

**ORIENTACJA OBRAZÓW STEREO IKONOS
ORAZ AUTOMATYCZNY POMIAR MODELI WYSOKOŚCIOWYCH**

**ORIENTATION OF IKONOS STEREO IMAGES
AND AUTOMATIC ACQUISITION OF HEIGHT MODELS**

Piotr Koza

Instytut Fotogrametrii i Kartografii, Politechnika Warszawska

SŁOWA KLUCZOWE: Ikonos, orientacja, RPC, NMPT, NMT, ortorektyfikacja

STRESZCZENIE: Praca miała na celu kompleksowe przebadane stereopary Ikonos dla celów automatycznej generacji modeli wysokościowych. Wykorzystano stereoparę przedstawiającą miasto Kraków i okolice; pracowano na oprogramowaniu Leica Photogrammetry Suit. Panchromatyczna stereopara o rozmiarze 11×22 kilometry posiadała terenowy wymiar piksela 0.80 m. Do orientacji stereopary wykorzystano dostarczone przez dystrybutora współczynniki RPC oraz naturalne fotopunkty pomierzone w technologii GPS. Analiza korekcyjnych współczynników RPC wielomianami stopnia pierwszego, drugiego i trzeciego wykazała, że dla osiągnięcia dokładności subpikselowych wystarczający jest wielomian pierwszego stopnia. Osiągnięto następującą dokładność orientacji na 15 fotopunktach: $M_x = 0.6$ m; $M_y = 0.4$ m; $M_z = 0.6$ m; natomiast na 14 punktach kontrolnych: $M_x = 0.6$ m; $M_y = 0.4$ m; $M_z = 0.8$ m. Wykazano, że stosowanie większej ilości fotopunktów niż 9 nie prowadzi do znaczącej poprawy wyników orientacji a wykorzystanie wielomianów korygujących wyższych stopni może prowadzić do zniekształceń. W celu stworzenia NMPT wykonano automatyczną korelację (*matching*) w siatce 10 m. Analizę dokładności przeprowadzono na 46 punktach GPS i otrzymano średni błąd kwadratowy wysokości $M_z = 1.6$ m. Na potrzeby wygenerowania NMT przeprowadzono korelację w siatce 50 m, która pozwoliła na stworzenie NMT o dokładności $M_z = 1.7$ m. Na podstawie NMT przeprowadzono ortorektyfikację jednego z obrazów stereopary i stworzono ortofotomapę o pikselu 0.80 m. Dokładność sprawdzono na 24 fotopunktach GPS i otrzymano błędy: $M_x = 0.93$ m; $M_y = 0.99$ m. Eksperyment został przeprowadzony w Instytucie Fotogrametrii i Teledetekcji Politechniki Wiedeńskiej oraz w Instytucie Fotogrametrii i Kartografii Politechniki Warszawskiej.

1. ORIENTACJA STEREOOPARY

Wraz z wzrostem rozdzielczości satelitów obrazujących w zakresie optycznym pojawiła się konieczność stosowania precyzyjnych metod orientacji, gdyż stosowane dotąd w teledetekcji proste przekształcenia płaskie dostarczają mało dokładnych wyników i uniemożliwiają wykonywanie pomiarów przestrzennych na stereoparach. Geometria satelitarnych skanerów elektrooptycznych pod względem idei jest podobna do geometrii skanerów lotniczych, tak więc stosuje się dla nich tą samą nazwę – skanery typu *pushbroom*. Zasadnicze różnice odnoszą się do kąta widzenia systemów oraz niestabilności

trajektorii lotu (Poli, 2004). O ile niestabilność trajektorii lotu implikuje przede wszystkim koniczność stosowania różnych stopni wielomianów opisujących położenie satelity, o tyle różnice kąta obserwacji często uniemożliwiają stosowanie takich samych rozwiązań dla orientacji obrazów satelitarnych i lotniczych. Kąt widzenia systemu optycznego Ikonosa wynosi jedynie 0.92 stopnia, co może prowadzić do niestabilności ścisłych algorytmów orientacji opartych na równaniach kolinearności. Vozikis przedstawił różne metody orientacji obrazów satelitarnych o bardzo dużej rozdzielczości i wykazał, że bardzo wydajną metodą orientacji jest transformacja afiniczna (Vozikis *et al.*, 2005). Jednakże większość oprogramowania na rynku nie wspiera tej metody orientacji. Obecnie najbardziej rozpowszechniona jest orientacja w oparciu o ilorazowy model wielomianowy RFM (*Rational Function Model*). Jest to algorytm wiążący współrzędne terenowe ze współrzędnymi obrazowymi, zazwyczaj wykorzystuje ilorazy wielomianów trzeciego stopnia przedstawiające się następująco:

$$x = \frac{a_0 + a_1X + a_2Y + a_3Z + a_4X^2 + a_5XY + a_6XZ + a_7YZ + a_8Y^2 + a_9Z^2 + \dots + a_{19}Z^3}{b_0 + b_1X + b_2Y + b_3Z + b_4X^2 + b_5XY + b_6XZ + b_7YZ + b_8Y^2 + b_9Z^2 + \dots + b_{19}Z^3} \quad (1)$$

$$y = \frac{c_0 + c_1X + c_2Y + c_3Z + c_4X^2 + c_5XY + c_6XZ + c_7YZ + c_8Y^2 + c_9Z^2 + \dots + c_{19}Z^3}{d_0 + d_1X + d_2Y + d_3Z + d_4X^2 + d_5XY + d_6XZ + d_7YZ + d_8Y^2 + d_9Z^2 + \dots + d_{19}Z^3} \quad (2)$$

Współrzędne obrazowe x , y można pomierzyć na obu obrazach, przez co możliwym jest wyznaczenie współrzędnych geograficznych X , Y , Z , zazwyczaj na elipsoidzie WGS-84. Oczywiście koniecznym jest znajomość 80 współczynników RPC (*Rational Polynomial Coefficients*) występujących w równaniach 1 i 2; obecnie są one dostarczane przez dystrybutora danych razem z obrazami satelitarnymi. Stosowanie orientacji opartej na RPC umożliwia utajenie parametrów orientacji wewnętrznej oraz zewnętrznej sensora. Współczynniki RPC wyznaczone są przez dystrybutora w oparciu o precyzyjnie mierzone parametry orientacji sensora, jest to jednakże proces jednostronny – niemożliwym jest wyznaczenie parametrów orientacji z współczynników RPC. Stosowanie orientacji RPC jest dokładnościowo równoważne stosowaniu modelu ścisłego opartego na parametrach orientacji systemu (Grodecki *et al.*, 2002).

Niestety współczynniki RPC, chociaż spójne pomiędzy obrazami pozyskanymi w niedużym interwale czasu, obarczone są pewnymi błędami systematycznymi. W eksperymencie zbadano orientację stereopary Ikonosa w oparciu jedynie o współczynniki RPC oraz wspieranej fotopunktami. Przy stosowaniu fotopunktów możliwa jest wielomianowa korekcja błędów systematycznych współczynników RPC. Nie należy jej interpretować jako korekcję samych współczynników. Jest to przestrzenna transformacja wielomianowa współrzędnych wyznaczonych w oparciu jedynie o współczynniki RPC. Przy wykorzystaniu jednego fotopunktu możliwe jest jedynie zastosowanie wielomianu korygującego zerowego stopnia – przesunięcie układu wyznaczonego przez RPC do układu terenowego (*shift to ground*). Stosowanie większej ilości fotopunktów umożliwia wykorzystanie wielomianów korygujących wyższych stopni, dla wielomianu pierwszego stopnia korekcja taka jest przestrzenną transformacją afiniczną.

1.1. Wyniki orientacji

Orientację przeprowadzono w Leica Photogrammetry Suite (LPS) w oparciu o zbiór 29 dobrze identyfikowalnych punktów pomierzonych w technologii GPS. Punkty przeważnie były na przecięciu białych pasów na drogach oraz na narożnikach skrzyżowań. Punkty GPS wykorzystywano w różnych konfiguracjach jako fotopunkty lub punkty kontrolne. Przy orientacji w oparciu o jeden fotopunkt był on umieszczony w środku obrazu, w pozostałych przypadkach fotopunkty były równomiernie rozłożone na obrazie. Orientację przeprowadzono w układzie PUWG-92 i w obowiązującym w Polsce systemie wysokości normalnych. Wyniki orientacji przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki orientacji stereopary

Liczba fotopunktów:	Stopień wielomianu korygującego:	Liczba punktów kontrolnych:	ŚREDNI BŁĄD KWADRATOWY [m]					
			Fotopunkty			Punkty kontrolne		
			X	Y	Z	X	Y	Z
0	bez korekcji	29	---	---	---	2.96	16.52	7.78
1	0	28	0.00	0.00	0.00	1.08	0.84	2.03
5	0	24	0.86	1.25	2.16	0.71	0.69	1.91
5	1	24	0.41	0.07	0.25	0.68	0.51	0.73
9	1	20	0.54	0.31	0.55	0.73	0.45	0.69
9	2	20	0.44	0.20	0.51	0.80	0.69	0.70
15	1	14	0.58	0.35	0.58	0.55	0.40	0.78
15	2	14	0.52	0.34	0.50	0.55	0.39	0.82
15	3	14	0.42	0.11	0.33	0.47	0.51	0.96
25	1	4	0.49	0.37	0.62	0.82	0.39	0.78
25	2	4	0.43	0.35	0.59	0.89	0.37	0.79
25	3	4	0.30	0.27	0.56	0.94	0.28	0.81

Jak widać w tabeli 1, współczynniki RPC obciążone są dość znaczącym błędem sięgającym nawet 17 m po współrzędnej Y. Co istotne błędy współczynników RPC mają charakter systematyczny i zastosowanie nawet jednego fotopunktu pozwala osiągnąć metrową dokładność płaską i dwumetrową dokładność wysokościową, co pozwala stwierdzić, że współczynniki RPC, choć przesunięte są z układem terenowym, to nie wykazują znaczącego skręcenia. Już pięć fotopunktów i korekcja wielomianem pierwszego stopnia zapewnia pod-pikselową dokładność. Jak widać w tabeli 1, orientacja RPC na potrzeby generowania modeli wysokościowych wymaga zastosowania wielomianu korygującego przynajmniej pierwszego stopnia w celu zapewnienia metrowej dokładności wpasowania wysokościowego w układ terenowy. Zwiększanie liczby fotopunktów powyżej 9 nie prowadzi do znaczącej poprawy wyników orientacji. Chociaż stosowanie wielomianów korygujących stopnia wyższego niż pierwszy prowadzi do niewielkiej poprawy dokładności orientacji w okolicach fotopunktów, to stwarza ryzyko ekstrapolacji i może prowadzić nawet do degradacji wyników na obszarach pozbawionych fotopunktów.

Dlatego stosowanie wielomianów korygujących wyższych stopni wymaga gęstej i równomiernej siatki fotopunktów oraz wielu punktów kontrolnych dla oceny prawidłowości orientacji i powinno być stosowane bardzo rozważnie.

1.2. Analiza wpływu geoidy na orientację

W zasięgu stereopary różnice odległości geoidy od elipsoidy wynosiły do 70 cm. W celu przebadania wpływu geoidy na orientację przeprowadzono orientację w systemie wysokości elipsoidalnych. Obliczenia przeprowadzono na takich samych zbiorach punktów, co orientacje w systemie wysokości normalnych, a ich wyniki porównano (tabela 2).

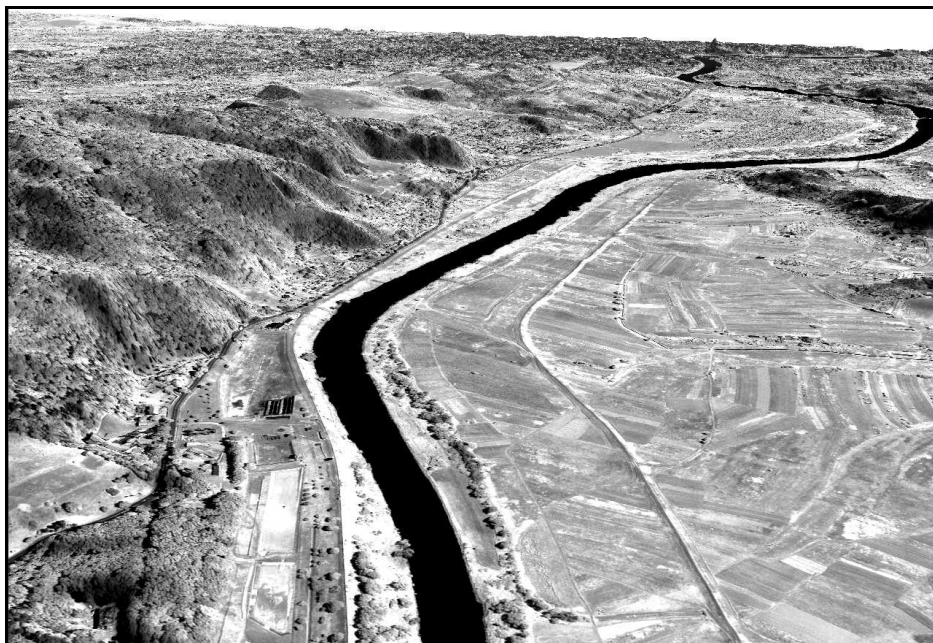
Tabela 2. Różnica błędów orientacji – przy zastosowaniu wysokości elipsoidalnych i normalnych

Liczba fotopunktów	Stopień wielomianu korygującego:	Liczba punktów kontrolnych:	RÓŻNICA ŚREDNICH BŁĘDÓW KWADRATOWYCH [m]					
			Fotopunkty			Punkty kontrolne		
			X	Y	Z	X	Y	Z
1	0	30	0.000	0.000	0.000	0.181	-0.211	0.005
5	0	24	-0.230	-1.116	-0.013	-0.109	-0.158	-0.013
5	1	24	0.001	-0.005	0.016	0.000	0.002	0.000
9	1	20	0.000	-0.001	0.006	0.000	0.002	-0.002
9	2	20	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000
15	1	14	0.000	0.001	0.003	0.000	0.002	-0.001
15	2	14	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	-0.002
15	3	14	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001
25	1	4	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.003
25	2	4	0.000	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.003
25	3	4	0.000	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.001

Jak wynika z tabeli 2, już wielomian korygujący pierwszego stopnia bardzo dobrze aproksymuje geoidę. Przy stosowaniu wielomianu zerowego stopnia i niewielkiej ilości fotopunktów wyniki orientacji w systemie wysokości normalnych mogą być do 20 cm gorsze od wyników w systemie wysokości elipsoidalnych. Dla pięciu fotopunktów i wielomianu korygującego zerowego stopnia dokładność współrzędnej Y fotopunktów jest w systemie wysokości normalnych aż o jeden metr gorsza niż w systemie wysokości elipsoidalnych. Wynika to zapewne z zbyt małej ilości fotopunktów.

2. ANALIZA NMPT

Sensor satelity Ikonos jest pierwszym sensorem umożliwiającym pozyskiwanie stereoobrazów z jednej orbity. Oba obrazy zostają pozyskane w interwale zaledwie kilkudziesięciu sekund, stwarzają zatem świetne warunki do automatycznych pomiarów. W celu wygenerowania Numerycznego Modelu Powierzchni Terenu (NMPT) przeprowadzono automatyczną korelację w siatce 10 m. Kontrolę przeprowadzono na 46 punktach GPS umieszczonych głównie na drogach. Na punktach kontrolnych osiągnięto dokładność 1.58 m. Należy mieć jednak świadomość, że taka kontrola przeprowadzona została na punktach leżących na powierzchni ziemi i może być niereprezentatywna dla wszystkich obiektów; wszystkie fotopunkty położone są na obszarach odkrytych, wspólnych dla NMPT i NMT. Przeprowadzono również automatyczną korelację w siatkach o większym oczku (tabela 3). Dla wszystkich NMPT błąd średni zbliżony był do zera, co pozwala wnioskować, że modele te są pozbawione błędów systematycznych. Dokładność NMPT dla siatki 30m wynosiła 1.31 m i była lepsza niż dla siatki 10 m. Wynika to zapewne z faktu, iż w przypadku siatki o oczku 30 metrów model wysokościowy jest bardziej wygładzony. Dla siatek o oczkach powyżej 30 metrów błąd wyraźnie rośnie. NMPT stworzony w gęstej siatce jest najbardziej szczegółowy i pozwala tworzyć efektowne wizualizacje (rys. 1).



Rys. 1. Ortofotomapa z Ikonosa rzutowana na NMPT
(wysokość dwukrotnie przeskalowana)

Tabela 3. Dokładności NMPT

Oczko siatki [m]	Błąd średni [m]	Średni błąd kwadratowy – RMS [m]
10	0.04	1.58
30	0.06	1.31
50	0.05	1.74
100	0.08	3.32

3. ANALIZA NMT

Na potrzeby wygenerowania Numerycznego Modelu Terenu przeprowadzono automatyczną korelację w siatce 50 m. Przeprowadzono manualną filtrację wygenerowanej chmury punktów. Pakiet LPS pozwala na przeprowadzenie filtracji na stacjach kartograficznych przy zastosowaniu anaglifowej metody obserwacji stereoskopowej, oraz w oparciu o obrazy mono – wtedy możliwe jest jedynie usuwanie punktów z automatycznej korelacji leżących na budynkach oraz drzewach. Metoda ręcznego usuwania punktów nie leżących na powierzchni ziemi jest bardzo wydajna i może być przeprowadzona przez niedoświadczzonego operatora, prowadzi jednakże do zmniejszenia ilości punktów tworzących model wysokościowy. Dlatego też stosując taką metodę filtracji należy wytworzyć w procesie automatycznej korelacji odpowiednio gęstą siatkę, która po filtracji (usuwającej nawet ponad 50 % punktów) zapewni wystarczającą precyzję. Dokładność tak wygenerowanego NMT przy kontroli jedynie na punktach GPS nie różni się od dokładności NMPT w takiej samej siatce. Wynika to z faktu, iż punkty kontrolne zlokalizowane są na drogach, czyli *de facto* na powierzchni ziemi.

Zastosowanie obszarów wyłączeń może prowadzić do zbyt dużej interpolacji NMT w tych obszarach, dlatego też w obszarach silnie zalesionych należy pozyskać wysokości w oparciu o inne źródła danych.

3.1. Analiza wykorzystania oprogramowania SCOP++ do automatycznej filtracji

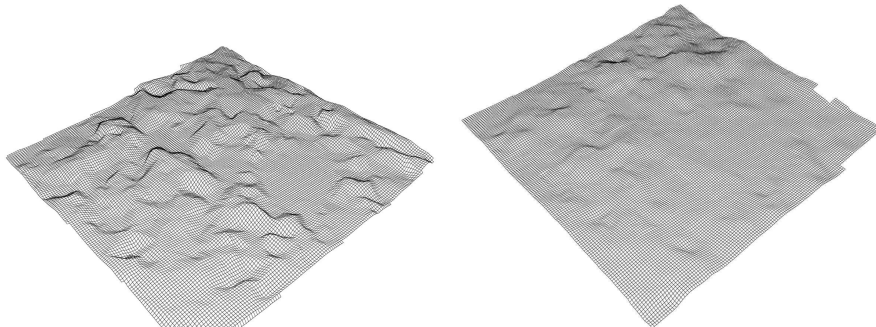
Ręczna filtracja jest mało wydajna i nie może być stosowana dla dużych zadań pomiarowych. By zmniejszyć czasochłonność filtracji opracowywane są liczne automatyczne algorytmy umożliwiające wyznaczenie NMT. Jednym z bardzo skutecznych algorytmów jest *robust filtering* zaimplementowany w pakiecie SCOP++. Przy stosowaniu zarówno ręcznej, jak i automatycznej filtracji należy mieć świadomość, iż obie te metody nie są, i prawdopodobnie nigdy nie będą, doskonałe. W obu przypadkach następuje redukcja danych, mogąca prowadzić nawet do znacznych błędów wynikowego NMT.

SCOP++ stworzony został w wyniku współpracy firmy Inpho oraz Instytutu Fotogrametrii i Teledetekcji Politechniki Wiedeńskiej. Przeznaczony jest przede wszystkim do przetwarzania danych pochodzących z lotniczego skaningu laserowego, jednakże charakterystyka chmury punktów pochodzących z automatycznej korelacji jest podobna do chmury punktów pierwszego odbicia ze skaningu laserowego. Wykorzystywany

w programie SCOP algorytm *robust filtering* w skrócie może zostać przedstawiony w następujących krokach (Briese, *et al.*, 2002):

- podział punktów na obszary,
- wybór najniższego punktu w każdym obszarze (może być stosowany również punkt średni),
- utworzenie powierzchni z wybranych punktów,
- wagowanie punktów w zależności od ich odległości od płaszczyzny – punkty leżące poniżej płaszczyzny dostają największe wagi, punkty leżące powyżej dostają wagi odwrotnie proporcjonalne do odległości od powierzchni,
- iteracyjne tworzenie powierzchni i nowe wagowania.

W celu zbadania skuteczności zastosowania algorytmu *robust filtering* przeprowadzono automatyczną korelację w siatce o oczku 3 m niewielkiego, silnie zurbanizowanego obszaru miejskiego o wysokiej zabudowie i dużej liczbie drzew. W efekcie filtracji w programie SCOP++ osiągnięto zadowalające wyniki – powierzchnia wynikowego modelu jest znacznie bardziej płynna od modelu wejściowego, większość obiektów powyżej powierzchni ziemi została usunięta (rys. 2). Jednakże w miejscach, gdzie zabudowa była bardzo gęsta nie było wystarczającej liczby punktów reprezentujących powierzchnię ziemi i pozostały pewne elementy. Zapewne dla terenów mniej zurbanizowanych, w których większy udział procentowy w chmurze punktów mają punkty reprezentujące powierzchnię ziemi, ta metoda filtracji prowadziłaby do bardzo wiarygodnych wyników.



Rys. 2. Model wysokościowy przed filtracją (lewy) i po filtracji (prawy)

4. ORTOREKTYFIKACJA

Według specyfikacji stereopary Ikonosa jeden z obrazów stereopary powinien być pozyskany z kąta wysokościowego powyżej 60 stopni, natomiast drugi z kąta powyżej 72 stopni. Takie rozwiązanie zapewnia dobry kąt wcinający i stosunek bazowy w zakresie od 0.53 do 0.83, który umożliwia dokładny pomiar przestrzenny. Dodatkowo kąt wcinający nie jest na tyle duży, by wpływał negatywnie na proces automatycznej korelacji. Jeden z obrazów jest bliski obrazowi nadirowemu i przeznaczony jest do ortorektyfikacji (Ikonos Product Guide, 2004). Przeprowadzono ortorektyfikację jednego z obrazów stereopary, której wyniki przedstawiono w tabeli 4. Osiągnięta dokładność zbliżona jest do jednego piksela.

Tabela 4. Dokładność ortorektyfikacji

	RMS [m]
X	0.93
Y	0.99
XY	1.36

5. PODSUMOWANIE

W pracy wykazano, iż stereopara Ikonosa pozwala na wydajne generowanie modeli wysokościowych o dużej dokładności. Oczywiście zastosowanie takich modeli wysokościowych jest ograniczone – dla terenu Polski dostępne są dokładniejsze dane, lecz istnieją obszary, w których systemy satelitarne są jedynymi możliwymi do zastosowania systemami pozyskania obrazów (na przykład niektóre obszary graniczne) lub, dla których brakuje innych danych a Numeryczny Model Terenu pozyskany z wysokorozdzielczych obrazów zapewnia wystarczającą dokładność. Eksperyment wykazał, że przestrzenna orientacja stereopary Ikonosa dla pomiarów wysokościowych wymaga zastosowania wielomianu korygującego współczynniki RPC przynajmniej pierwszego stopnia. Naturalnym zastosowaniem NMT pozyskanego z stereopary jest ortorektyfikacja jednego z obrazów. Taka ortorektyfikacja w przypadku obrazu Ikonosa daje bardzo dobre wyniki.

W perspektywie półtora roku będą funkcjonować przynajmniej 6 „metrowych” satelitów umożliwiających pozyskiwanie stereoobrazów z jednej orbity (istniejące Ikonos, OrbView3, Eros B, Kompsat-2 oraz planowane WorldView I, OrbView5). W związku z tym faktem należy spodziewać się wzrostu popularności pomiarów przestrzennych opartych na stereoparach satelitarnych.

6. LITERATURA

- Briese Ch., Pfeifer N., Dorninger P., 2002. Applications of the robust interpolation for DTM determination. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXIV, Part 3A, Graz, Austria, s. 55-61.
- Grodecki J., Dial, G., 2001. IKONOS geometric accuracy. Proceedings of ISPRS Workshop “High Resolution Mapping from Space 2001”, Hannover, Germany.
- Poli D., 2004. Orientation of Satellite And Airborne Imagery from Multi-Line Pushbroom Sensors with a Rigorous Sensor Model. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 35, Part B1, Istanbul, Turkey, s. 130-135.
- Vozikis G., Fraser C., Jansa J., 2003. Alternative Sensor Orientation Models For High Resolution Satellite Imagery. *Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation*, Vol. 12/Bochum, Bochum, Germany, s. 179-186.
- Space Imaging, 2004. Ikonos imagery products and product guide. www.spaceimaging.com

ORIENTATION OF IKONOS STEREO IMAGES AND AUTOMATIC ACQUISITION OF HEIGHT MODELS

KEY WORDS: Ikonos, orientation, RPC, DSM, DTM, orthorectification

Summary

The main goal of the study was to investigate the potential of height model generation from very high resolution satellite images in Leica Photogrammetry Suite. The work was conducted at the Institute of Photogrammetry and Remote Sensing of the Vienna University of Technology and at the Institute of Photogrammetry and Cartography of the Warsaw University of Technology. The experiment was based on an Ikonos panchromatic stereo image with a resolution of 0.80 m and the size of 11×22 km. Orientation was done with RPC coefficients delivered by the distributor and photopoints measured in GPS technology. An analysis of RPC's systematic errors correction using first, second and third order polynomials showed that for subpixel quality, a first order polynomial is sufficient. The achieved orientation accuracy was: on 15 control points – RMSx = 0.6 m; RMSy = 0.4 m; RMSz = 0.6 m, on 14 check points – RMSx = 0.6 m; RMSy = 0.4 m; RMSz = 0.8 m. It was shown that during work on the Polish normal heights system, if a polynomial of at least 1 order is not used, the results could be slightly degraded compared to work on an ellipsoid height system. Using more than 9 control points brings only slightly improvement to the stereo image's orientation accuracy. RPC correction with polynomials of higher orders than the first is not advised, especially if a dense grid of control points is not assured.

In order to generate DSM, matching was done which resulted in over 900 000 points. Accuracy analyses was done on 46 GPS points and gave the result of RMSz = 1.6 m. Points were placed mainly on roads, so this kind of analysis is reliable only for ground objects. For DTM generation, matching was done on a 50 m grid and manual filtration in LPS was conducted, which resulted in an accuracy of 1.7 m.

The generated DTM and one of the images was used in orthorectification. Accuracy assessment of the generated ortho was done on 24 GPS points and gave the following results: RMSx = 0.93 m; RMSy = 0.99 m.

In the experiment, the use of SCOP++ software for matched points filtration was investigated. The study was based on a dense 3 m grid point cloud. Although designed for laser scanning data, a robust filtering algorithm gave good results, even in the highly urban areas of Cracow.

Mgr inż. Piotr Janusz Koza
e-mail: kozowy@wp.pl
tel. +22 2345764