Zautomatyzowana platforma fotogrametryczna (ZPF) dla obiektów małogabarytowych

Okiem FocusSphere

Wraz z rozwojem metodyki wykonywania modeli 3D pojawiły się nieznane wcześniej trudności. Algorytmy służące do wyrównywania sieci zdjęć oraz generowania gęstych chmur punktów wymagają większego – w porównaniu z tradycyjną fotogrametrią – pokrycia obiektu obrazami. Problem pozyskania dużej liczby fotografii stał się bodźcem do stworzenia maszyny, która mogłaby przyspieszyć ten proces.

Witold Niewiem

Projekt „FocusSphere ZPF" (FS) realizowany był w ramach konkursu dla studentów „Grant Rektorski 2016" przez 9 członków Koła Naukowego Geodetów „Dahlta" działającego przy Wydziale Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Cel przedsięwzięcia to zaprojektowanie i wykonanie zautomatyzowanej platformy fotogrametrycznej – kompleksowego urządzenia wykonującego zdjęcia obiektów, których rozmiary nie przekraczają 80 cm średnicy. Maszyna o wysokości około 160 cm (w zależności od konfiguracji) składa się ze stołu o średnicy 84 cm obracającego się wokół własnej osi i wysięgnika, po którym porusza się wózek z zamocowaną kamerą fotograme-

Fot. Maciej Bernaś (Krakowska Studencka Agencja Fotograficzna)

tryczną. Dzięki specjalistycznemu oprogramowaniu – nadzorującemu działanie silników sterujących stolikiem i wózkiem oraz wyzwalanie migawki – możliwa jest pełna automatyzacja pracy. Urządzenie pozyskuje do trzydziestu zdjęć na minutę.

Efekty przedsięwzięcia zostały zaprezentowane na początku grudnia 2016 r. Prowadzący projekt Witold Niewiem i członek zespołu Łukasz Wandzich (na fot. powyżej stoi na blacie FS) wzięli udział w dwóch konkursach referatów zorganizowanych na AGH w ramach: 57. Konferencji Studenckich Kół Naukowych Pionu Górniczego – Sekcja Geodezja (8 grudnia) oraz II edycji Forum Uni-Biznes Geodezja Przedsiębiorcy Studenci (9 grudnia) [GEODETA1/2017 – red.]. Prezentacja – „FocusSphere ZPF" – zdobyła uznanie członków jury i zwyciężyła w obu przypadkach.

Szybciej i prościej

Pozyskanie danych dla fotogrametrii bliskiego zasięgu nie jest prostym zadaniem, jeżeli mają one zachować określone standardy. Jednym z podstawowych wymagań jest równomierne i gęste pokrycie poprzeczne i podłużne. Ręczne wykonanie kilkudziesięciu lub nawet kilkuset fotografii jest zajęciem żmudnym i czasochłonnym. FocusSphere przyspiesza cały proces, ograniczając pracę operatora do wybrania wcześniej napisanego skryptu w języku G-code (służącego zazwyczaj do sterowania obrabiarkami numerycznymi) i uruchomienia procesu.

Niewątpliwą zaletą zaprojektowanego urządzenia jest to, że fizyczna rama konstrukcyjna FS pozwala na utrzymanie stałych (w pewnym zakresie dokładności) elementów orientacji zewnętrznej (EOZ), czyli współrzędnych liniowych i kątowych kamery w momencie wykonywania każdego zdjęcia. Wiedząc, że odległość kamery od przedmiotu jest cały czas taka sama, a także znając kąt, o jaki obraca się przedmiot wokół osi pionowej, oraz położenie wózka na wysięgniku, możemy obliczyć EOZ fotografii pozyskanych przy użyciu danego skryptu G-code (realizującego np. 50, 80 lub 120 zdjęć). W procesie wyrównywania sieci obrazów EOZ są bardzo pomocne. Przybliżenia wartości elementów orientacji pozwalają na wykrycie błędów oraz przyspieszenie procesu obliczeniowego.

Dodatkowy atut FocusSphere to możliwość trwałego umieszczenia na urządzeniu fotopunktów i przymiarów skalujących. Pozwalają one na zdefiniowanie lokalnego układu współrzędnych lub wyskalowanie modelu. Ponadto wykorzystanie sygnałów kodowanych automatyzuje proces opracowania danych, ograniczając czas wskazania punktów, i eliminuje z procesu tzw. czynnik ludzki, który jest najczęstszą przyczyną błędów grubych.

FocusSphere pozwala także na skalibrowanie kamery. Tak przygotowany aparat może później posłużyć do wykonywania modeli o lepszych parametrach dokładnościowych.

Blat i wysięgnik

Głównym elementem FocusSphere (fot. 1) jest obrotnica stolikowa. Składa się ona z zapewniającej stabilność ramy zbudowanej na planie kwadratu oraz łożyskowanego wału, do którego przymocowane jest koło przeniesienia napędu i blat. Na blacie spoczywa obiekt podczas pozyskiwania zdjęć. Do ramy zamocowane jest również gniazdo silnika krokowego. Za pomocą pasków zębatych obroty silnika przenoszone są na bloczek przeniesienia napędu, a następnie na wał główny urządzenia. Taka konstrukcja pozwala zachować stabilność FocusSphere i obracać obiekty o wadze do 150 kg. Konstrukcja zawiera ponadto mocowanie pozwalające na przytwierdzenie wysięgnika (profilu).

Po wysięgniku (fot. 1) – zawierającym zarówno odcinek prostoliniowy, jak i wygięty o specjalnie dobranej krzywiźnie – w prowadnicy porusza się wózek. Jest on napędzany przez silnik krokowy za pomocą paska zębatego i dwóch kołowrotków. Dzięki sprężynowemu zawieszeniu porusza się bez przeszkód niezależnie od miejscowego przekroju wysięgnika. Właściwe położenie wózka realizowane jest za pomocą resorowanych bloczków mieszczących się w szczelinach prowadnicy. Wózek posiada mocowanie dla dowolnego aparatu fotograficznego, które umożliwia horyzontalne i wertykalne położenie sprzętu. Jarzmo unieruchamia ka-

1. Po lewej: FocusSphere z aparatem Canon EOS 600D; po prawej: wysięgnik

merę w czasie pracy urządzenia. Profil posiada także układ rowków, który stabilizuje ruchome elementy maszyny i chroni je przed ześlizgnięciem, oraz niewielkie kołowrotki pomocnicze zapobiegające uszkodzeniu paska klinowego sunącego po krawędzi wysięgnika.

Silnik i sterowanie

Do poruszania ruchomymi elementami maszyny wykorzystano silniki krokowe. W połączeniu z odpowiednimi sterownikami pozwalają one na bardzo precyzyjne zdefiniowanie parametrów pracy układu. To znaczy blat może obracać się o ułamkowe części stopnia, a wózek przemieszczać o pojedyncze milimetry.

Silniki obsługiwane są bezpośrednio za pomocą modułu sterującego. Moduł taki tworzy płyta główna (fot. 2), dwa sterowniki silników krokowych i komputer PC. Komputer osobisty z oprogramowaniem przeznaczonym do sterowania maszynami CNC (Computerized Numerical Control) wysyła sygnał sterujący do płyty głównej, skąd trafia on do silników,

Potrzeba matką wynalazku

Rozmawiamy z WITOLDEM NIEWIEM, koordynatorem projektu „FocusSphere ZPF", studentem II roku studiów magisterskich na WGGiIŚ AGH w Krakowie, kierunek geodezja i kartografia, specjalność geoinformatyka, fotogrametria i teledetekcja

DAMIAN CZEKAJ: Chyba żaden z dotychczasowych projektów Koła Naukowego Geodetów „Dahlta" nie zakładał budowy od podstaw nowego urządzenia. Nie baliście się, że porywacie się z motyką na słońce?

WITOLD NIEWIEM: Faktycznie był to nasz pierwszy projekt konstrukcyjny. Oczywiście pojawiały się wątpliwości, ponieważ studia geodezyjne nie przygotowują do realizacji podobnych przedsięwzięć. Podejmowane do tej pory projekty miały bardzo różnorodną tematykę, ale ten niewątpliwie był wyjątkowy. Pomimo obaw postanowiliśmy ruszyć z FocusSphere w myśl zasady, że potrzeba jest matką wynalazku.

Po co studentom taka maszyna?

W Dahlcie od zawsze staraliśmy się rozwiązywać realne problemy i zajmować się istotnymi rzeczami. Pomysł kiełkował w naszym kole od dość dawna, ponieważ w ramach różnych projektów wykonujemy mnóstwo modeli trójwymiarowych. Od kilku lat coraz więcej z nich tworzymy z wykorzystaniem technik fotogrametrycznych. Dlatego też FocusSphere jest odpowiedzią na naszą potrzebę pozyskiwania danych geometrycznych obiektów małogabarytowych.

Jak poradziliście sobie z częścią mechaniczną i programistyczną projektu?

Jej realizacja nie byłaby możliwa bez pomocy wielu życzliwych nam osób. W zespole odpowiedzialnym za FocusSphere nie ma elektroników czy mechaników, dlatego tak ważne było wsparcie naszych rodzin, przyjaciół czy po prostu ludzi dobrej woli, którzy, tak samo jak my, dostrzegli potencjał w tym pomyśle.

Czy na rynku dostępne są podobne do FS rozwiązania?

Jest kilka urządzeń o zbliżonym profilu działania. Różnica między nimi a FocusSphere wyraża się przede wszystkim w cenie. Tego typu urządzenia nie należą do najtańszych, w przeciwieństwie do naszej maszyny. FocusSphere jest oczywiście prototypem, który wymaga jeszcze wielu testów i udoskonaleń, jednak już teraz możemy korzystać z niego w kole naukowym.

W grudniu 2016 r. zajęliście pierwsze miejsca w dwóch konkursach referatów. Które zwycięstwo jest dla was ważniejsze?

Oba znaczą tyle samo. W pierwszym uzyskaliśmy aprobatę środowiska naukowego uczelni, w drugim natomiast – środowiska biznesowego. Przed konkursami byliśmy pewni siebie, chodź nie nastawialiśmy się na nic. Sam ogrom wykonanej pracy, który wiązał się ze stworzeniem działającego urządzenia, upewniał nas, że mamy do zaprezentowania coś naprawdę wartościowego.

Trudno było pozyskać środki na sfinansowanie FocusSphere?

określając czas i tryb ich pracy. Podobnie sygnał dociera również do węża spustowego migawki aparatu. Czas otwarcia migawki jest definiowany w skrypcie poleceń. Użytkownik nie wprowadza żadnych parametrów do programu, a jedynie – jak już zostało wspomniane – wybiera wcześniej napisany skrypt w języku G-code. Dzięki precyzyjnemu systemowi kierowania możliwe jest obliczenie pokrycia poprzecznego i podłużnego obiektu i parametrów określających położenie kamery w chwili wykonywania zdjęcia.

Urządzenie składa się również z elementów niepołączonych trwale z obrotnicą. Bardzo istotne w pracy FocusSphere jest światło. Ponieważ maszyna przeznaczona jest do pracy wewnątrz pomieszczeń, należało zapewnić odpowiednie oświetlenie obiektu. Ważne jest, aby było ono miękkie i jednocześnie wystarczająco silne. Ostatecznie wykorzystano cztery softboxy studyjne rozłożone symetrycznie wokół obrotnicy. Każdy softbox o wymiarach 50 na 70 centymetrów wyposażony jest w żarówkę o mocy 85 watów.

2. Płyta główna modułu sterującego FocusSphere

Projekt realizowaliśmy w ramach „Grantu Rektorskiego 2016". Wnioski grantowe składa się na początku roku, po czym są one oceniane pod względem oryginalności i atrakcyjności oraz aktualności i wagi problemu. Ich ważnym elementem jest preliminarz, w którym trzeba zaznaczyć, o jaką kwotę wnioskujemy, i przedstawić szczegółowo, na co te pieniądze planujemy wydać. Warunkiem rozpatrzenia wniosku jest także potwierdzone dofinansowanie z innych źródeł w wysokości minimum 30% wartości projektu. W naszym przypadku była to dotacja z Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH oraz wkład własny członków zespołu FocusSphere. Ostateczna wartość projektu wyniosła 7150 zł.

W przypadku budowy urządzenia pieniądze są bardzo potrzebne. Przyznana nam kwota była mniejsza od tej, o którą wnioskowaliśmy, więc musieliśmy szukać oszczędności. Po przekalkulowaniu nowego budżetu podjęliśmy jednak decyzję o rozpoczęciu grantu. Pieniądze w całości zostały przeznaczone na zakup elementów konstrukcyjnych i ich dostawę. Preliminarz nie zawierał honorariów dla wnioskodawców.

Jaka będzie przyszłość FocusSphere?

Projekt grantowy został zakończony, wszelkie dokumenty formalne (faktury i podsumowania) przekazaliśmy już uczelni. Urządzenie jest sprawne i gotowe do działania. Teraz pragniemy zająć się dalszymi badaniami naszego prototypu i opracowaniem metodyki wykorzystania FocusSphere. Zakładamy, że czekają nas jeszcze jedynie drobne poprawki mechaniczne, z którymi jakoś sobie poradzimy mimo obecnego braku źródła finansowania. Być może kiedyś któraś z opracowanych przez nas technologii trafi do przemysłu. Bylibyśmy niesamowicie dumni z takiego obrotu sprawy. Jednak już teraz FocusSphere otwiera przed nami nowe możliwości badawcze.

Znajdujesz czas na pracę przy jakichś innych projektach?

Obecnie jestem skupiony głównie na FocusSphere i chciałbym poświęcić mu pracę magisterską, ale interesuję się też innymi zagadnieniami. W naszym kole istnieje wiele grup badawczych pracujących równolegle w różnych zakresach. Ja zajmuję się również (zresztą już od studiów pierwszego stopnia) technologią UAV. Dlatego w tym zakresie mam jeszcze parę pomysłów do zrealizowania lub już są one w trakcie realizacji. Jako licencjonowany operator UAV mogę powiedzieć, że zapotrzebowanie rynku na opracowania niskopułapowe jest całkiem duże i sektor ten daje wiele możliwości rozwoju.

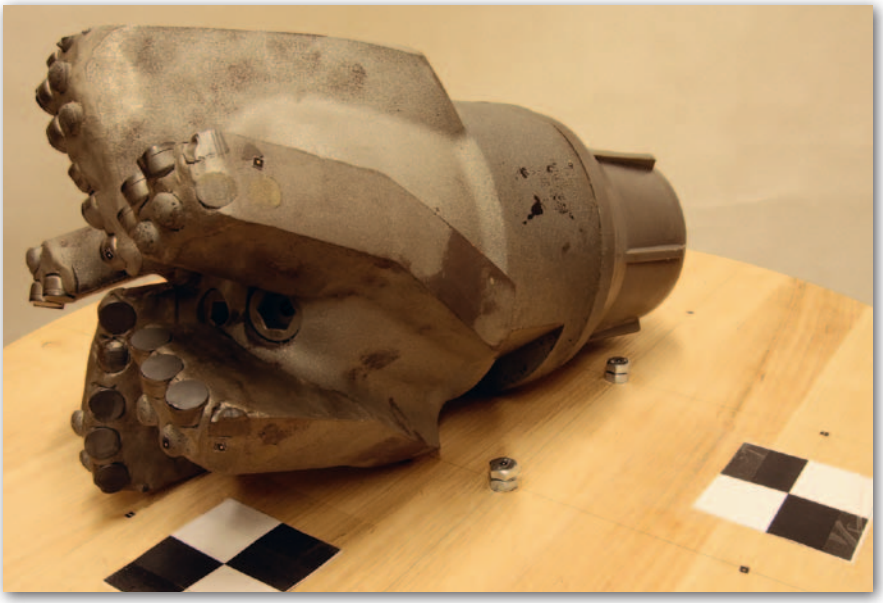
W tym roku kończysz studia magisterskie. Zastanawiasz się może nad doktoratem?

Myślałem o pracy na uczelni i rozpoczęciem studiów III stopnia, ale, przynajmniej na razie, to tylko jedna z wielu możliwości. Chciałbym w swojej pracy zawodowej łączyć świat biznesu i nauki. Mam nadzieję, że mi się to uda.

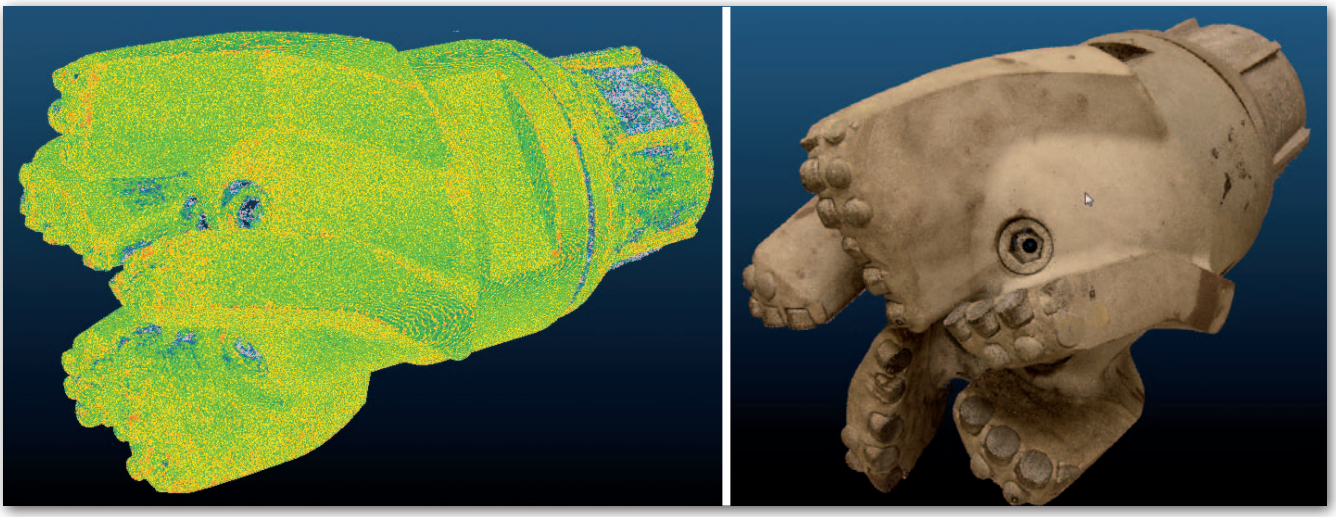
W KNG Dahlta działasz już 5. rok. Jak oceniasz te lata?

W kołach naukowych studenci mają możliwość rozwoju swoich umiejętności, poszerzenia wiedzy i wykonania własnego projektu. Spośród licznych niezwykle ambitnych i cennych naukowo działań Dahlty brałem udział m.in. w inwentaryzacji stożków piargowych, wykonaniu modeli 3D jaskiń, badaniach geodynamicznych, badaniach potoków tatrzańskich czy inwentaryzacji szlaków turystycznych za pomocą bezzałogowców. Wszystkie one mocno utkwiły mi w pamięci. Projekty inicjowane w kole umożliwiły mi nowe spojrzenie na wiedzę przyswajaną na zajęciach i pozwoliły na realizację bardzo śmiałych pomysłów. Części z nas członkostwo umożliwiło postawienie pierwszych kroków w świecie nauki czy znalezienie pracy.

Pozostają też inne aspekty działalności w kole. Obozy naukowe to nie tylko ciężka praca (często po zmroku), ale również kuźnia przyjaźni i wspaniałych przeżyć. Działalność w Dahlcie pozwoliła mi także bliżej poznać prowadzących zajęcia i poruszyć kwestie, na które wcześniej nie było czasu. Gdyby ktoś mnie zapytał, czy warto wstąpić do KNG Dahlta, odpowiedziałbym: zdecydowanie tak! ■



3. Obiekt testowy – świder górniczy – podczas pomiaru FocusSphere



4. Model świdra wykonany w oprogramowaniu Agisoft PhotoScan (opracowany ze zdjęć)

Ostatnim elementem urządzenia jest ekran o jednolitej barwie białej ułatwiający proces wyrównania sieci zdjęć i gęstego *matchingu*. Dzięki zabiegowi maskowania tła przyspieszane są procesy obliczeniowe oraz zwiększona jest ich dokładność.

Urządzenie, choć złożone konstrukcyjnie, jest również bardzo wszechstronne. Istnieje możliwość regulacji jego parametrów mechanicznych, automatycznych i optycznych. FS jest również stosunkowo mobilne. Większość części można zdemontować do transportu i są one na tyle lekkie, że mogą zostać przeniesione przez dwie osoby.

FocusSphere w działaniu

Pierwszy pomiar testowy (choć jeszcze bez pełnej automatyzacji) wykonano w listopadzie 2016 r. we współpracy z Kołem Naukowym „Zdrój" działającym przy Wydziale Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH. Zadanie polegało na inwentaryzacji świdra (fot. 3) w celu weryfikacji jego zniszczenia pod wpływem eksploatacji. Podczas pomiaru trwającego 45 minut pozyskano za pomocą FS 80 zdjęć (obecnie, po wprowadzeniu pełnej automatyzacji, czas potrzebny na przeprowadzenie podobnego pomiaru jest kilkakrotnie krótszy). Fotografie – wykonane aparatem Canon EOS 600D – posłużyły następnie do stworzenia modelu 3D w oprogramowaniu Agisoft PhotoScan (fot. 4). W celu weryfikacji otrzymanego produktu wykonano ponadto pomiar skanerem (Faro Focus 3D; 4 stanowiska; 7 tarczek pomiarowych, w tym 3 poza blatem; gęstość skanowania – 5 mm/10 m) oraz suwmiarką elektroniczną.

Porównanie chmur punktów ze zdjęć i skanera przeprowadzono w programie CloudCompare w module cloud2cloud. Otrzymany RMS – przekrojowa wartość opisująca różnice między modelami – wyniósł 6 mm. Z kolei różnice długości ośmiu wybranych odcinków – pomierzonych na chmurach punktów i za pomocą suwmiarki – nie przekroczyły 2 mm.

Wyniki testów potwierdziły przydatność FS w badaniach obiektów małogabarytowych. Planowana jest dalsza współpraca z KN Zdrój m.in. w zakresie tworzenia modeli 3D kolejnych świdrów.

Perspektywy projektu

Krąg potencjalnych odbiorców produktów fotogrametrycznych cały czas się poszerza. Obecnie skalowalne trójwymiarowe modele znajdują zastosowanie przede wszystkim w inżynierii odwrotnej (czyli procesie, w którym na podstawie obiektu rzeczywistego otrzymujemy jego dokumentacje w formie 3D bądź 2D). Choć zalety wirtualnego badania wymiarów lub objętości dostrzegają także przedstawiciele innych branż.

Ciekawym zagadnieniem jest wykorzystanie modeli 3D w branży odzieżowej (np. do prezentacji asortymentu w sklepach internetowych) czy w archeologii i muzealnictwie. W dobie coraz popularniejszych wirtualnych muzeów modele wykonywane za pomocą FS mogą okazać się doskonałym rozwiązaniem. Natomiast w przypadku archeologii często pozyskane fragmenty ceramiki lub biżuterii nie mogą zostać wywiezione ze stanowisk, na których zostały odnalezione. Rozwiązaniem tego problemu jest inwentaryzacja danego eksponatu na miejscu.

FocusSphere jako projekt studencki zyskał powszechną aprobatę i zainteresowanie środowiska naukowego i biznesowego. Choć sama maszyna wymaga jeszcze testów i modyfikacji, wyznacza ona kierunek rozwoju konstrukcji tego typu, które być może znajdą zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu i nauki.

Witold Niewiem
KNG Dahlta