

Opracowanie modelu 3D obiektu architektonicznego na podstawie zdjęć wykonanych niemetryczną kamerą cyfrową

Kościół w trzech wymiarach



Trójwymiarowe modele budynków z roku na rok znajdują coraz szersze zastosowanie. Najpopularniejszym źródłem danych dla ich opracowania jest obecnie skanowanie laserowe. Za alternatywę pozwalającą osiągać porównywalne, a w niektórych aspektach nawet lepsze, rezultaty można uznać przetwarzanie zdjęć.

Jakub Łuczak, Mateusz Mania

W pracy inżynierskiej postanowiliśmy stworzyć model 3D na podstawie zdjęć wykonanych dwoma aparatami fotograficznymi. Jako obiekt opracowania wybraliśmy kościół św. Marcina (o wymiarach około 25 x 15 m i wysokości 20 m) znajdujący się na Ostrowie Tumskim we Wrocławiu. Jest to jedna z najstarszych budowli sa-

kralnych w stolicy Dolnego Śląska, której początki sięgają II połowy XIII wieku.

Prace nad modelem rozpoczęliśmy od wyboru metody pomiarowej. Obfotografowanie całej bryły kościoła, wraz z wieżą i dachem, wymagało od nas połączenia technik fotogrametrii naziemnej i lotniczej. W tym celu wykorzystaliśmy lustrzaną cyfrową Nikon D800 (zdjęcia naziemne) oraz aparat kompaktowy Canon A810 zamontowany na quadrokopterze udostępnionym przez Koło Na-

ukowe Jedi działające na Politechnice Wrocławskiej. Obie kamery zostały przez nas skalibrowane, tzn. określiliśmy ich parametry orientacji wewnętrznej.

Przed przystąpieniem do fotogrametrycznej części prac terenowych założyliśmy osnowę pomiarową i pomierzyliśmy na elewacji kościoła punkty kontrolne (fotopunkty). Dzięki nim efekt finalny (model 3D) spełniał warunki metryczności, tzn. oddawał rzeczywiste wymiary obiektu. Dane obserwacyjne

na tym etapie pozyskaliśmy za pomocą pomiaru tachimetrycznego w trybie bezlustrowym.

• Dane z powietrza i z ziemi

Istotnym elementem prac przygotowawczych było zaprojektowanie, w jaki sposób zostaną wykonane zdjęcia lotnicze i naziemne. W przypadku zdjęć lotniczych założyliśmy przeprowadzenie dwóch przelotów. W pierwszym chcieliśmy pozyskać zdjęcia prawie pionowe w celu zobrazowania dachu kościoła, w drugim zaś – zdjęcia ukośne (oś kamery odchylona od pionu o 30°).

Ze względu na stosunkowo dobrą rozdzielczość aparatu Canon A810 oraz chęć osiągnięcia jak największej dokładności odwzorowania szczegółów budowli przyjęliśmy GSD (rozmiar piksela terenowego) na poziomie 2 mm. W celu uzyskania jak największego obszaru odwzorowania na poszczególnych fotografiach zdjęcia wykonaliśmy przy najkrótszej dostępnej ogniskowej 5 mm. Dron operował 25 m nad ziemią (wysokość wieży kościoła to około 20 m, a prezbiterium – 15 m).

Kolejnym zadaniem było oszacowanie pokryć podłużnego i poprzecznego. W przypadku obu nalołów przyjęliśmy wartości: 60% dla pokrycia podłużnego (między obrazami w tym samym szeregu) i 25% dla poprzecznego (między sąsiednimi szeregami), powiększone o kolejne 4% ze względu na sposób zamontowania kamery, który nie zapewniał pełnej stabilności. Następnie obliczyliśmy bazy fotografowania, czyli odległości między punktami głównymi sąsiednich zdjęć (co ile metrów aparat w czasie lotu powinien wyzwać migawkę). Przy prędkości lotu 2 m/s czas między kolejnymi wyzwoleńiami wyniósł 2 s.

Projekt lotu wykonaliśmy w programie Mission Planner wykorzystującym jako podkład mapy serwisu internetowego Google Maps. Pierwszy naloł zakładał pozyskanie zdjęć w 6 szeregach, których osie znajdowały się w odległości 5 m. Skrajne z nich wykraczały poza obrys obiektu, aby zapewnić jego pełne pokrycie i odfotografować umieszczone dookoła budowli punkty kontrolne służące do połączenia zdjęć naziemnych i lotniczych. Fotopunkty te miały postać blaszek zgiętych pod kątem 45°, dzięki czemu były widoczne zarówno z powietrza, jak i z ziemi.

W rezultacie przeprowadzonego nalołu otrzymaliśmy blisko 100 zdjęć, z których nie wszystkie nadawały się jednak do dalszego opracowania.

Projekt pierwszego nalołu wykonany w programie Mission Planner



Od lewej: Mateusz Mania i Jakub Łuczak podczas pomiaru osnowy i fotopunktów

Fot. Karol Greber

Celem drugiego nalołu było pozyskanie obrazów nachylonych, zarówno dachu, jak i najwyższych partii muru. Trasa w kształcie okręgu o promieniu 20 m zakładała dwukrotne okrążenie kościoła. Przyjęliśmy parametry podobne jak przy pierwszym locie – wysokość 25 m, prędkość 2 m/s, wyzwalanie zdjęć co 2 s. W rezultacie otrzymaliśmy 69 zdjęć, z których do dalszych opracowań wykorzystaliśmy mniej niż połowę.

W dzień nalołu wykonaliśmy również fotografie naziemne, co pozwoliło na uzyskanie z obu metod obrazów o podobnych parametrach, zarejestrowanych w jednakowych warunkach pogodowych. Przeprowadziliśmy dwie serie zdjęć bliskiego zasięgu. Podczas pierwszej aparat – spoziomowany za pomocą libelli tak, że jego oś była w przybliżeniu prostopadła do ścian obiektu – umieściliśmy na półtorametrowym statywie. Drugą sekwencję wykonaliśmy z platformy o wysokości 4 m, zobrazowując tym samym wyższe partie kościoła. Rozmiar piksela terenowego ustaliliśmy na 2 mm, czyli taki sam jak w przypadku zdjęć z drona, a ogniskową – 24 mm. Ostatecznie pozyskaliśmy ponad 100 fotografii naziemnych.

• Czas na opracowanie

Po przeanalizowaniu dostępnych na rynku narzędzi do automatycznego prze-

tworzania danych obrazowych w model 3D zdecydowaliśmy się wykorzystać program Agisoft PhotoScan Professional Edition wersja 1.2.0.2198. O wyborze zdecydowała przeprowadzona wcześniej ocena możliwości programu, a także doświadczenie w jego użytkowaniu.

Prace kameralne rozpoczęliśmy od wyselekcjonowania i odrzucenia z opracowania zdjęć mogących negatywnie wpłynąć na jakość generowanego modelu – zrezygnowaliśmy więc ze zobrażeń niepoprawnie wykadrowanych, nieostrych i nieodpowiednio oświetlonych. Ostatecznie do dalszego etapu prac trafiło 98 zdjęć fotogrametrii bliskiego zasięgu i 84 zdjęcia pozyskane z powietrza, które następnie poddaliśmy maskowaniu, czyli dodatkowemu wyłączeniu z procesu przetwarzania obszarów mogących wpłynąć na zbędne zużycie pamięci operacyjnej (usunęliśmy z nich np. niebo czy roślinność).

Praca w środowisku Agisoft PhotoScan przebiega w dużej mierze w sposób półautomatyczny – zadaniem użytkownika jest kontrola poszczególnych etapów budowy modelu i definiowanie parametrów dokładnościowych algorytmów obliczeniowych używanych podczas rekonstrukcji modelu.

Fotopunktom, dla których wykonano pomiar tachimetryczny, nadaliśmy



współrzędne w układzie lokalnym. Następnie zaznaczyliśmy je wyłącznie na tych zdjęciach, na których możliwa była jednoznaczna ich identyfikacja. Ostatecznie poszczególne fotopunkty znalazły się na minimalnie czterech, a maksymalnie na 39 zdjęciach użytych w opracowaniu. Na każdej z fotografii zaznaczyliśmy minimum dwa punkty kontrolne.

Wykorzystywane w opracowaniu oprogramowanie Agisoft PhotoScan bazuje na metodach automatycznego dopasowania obrazów. Program korzysta z algorytmu SIFT, piksel po pikselu analizuje i porównuje ich parametry w celu wyznaczenia lokalnych cech zdjęć, generując tzw. deskryptory obrazów. Używane są one następnie do wykrywania tożsamyh punktów w obrazach stanowiących wspólny blok (wszystkich w projekcie, a nie tylko między dwoma sąsiednimi stanowiącymi stereoparę). Proces ten można uznać za odpowiednik orientacji wzajemnej. Dodatkowo zaznaczone uprzednio fotopunkty program wykorzystuje jako zdefiniowane ręcznie punkty tożsame, a także do przeskalowania modelu i osadzenia go w lokalnym układzie współrzędnych (orientacja bezwzględna).

Model kościoła św. Marcina we Wrocławiu z nałożoną teksturą

• Budujemy model

Efektom georeferencji zdjęć (przy zastosowaniu najwyższych możliwych parametrów dla tego procesu) była chmura 69 313 punktów, która stanowiła bazę do przeprowadzania dalszych działań w programie Agisoft PhotoScan. W zależności od przyjętych parametrów jakościowych rezultatami dalszego wyrównywania bloku zdjęć były chmury punktów o różnej ich gęstości. Otrzymałą przez nas ostatecznie chmurę oczyściliśmy ręcznie z punktów odstających (jednoznacznie niebędących elementami bryły budynku, których odległość od budynku przekraczała dopuszczalną odległość) oraz takich, dla których uznaliśmy, że wpłyną na geometrię modelu siatkowego (będących np. reprezentacją biegnącego po dachu piorunochronu, a więc detalu z odwzorowania którego zrezygnowaliśmy). Finalnie chmura użyta do budowy modelu liczyła 17,8 mln punktów dodatkowo posiadających informację o kolorze punktu (w formacie RGB). Na model siatkowy wygenerowany na ich podstawie przez Agisoft PhotoScan składało się 1,8 mln wierzchołków i 5,3 mln trójkątów. Na podstawie zdjęć wsadowych stworzyliśmy również tekstury.

Wygenerowany model 3D opublikowaliśmy w serwisie SketchFab.com (efekt

pracy dostępny jest pod adresem <http://bit.ly/1UoEzmB>). Użytkownik przez przeglądarkę internetową może oglądać model oteksturuowany, cieniowany lub siatkowy.

• Odwzorowanie o wielu możliwościach

Zgodnie z założeniami projektu wygenerowany model miał spełniać warunki metryczności, tzn. oddawać rzeczywiste wymiary obiektu. W celu kontroli za pomocą miary ręcznej wykonaliśmy pomiary długości dziewięciu jednoznacznie definiowalnych odcinków na obiekcie, a także pomiar odpowiadających im odległości na trójwymiarowym modelu, który przeprowadzono w darmowym oprogramowaniu MeshLab. Dla wszystkich kontrolowanych odcinków różnice odległości nie przekroczyły 1,5 cm.

Zastosowana metoda fotogrametryczna, oparta na algorytmie automatycznego dopasowywania obrazów, pozwoliła na zdecydowane skrócenie czasu pozyskiwania danych w terenie w stosunku do skaningu laserowego czy pomiarów tachymetrycznych. Zasadniczą część projektu stanowiły opracowania kameralne, których rezultaty ze względu na otrzymane niewielkie błędy należy uznać za wysoce zadowalające. Śmiało możemy stwierdzić, że dostępne aktualnie na rynku rozwiązania fotogrametryczne połączone z poprawnie wykonanymi pomiarami geodezyjnymi pozwalają tworzyć w pełni użyteczne trójwymiarowe modele obiektów architektonicznych, które wykorzystać można m.in. do zadań związanych z ochroną dziedzictwa kulturowego czy dokumentacji konserwatorskiej. Metoda ta stanowi pełnowartościowe rozwiązanie dla zdobywania informacji o obiektach architektonicznych będące alternatywą szczególnie dla skaningu laserowego.

Jakub Łuczak, Mateusz Mania

Inspiracją do artykułu była praca dyplomowa pt. „Opracowanie modelu 3D obiektu architektonicznego na podstawie zdjęć wykonanych niemetryczną kamerą cyfrową” obroniona przez autorów na Wydziale

Geoinżynierii, Górniczego i Geologii Politechniki Wrocławskiej. Praca została napisana pod opieką dr. inż. Piotra Grzempowskiego i wyróżniona przez firmę SHH z Wrocławia. Autorzy

mieli okazję zaprezentować ją podczas seminarium „Dobre praktyki w GIS 3D” (więcej o seminarium na s. 46)