



Analiza możliwości wykonania aerotriangulacji zdjęć cyfrowych pozyskanych kamerą niemetryczną zamontowaną na pokładzie bezzałogowego statku latającego bez systemu GPS/INS

MICHAŁ KĘDZIERSKI, DAMIAN WIERZBICKI,
MICHALINA WILIŃSKA, ANNA FRYŚKOWSKA

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji,
Instytut Geodezji, Zakład Teledetekcji i Fotogrametrii,
00-908 Warszawa, ul. gen. S. Kaliskiego 2, mkedzierski@wat.edu.pl,

Streszczenie. Omówiono zagadnienie fotogrametrycznego opracowania zdjęć pozyskanych za pomocą amatorskiej, niemetrycznej kamery zamontowanej na pokładzie miniaturowego, bezzałogowego statku latającego (BSL). Rozpatrywanym zagadnieniem jest również zbadanie potencjału wykorzystania niskobudżetowych bezzałogowych platform latających pozbawionych systemu GPS/INS do pozyskiwania geodanych. W tym przypadku wyposażenie tego typu platformy w taki system podnosiłoby nawet kilkakrotnie koszt całego urządzenia, a dokładność wyznaczenia pozycji bezzałogowego statku kształtowałaby się na poziomie tylko kilku metrów. Celem badań było przeprowadzenie analizy dokładności aerotriangulacji zdjęć cyfrowych pozyskanych za pomocą kamery niemetrycznej zamontowanej na pokładzie bezzałogowego statku latającego. W ramach prac badawczych wykorzystano terenową osnowę fotogrametryczną, przeprowadzono kalibrację kamery niemetrycznej oraz wykonano nalot fotogrametryczny nad obszarem opracowania. Z kilkudziesięciu pozyskanych zdjęć wybrano takie, które charakteryzowały się możliwe najmniejszymi wartościami kątów nachylenia i skręcenia oraz posiadały zbliżoną skalę. W dalszych badaniach skupiono się na analizie dokładności aerotriangulacji na wybranym bloku testowym bez uwzględniania danych nawigacyjnych oraz, dla porównania, z uwzględnieniem przybliżonych środków rzutów z systemu GPS. Analizy dokładności wyrównania dokonano niezależnie w dwóch programach: *Leica Photogrammetry Suite* oraz MATCH-AT (INPHO). Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że oprogramowanie MATCH-AT jest znacznie wydajniejszym programem do aerotriangulacji zdjęć cyfrowych pozyskanych kamerą cyfrową z pokładu BSL od oprogramowania *Leica Photogrammetry Suite*. Dzięki dużej liczbie poprawnie wygenerowanych punktów wiążących możliwe było wzmocnienie sieci wiązań w czasie wyrównania. Udowodniono również, że możliwe jest otrzymanie

zadowalających wyników wyrównania bez uwzględniania danych z tanich sensorów nawigacyjnych o niskiej dokładności, które w kontekście aerotriangulacji w żaden sposób nie poprawiły dokładności wyrównania.

Słowa kluczowe: fotogrametria lotnicza, aerotriangulacja, bezzałogowy statek latający, analiza dokładności, wyrównanie

1. Wstęp

W ciągu ostatniego dziesięciolecia obserwuje się nieustanny wzrost zainteresowania pozyskaniem zdjęć cyfrowych z pokładu bezzałogowych statków latających. Wdrożenie takiego rozwiązania ma miejsce zarówno w zastosowaniach fotogrametrycznych [6, 7], jak i teledetekcyjnych [2, 3]. Wykorzystanie w ten sposób pozyskanych danych jest bardzo atrakcyjne z punktu widzenia poniesionych kosztów oraz w kontekście uzyskiwanych wysokich rozdzielczości przestrzennych (rozmiar piksela terenowego poniżej 0,05 m). Wykorzystanie bezzałogowych statków latających w zastosowaniach fotogrametrycznych jest warte uwagi, również ze względu na to, że produkcja ortofotomap wielkoskalowych dla bardzo małych obszarów przy wykorzystaniu konwencjonalnych rozwiązań fotogrametrii lotniczej lub satelitarnej jest obecnie nieopłacalna [4]. Dlatego wykorzystanie bezzałogowych statków latających stanowi doskonałą alternatywę dla realizacji tego typu opracowań. Realizacja badań w kierunku techniki pozyskiwania geodanych i ich fotogrametrycznego opracowania umożliwi określenie zasadności wykorzystania BSL wyposażonego w niemetryczną kamerę cyfrową do realizacji tego typu zadań. Mając na uwadze głównie aspekt jakości geometrycznej pozyskiwanych zdjęć, powszechnie wiadomo, że otrzymywanie zdjęć o niewielkich wychyleniach kątowych kamerą niemetryczną zamontowaną na BSL jest znacznie bardziej kłopotliwe w praktycznej realizacji. Główną przyczyną takiego stanu rzeczy należy szukać w podatności platformy latającej na czynniki zewnętrzne wpływające na niestabilność lotu, która będzie ujawniała się w postaci nagłej zmiany wysokości bądź kierunku. Takie zaburzenie lotu powoduje, że pozyskane zdjęcia cechują się dość nierównomiernym pokryciem podłużnym, poprzecznym oraz stosunkowo dużymi wartościami kątowych elementów orientacji zewnętrznej. W niniejszym opracowaniu poruszana jest również tematyka dotycząca dokładności sensorów nawigacyjnych umieszczanych na platformach BSL. Dane z tych sensorów wykorzystywane są do realizacji zaplanowanej trajektorii lotu oraz wyznaczenia przybliżonych elementów orientacji zewnętrznej. Obecnie w większości przypadków na niskobudżetowych BSL instalowane są jednocześnie odbiorniki GPS pozwalające osiągnąć dokładność wyznaczenia pozycji, która kształtuje się na poziomie tylko kilku metrów. W odniesieniu do wyznaczenia wartości kątowych orientacji kamery na tanich BSL przeważnie wykorzystywane są sensory inercyjne oparte na układach mikroelektromechanicznych (MEMS — ang. *Micro Elektro-Mechanical Systems*). Osiągnięta dokładność wyznaczenia wartości kątowych

w jednostkach inercyjnych tego typu kształtuje się na poziomie 1° dla kątów nachylenia poprzecznego i podłużnego, natomiast dla kąta skręcenia dokładność ta wynosi 2° [1]. Niska dokładność wyznaczenia kątów jest powodowana głównie przez błędy w pomiarach akcelerometrycznych, żyroskopowych oraz niezbyt dokładnych wskazaniach magnetometrów [5].

Na podstawie powyższej krótkiej charakterystyki dokładnościowej tanich sensorów nawigacyjnych w kontekście wyrównania bloku fotogrametrycznego uzyskiwane dokładności w żaden sposób nie ułatwiają wykonania poprawnej aerotriangulacji zdjęć bez dysponowania odpowiednio dużą liczbą fotopunktów.

Dlatego autorzy postanowili przeprowadzić analizy dokładnościowe aerotriangulacji bloku zdjęć bez uwzględniania danych nawigacyjnych pochodzących z systemu GPS/INS oraz dla porównania z uwzględnieniem danych z systemu GPS.

2. Pozyskanie i opracowanie danych

2.1. Charakterystyka bezzałogowego statku latającego

Wykorzystana w badaniach platforma to bezzałogowy statek latający klasy mini. Jest to typ ośmiowirnikowca, gdzie każdy z wirników napędzany jest niezależnie przez silnik elektryczny. Zastosowanie wielowirnikowca daje możliwość pionowego startu i lądowania oraz utrzymania stałej pozycji nad danym punktem. BSL posiada budowę modułową, dzięki czemu możliwe jest zamontowanie na niej dodatkowego wyposażenia oraz dowolnej kamery pod warunkiem, że jej waga wraz z wyposażeniem dodatkowym nie będzie przekraczała 2500 g. Dzięki zamontowanemu jednocześnie odbiornikowi GPS możliwe jest wykonanie pół-autonomicznego lotu na podstawie zadanej wysokości oraz współrzędnych punktów nalotu. Ze względu na ograniczoną pojemność akumulatora możliwe jest wykonanie lotu trwającego około 15-25 minut. Platforma została wyposażona w kompaktową kamerę cyfrową SONY NEX-5N zamontowaną na odpowiednim podwieszeniu.

2.2. Kalibracja niemetrycznej kamery cyfrowej

W celu wyznaczenia elementów orientacji wewnętrznej konieczne było wykonanie kalibracji niemetrycznej kamery SONY NEX-5N, zamontowanej na pokładzie bezzałogowego statku latającego. Ten typ aparatu dzięki swojej niewielkiej wadze oraz obiektywowi stałogniskowemu i stosunkowo prostej budowie zewnętrznej stanowił jedno z najlepszych rozwiązań do pozyskiwania obrazowań z BSL. Parametry ekspozycji zdjęć i podstawowe własności kamery zostały zamieszczone w tabeli 1.

Arkusze kalibracyjny składał się łącznie z 145 punktów, w tym 5 znaków standardowych, oznaczonych na teście kwadratami. Zdjęcia arkusza wykonano z takimi samymi ustawieniami ekspozycji, jakie były ustawione w trakcie lotu.

Kalibrację aparatu wykonano na podstawie trzydziestu serii zdjęć arkusza kalibracyjnego, a otrzymane wyniki uśredniono (tab. 2). Kalibrację oraz niezbędne obliczenia wykonano za pomocą oprogramowania *Image Master Calib*.

TABELA 1
Parametry ekspozycji zdjęć i podstawowe własności kamery

Wartość przysłony	$f/6,3$
Czas ekspozycji	1/320 s
Czułość ISO	ISO-200
Ogniskowa obiektywu	30 mm
Rozmiar piksela	$4,9 \times 4,9 \mu\text{m}$
Wielkość obrazu	4912×3264 pikseli

TABELA 2
Wartości uśrednionych parametrów kalibracji kamery

Parametr	Oznaczenie	Wartość	σ
Ogniskowa obiektywu	f [mm]	29,76	$\pm 0,003$
Położenie punktu głównego	x_0 [mm]	12,02	$\pm 0,013$
	y_0 [mm]	7,86	$\pm 0,015$
Dystorsja radialna	K1	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$\pm 2,5 \cdot 10^{-6}$
	K2	$1,2 \cdot 10^{-8}$	$\pm 1,3 \cdot 10^{-9}$
Dystorsja tangencjalna	P1	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$\pm 2,7 \cdot 10^{-6}$
	P2	$-4,5 \cdot 10^{-5}$	$\pm 8,0 \cdot 10^{-6}$

2.3. Realizacja nalotu

Za obszar opracowania przyjęto obiekt sportowy znajdujący się na terenie Wojskowej Akademii Technicznej.

Nalot wykonano w okresie jesiennym, w godzinach przedpołudniowych oraz w sprzyjających warunkach pogodowych, tj. przy bezchmurnym niebie i słabym wietrze. Z uwagi na niewielką wagę i rozmiary platformy właśnie ten ostatni czynnik miał największe znaczenie dla powodzenia realizacji nalotu.

2.4. Pomiar osnowy fotogrametrycznej

Ze względu na fakt, że nalot odbywał się na wysokości około 50 m, na opracowywanym obszarze konieczne było zaprojektowanie dużej liczby równomiernie rozmieszczonych fotopunktów w taki sposób, aby możliwe było wykonanie prawidłowej orientacji zdjęć.

Na obszarze opracowania zaprojektowano i pomierzono 40 sygnalizowanych fotopunktów. Wszystkie punkty zostały pomierzone z wykorzystaniem techniki pomiaru kinematycznego *GPS RTK*. Współrzędne terenowe fotopunktów zostały wyznaczone z błędem średnim $m_{x,x,z} = \pm 0,03$ m.

3. Metodyka orientacji bloku testowego

W celu wykonania aerotriangulacji bloku zdjęć spośród kilkudziesięciu pozyskanych zdjęć wyselekcjonowano grupę o zbliżonych parametrach, takich jak: skala, kąty nachylenia oraz pokrycie podłużne i poprzeczne (tab. 3). Blok testowy wyrównano w systemach fotogrametrycznych — *Leica Photogrametry Suite* oraz *MATCH-AT (INPHO)*.

W celu zapewnienia niezawodności sieci, szczególną uwagę zwracano na poprawne zaprojektowanie 5-6 punktów wiążących w każdym punkcie Grübera. Dodatkowo zadbano również o edycję operatorską automatycznego pomiaru punktów wiążących. Jest to niezwykle istotne zagadnienie z punktu widzenia zapewnienia odpowiedniej jakości i dokładności aerotriangulacji. Jak słusznie zauważono [9], niekompletne i nieefektywne wiązania obniżałyby dokładność wyznaczenia współrzędnych terenowych każdego punktu wiążącego. Kolejnym istotnym zagadnieniem, często w ogóle nieuwzględnianym w realizacji opracowań fotogrametrycznych z danych pozyskanych z pokładu bezałogowego statku latającego, jest zbyt duża liczba punktów wiążących pomierzonych często tylko na dwóch zdjęciach. Rozwiązanie takie nic nie wnosi do niezawodności sieci oraz do realnego podniesienia dokładności wyrównania.

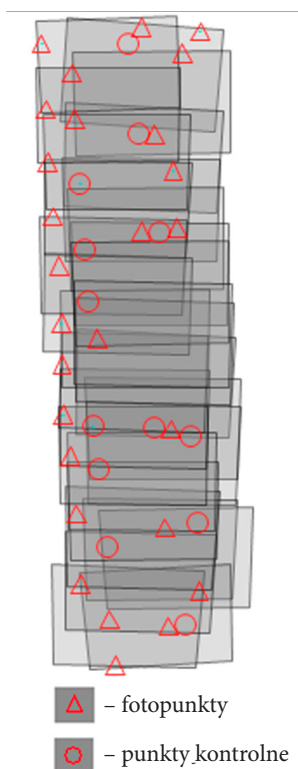
3.1. Charakterystyka danych

Blok testowy składał się z 28 zdjęć o dobrej jakości radiometrycznej i nieco gorszej jakości geometrycznej spowodowanej głównie przez stosunkowo duże wartości kątów nachylenia poprzecznego i podłużnego. Na obszarze opracowania zidentyfikowano 21 fotopunktów oraz 19 niezależnych punktów kontrolnych. Zdjęcia tworzące blok testowy zostały zestawione w dwóch szeregach po 14 zdjęć. Średnie pokrycie poprzeczne wynosiło 75%, natomiast pokrycie podłużne 65%. Taki nietypowy stosunek pokrycia spowodowany był trudnościami w zachowaniu

poprawnej trajektorii lotu bezzałogowego statku latającego w czasie realizacji nalotu. W tabeli 3 została przedstawiona szczegółowa charakterystyka bloku testowego.

TABELA 3
Charakterystyka bloku testowego

Opis	Blok testowy
Liczba zdjęć/szeregów	28/2
Kamera/ogniskowa obiektywu [mm]	NEX5-N/29,76
Średnie pokrycie podłużne/poprzeczne [%]	65/75
Wysokość lotu [m]	50
Liczba fotopunktów	21
Liczba niezależnych punktów kontrolnych	19
Rozmiar piksela matrycy kamery [μm]	4,9



Rys. 1. Blok testowy

3.2. Aerotriangulacja bloku zdjęć w oprogramowaniu *Leica Photogrammetry Suite*

Aerotriangulację metodą niezależnych wiązek przeprowadzono w module *Leica Photogrammetry Suite* [8]. Do realizacji orientacji wewnętrznej wykorzystano dane wyznaczone w procesie kalibracji kamery SONY NEX-5N. Wstępna orientacja zdjęć została wykonana w oparciu o 21 fotopunktów. Następnie w każdym punkcie Grübera w bloku zdjęć pomierzono manualnie punkty wiążące. W dalszej części opracowania, wykorzystując cyfrową korelację obrazów, wygenerowano w sposób automatyczny pozostałe punkty wiążące. Dokonując korekty operatorskiej, usunięto te punkty, które zostały błędnie umieszczone w cieniach, na dachach budynków itp. Wyrównanie bloku zdjęć przeprowadzono w trzech wariantach. Pierwsze dwa wyrównania nie uwzględniały danych z systemu GPS o przybliżonych elementach orientacji zewnętrznej. W trzecim wyrównaniu uwzględniono dane o przybliżonych środkach rzutów zarejestrowanych w czasie nalotu systemem GPS.

3.3. Aerotriangulacja bloku zdjęć w oprogramowaniu MATCH-AT (INPHO)

Wyrównanie metodą niezależnych wiązek w programie MATCH-AT rozpoczęto od zdefiniowania elementów orientacji wewnętrznej na podstawie wyników z kalibracji kamery SONY NEX-5N. Wyrównanie oparto na najnowszych algorytmach zaimplementowanych do wersji programu MATCH-AT, które uwzględniały opracowanie danych pozyskanych z pokładu bezzałogowego statku latającego. Podobnie jak poprzednio orientację bloku oparto na manualnym pomiarze 21 fotopunktów równomiernie rozmieszczonych na obszarze opracowania. Punkty wiążące wygenerowano automatycznie z wykorzystaniem strategii cyfrowej korelacji obrazów opartej na metodzie najmniejszych kwadratów. Po przeprowadzeniu wyrównania przeprowadzono edycję pomiaru punktów na zdjęciach i wyeliminowano wiązania o najsłabszej konstrukcji.

4. Analiza wyników dokładności aerotriangulacji

Analizę dokładności aerotriangulacji przeprowadzono na podstawie trzech niezależnych wyrównań. Blok testowy składał się z 28 zdjęć i charakteryzował się nierównomiernym pokryciem podłużnym i poprzecznym. Na zdjęciach pomierzono łącznie 21 fotopunktów, 19 niezależnych punktów kontrolnych oraz odpowiednio po kilkaset punktów wiążących pomierzonych przed każdym wyrównaniem.

TABELA 4

Wyniki wyrównania z LPS, MATCH-AT oraz wyrównania z uwzględnieniem danych z GPS

Opis	Blok testowy		
	LPS	MATCH-AT	LPS GPS
Długość ogniskowej	29,76 [mm]		
Liczba zdjęć	28		
Błąd średni typowego spostrzeżenia σ_0 [$\mu\text{m}/\text{pix}$]	3,9/0,80	3,8/0,77	3,7/0,75
Liczba fotopunktów	21		
Liczba punktów kontrolnych	19		
Wartość odchylenia standardowego apriori fotopunktów i punktów kontrolnych X, Y, Z [m]	0,03; 0,03; 0,03;		
RMS X, Y, Z fotopunktów [m]	0,07	0,05	0,07
	0,05	0,05	0,05
	0,27	0,45	0,28
RMS X,Y, Z punktów kontrolnych [m]	0,11	0,05	0,10
	0,05	0,06	0,06
	0,43	0,54	0,42
MX_0 [m]	0,15	0,09	0,14
MY_0 [m]	0,12	0,06	0,11
MZ_0 [m]	0,07	0,04	0,07
$M\omega$ [°]	0,16	0,09	0,15
$M\varphi$ [°]	0,21	0,13	0,21
$M\kappa$ [°]	0,06	0,04	0,06

W tabeli 4 przedstawiono wyniki trzech niezależnych wyrównań bloku testowego. Błąd średni typowego spostrzeżenia dla wyrównania w programie *Leica Photogrammetry Suite* ukształtował się na poziomie 3,9 μm oraz 3,7 μm , natomiast dla wyrównania w programie MATCH-AT wartość σ_0 wyniosła 3,8 μm . Jak można zauważyć, w każdym przypadku wartości uzyskanego błędu σ_0 są mniejsze niż rozmiar piksela matrycy wykorzystanej kamery niemetrycznej. Dla wyrównania bez uwzględniania przybliżonych środków rzutów w programie LPS wartości błędów średniokwadratowych (liczonych z poprawek wyrównawczych) położenia fotopunktów dla współrzędnych X, Y wynosiły odpowiednio 0,07 m oraz 0,05 m, z kolei dla współrzędnej Z wartość ta wynosiła 0,27 m. Natomiast w odniesieniu do niezależnych punktów kontrolnych wartości błędów średniokwadratowych (liczonych jako różnice między współrzędnymi wyznaczonymi w wyniku wyrównania a współrzędnymi wyznaczonymi z pomiarów terenowych) dla współrzędnych poziomych ukształtowały się w przedziale 0,05-0,11 m. Wartość dla współrzędnej Z wynosiła 0,43 m.

W odniesieniu do dokładności wyznaczenia współrzędnych terenowych środków rzutów X_0 , Y_0 , Z_0 , wartości odchyłeń standardowych otrzymanych z wyrównania ukształtowały się w granicach 0,07-0,15 m. Analizując dokładność wyznaczenia elementów kątowych orientacji zewnętrznej ω , φ i κ , uzyskane wartości odchyłeń standardowych ukształtowały się w przedziale 0,06-0,21°.

Bardzo zbliżone wyniki uzyskano również w wyrównaniu, które uwzględniało dane o przybliżonych elementach orientacji zewnętrznej. Wartości RMS dla współrzędnych poziomych fotopunktów są identyczne z wynikami wyrównania, które nie uwzględniały przybliżonych środków rzutów, dla współrzędnej Z wartość RMS wyniosła 0,28 m. W odniesieniu do wyników otrzymanych dla niezależnych punktów kontrolnych różnice pomiędzy wyrównaniami nie przekraczają wartości 0,01 m. Podobna sytuacja ma miejsce w odniesieniu do analizy wartości odchyłeń standardowych współrzędnych środków rzutów oraz kątowych elementów orientacji zewnętrznej. Dla współrzędnej X_0 i Y_0 różnica wynosi 0,01 m, natomiast dla kątów ω różnice wynoszą 0,1°.

Podobne wyniki aerotriangulacji otrzymano, przeprowadzając niezależne wyrównanie bloku w programie MATCH-AT. Wartość RMS współrzędnych poziomych dla położenia fotopunktów wyniosła 0,05 m. Natomiast dla składowej wysokościowej 0,45 m. Analizując wartości RMS dla współrzędnych niezależnych punktów kontrolnych, dla współrzędnych X oraz Y wyniosły one odpowiednio 0,05 m oraz 0,06 m. Podobnie jak w wyrównaniu w programie *LPS* największą wartość RMS osiągnięto dla współrzędnej Z i wyniosła ona 0,54 m. Wartości wyznaczonych odchyłeń standardowych dla współrzędnych środków rzutów ukształtowały się w granicach 0,04-0,09 m. Natomiast dla elementów kątowych ω , φ i κ wartości odchyłeń standardowych ukształtowały się w przedziale 0,04-0,13°.

Jak można zauważyć, w wyniku niezależnych procesów wyrównania różnice w uzyskanych wartościach odchyłeń standardowych elementów orientacji zewnętrznej są stosunkowo niewielkie. Dlatego też otrzymane wyniki potwierdzają poprawność wykonania procesu aerotriangulacji tego typu danych bez uwzględniania systemu GPS/INS. Dodatkowo na podstawie wyników wyrównania z uwzględnieniem przybliżonych środków rzutu potwierdzono, że dane z tanich systemów nawigacyjnych w żaden sposób nie ułatwiają ani nie podnoszą w istotny sposób dokładności wyrównania.

5. Podsumowanie i wnioski

W niniejszej pracy poruszono problematykę pozyskiwania zdjęć za pomocą niemetrycznej amatorskiej kamery zamontowanej na pokładzie bezzałogowego statku latającego. Na podstawie pozyskanego materiału badawczego przeprowadzono analizę dokładności aerotriangulacji bez uwzględniania przybliżonych elementów

orientacji pozyskanych z systemu GPS/INS oraz z uwzględnieniem przybliżonych środków rzutów z systemu GPS.

Na podstawie przedstawionych przesłanek teoretycznych oraz przeprowadzonych badań wykazano, że stosując tanie sensory nawigacyjne o niskiej dokładności, niemożliwe jest wyrównanie bloku o wymaganej dokładności. Takie rozwiązanie podwyższa tylko koszt platformy, nie wpływając przy tym w żaden sposób na podniesienie dokładności opracowania fotogrametrycznego. Natomiast ideą bezałogowych platform typu *Low Cost* jest konstrukcja systemu niskobudżetowego, przy jednoczesnym zapewnieniu odpowiedniej poprawności fotogrametrycznej pozyskiwanych danych.

Na obecnym etapie prac testowych BSL nie spełnia wszystkich założeń dokładnościowych dotyczących pozyskiwania geodanych do realizacji opracowań fotogrametrycznych. Dotyczy to w szczególności zbyt dużych wartości kątowych elementów orientacji zewnętrznej poszczególnych zobrazowań — wartości odchyłeń standardowych wyniosły 0,88° i 1,73° odpowiednio dla kątów ω oraz ϕ .

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że niska stabilność trajektorii lotu bezałogowego statku latającego miała wpływ na stosunkowo niską jakość geometrii bloku zdjęciowego. Obecnie w celu zniwelowania wpływu stabilności lotu pracuje się nad wykorzystaniem stabilizowanego podwieszenia kamery, które będzie niwelowało skutki gwałtownych nachyleń BSL. Udowodniono również, że możliwe jest otrzymanie zadowalających wyników wyrównania bez uwzględniania danych z tanich sensorów nawigacyjnych o niskiej dokładności, które w kontekście aerotriangulacji w zasadzie w żaden sposób nie poprawiły dokładności wyrównania ani nie umożliwiły zmniejszenia liczby fotopunktów wykorzystywanych do wyrównania.

LITERATURA

- [1] H. CHAO, C. COOPMANS, L. DI, Y. CHEN, *A comparative evaluation of low-cost IMUs for unmanned autonomous systems*, In Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI), 2010 IEEE Conference on 2010, 211-216.
- [2] J. EVERAERTS, *The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for remote sensing and mapping*, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 37, 2008, 1187-1191.
- [3] G.J. GRENZDÖRFFER, A. ENGEL, B. TEICHERT, *The photogrammetric potential of low-cost UAVs in forestry and agriculture*, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 31 (B3), 2008, 1207-1214.
- [4] D. HERNANDEZ-LOPEZ, B. FELIPE-GARCIA, D. GONZALES-AGULLERA, B. ARIAS-PEREZ, *An Automatic Approach to UAV Flight Planning and Control for Photogrammetric Applications: A Test Case in the Asturias Region (Spain)*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 79 (1), 2013, 87-98.
- [5] J. KOLECKI, *Wykorzystanie jednostki IMU typu MEMS do określenia przybliżonych elementów orientacji zdjęć naziemnych*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, 24, 2012, 133-143.

- [6] A.S. LALIBERTE, A. RANGO, J.E. HERRICK, *Unmanned aerial vehicles for rangeland mapping and monitoring: a comparison of two systems*, In ASPRS Annual Conference Proceedings, 2007.
- [7] A.S. LALIBERTE, C. WINTERS, A. RANGO, *A procedure for orthorectification of sub-decimeter resolution imagery obtained with an unmanned aerial vehicle (UAV)*, In Proc. ASPRS Annual Conference, 2008, 8-047.
- [8] *Leica Geosystems, Leica Photogrammetry Suite Project Manager. Section II: Photogrammetric Theory*, Georgia, 2006, 330-333.
- [9] J. ZIOBRO, *Niezawodność współrzędnych tłowych w aerotriangulacji*, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 21, 2010, 513-521.

M. KĘDZIERSKI, D. WIERZBICKI, M. WILIŃSKA, A. FRYŚKOWSKA

Analysis of the possibilities of aerialtriangulation of digital images from a non metric camera taken from an unmanned aerial vehicle without GPS/INS

Abstract. This paper addresses the problem of developing photogrammetric images acquired by an amateur, non-metric camera mounted on the UAV. Another issue under consideration is also exploring the potential use of low-cost unmanned platforms without a GPS/INS to obtain geospatial data. In the presented case, the use of this type of equipment on the UAV system would raise the cost of the device even several times, whilst the precision of the UAV's position would be within a few meters. The aim of this study was to analyze the accuracy of aerial triangulation of digital images obtained using non-metric cameras mounted on board of the UAV. Ground control points, independent check points, the UAV system and calibrated digital camera have been used for aerial triangulation. With dozens of acquired images those that were characterized by the lowest possible values of the yaw, pitch and roll angles and those having a similar scale were selected. Further studies focused on the analysis of the aerial triangulation accuracy test on a selected block. Adjustment accuracy analysis was performed independently in two softwares: the Leica Photogrammetry Suite and MATCH-AT (INPHO). Based on the obtained results, the MATCH-AT software is much more efficient software for aerial triangulation of digital images obtained with a digital camera from UAV, compared to the Leica Photogrammetry Suite modules. Due to a large number of well generated tie points, the block geometry was strengthened which allow us to obtain good results. It was found that it is possible to obtain satisfactory results without the use of additional navigation data from low-cost sensors with low accuracy.

Keywords: aerial photogrammetry, aerialtriangulation, unmanned aerial vehicle, accuracy analysis, adjustment

