

## **OCENA DOKŁADNOŚCI MODELU BUDYNKU Z BARDZO GĘSTEJ CHMURY PUNKTÓW POZYSKANEJ Z INTEGRACJI ZDJĘĆ O RÓŻNEJ GEOMETRII**

### **ASSESSMENT OF ACCURACY FOR THE BUILDING MODEL ACQUIRED FROM A HIGH DENSE POINTS CLOUD BASED ON IMAGES OF DIFFERENT GEOMETRY**

**Rafał Drzewicki, Aleksandra Bujakiewicz**

Katedra Geoinformatyki, Wydział Inżynierii Lądowej, Środowiska i Geodezji,  
Politechnika Koszalińska

**SŁOWA KLUCZOWE:** BSP, modelowanie 3D, automatyczne dopasowywanie wieloobrazowe, gęsta chmura punktów

**STRESZCZENIE:** Dokładność rekonstrukcji 3D modeli budynków jest w znacznym stopniu uzależniona od gęstości chmur punktów jakie są wykorzystywane dla ich tworzenia. Sprzyja temu rozwijająca się w ostatnich latach metoda tworzenia bardzo gęstych chmur punktów w oparciu o automatyczne pomiary na zdjęciach cyfrowych o dużych pokryciach. W niniejszym artykule zostanie przedstawiony przykład rekonstrukcji 3D modelu budynku o skomplikowanym kształcie, z wykorzystaniem gęstej chmury punktów, ze zdjęć niometrycznych o różnej geometrii. W tym celu, pozyskano 200 zdjęć o pokryciu około 90%, na trzech poziomach wysokości lotu systemu BSP (DJI Phantom4), oraz dodatkowo wykonano 46 zdjęć z podobnym pokryciem, aparatem FUJIFILM X-S1, ze stanowisk naziemnych. Do całego procesu rekonstrukcji obiektu wykorzystano oprogramowanie Agisoft PhotoScan. Ze względu na zróżnicowaną metrykę zdjęć z BSP oraz stanowisk naziemnych, a także ich różny sposób kalibracji (przed lub w trakcie opracowania), zdjęcia obu sieci umieszczono w dwóch klastrach, dla których w niezależnych wyrównaniach aero/terra triangulacji, zostały wyznaczone parametry orientacji zewnętrznej (EOZ), względem tego samego referencyjnego układu współrzędnych. Automatyczny pomiar bardzo dużej liczby punktów opisujących obiekt, na zdjęciach z obu klastrów oraz wykorzystanie wyznaczonej metryki kamer i parametrów EOZ, umożliwiło generowanie jednej wspólnej bardzo gęstej chmury punktów (ponad 6 milionów), z której stworzono finalne produkty, tj. 3D modele obiektu w kilku formach. Ocenę poprawności rekonstrukcji kształtu 3D modelu obiektu wykonano na podstawie porównania odległości miar czołowych budynku pomierzonych w terenie i na modelu, oraz długości pomiędzy punktami specjalnie sygnalizowanymi na obiekcie, a także poprzez analizę średnich błędów kwadratowych określonych dla punktów osnowy. Ostateczna dokładność mieściła się w granicach 0.01 - 0.03m, co potwierdza duży potencjał integracji zdjęć niometrycznych, pozyskanych dla obiektu z drona i stanowisk naziemnych, oraz tworzenia jednej wspólnej gęstej chmury punktów, w celu wiernej rekonstrukcji kształtu modelu 3D.

## 1. WPROWADZENIE

Precyzja generowanych modeli 3D obiektów jest w znacznym stopniu uzależniona od gęstości chmur punktów jakie są wykorzystywane dla ich tworzenia. Poza powszechnie stosowanym skanowaniem laserowym, lotniczym i naziemnym, rozwijane są od kilku lat metody tworzenia gęstych chmur punktów (*Dense Point Clouds*) na podstawie automatycznego wielo-obrazowego pomiaru zdjęć cyfrowych o bardzo dużym pokryciu, sięgającym nawet 70 – 90 %. Rozwijane były liczne podejścia dla automatycznego gęstego wielo-obrazowego stereo dopasowywania zdjęć lotniczych (*High Density Aerial Image Matching*) oraz tworzenia gęstych chmur punktów, wykorzystujące lotnicze obrazy wykonane wielo-modułowymi kamerami, które umożliwiają pozyskanie w tym samym czasie, poza obrazem nadiowym, kilku zdjęć ukośnych o różnych nachyleniach (Wenzel, et al., 2013; Haala, 2014; Cavegn et al., 2014; Newby, 2015), zwiększając w ten sposób znacznie wgląd w teren na obszarach miejskich (Kuźnicki, 2015; Ostrowski, 2016). Należy także podkreślić coraz powszechniejsze stosowanie zobrazowań niometrycznych, pozyskanych bezzałogowymi statkami powietrznymi (BSP) z niskiego pułapu.

Obrazy cyfrowe wykorzystywane są od wielu lat w różnych zastosowaniach fotogrametrii bliskiego zasięgu dla określania kształtu modeli 3D obiektów. W ostatnich latach, prowadzone badania w zakresie fotogrametrii i widzenia komputerowego (*Computer Vision*) skupiały się na automatycznym tworzeniu realistycznych modeli 3D na podstawie obrazów cyfrowych, z wykorzystaniem różnych algorytmów i programów (Zawieska, 2013; Preuss, 2014; Sawicki, Tomaszewski, 2010). Dla automatycznego tworzenia gęstych chmur punktów opisujących obiekty 3D, pozyskiwane są obrazy cyfrowe z BSP (Rhee, Kim, 2016) lub ze stanowisk naziemnych, o bardzo dużych pokryciach i często zbieżnych osiach. W pewnych przypadkach, dla stworzenia gęstych chmur punktów pokrywających całkowicie badany obiekt, wykorzystuje się jednocześnie oba typy obrazów.

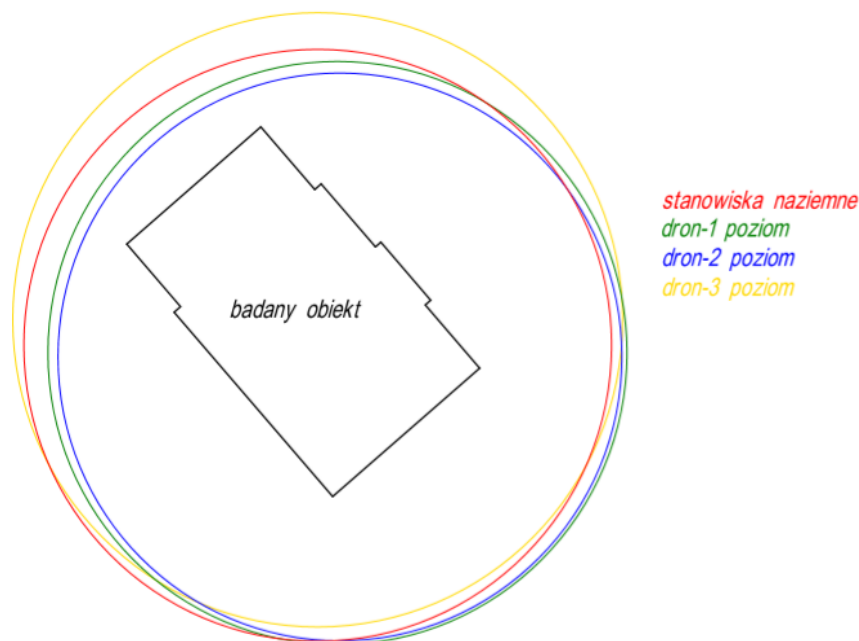
W niniejszej publikacji, zostanie przedstawiony przykład rekonstrukcji modelu jednorodzinny budynku o skomplikowanym kształcie, na podstawie wykorzystania bardzo gęstej chmury punktów z kilkuset niometrycznych zdjęć cyfrowych, pozyskanych różnymi kamerami z systemu BSP oraz stanowisk naziemnych. Odmienna geometria obu grup zdjęć wynika z zastosowania kamer o różnych parametrach orientacji wewnętrznej oraz ze znacznej różnicy ich parametrów orientacji zewnętrznej względem badanego obiektu.

## 2. PRACE PRZYGOTOWAWCZE DO REKONSTRUKCJI MODELU 3D OBIEKTU

W celu utworzenia trójwymiarowej reprezentacji obiektu wybrano dom jednorodzinny, posiadający od strony frontowej lukarnę, na której połac dachowa jest obrócona w stosunku do pozostałej o 90°. Dodatkowo, przyległy jednostanowiskowy garaż oraz w tylnej jego części taras z dwoma słupami o przekroju kwadratowym sprawił, że planowanie stanowisk pomiarowych kamer musiało być dopracowane pod kątem poprawnej rekonstrukcji.

Osnowa fotogrametryczna zawierała 19 punktów, będących szczegółami terenowymi pierwszej grupy dokładnościowej. Wykorzystując odbiornik GNSS, pracujący w Państwowym Układzie Współrzędnych Geodezyjnych „2000”, wykonano pomiar sytuacyjno-wysokościowy dwóch grup punktów osnowy fotogrametrycznej tj. 9 fotopunktów wykorzystanych do orientacji sieci terra i aero triangulacji do układu terenowego i 10 punktów kontrolnych dla niezależnej oceny dokładności oraz punktów szczegółowej osnowy geodezyjnej. Dodatkowo na ścianach budynku założono 6 specjalnie sygnalizowanych znaków (automatycznie wykrywanych na zdjęciach przez oprogramowanie) w celu zwiększenia skuteczności wzajemnego łączenia kolejnych zdjęć. Dokonano również pomiaru (przy użyciu ruletki) miar czołowych budynku. Prace terenowe pozwoliły na opracowanie ogólnego schematu projektu rozmieszczenia stanowisk kamery BSP oraz naziemnych.

Projekt zakładał wykonanie zdjęć wysoko zbieżnych z BSP na trzech poziomach wysokościowych z minimalnym pokryciem zdjęć wynoszącym 75%, przy założeniu kierunków lotu wzdłuż trzech okręgów okalających obiekt. Wychodząc z tego kryterium, przy danej powierzchni obiektu, oszacowano odległości pomiędzy kolejnymi sąsiednimi zdjęciami na około 1 m. Ten sam zabieg zastosowano podczas planowania rozmieszczenia stanowisk naziemnych. W tym przypadku długość między kolejnymi położeniami kamery powinna wynosić około 1.5 m. Rysunek 1 prezentuje ogólny schemat dla wykonania bloku zdjęć z drona i stanowisk naziemnych (wzdłuż trzech okręgów okalających obiekt).

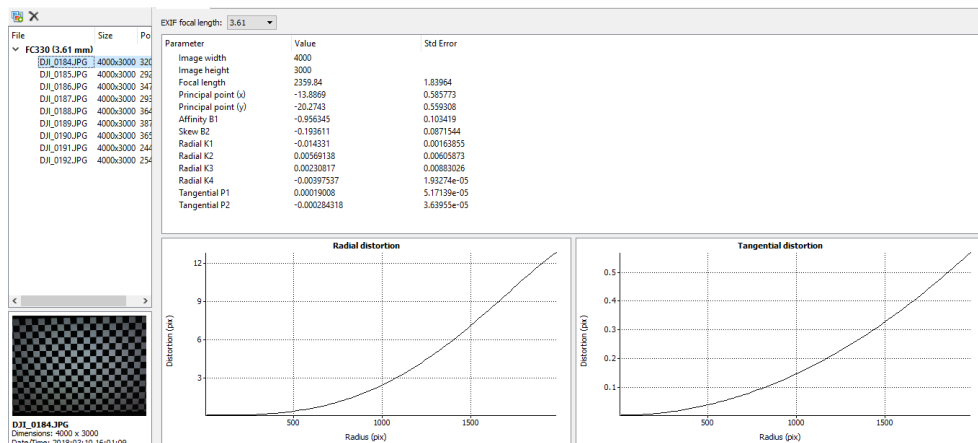


Rys. 1. Ogólny schemat dla wykonania bloku zdjęć z drona i stanowisk naziemnych

Bezzałogowy statek powietrzny wykorzystany do pozyskania zdjęć nadziemnych to produkowany przez firmę DJI model Phantom 4, który posiada na pokładzie niemetryczną kamerę o liczbie 12,4 milionów efektywnych pikseli, wykonującą zdjęcia w formacie

JPEG, bądź też RAW w rozdzielczości 4K (4000 x 3000 pikseli). Obiektyw kamery jest wykonany w technologii CMOS o sensorze 1/2.3'. Pole widzenia kamery wynosi 94°, długość ogniskowej wynosi 3.61mm, natomiast rozmiar piksela 1.56 $\mu$ m. Kamera jest podwieszona na trójosiowym żyroskopie (gimbalu), który stabilizuje jej położenie podczas pracy. System GPS/IMU zapewnia liniowe (X,Y,Z) oraz kątowe ( $\omega, \varphi, \kappa$ ) parametry orientacji zewnętrznej zdjęć w trakcie lotu (www.dji.com).

Kamera cyfrowa platformy latającej została pre-kalibrowana przed etapem opracowania, przy użyciu modułu Agisoft Lens (programu Photoscan). Na podstawie kilku zdjęć specjalnej szachownicy o odpowiednim „oczku”, którą wyświetlono na ekranie, zostały obliczone elementy orientacji wewnętrznej, zawierające poza długością ogniskowej i położeniem punktu głównego, parametry opisujące dystorsję radialną i tangencjalną obiektowi oraz zniekształcenia afiniczne. Wyniki pre-kalibracji przedstawia rysunek 2. Dla porównania wyników dokonano samokalibracji kamery BSP przy użyciu programu PIX4D. Program ten pobiera pełne dane EXIF, czyli „przybliżone” elementy orientacji zewnętrznej (EOZ). Na ich podstawie w procesie aerotriangulacji program oblicza wewnętrzne parametry kamery oraz poprawia EOZ każdego obrazu cyfrowego. Tabela 1 ilustruje elementy orientacji wewnętrznej kamery wraz z współczynnikami dystorsji po procesie samokalibracji bloku zdjęć.



Rys. 2. Wyniki pre-kalibracji kamery drona z wykorzystaniem modułu Agisoft Lens

Tab. 1. Elementy orientacji wewnętrznej kamery drona wyznaczone w procesie samokalibracji w programie PIX4D

	Długość ogniskowej	Punkt główny współrzędna X	Punkt główny współrzędna Y
Wartości początkowe	2285.720 [pix] 3.610 [mm]	2000.010 [pix] 3.159 [mm]	1500.000 [pix] 2.369 [mm]
Wartości wyrównane	2343.622 [pix] 3.701 [mm]	1987.835 [pix] 3.140 [mm]	1476.610 [pix] 2.332 [mm]
Sigma	0.100 [pix] 0.000 [mm]	0.121 [pix] 0.000 [mm]	0.102 [pix] 0.000 [mm]

Zestawienie długości ogniskowej oraz położenia punktu głównego określonych w oparciu o zdjęcia specjalnego pola testowego w module Agisoft Lens, a także samokalibracji podczas wyrównania aerotriangulacji bloku zdjęć przeprowadzone w programie PIX4D przedstawia tabela 2. Pre-kalibracja kamery w oparciu o zdjęcia pola testowego wprowadza niewielkie różnice w porównaniu do samokalibracji wykonanej w programie PIX4D.

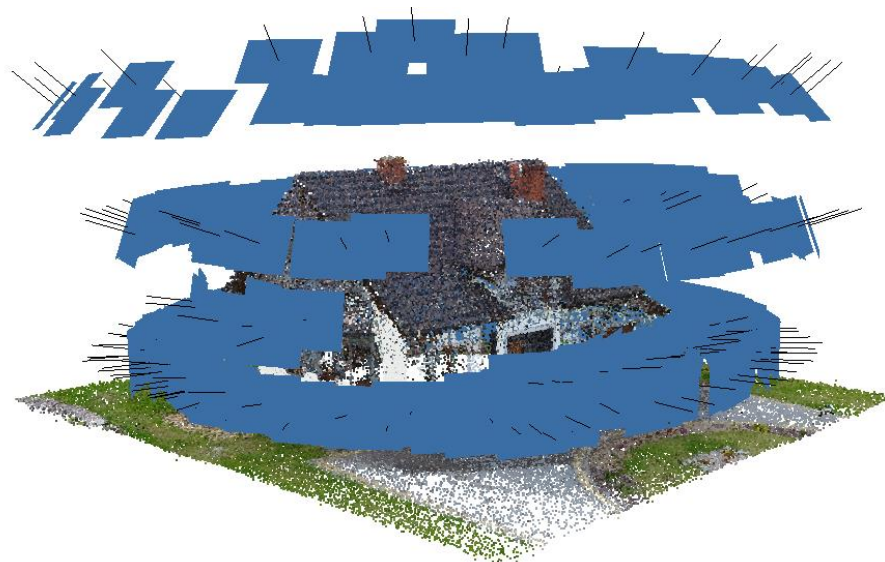
Tab. 2. Porównanie wyników kalibracji kamery drona obydwiema metodami

	Długość ogniskowej	Punkt główny współrzędna X	Punkt główny współrzędna Y
Agisoft Lens	2359.840 [pix] 3.727 [mm]	1986.113 [pix] 3.137 [mm]	1479.725 [pix] 2.337 [mm]
PIX4D	2343.622 [pix] 3.701 [mm]	1987.835 [pix] 3.140 [mm]	1476.610 [pix] 2.332 [mm]

Zgodnie z planem nalotu (rys. 1), obrazy cyfrowe pochodzące z bezzałogowego statku powietrznego zostały wykonane po okręgu ze względu na możliwość zaplanowania nalotu w dedykowanej aplikacji. Ponadto taki układ charakteryzuje się dużym pokryciem poprzecznym i podłużnym zdjęć oraz możliwością rejestracji tego samego fragmentu obiektu z różnej pozycji kamery. Podczas pozyskiwania zdjęć wokół badanego obiektu wykorzystano system detekcji optycznej drona, na podstawie którego wykonano zdjęcia z odpowiednią odległością do ścian oraz dachu budynku. Zdjęcia zostały pozyskane na 3 poziomach wysokościowych, tak by wydobyć z nich jak najwięcej szczegółów. Na każdym poziomie, wykonano po około 60 zdjęć. Wynika z tego, że średnia odległość między środkami rzutów zdjęć wyniosła 1.15m. Na ostatnim najwyższym poziomie wykonano kilkanaście zdjęć utrzymując kamerę w pozycji pionowej. Łącznie z bezzałogowego statku lotniczego wykonano 200 zdjęć.

Zdjęcia naziemne, będące uzupełnieniem zobrażeń wykonanych z BSP, zostały pozyskane przy wykorzystaniu cyfrowego aparatu FUJIFILM X-S1. Jest to kompaktowy aparat wysokiej klasy, wyposażony w obiektyw oparty na technologii CMOS o sensorze 2/3' i rozdzielczości 4000 x 3000 pikseli. Łączna liczba pikseli matrycy to 12 milionów. Długość ogniskowej może być zmienna w zakresie 6.1 – 158.6mm, co jest ekwiwalentem 24 – 624mm dla filmu 35mm. Rozmiar piksela wynosi 2.2µm. Konstrukcja obiektywu zawiera 17 elementów w 12 grupach, 4 soczewki asferyczne, 2 soczewki ze szkła ED, natomiast przysłona jest 9 listkowa. Aparat posiada opcję wyłączenia funkcji autofocus, co jest ważne z punktu widzenia fotogrametrii. Możliwość w pełni manualnej obsługi rzutuje na poprawność wykonywania zdjęć, przy stabilności ustawień początkowych użytkownika. Podobnie jak w przypadku wykorzystanej platformy latającej, istnieje również możliwość zapisywania fotografii w formacie RAW, który umożliwia lepszą optymalizację obrazu w trakcie obróbki komputerowej ([www.fujifilm.com](http://www.fujifilm.com)). Przy wykonywaniu zdjęć naziemnych, aparat cyfrowy umieszczono na statywie DigiPod TR-560A, który posiada libellę okrągłą oraz rurkową do stabilnego wyznaczenia położenia kamery. Zwracając uwagę na właściwe szczegóły obiektu pozyskano łącznie 46 zdjęć uzupełniających o całkowicie odrębnych elementach orientacji wewnętrznej i zewnętrznej. Pokrycie tych zdjęć wyniosło około 90%, a odległości pomiędzy środkami rzutów zdjęć wyniosły około 1.5 m Widok 4 poziomów wysokości lotu dla wszystkich zdjęć względem

obiekty jest prezentowany na rysunku 3. Wszystkie pozyskane zdjęcia zostały poddane ocenie pod względem ich jakości i następnie wykorzystane do procesu modelowania.



Rys. 3. Widok 4 poziomów wysokości lotu dla wszystkich zdjęć (najniższy poziom to naziemny)

### 3. GENEROWANIE TRÓJWYMIAROWEGO MODELU

Do rekonstrukcji 3D modelu badanego budynku, wykorzystano oprogramowanie PhotoScan firmy Agisoft Pro ver. 1.2.7. Jest to zaawansowany program, który na podstawie obrazów cyfrowych generuje w profesjonalnej jakości modele 3D. Zdjęcia mogą być wykonane z dowolnej pozycji, pod warunkiem, że obiekt jest widoczny na co najmniej dwóch obrazach. Zarówno proces aero / terra triangulacji, jak i rekonstrukcja modelu 3D są realizowane w pełni automatycznie ([www.agisoft.com](http://www.agisoft.com)). Szereg niżej opisanych etapów pozwolił na wierne odtworzenie kształtu obiektu w rozmiarach terenowych.

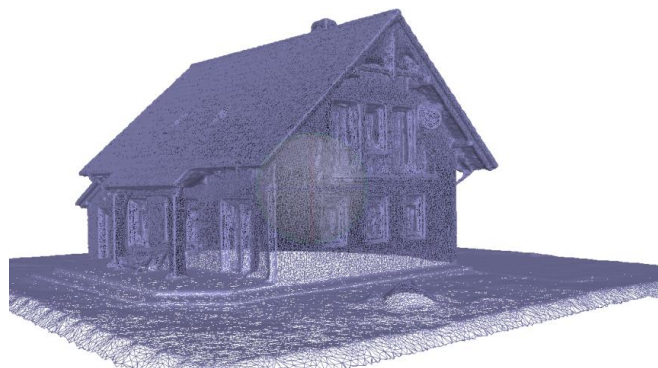
Eksperyment rozpoczęto od przeprowadzenia konfiguracji programu, dalej wczytano pozyskane zdjęcia. Ze względu na duże zróżnicowanie geometrii zdjęć pozyskanych z drona i stanowisk naziemnych, w programie zostały utworzone dwa klastry, do których wprowadzono dwie niezależne grupy zdjęć. Następnie dokonano pomiaru punktów osnowy fotogrametrycznej oraz poprzez opcję *Detect Markers* program automatycznie wykrył punkty specjalnie sygnalizowane na obiekcie. Metryka kamery niemetrycznej drona została *a priori* określona w module kalibracji Agisoft Lens, przed określeniem orientacji zewnętrznej zdjęć (1-szy klaster) w procesie wyrównania (metodą wiązek) sieci aero/terra triangulacji. Orientacja wewnętrzna zdjęć naziemnych (2-gi klaster) została wyznaczona jednocześnie z ich parametrami orientacji zewnętrznej w procesie wyrównania sieci aero/terra triangulacji z opcją samokalibracji. Po określeniu orientacji zewnętrznej zdjęć w obu klastrach, uzyskano tzw. „rzadką” chmurę punktów 3D (czyli duży zbiór punktów

wiążących zdjęć mierzonych automatycznie) przedstawioną na rysunku 4a, która po filtracji błędnych punktów (szumów), jest pozycją wyjściową do wygenerowania tzw. „gęstej” chmury punktów (rys. 4b).



Rys. 4. „Rzadka” chmura punktów (a) oraz „gęsta” chmura punktów (b) badanego obiektu

Wykorzystując elementy orientacji zewnętrznej każdego zdjęcia, oprogramowanie określa dane dla tworzenia „gęstych” chmur punktów. Łącznie utworzono chmurę zawierającą 5 935 146 punktów ze zdjęć pozyskanych z drona (klaster 1) oraz 5 620 675 punktów na podstawie zdjęć ze stanowisk naziemnych (klaster 2), które w znacznym stopniu się pokrywały. Po tym etapie nastąpiło połączenie obu klastrów oraz generowanie dalszych produktów w jednej wspólnej chmurze. W kolejnym procesie rekonstrukcji program utworzył sieć *Wireframe* czyli szkieletową siatkę trójkątów (rys. 5).



Rys. 5. Wygenerowana sieć trójkątów (*Wireframe*)

Po nałożeniu tekstury ze wszystkich zdjęć uzyskano model teksturowy (rys. 6a), a wykorzystując opcję *Tiled Model* stworzono dokładniejszy model płytkowy (rys. 6b), w którym hierarchiczne kafelki poddawane są teksturowaniu z wykorzystaniem obrazów źródłowych. Każdy z modeli tworzony jest w inny sposób. Model teksturowy generuje się jedynie z sieci *Mesh* i wykorzystuje się do modelowania pojedynczych obiektów. Modele płytkowe natomiast można tworzyć na podstawie sieci *Mesh* lub „gęstej” chmury punktów. Wykorzystywany jest do wielkoformatowego trójwymiarowego modelowania w wysokiej rozdzielczości.



Rys. 6. Trójwymiarowe modele (a) teksturowy (b) płytkowy

Porównując model teksturowy z płytkowym, można dostrzec różnice w rozdzielczości, a co za tym idzie w dokładności modeli. Na rysunku 7 przedstawiono porównanie jakości fragmentów obu wygenerowanych modeli.



Rys. 7. Porównanie jakości fragmentów modelu: teksturowego (a) oraz płytkowego (b)

#### 4. OCENA DOKŁADNOŚCI

Miernikami dokładności rekonstrukcji trójwymiarowego modelu budynku to między innymi, liczba wiązek wynosząca 766 694 oraz uśredniony, dla wszystkich punktów wiązania na wszystkich obrazach, błąd odtworzenia georeferencji równy 1.15 piksela, definiowany jako 'odległość między punktem na obrazie, na którym można odtworzyć zrekonstruowany punkt 3D, a oryginalną projekcją tego punktu 3D wykrytą na zdjęciu'. Średnia wielkość punktów na budynku, sygnalizowanych w terenie specjalnymi kodowanymi znakami w kształcie okręgów z czarno-białymi segmentami, wynosiła 4.73 piksela i oznacza skalę punktów odniesienia uśrednioną we wszystkich rzutach. Pokrycie podłużne pomiędzy zdjęciami wyniosło ponad 90%. Analiza dokładności opracowania została podzielona na kilka etapów, gdzie w każdym z nich dane mierzone w terenie porównano z ich odpowiednikami uzyskanymi z opracowania fotogrametrycznego. Dane te zawierały: współrzędne punktów osnowy (w tym punktów kontrolnych) i odległości pomiędzy nimi oraz odległości pomiędzy punktami specjalnymi sygnalizowanymi na budynku i długości miar czołowych.



Różnice nie przekraczały wartości  $\pm 0.03\text{m}$  dla współrzędnych punktów osnowy oraz  $\pm 0.015\text{m}$  dla wszystkich mierzonych odległości i długości. W tabelach 3 oraz 4 przedstawione są średnie błędy kwadratowe odpowiednio na fotopunktach i punktach kontrolnych po każdej współrzędnej, a także łącznie w przestrzeni 3D.

Tab. 3. RMSE fotopunktów wykorzystanych do orientacji sieci triangulacji

Liczba fotopunktów	X [m]	Y [m]	Z [m]	3D [m]	Image (pix)
9	0.015	0.013	0.016	0.026	2.026

Tab. 4. RMSE fotogrametrycznych punktów kontrolnych

Liczba pkt. kontrolnych	X [m]	Y [m]	Z [m]	3D [m]	Image (pix)
10	0.013	0.015	0.016	0.026	0.949

## 5. WNIOSKI

Temat publikacji dotyczy aktualnie rozwijanych metod związanych z wykorzystaniem bardzo gęstych chmur punktów pozyskanych z automatycznego pomiaru obrazów cyfrowych w celu utworzenia trójwymiarowych modeli obiektów. Osiągnięte wysokie dokładności rzędu kilku centymetrów dla rekonstrukcji modelu badanego obiektu potwierdzają wysoki potencjał niemetrycznych zdjęć pozyskanych w dużej liczbie, o pokryciu 80 – 90 %, i z odpowiednio zróżnicowaną kątową orientacją zewnętrzną, która może być zapewniona poprzez integrację zdjęć wykonanych z drona, latającego wokół obiektu na różnych wysokościach oraz ze stanowisk naziemnych. W przypadku wykorzystywania zdjęć niemetrycznych, obarczonych znacznymi błędami dystorsji obiektywu i afinizmu, należy wykonać przed lub w czasie opracowania odpowiednią kalibrację kamery. Rozwijane obecnie programy, w tym stosowany w niniejszej pracy Agisoft Photoscan, umożliwiają tworzenie bardzo gęstych wysoko dokładnych chmur punktów odpowiednich dla modelowania 3D obiektów.

## LITERATURA

Cavegn S., Haala N., Nebiker S., Rothermel M., Tutzauer P. 2014. Benchmarking High Density Image Matching for Oblique Airborne Imagery. *Intern. Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43, 45-52.

Haala, N., 2014. *Dense Image Matching Final Report*, EuroSDR Publication Series. Official Publication No. 64, 115-145.

Kuźnicki W., 2015. Zdjęcia ukośne – nowy wymiar informacji. *ArcanaGIS*.

Newby P.R.T., 2015. EUROSDR/ISPRS Joint Workshop on Oblique Cameras and Dense Image Matching. *The Photogrammetric Record*. 30(152), 404-406.

Ostrowski W., 2016. Accuracy of Measurements in Oblique Aerial Images for Urban Environment. *Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 79-85.

Preuss R., 2014. Automatyzacja procesu przetwarzania danych obrazowych. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 26, 119-127.

Rhee S., Kim T., 2016. Dense 3D point cloud generation from UAV images from image matching and global optimization. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, 41, 1005-1009.

Sawicki P., Tomaszewski T., 2010. Ocena wybranych programów typu freeware do modelowania 3D obiektów bliskiego zasięgu. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 21, 363-374.

Wenzel K., Rothermel M., Haala N., Fritsch D., 2013. SURE – The ifp Software for Dense Image Matching. *Photogrammetric Week 13, Wichmann-Heidelberg*, 59-70.

Zawieska D., 2013. *Wieloobrazowe dopasowanie zdjęć bliskiego zasięgu do automatycznej rekonstrukcji fotorealistycznych modeli 3D*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.

Agisoft, 2018: <http://www.agisoft.com/>

DJI, 2018: <http://www.dji.com/>

FUJIFILM, 2018: <http://www.fujifilm.com/>

**ASSESSMENT OF ACCURACY FOR THE BUILDING MODEL  
ACQUIRED FROM A HIGH DENSE POINTS CLOUD BASED ON  
IMAGES OF DIFFERENT GEOMETRY**

KEY WORDS: UAV, 3D Modeling, High Density Image Matching, Dense Points Cloud

**Summary**

Accuracy for reconstruction of 3D models of buildings, depends mainly upon density of point clouds, which are used for their creation. The methods for creation of the very dense points clouds on base of automatic measurement of the multi images have been successfully developed. In this paper, the example for automatic reconstruction of 3D model of building of quite complicated shape with use the dense points cloud from non-metric photographs of different geometry, is presented. For this purpose, using the BSP (DJI Phantom) from three height levels - 200 photographs with overlap of about 90%, were acquired. In addition, 46 photographs from ground stations with the camera (FUJIFILM X-S1), were taken. The entire reconstruction process of 3D model of the building, was executed with Agisoft PhotoScan program. Because of different cameras specification for photographs taken from BSP and from ground stations and various approaches for cameras calibration, the two groups of photographs were located in two classes (clusters), for which the exterior orientation parameters (EO) were separately determined by aero and /terra triangulation, referenced to the same ground coordinate system. The automatic measurement of very large number of image object points on all photographs and the use of their interior and exterior orientation parameters, have enabled to generate one common very dense points cloud (about 6 millions), which was used to produce the final 3D building model in a few forms. The accuracy of reconstruction of the building model shape was estimated on base of comparison of the model and real data (measures on the building) and also the RSE for the control and check points. The overall accuracy of 0.01 – 0.03 meters was obtained, which have confirmed the high potentiality for integration of different geometry non-metric photographs for the reconstruction of good quality 3D model.

Dane autorów / Autors details

mgr inż. Rafał Drzewicki  
e-mail: rafaldrzewicki@gmail.com

prof. dr hab. inż. Aleksandra Bujakiewicz  
e-mail: abujak7@wp.pl

Przesłano / Submitted            6.12.2018  
Zaakceptowano / Accepted        31.12.2018