

ZASTOSOWANIE CYFROWEJ KAMERY NIEMETRYCZNEJ W FOTOGAMETRII LOTNICZEJ NA WYBRANYCH PRZYKŁADACH

THE APPLICATION OF NON-METRIC DIGITAL CAMERA IN AERIAL PHOTOGRAMMETRY ON SELECTED EXAMPLES

Krzysztof Bakuła¹, Wojciech Ostrowski²

¹ Zakład Fotogrametrii, Teledetekcji i Systemów Informacji Przestrzennej,
Wydział Geodezji i Kartografii, Politechnika Warszawska

² Student II st. mgr – spec. Fotogrametria i teledetekcja,
Zakład Fotogrametrii Teledetekcji i Systemów Informacji Przestrzennej,
Wydział Geodezji i Kartografii, Politechnika Warszawska

SŁOWA KLUCZOWE: małoformatowa kamera niemetryczna, fotogrametria lotnicza niskich wysokości, korelacja obrazów cyfrowych, numeryczny model terenu, bezzałogowy statek powietrzny, szybowiec

STRESZCZENIE: W niniejszym opracowaniu, na przykładzie przeglądu literatury oraz dwóch wykonanych eksperymentów przedstawiony został potencjał pomiarowy kamery niemetrycznej umieszczonej na platformie lotniczej na niskiej wysokości nad terenem. W pracy zaprezentowano również perspektywę rozwoju tej dziedziny fotogrametrii w najbliższych latach. Celem wykonanych projektów było pozyskanie zdjęć cyfrowych z platformy lotniczej do wygenerowania chmury punktów z użyciem automatycznej korelacji obrazów wybranymi algorytmami. Dane te wykorzystano do stworzenia podstawowych produktów fotogrametrycznych, a ich jakość oceniona została następnie w odniesieniu do profesjonalnych danych, w tym również danych z zasobów geodezyjnych. Ocena ta miała na celu udowodnienie wysokiej jakości opracowań utworzonych z obrazów pozyskanych z kamery niemetrycznej, jak i pokazanie możliwości ich późniejszego praktycznego wykorzystania. Obydwa zaprezentowane projekty ukazują potencjał, jakim dysponuje fotogrametria lotnicza niskich wysokości, w której zastosowanie ma małoformatowa kamera cyfrowa umieszczona na dowolnej platformie lotniczej. Są to zadania ukierunkowane przede wszystkim na opracowania w dużej skali dla małych powierzchniowo obszarów, generujące w efekcie produkty takie jak: numeryczne modele terenu, modele powierzchni terenu, wektorowe modele dowolnych obiektów, ortofotomapy.

1. WPROWADZENIE

Wykorzystywane w fotogrametrii zdjęcia zwykło się dzielić ze względu na pułap fotografowania na zdjęcia lotnicze, naziemne i obrazy satelitarne. W ostatnich kilkunastu latach z pierwszej wymienionej grupy, w związku z rozwojem konstrukcji kamer niemetrycznych, a szczególnie wzrostem rozdzielczości i jakości obrazów, jak również zmniejszeniem wagi całego sensora, rozwinęła się fotografia lotnicza niskich wysokości

(ang. *low-altitude aerial photogrammetry*). W literaturze znaleźć można również inne sformułowania dla dziedziny wykonywania zdjęć z tego pułapu fotografowania, powiązanej z formatem zdjęć, jak choćby określenie „małoformatowa fotografia lotnicza” (ang. *Small-format aerial photography - SFAP*) (Aber *et al.*, 2010).

Do zalet małoformatowej kamery niemetrycznej, w porównaniu z profesjonalnymi fotogrametrycznymi kamerami lotniczymi, zaliczyć można przede wszystkim jej koszt, a także koszt platform, na których mogą być umieszczone w powietrzu. Mają one również większe możliwości zaadaptowania do innych systemów tworzonych na różnych platformach w zależności od planowanego zastosowania.

W tradycyjnej fotogrametrii lotniczej jako platformy dla pozyskiwania obrazów cyfrowych wykorzystywane są w szczególności samoloty o wysokim pułapie lotu, wyposażone w sensory wizyjne, zintegrowane z urządzeniami nawigacyjnymi. Dla kamer małoformatowych platformami wznoszącymi sensor w powietrze wachlarz możliwości jest dużo szerszy. Mogą nimi bowiem być: balony, sterowce, awionetki, helikoptery, szybowce, rakiety, modele samolotów, helikopterów, wielowirnikowce, latawce *etc.* Platformy takie mogą być zarówno sterowane przez człowieka w powietrzu jak i bezzałogowe, a pułap ich lotu wynosi od kilkunastu metrów do nawet kilkuset kilometrów (Aber *et al.*, 2010). Oczywiście wybór platformy, jej pułap lotu oraz parametry samej kamery zależą przede wszystkim od zastosowania, dla którego wykorzystane mają być pozyskane zdjęcia.

Obecnie najpopularniejszymi platformami stosowanymi dla wyniesienia w powietrze małoformatowej kamery cyfrowej (w bardziej profesjonalnych systemach wraz z systemami nawigacji i orientacji sensora) są bezzałogowe statki powietrzne (ang. *Unmanned Aerial Vehicle - UAV*). Pierwsze badania dotyczące wykorzystania UAV do celów fotogrametrycznych rozpoczęły się pod koniec lat 70. ubiegłego wieku. Intensywny rozwój wykorzystania UAV do celów fotogrametrycznych nastąpił dopiero w pierwszej dekadzie XXI wieku. Bezpośrednich przyczyn wzrostu zastosowań UAV do pozyskiwania zdjęć należy doszukiwać się w rozwoju tanich systemów nawigacyjnych opartych o GPS/INS, które są niezbędne do wydajnego wykorzystania tego typu platform (Eisenbeiss, 2004). Wśród UAV na szczególną uwagę z fotogrametrycznego punktu widzenia zasługują wielowirnikowce. Pojazdy latające tego typu posiadają zalety helikopterów, czyli możliwość pionowego startu i lądowania oraz utrzymania stałej pozycji w powietrzu. Zalet tych nie mają UAV oparte o konstrukcje samolotów. Jednocześnie, w przeciwieństwie do helikopterów, wielowirnikowce cechują się znacznie większą stabilnością w trakcie lotu oraz mniejszymi wibracjami całej konstrukcji, które w przypadku helikopterów wywołuje wirnik. (Niethammer *et al.*, 2010).

Wykorzystanie kamery niemetrycznej w fotogrametrii łączy się z dwoma podstawowymi zastosowaniami. Pierwszym z nich jest pozyskiwanie zdjęć o charakterze zdjęć lotniczych o standardowej konfiguracji, jednakże ze znacznie niższych pułapów. Do zalet tego rozwiązania należy niższy koszt pozyskania zdjęć dla małych obszarów w porównaniu z tradycyjnymi lotami fotogrametrycznymi oraz możliwość dostarczania danych o wyższej rozdzielczości terenowej, dzięki możliwości znacznego zmniejszenia wysokości lotu (Nebiker *et al.*, 2008). Drugim obszarem, w którym zastosowanie tego typu kamery umieszczonej zazwyczaj na UAV wiąże się ze znacznymi korzyściami, jest 3D modelowanie. W tym wypadku UAV, będący najczęściej helikopterem wykorzystywany

jest jako platforma do wykonywania zdjęć charakterystycznych dla fotogrametrii bliskiego zasięgu. Pozwala to zrezygnować z używania podnośników, które są niezbędne w odfotografowaniu miejsc niewidocznych z ziemi. Zdjęcia te pozyskane kamerą niometryczną z użyciem UAV są najczęściej stosowane jako uzupełnienie danych pochodzących ze skaningu laserowego czy zdjęć naziemnych (Li i Li, 2011). Wśród zastosowań, w których wykorzystuje się obrazy cyfrowe z małoformatowej, cyfrowej kamery niometrycznej nie sposób nie wymienić: rolnictwa i leśnictwa, archeologii i dziedzictwa kulturalnego, monitoringu środowiska naturalnego, a także zagadnień związanych z transportem i zarządzaniem kryzysowym (Remondino *et al.*, 2011).

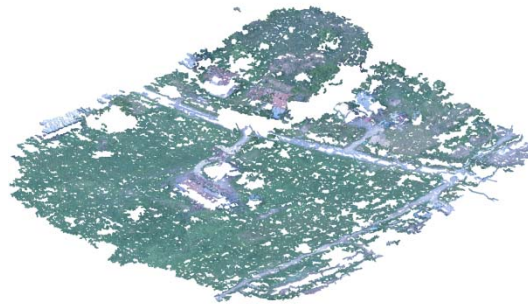
2. EKSPERYMENTY

2.1. Projekt I

Celem pierwszego projektu było wytworzenie podstawowych produktów fotogrametrycznych – numerycznego modelu terenu (NMT) i ortofotomapy wybranego obszaru na podstawie cyfrowych zdjęć wykonanych cyfrową kamerą niometryczną Canon Powershot A610 (rozdzielczość 2592×1944 pikseli – 5.04 megapikseli, ogniskowa 7.3 - 29.2 mm, wielkość piksela – 2.2 μm). 12 zdjęć o pokryciu podłużnym ok. 80-90% (rys.1a), stanowiących pojedynczy szereg., pozyskano podczas stabilnego lotu szybowca PW6 z częstotliwością 2.4 zdjęć na sekundę, z wysokości względnej ok. 200 m. Obszarem testowym była miejscowość Bezmiechowa Górna (woj. podkarpackie), w której znajduje się szybowisko Politechniki Rzeszowskiej. Aby wyznaczyć georeferencję zdjęć oraz w celu późniejszej kontroli NMT wykonano również metodą szybką statyczną (pomiar trwał 20 minut) pomiary satelitarne 11 fotopunktów identyfikowalnych, do czego posłużyły odbiorniki GPS Trimble 4700 oraz obserwacje z sieci ASG-EUPOS.



a)



b)

Rys. 1. Szkic rozmieszczenia 12 zdjęć pozyskanych z lotu szybowca dla obszaru Bezmiechowa Górna wraz z fotopunktami (a), które posłużyły do wygenerowania chmury punktów (b)

Prace kameralne omawianego projektu obejmowały wykonanie kalibracji kamery niometrycznej na laboratoryjnym polu kalibracyjnym Wydziału Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej, umożliwiającej wyznaczenie położenia punktu głównego,

odległości obrazowej, afinizmu, parametrów dystorsji radialnej i tangencjalnej obiektywu danej kamery niemetrycznej przy ostrości ustawionej na nieskończoność. Wyznaczone parametry posłużyły następnie do wykonania korekcji geometrycznej zdjęć z szybowca przez wygenerowanie obrazów pozbawionych wspomnianych zniekształceń. Następnym krokiem było przeprowadzenie aerotriangulacji metodą niezależnych wiązek, której wyniki prezentuje tabela 1. Wyniki te są zadowalające biorąc pod uwagę brak sygnalizacji punktów osnowy w terenie i ich niewielką liczbę. Całość procesu aerotriangulacji wykonana została z dokładnością $\sigma = 2.2 \mu\text{m}$, co stanowi dokładność poniżej wielkości jednego piksela matrycy z wykorzystanej kamery niemetrycznej.

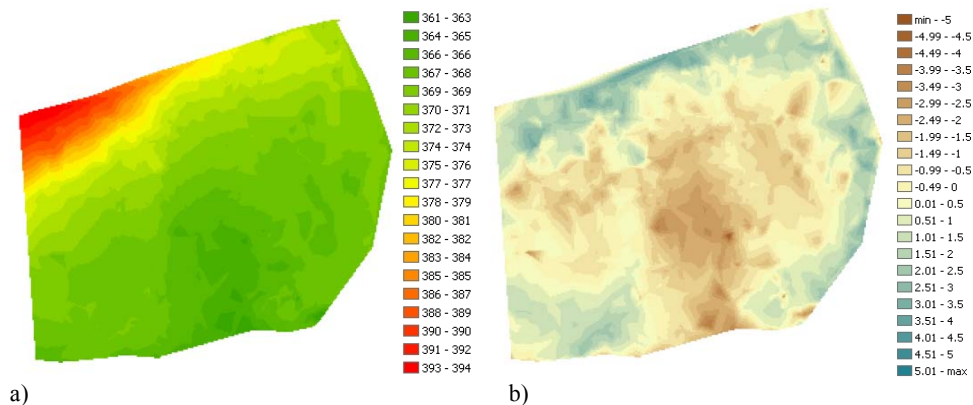
Tabela 1. Dokładności uzyskane w procesie aerotriangulacji szeregu zdjęć dla obiektu Bezmiechowa

Parametry	X	Y	Z
RMSE - punkty wpasowania [m]	0.087	0.108	0.026
V max [m]	0.137	0.242	0.052
RMSE - punkty kontrolne [m]	0.133	0.406	0.334

Na podstawie zdjęć o znanych parametrach orientacji zewnętrznej wygenerowano na stacji cyfrowej Z/I Imaging firmy Intergraph za pomocą korelacji obrazów cyfrowych metodą ABM (Area-Based Matching) i FBM (Feature-Based Matching) chmurę punktów (rys. 1b), z której wytworzono numeryczny model pokrycia terenu (NMPT) obszaru blisko 50 tys. m², odfiltrowany następnie do NMT (rys. 2a). Uzyskany model porównany został z najdokładniejszymi dla tego obszaru danymi dostępnymi w zasobie geodezyjnym i kartograficznym – NMT z projektu LPIS poprzez przestrzenny rozkład różnic wysokości (rys. 2b). Błąd średni wyniósł 1.19 m, a liczba obserwacji odstających ($dh > |3 \cdot \text{RMSE}|$) wyniosła 0.5% wszystkich punktów siatki GRID. Wartości te nie określają wiarygodnie dokładności wynikowego NMT, biorąc pod uwagę rozdzielczość przestrzenną modeli terenu z projektu LPIS, służących do ortorektyfikacji obrazów z wielkoformatowych kamer fotogrametrycznych i zasilających obecnie bazy danych topograficznych. Pokazują jednak, że NMT powstałe w wyniku opracowania fotogrametrycznego zdjęć niemetrycznych może być konkurencyjne w niektórych zastosowaniach, rozpatrując pomiary kontrolne podczas wyznaczania orientacji zewnętrznej zdjęć (nie przekraczające pół metra) oraz możliwość wytworzenia gęstej siatki punktów w wyniku korelacji obrazów. Ostatnim etapem eksperymentu było wygenerowanie ortofotomapy o GSD = 0.10 m na podstawie wyznaczonych parametrów orientacji i wytworzonego NMT.

Wykonany projekt udowodnił efektywną możliwość wykorzystania małoformatowej kamery cyfrowej dla wygenerowania podstawowych produktów fotogrametrycznych. Uzyskane produkty charakteryzują się wysoką dokładnością wysokościową (NMT) oraz rozdzielczością przestrzenną (ortofotomapa), co zawdzięcza się przede wszystkim niskiemu pułapowi lotu szybowca. Zagwarantowanie takiej dokładności skutkuje jednak niewielką powierzchnią terenową pojedynczego zdjęcia. Platforma lotnicza, jaką jest szybowiec, umożliwia przede wszystkim opracowywanie obszarów o liniowym kształcie i o małej powierzchni. Przyczyną tego jest charakter lotu szybowca utrudniający odfotografowanie terenu we wcześniej rozpatrywanym szeregu. Spokojny lot szybowca wiąże się z utratą wysokości lotu (w przypadku niniejszego projektu wynosiła ona 2.5 m/s), która znacząco ogranicza długość szeregów. W związku ze sterownością szybowca, w dużej mierze

uzależnionej od wiatru, równie trudno, co zachowanie stabilnego lotu w długim czasie, było zagwarantowanie pokrycia poprzecznego, co w ramach opisanego eksperymentu nie brano pod uwagę.



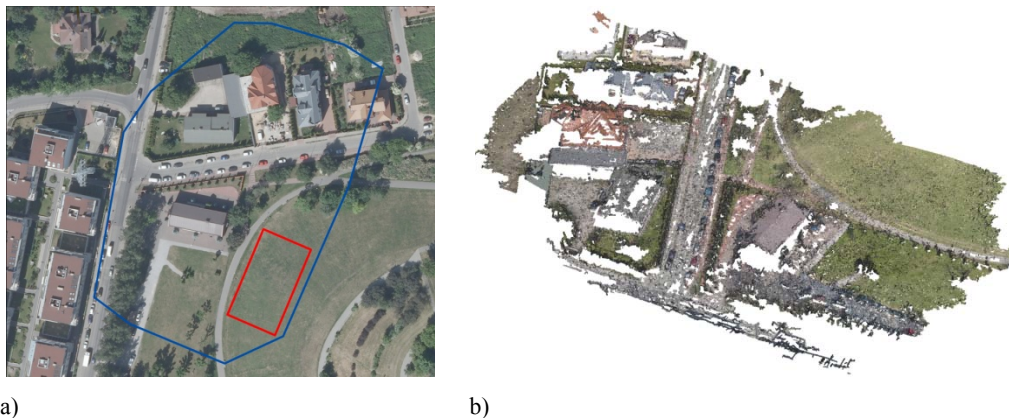
Rys. 2. Wytworzony NMT fragmentu miejscowości Bezmiechowa (a) oraz rozkład przestrzenny różnic wysokości [m] wytworzonego NMT w porównaniu z NMT z projektu LPIS (b)

2.2. Projekt II

Drugi z przedstawionych projektów miał na celu wykonanie NMT w oparciu o niometryczne zdjęcia pozyskane z pokładu UAV, z wykorzystaniem oprogramowania służącego do automatycznego generowania chmur punktów ze zdjęć niometrycznych. Do wykonania zdjęć z octocoptera (wilowirnikowiec o 8 silnikach) wykorzystano kamerę cyfrową wbudowaną w telefon komórkowy Nokia N8. Kamera wykorzystana w eksperymencie cechuje się dosyć dobrymi parametrami, (rozdzielczość 4000×3000 pikseli - 12 megapikseli, ogniskowa 6 mm, stała przesłona F/2.8, wymiar piksela $1.75 \mu\text{m}$), a jej rozdzielczość geometryczna jest porównywalna do rozdzielczości aparatów kompaktowych. Do wykonania zdjęć wykorzystano oprogramowanie CameraPro, które umożliwia wybór większości parametrów ekspozycji (w tym stopień kompresji obrazu) oraz automatyczne wyzwalanie migawki co stały interwał czasu.

Obszarem testowym wybranym na cele drugiego eksperymentu było zbocze Kopca Szczęśliwickiego (Górki Szczęśliwckiej) w Warszawie (dzielnica Ochota), wraz z jego otoczeniem (rys. 3a). Nad polem testowym wykonano dwa naloty w kwietniu 2012 roku, w trakcie których wykonano ok. 200 zdjęć (wyzwalanie migawki co 3 sekundy), o przeciętnym terenowym wymiarze piksela ok. 3 cm. Wykorzystana platforma wyposażona była w system FPV (*ang. First Person View*), umożliwiający przesyłanie droga radiową obrazu z dodatkowej kamery podglądowej zamontowanej na platformie wraz z parametrami lotu i wyświetlanie ich w czasie rzeczywistym na ekranie lub w specjalnych goglach. Cześć parametrów lotu wyznaczana była przez odbiornik GPS, pozwalający ponadto utrzymywać ustaloną pozycję w powietrzu.

Do wstępnego opracowania wybrano 22 zdjęcia z jednego z nalotów o zróżnicowanym pokryciu oraz wysokości fotografowania. Opracowanie wykonano z wykorzystaniem oprogramowania VisualSFM (Wu, 2011), które umożliwia w pełni automatyczną orientację wzajemną z jednoczesnym wyznaczeniem parametrów orientacji wewnętrznej. Do wyznaczenia punktów wiążących w oprogramowaniu wykorzystano algorytm *Sift*. Na podstawie kolejnego algorytmu - *Multicore Bundle Adjustment*, określono parametry orientacji wewnętrznej (w tym dystorsję radialną) i wzajemnego położenia zdjęć w przestrzeni trójwymiarowej w wyrównaniu sieci obrazów metodą niezależnych wiązek. Kolejnym krokiem było wygenerowanie chmury punktów w oparciu o zorientowaną wzajemnie sieć zdjęć. Posłużył do tego współpracujący z VisualSFM algorytm CMVS/PMVS2 (*Stereo Clustering Views for Multi-view/Patch-based Multi-view Stereo*) (Furukawa i Ponce, 2010). Algorytm ten wykorzystuje wyznaczone parametry orientacji wewnętrznej do korekcji geometrycznej zdjęć, a następnie w oparciu o jednoczesną korelację wielu obrazów buduje chmurę punktów, jednocześnie wyznaczając dla każdego z nich składowe RGB i kierunek normalny do powierzchni. W wykorzystanej konfiguracji algorytm rekonstruował punkty, które zostały wyznaczone przynajmniej na trzech zdjęciach, podejmując przy tym próbę zrekonstruowania jednego punktu dla każdego piksela obrazu. Uzyskano w ten sposób pokolorowaną chmurę składającą się z 3.5 mln punktów, o średniej gęstości 226 pkt/m², dla obszaru ok. 15 tys. m², którą przedstawia rysunek 3b.

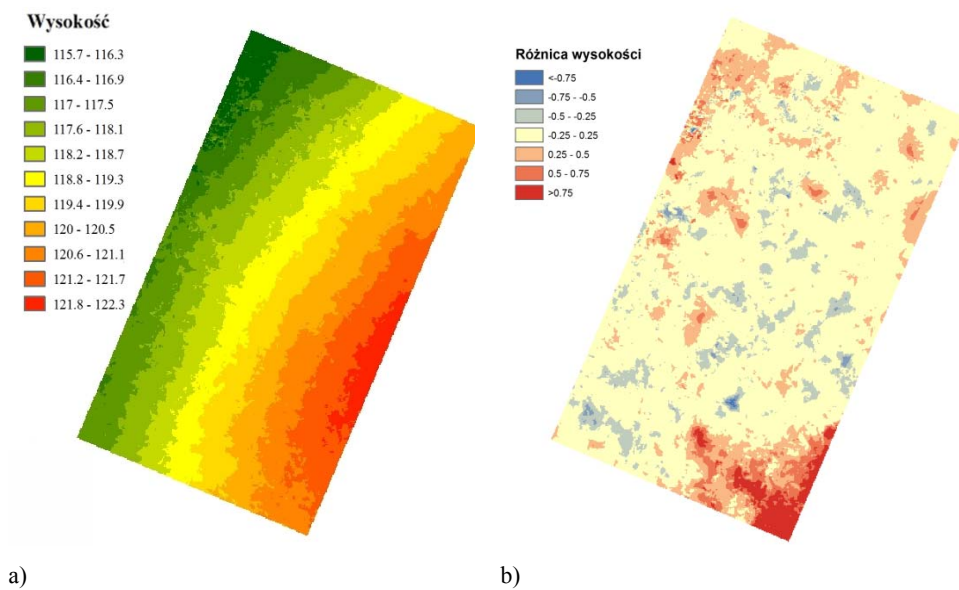


Rys. 3. Obszar Kopca Szczęśliwickiego (a) kolor czerwony - obszar do analizy jakości NMT, kolor niebieski - zakres opracowania, dla którego wygenerowano chmurę punktów (b)

Ostatnim etapem wykonanym w programie VisualSFM była transformacja chmury punktów do układu terenowego. Mając na celu zachowanie większej spójności danych, transformację przeprowadzono w oparciu punkty, których współrzędne wyznaczono za pomocą fotogrametrycznego wcięcia w przód na stacji cyfrowej Z/I Imaging na podstawie wysokorozdzielczych zdjęć fotogrametrycznych o znanej orientacji zewnętrznej wykonanych kamerą UltraCamX o GSD równym 0.12 m. Transformację wykonano z wykorzystaniem 10 punktów wpasowania. Błąd średni transformacji wyniósł 0.65 m, przy czym znacząca wielkość błędu transformacji spowodowana była słabym

rozmieszczeniem punktów dopasowania – jedyne możliwe punkty do zidentyfikowania stanowiły narożniki dachów.

Do oceny jakości chmury punktów zdecydowano się wykorzystać jej fragment obejmujący stok wzniesienia (rys. 3a), o największej gęstości wygenerowanych punktów na metr kwadratowy (rys. 5a) o powierzchni około 1 tys. m², bez wysokiej roślinności, dzięki czemu uniknięto dalszej filtracji i wygładzania chmury punktów otrzymanej ze zdjęć niemetrycznych. Jako dane referencyjne wykorzystano NMT zbudowany na podstawie chmury punktów wygenerowanej automatycznie na stacji cyfrowej Z/I Imaging za pomocą korelacji zdjęć lotniczych metrycznych metodą ABM i FBM.



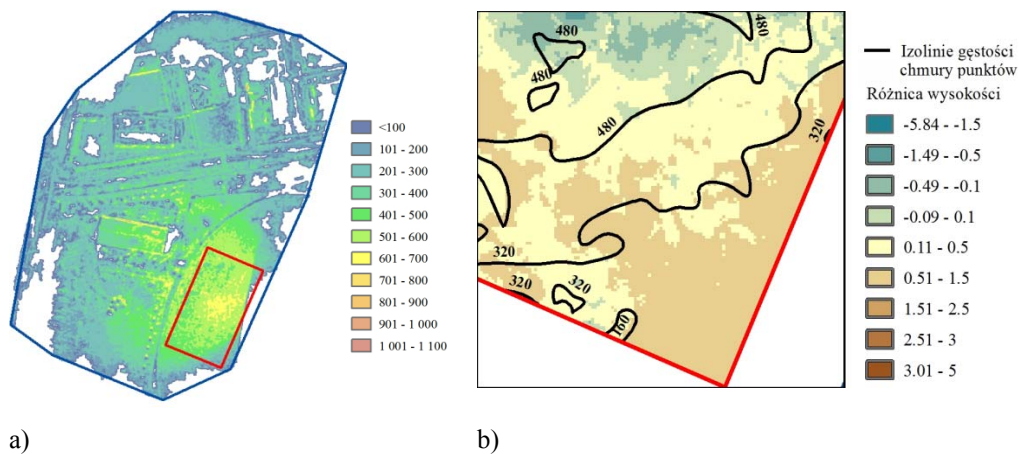
Rys. 4. Wygenerowany NMT dla fragmentu Kopca Szczęśliwickiego (a) wraz z przestrzennym rozkładem różnic wysokości [m], pomiędzy NMT ze zdjęć niemetrycznych i metrycznych (b)

Porównanie obu modeli wykonano w oparciu o przestrzenny rozkład różnic wysokości, który przedstawia rysunek 4b. Błąd średni RMSE różnic wyniósł 27 cm, a obserwacje odstające ($dh > |3 \cdot RMSE|$), stanowiły niecałe 2%. Za najbardziej prawdopodobną przyczynę spadku dokładność w południowym rogu opracowania, należy uznać fakt, że obszar ten znajduje się przy krawędzi chmury punktów wygenerowanej ze zdjęć niemetrycznych, co ilustruje rysunek 5b. W tym miejscu gęstość surowej chmury punktów była niższa niż w pozostałych rejonach analizowanego obszaru.

Otrzymane wyniki, pozwalają stwierdzić, iż możliwe jest w pełni automatyczne wygenerowanie NMT, z wykorzystaniem algorytmów do automatycznej orientacji i korelacji wielu zdjęć. Uzyskaną jakość NMT można uznać za satysfakcjonującą. Osiągnięto wyniki, które są na podobnym poziomie dokładnościowym co wynik automatycznego *matchingu* z wysokorozdzielczych zdjęć metrycznych.

3. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Rozwój technologii konstrukcji kamer fotograficznych osiągnął współcześnie bardzo wysoki poziom umożliwiając rejestrację obiektów z pułapu lotniczego z dużą rozdzielczością. Niewątpliwie bezzałogowe statki powietrzne są platformami dostarczającymi zadowalającej jakości produkty fotogrametryczne i mającymi możliwości przystosowanymi do różnorodnych zadań. To właśnie na nich skupiona jest aktualna problematyka badawcza, związana z rozwojem nowych konstrukcji, projektowania i realizacji autonomicznych lotów niskiego pułapu (Sawicki, 2012). Platformy te wyposażane są w coraz bardziej skomplikowane wielosensorowe systemy uwzględniające systemy wizyjne w różnych zakresach spektralnych, skanery laserowe, a także narzędzia umożliwiające georeferencję wprost, co znacząco podnosi dokładność i umożliwia jednocześnie wykorzystanie mniejszej liczby punktów osnowy.



Rys. 5. Gęstość chmury punktów w liczbie punktów na m² dla obszaru testowego fragmentu Kopca Szczęśliwickiego (a) ukazana z jej wpływem na przestrzenny rozkład różnic wysokości [m] pomiędzy modelami wygenerowanymi ze zdjęć metrycznych i niemetrycznych (b)

Obydwa zaprezentowane projekty ukazują potencjał, jakim dysponuje fotogrametria lotnicza niskich wysokości, w której zastosowanie ma niemetryczna kamera cyfrowa umieszczona na dowolnej platformie lotniczej. Eksperymenty te udowodniły, że za pomocą prostej kamery małoformatowej wyniesionej w powietrze można uzyskać produkty fotogrametryczne o stosunkowo wysokiej dokładności, biorąc pod uwagę, że orientacje tych obrazów wyznaczana była jedynie o nieliczne fotopunkty, wykorzystane w procesie aerotriangulacji (projekt I), czy w transformacji chmury punktów do układu terenowego (projekt II).

Zadania możliwe do zrealizowania za pomocą kamery niemetrycznej ukierunkowane są przede wszystkim na opracowania w dużej skali dla małych powierzchniowo obszarów. Zaletą wygenerowanych ze zdjęć z kamery niemetrycznej produktów takich jak: numeryczne modele wysokościowe, wektorowe modele dowolnych obiektów,

ortofotomapy, poza ich znacząco niższą ceną, jest przede wszystkim ich wysoka rozdzielczość (przy niskim pułapie fotografowania), ale także szybkość dostarczania informacji i ich aktualność, co jest szczególnie istotne w niektórych zastosowaniach takich jak np. zarządzanie kryzysowe, wymagających opracowań w czasie rzeczywistym. Platformy takie jak UAV, dzięki swojej konstrukcji umożliwiają pozyskanie zdjęć, które uzupełniają pomiary naziemne, a niejednokrotnie już je zastępują. Dziedzina określana jako małoformatowa fotografia lotnicza, czy też fotogrametria lotnicza niskich wysokości bardzo szybko się rozwija. Ostateczne możliwości, jakie daje wykorzystanie lotniczych zdjęć z kamery niemetrycznej nie zostały jeszcze w pełni osiągnięte. Współczesna technika umożliwia stosowanie sensorów o większej rozdzielczości przy zmniejszeniu wagi całej kamery. Niewątpliwie jednak rozwój tej dziedziny w niedalekiej przyszłości dotyczyć będzie przede wszystkim automatyzacji pozyskiwania danych o numerycznym modelu pokrycia terenu w czasie rzeczywistym oraz poprawy dokładności uzyskanych rezultatów poprzez stosowanie coraz bardziej dokładnych sensorów nawigacyjnych przy zachowaniu racjonalnej dostępności cenowej całego systemu, gdyż tylko dzięki temu będą one konkurencyjne na rynku.

4. LITERATURA

- Aber J.S., Marzloff I., Ries J.B., 2010. *Small-format aerial photography. Principles, techniques and geoscience applications*. Elsevier.
- Eisenbeiss H., 2004. A mini unmanned aerial vehicle (UAV): system overview and image acquisition, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XXXVI, part 5/W1.
- Furukawa Y., Ponce J., 2010. Accurate, dense, and robust multiview stereopsis. *IEEE Transition on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 32, n°8, pp. 1362-1376.
- Li Z., Li Y., 2011. Photogrammetric recording of ancient buildings by using unmanned helicopters - cases in China, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVIII-1/C22 UAV-g, Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics, Zurich, Switzerland.
- Nebiker S., Annen A., Scherrer M., Oesch D., 2008. A light-weight multispectral sensor for micro UAV – opportunities for very high resolution airborne remote sensing, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII.
- Niethammer U., Rothmund S., James M.R., Travelletti J., Joswig M., 2010. UAV-based remote sensing of landslides, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVIII, Part 5 Commission V Symposium, Newcastle upon Tyne, UK.
- Remondino F., Barazzetti L, Nex F., Scaioni M., Sarazzi D., 2011. UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling – current status and future perspectives, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XXXVIII-1/C22 UAV-g 2011, Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics, Zurich, Switzerland.
- Sawicki P., 2012. Bezzałogowe aparaty latające UAV w fotogrametrii i teledetekcji – stan obecny i kierunki rozwoju, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, vol. 23, s. 365–376.
- Wu Ch., 2011. *VisualSFM: A Visual Structure from Motion System*, <http://www.cs.washington.edu/homes/cwu/vsfm/>

THE APPLICATION OF NON-METRIC DIGITAL CAMERA IN AERIAL PHOTOGRAMMETRY ON SELECTED EXAMPLES

KEY WORDS: small-format non-metric camera, low-altitude aerial photogrammetry, image-based matching, digital terrain model, unmanned aerial vehicle, sailplane

Summary

The aim of this paper is to present the measurement potential of images obtained by digital, non-metric, small-format camera from low-altitude aerial range. In presented paper, on the basis of two executed projects and a review of selected bibliography, the usefulness of such photos was assessed and the prospects for the development of this field of photogrammetry in the near future were drawn.

The purpose of both project was the acquisition of digital images by usage of small-format, non-metric camera placed on selected air platform. In the first experiment, as an aerial platform, a sailplane was used while in the second experiment – octocopter which is unmanned aerial vehicle (UAV). On the basis of obtained images a point cloud were generated using image-based matching in both projects. In presented experiments following automatic correlation methods were applied: Area-Based Matching (ABM) and Feature-Based Matching (FBM) as well as an algorithm based on multi-view stereo matching (CMVS/PMVS2). Datasets generated during experiments were used for basic photogrammetric products creation. Their quality was then evaluated with respect to the professional data, including data from the geodetic and cartographic resource. This assessment was investigated to prove the high quality of studies created from images obtained by non-metric cameras, as well as to demonstrate possibilities of their practical future use.

Both presented projects showed the potential of low-altitude aerial photogrammetry, which applies small-format digital camera placed on any aerial platform. These tasks are focused primarily on the development of large-scale studies for small areas, generating accurate products such as: digital terrain models, surface models, vector models of any object, orthoimages as a result.

Dane autorów:

Mgr inż. Krzysztof Bakula
e-mail: k.bakula@gik.pw.edu.pl
telefon: 22 234 76 94

Inż. Wojciech Ostrowski
e-mail: w.ostrowski@vp.pl
telefon: 22 234 76 94