

# Fotogrametria

## – stara technika w nowym wydaniu

Szymon Kostka

Fotogrametria jest dziedziną nauki i techniki wykorzystującą zdjęcia do odtworzenia kształtów, rozmiarów oraz wzajemnego położenia obiektów względem siebie. Po raz pierwszy zastosowano ją już w połowie XIX w. Od jej narodzin najszerze zastosowanie miała głównie w kartografii. Wykorzystując zdjęcia lotnicze oraz satelitarne można odtworzyć m.in. rzeźbę terenu czy wielkość obiektów. Zastosowanie fotogrametrii w amatorskich warunkach było do tej pory mocno ograniczone, głównie ze względu na konieczność posiadania skomplikowanego sprzętu optycznego. Jednak wraz z popularyzacją fotografii cyfrowej oraz wzrostem mocy obliczeniowej komputerów, zamiast precyzyjnego oka kartografa, analizą obrazu mogły zająć się złożone algorytmy.

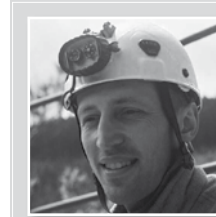
Na pomysł, aby wykorzystać fotogrametrię w branży podziemnej, wpadłem przy okazji dokonywania pomiarów zawalanej sztolni odwadniającej, której ujście znajduje się w pobliżu mostu o częściowo stalowej konstrukcji. Użycie „klasycznych”, jaskiniowych metod kartowania z wykorzystaniem azymutu magnetycznego nie wchodziło w rachubę z powodu błędu, powodowanego przez namagnesowaną konstrukcję mostu. Do teodolitu nie mieliśmy dostępu, a prace trzeba było wykonać ekspresowo. Jedyne rozwiązanie, które przyszło mi do głowy, to zastosować fotogrametrię. Na powierzchni oraz w sztolni wykonaliśmy 171 zdjęć. Po szybkich poszukiwaniach, znalazłem w internecie informacje o dziewięciu programach, które służą do automatycznego przetwarzania dwuwymiarowych obrazów w model przestrzenny: Agisoft Photoscan, Insight3D, Photo Modeler Scanner, PPT gui, VisualFSM, Neitra 3D, SURE, 3DF Zephyr, Acute3D. Biorąc pod uwagę przede wszystkim dostępność, postanowiłem przyjrzeć się darmowym: VisualFSM i PPT gui oraz wersji próbnej Agisoft Photoscan. Programu PPT gui nie udało mi się w miarę szybko i bezboleśnie uruchomić, skupiłem się więc na dwóch pozostałych.

Już podczas pierwszych prób okazało się, że zadanie wymaga bardzo silnego komputera. Krytyczne znaczenie dla obróbki projektu ma pojemność i szybkość pamięci RAM. Należy dążyć do tego, aby komputer przetwarzając dane, jak najmniej korzystał z pliku wymiany. Po „drobnej” przeróbce komputera (4 rdzenie 2.5 GHz, 16GB RAM, dane do odczytu – dysk SSD, dyski robocze projektu i plik wymiany – 2 szybkie dyski na RAID 0) podobny projekt składający się z 250 zdjęć (16 megapikseli) przetwarzany był przez około 16 godzin. Pierwsze testy wykazały, że komercyjne oprogramowanie (Agisoft Photoscan) radzi sobie trochę lepiej. Prędkości pracy testowanych programów były podobne, ale VisualFSM czasami się zawieszał, miewał

większy odsetek zdjęć niepowiązanych oraz brak mu bardzo przydatnej funkcji ustawiania markerów, którymi można ręcznie zdefiniować charakterystyczne punkty scenarii wspólne dla dwóch lub więcej zdjęć. Sukces pierwszego testu spowodował, że postanowiłem trochę lepiej przyjrzeć się metodzie oraz nieco poeksperymentować.

Jak to działa? W największym skrócie: program analizuje każde zdjęcie i z fotografii tworzy mapę charakterystycznych dla obrazu elementów. Później wszystkie mapy porównywane są ze sobą i szukane są występujące pomiędzy nimi części wspólne lub podobieństwa. Jeśli zrobimy dwa zdjęcia jakiegoś przedmiotu i pozostawimy „zakładkę”, to program znajdzie wspólny fragment i stwierdzi, że są to zdjęcia tej samej scenarii. Jeśli podczas robienia zdjęć tego samego przedmiotu zmienimy punkt, z którego fotografujemy, to program analizując geometryczne zniekształcenia występujące pomiędzy elementami mapy, obliczy różnicę położenia aparatu oraz geometrię sfotografowanej powierzchni (praktycznie to samo czyni nasz mózg, analizując obrazy docierające z pary oczu). Dodatkowo, sprytnie algorytmy większości programów są nawet w stanie obliczyć i uwzględnić zniekształcenia optyki aparatu, którym fotografujemy.

Podstawowym czynnikiem, który ma negatywny wpływ na dokładność analizy obrazu jest utrata szczegółów, wynikająca z ograniczonej rozdzielczości zdjęcia, pomnożona przez rozmycie obiektywu. Wynika z tego jasno, że chcąc uzyskać jak najbardziej precyzyjny wynik, musimy dostarczyć jak najwięcej danych. Po pierwsze, w przypadku zdjęć robionych z jednego miejsca, należałoby zastosować jak największe zakładki. Po drugie, powinno się fotografować z jak największej liczby punktów (do uzyskania modelu przestrzennego potrzebujemy ich minimum 3). Aby dopasować potrzeby do możliwości, na drugiej szali należy położyć problemy z pozyskaniem i obróbką ogromnych ilości danych. Zwiększając dwukrotnie liczbę zdjęć, wydłużamy czas pracy programu prawie czterokrotnie. Kierując się podstawowymi zasadami zastosowałem poręczny i czuły aparat (Panasonic GH-3) ze stałooogniskowym, szerokokątnym (14 mm), jasnym (f 1:1.25) obiektywem. Ustawiony był na solidnym statywie i aby zredukować drgania wynikające z dotykania sprzętu korzystałem z dwusekundowego samowyzwalacza. Aby uzyskać dużą głębię ostrości sfotografowałem z przysłoną 8. Czułość była ustawiona na 200 ISO z automatycznym doбором czasu naświetlania. Z każdego punktu wykonywałem sferyczną panoramę starając się, aby zakładki w pionie i poziomie były w okolicach 10–20% długości



**Szymon Kostka**, klub macierzysty – Sekcja Grotołazów Wrocław. Instruktor, 25 lat działalności. Współautor połączenia Jaskini Wielkiej Śnieżnej z Jaskinią Wielką Litworową oraz ostatnich odkryć w Jaskini Niedźwiedziej.

boku zdjęcia. Punktów, z których wykonywane były panoramy, zastosowałem w Studniku 3. Z tak wykonanych zdjęć zostało przez program zinterpretowane około 60% powierzchni ścian jaskini. W Sali Szampańskiej w Jaskini Niedźwiedziej punktów było 7 i tam współczynnik wzrósł znacząco – do około 80%. Sporo „dziur” powstało w zagłębieniach ścian i przestrzeniach pomiędzy wantami, które zostały sfotografowane tylko z jednego miejsca. Problem powstał przy zbieraniu danych z korytarzy z dużą ilością załamań. Aby zapewnić sfotografowanie każdego miejsca z minimum trzech punktów stosując metodę panoram, konieczne byłoby wykonanie gigantycznej ilości zdjęć. Wpadłem na pomysł, aby robić zdjęcia tylko w kierunku kontynuacji korytarza, ale niewiele przemieszczając się do przodu po każdym zdjęciu i różnicując miejsce wykonania fotografii przestawiając aparat lewo/prawo – niżej/wyżej. Ta metoda, przy sporej redukcji czasu pracy i ilości wykonanych zdjęć dała zaskakująco dobry wynik.

Podczas testów natrafiłem na spory problem z oświetleniem sceny. Niedopuszczalna jest sytuacja, w której źródło światła świeci w obiektyw. Wyklucza to zastosowanie oświetlenia rozmieszczonego na stałe w jaskini. Najlepiej sprawdziło się oświetlenie płaskie. Zastosowałem dwie lampy LED, każda o jasności 3000 lm zamontowane po obu stronach obiektywu. Po obróbce zdjęć we wspomnianych programach otrzymałem całkiem przyzwoite modele przestrzenne wspomnianych obiektów.

Porównując uzyskane modele do pomiarów (DistoX z korekcją wsteczną i do punktów referencyjnych) zaryzykuję twierdzenie, że możliwe jest uzyskanie modeli o dokładności co najmniej decymetrowej. Pewnym problemem powstaje przy definiowaniu skali oraz położenia w przestrzeni uzyskanego modelu. Po obróbce zdjęć przez program, często otrzymujemy model obrócony w przypadkową stronę. Dobrze jest, przed robieniem zdjęć, przygotować sobie w jaskini punkty, których współrzędne są nam znane, a które odtworzone w modelu przestrzennym pomogą później w wyskalowaniu i ułożeniu modelu.

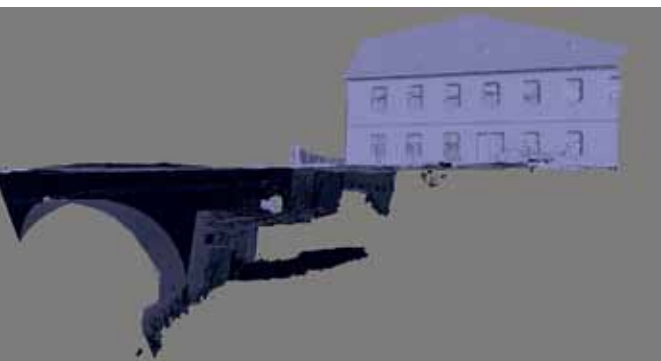
Podstawowym celem, który przyswiecał mi podczas eksperymentów, było dopracowanie metody do takiego stopnia, aby w szybki i nieskomplikowany sposób, dostępnym pod ręką

sprzętem, możliwe było stworzenie modelu przestrzennego wybranego ciągu jaskini. Później, nie wchodząc do jaskini, można sobie ją obejrzeć z każdej strony i na podstawie modelu dopracować choćby szczegóły planu, które umknęły nam podczas kartowania. Nakładając model na pomiary można precyzyjnie wyrysować obrysy ścian jaskini. A po odcięciu góry modelu widzimy doskonale morfologię spągu. Dosyć ciekawy efekt uzyskuje się nakładając, precyzyjnie oddające rzeczywistość, obrysy ścian jaskini na istniejące plany, wydawałoby

się, dobrze skartowanych jaskiń. Zapewniam, można się bardzo zdziwić.

Zdaję sobie sprawę, że przedstawiłem tylko zarys problematyki zagadnienia. Poszukiwania w zasobach internetu pokazały, że fotogrametria w obiektach podziemnych stosowana była sporadycznie i niewiele jest informacji na ten temat. Ciągle jeszcze jest sporo pytań i nierozwiązanych problemów. Mam nadzieję, że potraktujecie ten artykuł nie jako podanie gotowych rozwiązań, a bardziej jako inspirację oraz zachętę do eksperymentów.

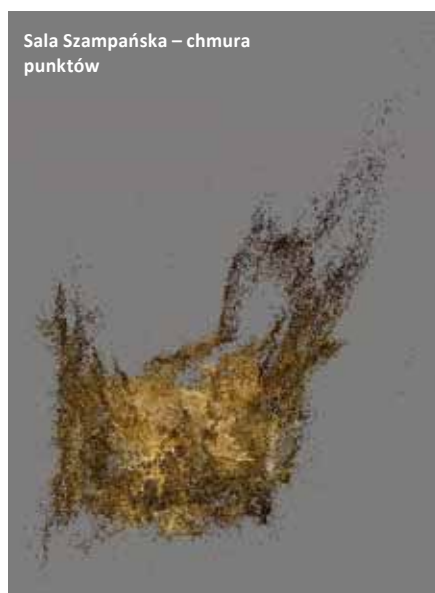
No dobra, ale pojawia się jeszcze pytanie, po co to wszystko? Można przecież zatańczyć do jaskini skaner 3D i uzyskamy znacznie więcej, o niebo lepiej i przy mniejszym nakładzie pracy. Odpowiedź na to pytanie mam taką: trochę z czystej przyjemności eksperymentowania, może czasem zwyczajnie nie ma dostępu do skanera, a może ktoś z Was po przeczytaniu moich wypocin wpadnie na jakiś genialny pomysł, który popchnie naszą wspaniałą, jaskiniową cywilizację spory krok do przodu. □



△ Szkieletowy model sztolni z fragmentem powierzchni



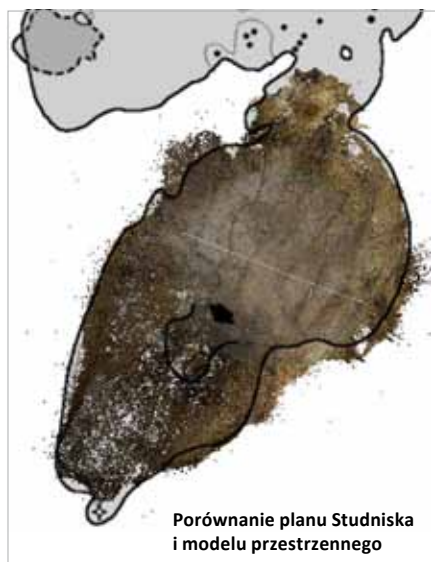
△ Wnętrze Sali Szampańskiej z nałożoną teksturą



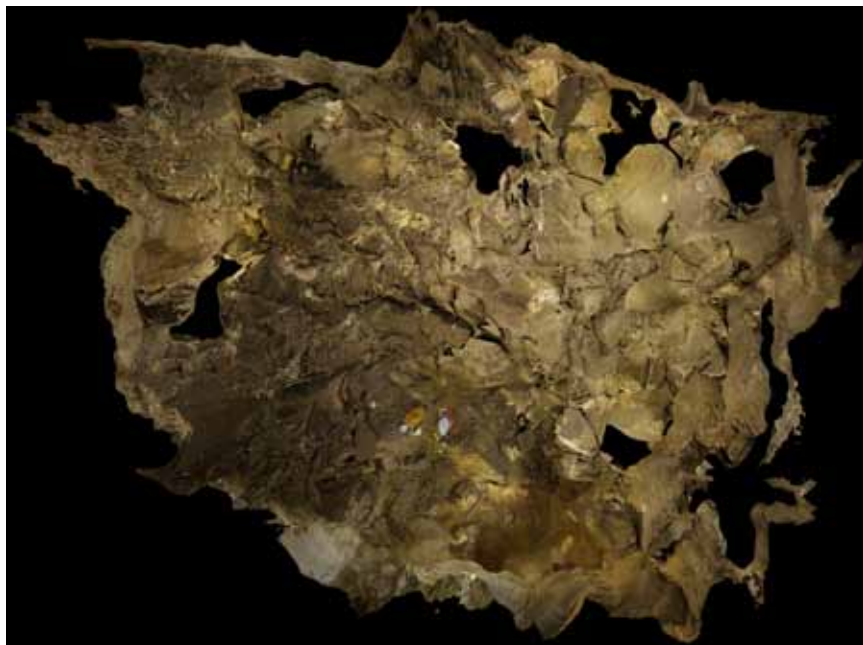
Sala Szampańska – chmura punktów



Sztolnia z nałożoną teksturą



Porównanie planu Studniska i modelu przestrzennego



△ Spąg Sali Szampańskiej z nałożoną teksturą