

WYZNACZENIE PUNKTÓW OSNOWY POMIAROWEJ W PROCESIE AEROTRIANGULACJI

DETERMINING SURVEY CONTROL POINTS DURING THE PROCESS OF BUNDLE ADJUSTMENT

Krzysztof Pyka, Elżbieta Pastucha, Andrzej Wróbel

Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska,
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, AGH w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: aerotriangulacja, punkty wiążące, osnowa pomiarowa, kontur budynku

STRESZCZENIE: Przedmiotem artykułu jest określenie jaki wpływ na wyniki aerotriangulacji ma wprowadzenie punktów wiążących w postaci narożników dachów lub kalenic. W badaniach wykorzystano blok złożony z 40 zdjęć o GSD=10 cm, który wyrównano w kilku wariantach różniących się doborem punktów wiążących. Uzyskane wyniki dowodzą, że wybór narożników dachów lub kalenic jako punktów wiążących nie obniża dokładności wyrównania. Wniosek jest co prawda neutralny dla samej aerotriangulacji, ale ma ogromne znaczenia praktyczne. Pozwala bowiem uznać narożniki dachów, mierzone podczas aerotriangulacji, jako punkty geodezyjnej osnowy pomiarowej. Konsekwencją takiego założenia jest możliwość odniesienia terenowego pomiaru tachimetrycznego do narożników dachów, co znacznie przyspiesza pomiary konturów budynków.

1. WPROWADZENIE

Aerotriangulacja bloków złożonych z pionowych zdjęć fotogrametrycznych jest wykonywana według od dawna znanych zasad. Wprowadzenie w ostatnich latach bezpośrednich georeferencji nie zmieniło istoty procesu wyrównania, ale zredukowało liczbę punktów osnowy terenowej, poprawiło sprawność i niezawodność aerotriangulacji. Mimo to kluczowym elementem dla dokładności pozostaje jakość punktów wiążących. Algorytmy stosowane do automatycznego pomiaru punktów wiążących, powstałe w latach 90. ubiegłego wieku, działają w zgodzie z wcześniej wypracowanymi zasadami, które preferują punkty leżące na terenie, widoczne na zdjęciach wraz z odsłoniętym otoczeniem. Warto jednak zadać pytanie: czy wobec wysokiej rozdzielczości geometrycznej i radiometrycznej zdjęć wykonywanych wielkoformatowymi cyfrowymi kamerami fotogrametrycznymi, dobre praktyki wyboru punktów wiążących muszą być dalej utrzymywane?

Wysoka wydajność, coraz wyższa rozdzielczość i dokładność klasycznej fotogrametrii lotniczej powodują, że w projektach wielkoobszarowych i wymagających masowych pomiarów staje się ona konkurencyjna dla geodezyjnych pomiarów bezpośrednich. Takim rodzajem prac jest modernizacja ewidencji gruntów i budynków, która w najbliższych latach będzie wykonywana w Polsce w bardzo szerokim zakresie. Nie ma przeszkód formalnych, aby fotogrametria była stosowana zarówno do pomiaru granic działek ewidencyjnych jak i budynków (Pyka, Mysza, 2015; Derda, Wajs, 2016; Kurczyński, Bakula, 2016). Jednakże pomiar granic, zwłaszcza ich ustalenie na materiałach fotogrametrycznych, jest generalnie negatywnie odbierane zarówno przez właścicieli czy władających jak i organy prowadzące EGiB. Jest tak pomimo kilku udanych przykładów wykorzystania fotogrametrii, problem tkwi bowiem w barierach mentalnych, których pokonanie wymaga działań na granicy socjotechniki (Pyka, 2016). Natomiast pomiar fotogrametryczny budynków jest w głównej mierze problemem technicznym. Na pionowych zdjęciach lotniczych widać dobrze dachy, a słabo przyziemia, które są de facto celem pomiaru w EGiB. Bezpośredni pomiar przyziemi budynków na modelach fotogrametrycznych jest mało efektywny, sytuację poprawia zwiększenie pokrycia podłużnego i poprzecznego, ale pomimo tego kompletność pomiaru rzadko przekracza 50% (Kuklicz, Świerczek, 2015).

Zwiększenie efektywności fotogrametrycznego pomiaru budynków można osiągnąć sięgając do tzw. metody kombinowanej, stosowanej już przed wielu laty. Polegała ona na fotogrametrycznym pomiarze naroży okapów, a potem na wykonaniu w terenie prostych pomiarów redukujących obrys dachu do „fundamentów” (Sitek, 1969). Formalnie taka metoda jest dopuszczona aktualnymi przepisami technicznymi. Wynika to z rozporządzenia „w sprawie standardów technicznych wykonywania geodezyjnych pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych oraz opracowywania i przekazywania wyników tych pomiarów do państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego” (Rozp., 2011). Przepis ten dopuszcza zakładanie terenowej osnowy pomiarowej metodą fotogrametryczną pod warunkiem, że współrzędne punktów zostaną wyznaczone w procesie aerotriangulacji (§ 21.1) a błąd położenia względem osnowy geodezyjnej nie będzie większy od 0,10 m (§ 21.3). Ten sam przepis stanowi, że pomiar szczegółów I grupy względem osnowy geodezyjnej lub pomiarowej musi być wykonany z dokładnością nie gorszą niż 0,10 m. Do pomiaru przyziemia budynku (tzw. konturu) można zastosować pomiar biegunowy ze stanowiska wyznaczonego wcięciem wstecz względem narożników dachów jako osnowy pomiarowej. W takim przypadku dokładność współrzędnych konturu budynku będzie kształtowała kilka błędów elementarnych. Pierwszy to błąd identyfikacji w terenie odpowiednika szczegółu, który był pomierzony fotogrametrycznie jako narożnik dachu. Drugi to błąd z jakim został wyznaczony punkt osnowy pomiarowej. Trzecim czynnikiem jest błąd pomiaru tachimetrycznego oraz identyfikacji punktu załamania konturu budynku, który przy bliskich celowych można z dużym prawdopodobieństwem oszacować na poziomie 2-3 cm. Błąd identyfikacji właściwego szczegółu widocznego z perspektywy terenowej nie powinien przekraczać 5 cm (chodzi o położenie sytuacyjne), aczkolwiek bardziej precyzyjna ocena wymagałaby dedykowanych badań. Kluczowa dla problemu jest ocena dokładności położenia narożników dachu z pomiaru fotogrametrycznego, gdyż pomiar ten jest pierwszym ogniwem kombinowanej technologii pomiaru konturu budynków. Jest ona przedmiotem opisywanych w artykule badań.

2. STATUS NAROŻNIKÓW DACHÓW W AEROTRIANGULACJI

Aerotriangulacja pionowych zdjęć lotniczych jest procesem ustabilizowanym metodycznie od wielu lat. Jej fundamentem jest metoda niezależnych wiązek oparta na równaniu kolinearności, w której układ nieliniowych równań obserwacyjnych jest rozwijany w szereg Taylora, a następnie rozwiązywany metodą najmniejszych kwadratów. Inicjalne badania nad metodą wiązek miały miejsce w latach 60. ubiegłego wieku, pierwsze rozwiązanie informatyczne opracował zespół kierowany przez Ackermanna (1973), a pierwszą waloryzację metody wraz z perspektywami rozwoju przedstawił Brown (1976). Późniejsze kamienie milowe na drodze do współczesnej aerotriangulacji to wprowadzenie samokalibracji wraz z dodatkowymi parametrami usuwającymi błędy systematyczne, wykorzystanie bezpośrednich pomiarów elementów orientacji zewnętrznej oraz automatyczna detekcja i pomiar punktów wiążących.

W ostatniej dekadzie ubiegłego wieku w skład oprogramowania stacji fotogrametrycznych zaczęły wchodzić moduły umożliwiające automatyczny pomiar punktów wiążących. Prekursorem była firma INPHO (Krzystek *et al.*, 1995). Algorytm detekcji punktów wiążących został oparty na dwóch metodach dopasowania: tzw. obiektowym (FBM) i powierzchniowym (ABM). W tej strategii w pierw, w wytypowanych oknach obrazowych, wskazywane są potencjalne punkty metodą FBM, później następuje ich weryfikacja, której ostatnim elementem jest dopasowanie powierzchniowe, gdyż charakteryzuje się wyższą dokładnością. Większość programów stosowanych w praktyce produkcyjnej przyjęło podobną strategię dopasowania punktów wiążących (Kersten, 1999). Programy dedykowane klasycznej fotogrametrii lotniczej nie zmieniły do dzisiaj w zasadniczy sposób podejścia do automatyzacji aerotriangulacji, dotyczy to m.in. takich programów jak: MATCH-AT, ISAT-AT, SocetSet, PhotoMod. Inaczej jest w nowych narzędziach, opartych na odmiennych metodach dopasowania, np. SIFT (Lowe, 2004).

Efektom przyjętej powszechnie strategii dopasowania FBM/ABM jest fakt, że wybierane są punkty wiążące których otoczenie jest płaskie lub nieznacznie nachylone i tworzy wokół punktu symetryczne tło. Do pomiaru nie są kwalifikowane punkty znajdujące się na liniach nieciągłości, w tym narożniki dachów. Innymi słowy narożniki dachów nie są wybierane przez procedury automatyczne jako punkty wiążące. Rzadko też są wybierane manualnie, co jest efektem, skądinąd słusznego przekonania, że w miejscach nagłej zmiany kontrastu obraz się rozmywa. To zjawisko, określane jako szum ziarnisty, było charakterystyczne dla fotografii srebrowej. W jakimś sensie przenosi się na fotografię cyfrową, gdy kontrastowy detal jest mniejszy od rozmiarów piksela. Co prawda dobrą, bo o dokładności podpikselowej, aproksymację położenia narożnika można uzyskać z przecięcia krawędzi dachu, ale to nie pomaga obserwatorowi który koncentruje się na punkcie. Jednak ze wzrostem rozdzielczości zdjęć interpretacja narożników dachów staje się coraz bardziej jednoznaczna co podnosi dokładność pomiaru manualnego.

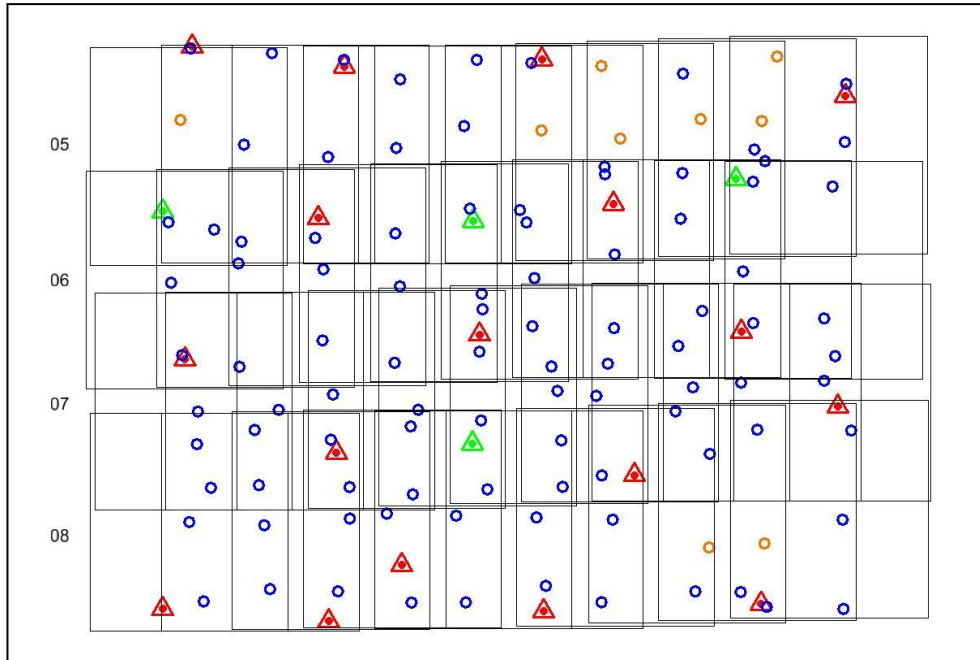
Powstaje pytanie o możliwość automatycznego wykrywania narożników dachów z taką skutecznością i dokładnością, aby mogły być punktami wiążącymi w aerotriangulacji. Nie zrobią tego klasyczne procedury automatyczne FBM/ABM. Ale wprowadzenie nowych algorytmów dopasowania do fotogrametrii lotniczej wydaje się nieuniknione (Nebiker, 2014). Tym bardziej, że jest kilka ku temu powodów. Jednym jest

wspomniany wzrost rozdzielczości, a co za tym idzie wzrost dokładności geometrycznej. W obszarach gęstej, wysokiej zabudowy wymagany reżim przestrzennego rozłożenia punktów wiążących mogą wypełnić tylko narożniki dachów (lub inne szczegóły na dachach). Bardzo szybko rozwija się modelowanie budynków w oparciu o zdjęcia wykonywane zarówno z lekkich platform załogowych jak i z niskopułapowych platform bezzałogowych (Unger *et al*, 2016; Zhou *et al*, 2016). Ten trend doprowadzi do dalszego rozwoju nowych algorytmów dopasowania, które z pewnością zostaną także zastosowane w klasycznym oprogramowaniu fotogrametrycznym.

3. PRZEBIEG BADAŃ I OCENA WYNIKÓW

Celem badań było przeprowadzenie eksperymentu z wykorzystaniem narożników dachów jako punktów wiążących. Zdecydowano, że poza narożnikami będą mierzone też kalenice, szczegóły nieco łatwiejsze do identyfikacji na zdjęciach. Badania wykonano na bloku złożonym z 40 zdjęć, wykonanych kamerą DMC II 230, z pokryciem podłużnym 65%, poprzecznym 45%, ze średnim pikselem terenowym 10 cm. Jest to fragment większego bloku wykonanego w 2012 r. w ramach projektu ISOK dla Bochni. Z kilkukrotnie większego bloku produkcyjnego wybrano prostokątny obszar obejmujący północną część miasta wraz z sąsiednimi miejscowościami, generalnie o niskiej zabudowie podmiejskiej i wiejskiej. Dla potrzeb badań wykorzystano osnowę fotogrametryczną z aerotriangulacji pełnego bloku, dodając 12 fotopunktów dla uzyskania poprawnego ich rozłożenia w bloku testowym. Rozłożenie fotopunktów i punktów kontrolnych na tle zdjęć pokazane jest na rysunku 1. W badaniach wykorzystano punkty wiążące z aerotriangulacji produkcyjnej, które były pozyskane na drodze automatycznego dopasowania zdjęć, wewnątrz bloku na jedno zdjęcie przypadało około 50 punktów wiążących (nie są pokazane na rys. 1). Dla tak przygotowanego bloku wykonano aerotriangulację której wyniki były praktycznie takie same jak w aerotriangulacji produkcyjnej, błąd średni pojedynczego spostrzeżenia wyniósł 3 μm , błędy średnie wpasowania fotopunktów $M_X \approx M_Y = 5$, $M_Z = 7,5 \text{ cm}$, dla punktów kontrolnych w bloku testowym błędy były na tym samym poziomie (w bloku produkcyjnym błędy punktów kontrolnych były większe o ok. 25% od błędów fotopunktów).

Kolejnym etapem badań były pomiary nowych punktów wiążących – narożników i kalenic dachów. Pomiary wykonywano w oprogramowaniu Photomod Lite version 6.0.2.1823 firmy Racurs. Dla każdego modelu w rejonach Grubera mierzono po dwa punkty, jeden na kalenicy i jeden na narożu dachu. W dziewięciu rejonach, dla całego bloku, nie znalazł się żaden budynek. W tych miejscach punkty zostały pomierzone na wybranych szczegółach terenowych. Rozłożenie nowo pomierzonych punktów wiążących pokazane jest na rysunku 1. Początkowo pomiary próbowano wykonywać metodą półautomatyczną. Testowano funkcję automatycznej korelacji dostępną w oprogramowaniu Photomod. Jednak w przypadku wybieranych punktów (kalenic i narożników), funkcja ta zawiodła i pomiar był wykonywany manualnie.



Rys.1. Fotopunkty (na czerwono), punkty kontrolne (na zielono), punkty wiążące na kalenicach i narożnikach (na niebiesko), punkty wiążące na innych szczegółach terenowych (na pomarańczowo) na tle obrysów zdjęć bloku testowego.

Po zakończeniu pomiarów nowych punktów wiążących współrzędne obrazowe przeniesiono do oprogramowania SocetSet 5.4.1 i zintegrowano z obserwacjami z aerotriangulacji produkcyjnej. Następnie wyrównano blok w dwóch nowych wariantach, jednym, w którym osnowę produkcyjną uzupełniono o nowe punkty wiążące oraz w drugim, w którym punktami wiążącymi w 90% były kalenice i narożniki dachów, uzupełnione punktami na powierzchni terenu w miejscach gdzie nie było budynków. W ten sposób, wraz z wariantem produkcyjnym, pozyskano trzy różne warianty aerotriangulacji. Dla wszystkich przypadków obliczono średnie wartości błędów nieprzecięcia się promieni w płaszczyźnie zdjęcia na podstawie odchyłek v_x , v_y wykazywanych w raporcie wyrównania (wzory 1 i 2). Wyniki zostały zestawione w tabeli 1.

$$m_L = \sqrt{(v_x)^2 + (v_y)^2} \quad (1)$$

$$m_{L\bar{s}r} = \sqrt{\frac{\sum m_L^2}{n}} \quad (2)$$

Tabela 1. Zestawienie średnich błędów nieprzebiecia się promieni w płaszczyźnie zdjęcia dla wybranych wariantów obliczeń

Wariant obliczeń/typ punktu	Liczba punktów	Liczba obserwacji	$\sigma_{L\acute{s}r}$ [pix]
Tylko punkty wiążące mierzone automatycznie			
F-punkty	17	68	0.310
punkty wiążące	527	2200	0.258
Punkty wiążące mierzone automatycznie + wszystkie punkty pomierzone ręcznie			
F-punkty	17	68	0.317
punkty wiążące	527	2200	0.269
narożniki kalenic	97	401	0.477
narożniki dachów	97	402	0.505
narożniki kalenic + narożniki dachów	194	803	0.491
Tylko punkty wiążące pomierzone ręcznie			
F-punkty	17	68	0.318
narożniki kalenic	97	401	0.431
narożniki dachów	97	402	0.441
narożniki kalenic + narożniki dachów	194	803	0.436

Pomierzone ręcznie punkty, umieszczone na narożnikach kalenic i dachów, mają większą wartość średniego błędu nieprzebiecia się promieni niż punkty mierzone automatycznie, ale w stopniu nieznacznym wpłynęło to na wartość średniego nieprzebiecia się promieni dla fotopunktów i punktów wiążących pomierzonych automatycznie.

Drugim analizowanym parametrem były odchylenia standardowe współrzędnych X, Y, Z, otrzymywane z wyrównania (w programie SocetSet tzw. *Adjusted Sigma* - σ). Obliczono wartości wypadkowe odchyłeń elementarnych zgodnie z wzorami (3) i (4).

$$\sigma_{XY} = \sqrt{(\sigma_X)^2 + (\sigma_Y)^2} \quad (3)$$

$$\sigma_{XYZ} = \sqrt{(\sigma_X)^2 + (\sigma_Y)^2 + (\sigma_Z)^2} \quad (4)$$

Dla wybranych zbiorów punktów policzono średnie wartości $\sigma_{XY\acute{s}r}$ i $\sigma_{XYZ\acute{s}r}$ (wzór (5)). W tabeli 2 podano zestawienie uzyskanych wartości $\sigma_{XY\acute{s}r}$ i $\sigma_{XYZ\acute{s}r}$ dla różnych wariantów obliczeń.

$$\sigma_{\acute{s}r} = \sqrt{\frac{\sum \sigma^2}{n}} \quad (5)$$

Tabela 2. Zestawienie średnich wartości $\sigma_{XY\bar{s}r}$ i $\sigma_{XYZ\bar{s}r}$ dla wybranych wariantów obliczeń

Wariant obliczeń/typ punktu	Liczba punktów	$\sigma_{XY\bar{s}r}$ [m]	$\sigma_{XYZ\bar{s}r}$ [m]
Tylko punkty wiążące mierzone automatycznie			
F-punkty	17	0.036	0.072
punkty wiążące	527	0.049	0.119
Punkty wiążące mierzone automatycznie + wszystkie punkty pomierzone ręcznie			
F-punkty	17	0.036	0.072
punkty wiążące	527	0.049	0.119
narożniki kalenic	97	0.042	0.117
narożniki dachów	97	0.047	0.117
narożniki kalenic + narożniki dachów	194	0.046	0.117
Tylko punkty wiążące pomierzone ręcznie			
F-punkty	17	0.036	0.072
narożniki kalenic	97	0.046	0.117
narożniki dachów	97	0.047	0.117
narożniki kalenic + narożniki dachów	194	0.046	0.117

Pomierzone ręcznie punkty wskazane na narożnikach kalenic i dachów mają praktycznie taką samą wartość średnią odchyłeń standardowych jak punkty wiążące pomierzone automatycznie. Dołączenie punktów pomierzonych ręcznie do punktów wiążących pomierzonych automatycznie nie zmieniło średniej wartości odchyłeń standardowych współrzędnych fotopunktów i punktów wiążących pomierzonych automatycznie.

Obydwie przeprowadzone analizy dokładności są wzajemnie zbieżne i dowodzą, że zarówno narożniki jak i kalenice zapewniają osiągnięcie dokładności na poziomie 0,5 piksela, co w przypadku zastosowanych zdjęć daje wielkość 5 cm w terenie. Dokładność 3D jest wyraźnie niższa, ale ona ma znaczenie drugorzędne, jako że celem jest wyznaczenie sytuacyjnej osnowy pomiarowej. Trzeba pamiętać, że terenowa identyfikacja narożników dachów (lub kalenic widocznych ze stanowisk naziemnych) wnosi dość istotny błąd, który musi być uwzględniony przy ocenie dokładności proponowanej metody. Zakładając błąd średni identyfikacji sytuacyjnej jako 5 cm otrzymamy w analizowanym przypadku wypadkowy błąd położenia sytuacyjnego punktu osnowy o wartości 7 cm, co bezpiecznie spełnia warunki postawione w przepisach (Rozp., 2011).

4. PODSUMOWANIE

Wykonany eksperyment udowodnił, że wprowadzenie do aerotriangulacji, jako punktów wiążących, elementów dachu, nie obniża istotnie jej jakości. Wyniki wyrównania, uzyskane dla zdjęć o rozdzielczości 10 cm, dobrze rokują w kontekście wykorzystania

tych punktów w roli sytuacyjnej osnowy pomiarowej. Zastosowanie zdjęć o wyższej rozdzielczości powinno podnieść jakość fotogrametrycznie wyznaczonej osnowy pomiarowej, gdyż pozwoli przekazać wykonawcy pomiaru terenowego bardziej detaliczny opis szczegółu wybranego na dachu. Rekomendacja w zakresie wykorzystania w aerotriangulacji szczegółów położonych na dachu, nie musi być rozpatrywana tylko w kontekście wyznaczania osnowy dla pomiarów geodezyjnych. Takie szczegóły mogą być wykorzystane dla uzyskania równomiernego rozkładu punktów wiążących w bloku, co jest bardzo pomocne w terenach o gęstej zabudowie.

Za wadę aerotriangulacji z dachowymi punktami wiążącymi należy uznać konieczność ich manualnego pomiaru. Póki co nie ma możliwości automatycznego pomiaru, co wynika z ograniczeń dopasowania FBM/ABM. Istnieją jednak przesłanki, że sytuacja się zmieni, powstają bowiem nowe algorytmy dopasowania, bardziej odporne na zmianę odwzorowania szczegółów i ich otoczenia, na zdjęciach wykonanych z innych perspektyw. Pomiar elementów dachu na modelu stereoskopowym jest dla obserwatora łatwiejszy, ale nie dostarcza wymaganej przepisami metryki dokładnościowej punktu. Efektywność pomiaru dachowych punktów wiążących na etapie aerotriangulacji wzrosłaby, gdyby pomiar miał charakter półautomatyczny, co jednak nie udało się osiągnąć w używanych w badaniach narzędziach (SocetSet i Photomod).

Pełna ocena, przypomnianej w artykule metody kombinowanej pomiaru budynków, będzie możliwa po wykonaniu eksperymentu terenowego o stosunkowo dużym zakresie. Powinien on uwzględnić różne konstrukcje dachów oraz systemów odprowadzania wody deszczowej. Wskazane jest, aby wynikiem takich badań były zalecenia dotyczące zarówno pomiaru fotogrametrycznego osnowy pomiarowej jak i wskazówki w zakresie terenowej identyfikacji takich punktów.

PODZIĘKOWANIA

Praca wykonana w ramach działalności statutowej AGH nr 11.11.150.949

LITERATURA

- Ackermann F., 1973. Experience with Applications of block Adjustment for large scale surveys. *Photog. Record*, 7(41), pp. 499-515.
- Brown D. C., 1976. The bundle adjustment—progress and prospects. *International Archives of Photogrammetry*, 21(3), 3-03.
- Derda A., Wajs J., 2016. Technologiczne i prawne aspekty ustalania granic nieruchomości w zakresie modernizacji ewidencji gruntów i budynków. *Przegląd Geodezyjny*, 2/2016, s. 5-9.
- Kersten T., 1999. Digital Aerial Triangulation in Production - Experiences with Block Switzerland. *Photogrammetric Week '99'*, pp. 193-204.
- Krzystek P., Heuchel T., Hirt U., Petrana F., 1995. New Concept for Automatic Digital Aerial Triangulation. *'Photogrammetric Week '95'*, pp. 215-223.
- Kuklicz P., Kuźnicki W., 2015. Zdjęcia lotnicze – skuteczna metoda na EgiB. *Magazyn geoinformacyjny Geodeta*, 6/2015, s. 18-20.

- Kurczyński Z., Bakula K., 2016. Ocena możliwości współczesnej fotogrametrii w pracach z zakresu ewidencji gruntów i budynków. *Przegląd Geodezyjny*, 7/2016, s. 2-10.
- Lowe, D.G., 2004. Distinctive image features from scale-invariant key points. *International Journal of Computer Vision*, 60(2), pp. 91-110.
- Nebiker S., Lack N., Deuber M., 2014. Building Change Detection from Historical Aerial Photographs Using Dense Image Matching and Object-Based Image Analysis. *Remote Sensing*, 6(9), pp. 8310-8336;
- Pyka K., Myszka P., 2015. Status fotogrametrii w ustawie prawo geodezyjne i kartograficzne i przepisach powiązanych. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 27, s. 97-107.
- Pyka K., 2016. Prawne, techniczne i społeczne aspekty pomiarów fotogrametrycznych. *Przegląd Geodezyjny*, 11/2016, s. 6-12.
- Rozp., 2011. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji w sprawie standardów technicznych wykonywania geodezyjnych pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych oraz opracowywania i przekazywania wyników tych pomiarów do państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego,
- Sitek Z., 1969. Fotogrametryczne opracowania map wielkoskalowych. *III Wojewódzka Narada Techniczna SGP*, Katowice 1969, s. 1-18.
- Unger J., Rottensteiner F., Heipke C., 2016. Integration of a Generalised Building Model into the Pose Estimation of UAS Images. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XLI-B1, pp. 1057-1064.
- Zhou G., Luo Q., Xie W., Yue T., Huang J., Shen Y., 2016. Transformation Model with Constraints for High-Accuracy of 2D-3D Building Registration in Aerial Imagery. *Remote Sensing*, 8(6), 507.

DETERMINING SURVEY CONTROL POINTS DURING THE PROCESS OF BUNDLE ADJUSTMENT

KEY WORDS: bundle adjustment, tie points, survey control network, building outline

Summary

This paper presents the research on influence of tie points located on corners and ridges of rooftops on the process of bundle adjustment. A set of 40 aerial photographs with 10 cm GSD from ISOK project was used in the research. The bundle adjustment was calculated three times with three different sets of tie points. First one with automatically measured tie points, second with automatic tie points together with manually measured point on rooftops corners and ridges, and third one only with manually collected points on rooftops corners and ridges. Then all different solutions were compared. The results prove that the use of tie points located on corners and ridges of rooftops does not lower the accuracy of bundle adjustment solution, which achieves value about 0.5 pixel.

The conclusion might seem to be of low importance from the perspective of process of bundle adjustment, but it has an utmost practical consequence. In accordance with Polish law tie points with coordinates obtained in bundle adjustment process can be used as survey network in land surveying. Typically tie points measurements adopt FBM/ABM matching. In consequence detected tie points are almost impossible to identify in the field. Furthermore automatic measurement of points located on corners and ridges of rooftops is almost an impossibility. Nevertheless, providing tie points measured manually, or collected in automatic or semi-automatic manner with a new different algorithm, could significantly help in land survey. Especially with land survey of building outlines, where measurements could be then easily tied to nearby points.

Dane autorów / Authors details:

Prof. dr hab. inż. Krystian Pyka
e-mail: krisfoto@agh.edu.pl
telefon: 12 6174485
fax: 12 6173993

dr inż. Elżbieta Pastucha
e-mail: epast@agh.edu.pl
telefon: 12 6173993
fax: 12 6173993

dr inż. Andrzej Wróbel
e-mail: awrobel@agh.edu.pl
telefon: 12 6173826
fax: 12 6173993

Przesłano / Submitted 14.11.2016
Zaakceptowano / Accepted 24.11.2016