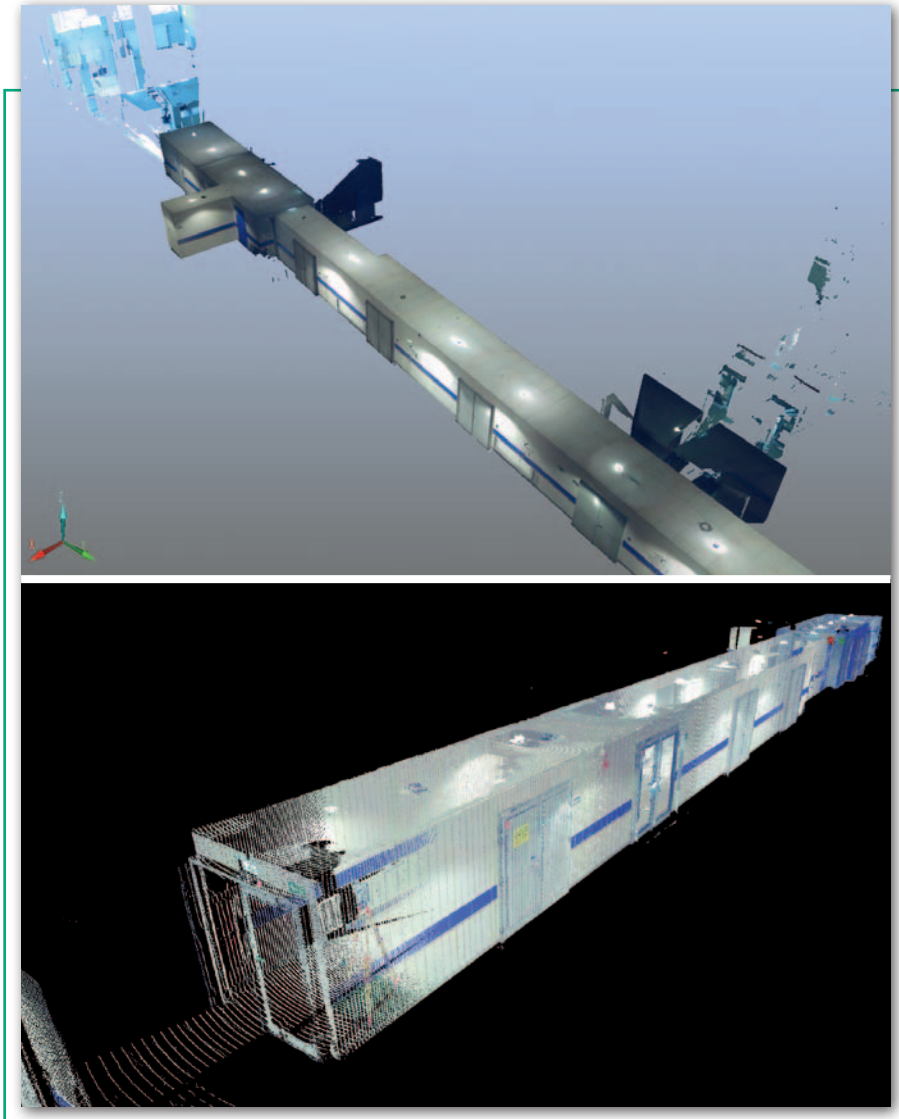
Integracja układów odniesienia

Przechodząc do etapu opracowania danych, należy ujednolicić pozyskane obserwacje. Występują one bowiem aż w trzech różnych układach odniesienia. Wyjściowy układ tworzy baza tachimetryczna (rys. 2). W tym układzie bezpośrednio wyznaczane są jedynie współrzędne pryzmatów zwrotnych. Rozmieszczenie poszczególnych komponentów na platformie stanowi oddzielny układ odniesienia. Jest on definiowany przez bazę utworzoną przez prostą zawierającą punkty mocowań pryzmatów zwrotnych. Dodatkowo każde stanowisko skanera laserowego stanowi oddzielny układ odniesienia określony przez orientację skanera względem kul.

Pierwszą czynnością w ramach opracowywania danych jest ujednolicenie obserwacji z obu tachimetrów oraz ich transformacja do wspólnego układu odniesienia. Podczas tego etapu należy dokonać selekcji danych, usuwając ob-



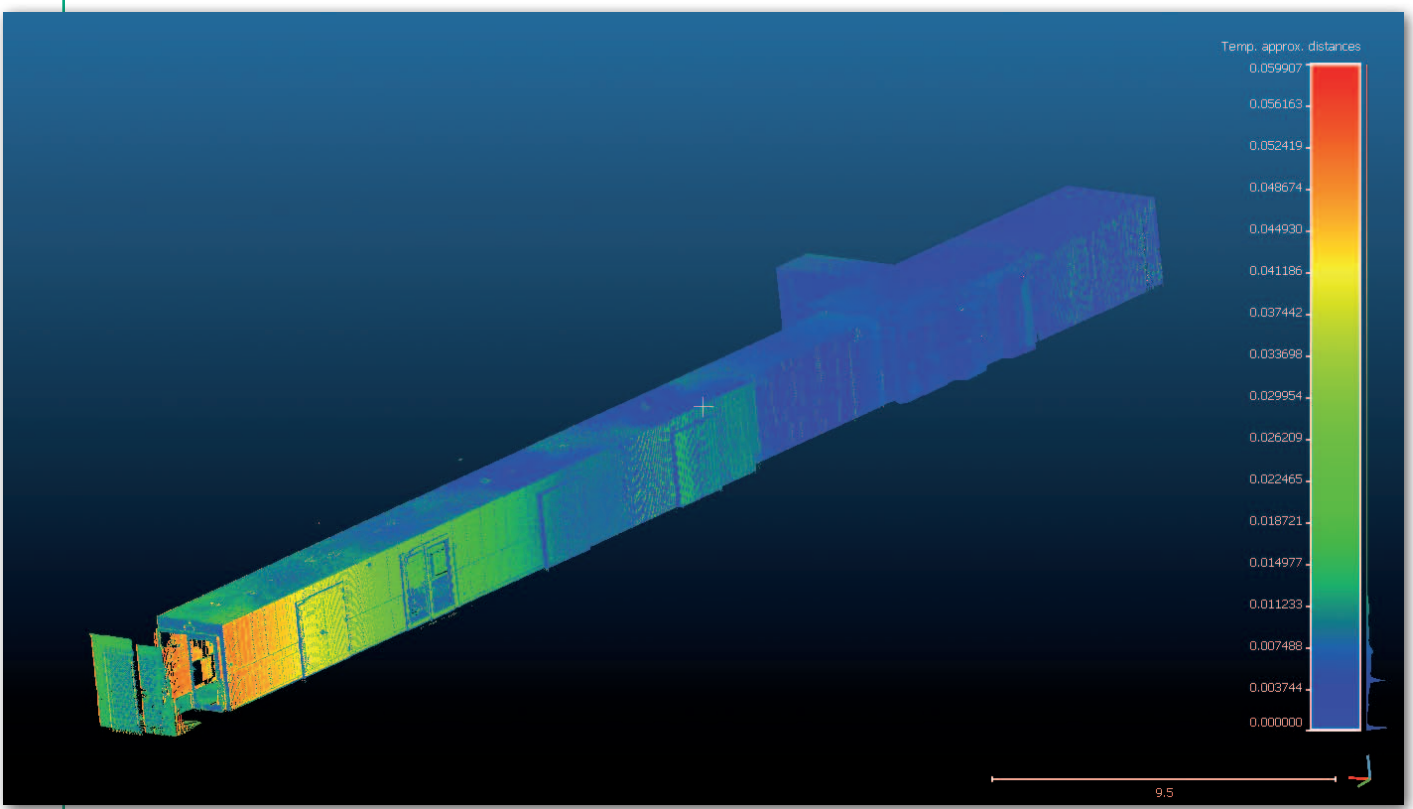
Rys. 3. Okno programu Faro Scene, w którym podaje się współrzędne oraz kierunek orientacji poszczególnych stanowisk



Rys. 4. Efekt wpasowania chmur punktów poprzez podanie obliczonych współrzędnych stanowisk oraz kierunków orientacji

serwacje, które zostały zarejestrowane podczas przemieszczania się platformy. Dysponując uśrednionymi współrzędnymi pryzmatów zwrotnych na kolejnych stanowiskach skanowania oraz danymi o wzajemnym rozmieszczeniu poszczególnych komponentów na platformie, można wykonać transformację Helmerta pomiędzy układem współrzędnych wózka a docelowym zewnętrznym układem współrzędnych. W ten sposób wyznacza się położenie skanera laserowego oraz kul orientujących skany w docelowym układzie odniesienia i otrzymuje spójne pod względem położenia dane. Pozostaje jeszcze wyznaczenie orientacji, którą można określić na podstawie analizy chmur punktów. Każde stanowisko platformy jest zorientowane we własnym układzie odniesienia. Aby ujednolicić dane ze skanera, należy na każdym stanowisku obliczyć azymut zarówno na podstawie danych skaningu laserowego, jak i obserwacji tachimetrycznych. Odejmując wartości azymutów na poszczególnych stanowiskach, otrzymuje się kierunek potrzebny do ostatecznej orientacji danych.

Ostatnim krokiem jest wprowadzenie danych o położeniu skanera laserowego oraz kierunku orientacji do oprogramowania Faro Scene (rys. 3). Aplikacja ta umożliwia wykonanie transformacji chmur punktów na kilka sposobów – m.in. poprzez podanie współrzędnych



Rys. 5. Porównanie sposobów wpasowania chmury punktów – metodą wskazania jednoimiennych płaszczyzn oraz poprzez podanie współrzędnych stanowisk

oraz kierunku orientacji instrumentu czy też wskazanie jednoimiennych płaszczyzn (rys. 4).

Weryfikacja podejścia

W celu zbadania poprawności działania opracowanego systemu wykonano transformację danych pozyskanych podczas pomiarów testowych w budynku Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu na dwa wymienione wyżej sposoby. Następnie nałożono na siebie obie chmury punktów i sprawdzono odstępy między nimi (rys. 5). Otrzymane różnice w miejscu najbardziej oddalonym od punktu referencyjnego nie przekraczają 6 cm.

Sprawdzenie wykonano również drugą, niezależną metodą polegającą na zamodelowaniu wybranej krawędzi, która została zeskanowana z trzech stanowisk (rys. 6). Jak pokazuje wynikowa tabela, różnice w długości badanego elementu nie przekraczają 1 cm, co również świadczy o poprawności działania metody.

Metoda wpasowania danych skaningu laserowego poprzez bezpośrednie podanie współrzędnych stanowiska skanera oraz jego orientacji może znacząco usprawnić i zautomatyzować prace geodezyjne. Aspekt ten nie jest jednoznacznie zauważalny na testowanym obiekcie ze względu na jego charakterystykę, która w prosty sposób pozwala wskazać jednoimienne płaszczyzny. Jednak wewnątrz skomplikowanego i wydłużonego obiektu, którego architektura wymaga zwiększenia liczby stanowisk lub w którym wskazywanie jednoimiennych płaszczyzn może powodować błędy grube podczas wpasowania danych, pierwsza metoda wydaje się najlepszym rozwiązaniem.

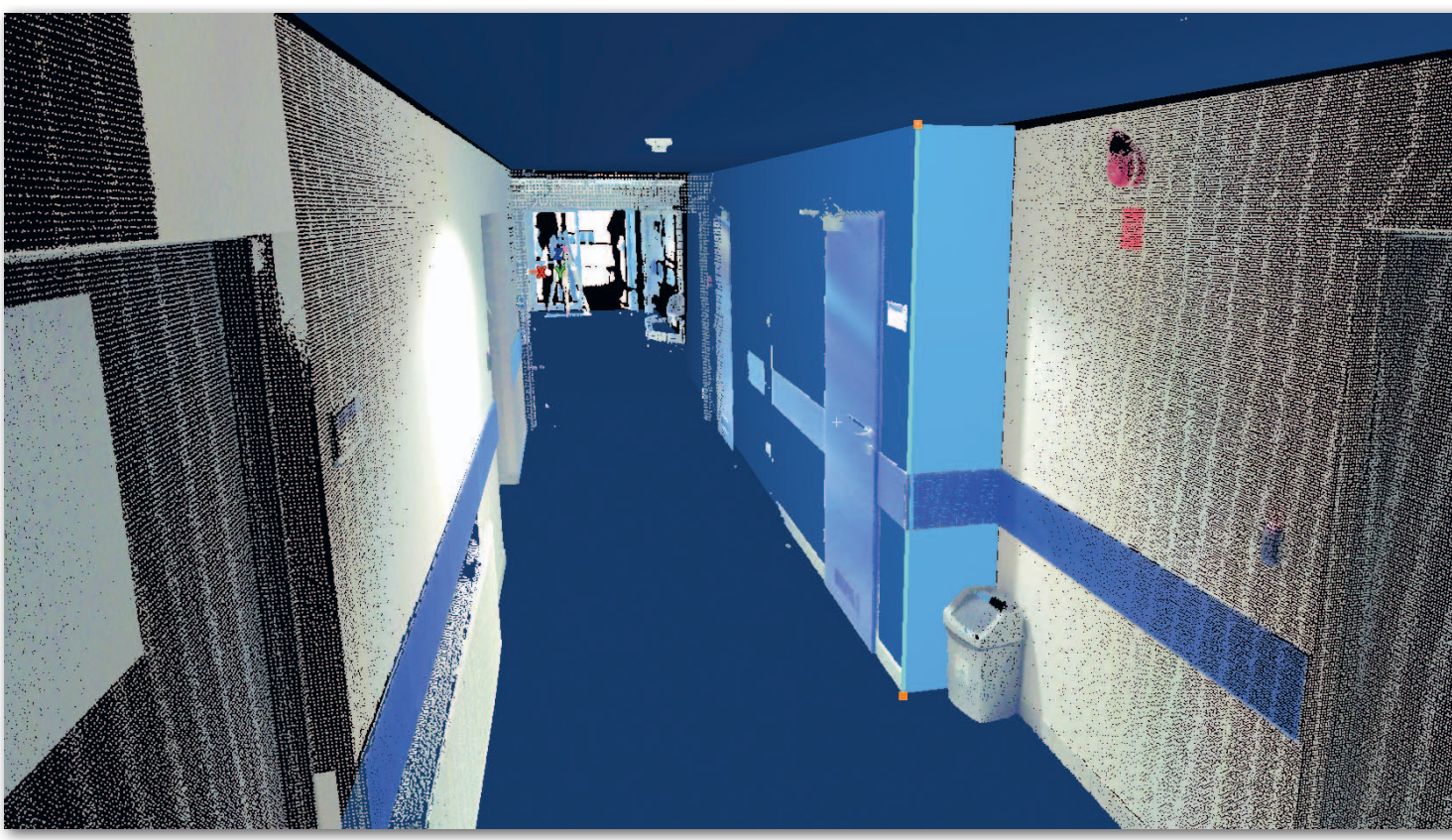
Porównanie długości krawędzi pomierzonej na trzech stanowiskach [m]

Stanowisko		X	Y	Z	d	d4-d5	d5-d6	d4-d6
4	początek	-0,700	14,710	-1,032	2,481	-0,008	0,003	-0,005
	koniec	-0,692	14,866	1,444				
5	początek	-0,707	14,606	-1,044	2,489			
	koniec	-0,700	14,609	1,445				
6	początek	-0,710	14,605	-1,043	2,486			
	koniec	-0,717	14,610	1,443				

Na tym nie koniec

Opracowana platforma pracująca w trybie stop & go stanowi dopiero pierwszy etap zadania, którego celem jest stworzenie własnego kompleksowego systemu do skanowania wnętrz. Bazując na wynikach przeprowadzonych testów, można stwierdzić, że rozwiązanie już teraz dostarcza spójną chmurę punktów, która może być wyrażona w zadanym układzie współrzędnych. Co więcej, mobilny system pomiarowy został zbudowany z zastosowaniem dostępnych standardowych komponentów, z których korzysta już wiele przedsiębiorstw geodezyjnych – odpada więc konieczność zakupu dodatkowego drogiego sprzętu czy oprogramowania. Z tego powodu zaproponowana platforma stanowi ciekawą alternatywę dla firm, które z technologii mobilnego skanowania korzystają sporadycznie. Chociaż już na obecnym etapie system znacząco ułatwia prace związane ze skanowaniem kinematycznym, w szczególności wnętrz obiektów wydłużonych o skomplikowanej architekturze, planowane są kolejne modyfikacje oraz rozszerzenia polegające m.in. na wykorzystaniu jednostki inercyjnej oraz panoramicznej kamery cyfrowej.

Grzegorz Bury, dr hab. Krzysztof Sośnica, prof. Andrzej Borkowski
Instytut Geodezji i Geoinformatyki UP we Wrocławiu
Lechosław Trznadel, Marek Jędrzejczak
WROGEO



Rys. 6. Zamodelowana krawędź zeskanowana z trzech stanowisk platformy