

**OPRACOWANIE NIEREGULARNEGO BLOKU WYSOKOROZDZIELCZYCH
ZOBRAZOWAŃ SATELITARNYCH QUICKBIRD**

**DEVELOPMENT OF AN IRREGULAR BLOCK OF HIGH RESOLUTION
QUICKBIRD SATELLITE IMAGES**

Bartłomiej Kraszewski

Zakład Fotogrametrii, Instytut Geodezji i Kartografii w Warszawie

SŁOWA KLUCZOWE: fotogrametria satelitarna, wysokorozdzielcze zobrazenia satelitarne, QuickBird, triangulacja satelitarna, ocena dokładności

STRESZCZENIE: W niniejszym artykule zaprezentowane zostały zagadnienia dotyczące metodyki opracowania panchromatycznych scen satelitarnych QuickBird o nieregularnych kształtach, dla których informacja obrazowa została ograniczona do zasięgu terytorialnego powiatów lub innych jednostek administracyjnych celem zmniejszenia kosztów ich pozyskania. Głównym celem badań metodycznych była analiza wpływu nieregularności zobrażeń QuickBird na dokładność triangulacji satelitarnej bloku oraz korekcji geometrycznej poszczególnych jego scen. Dokonano analizy błędów triangulacji satelitarnej bloku scen QuickBird w funkcji liczby fotopunktów rozmieszczonych symetrycznie na całym zobrazowanym obszarze testowym. Analizie podlegał również wpływ pomiaru punktów wiążących w pasie wzajemnego pokrycia scen na dokładność procesu triangulacji bloku satelitarnego. W toku badań testowych porównano dwie metody korekcji geometrycznej zobrażeń QuickBird (RPC oraz Generic Pushbroom) zaimplementowane w środowisku oprogramowania Leica Photogrammetry Suite (LPS) firmy Erdas Imagine. Opracowano metodykę korekcji geometrycznej panchromatycznych scen QuickBird o nieregularnych kształtach w dwóch wariantach, z których pierwszy uwzględniał rozmieszczenie fotopunktów wyłącznie w wydzielonym regularnym fragmencie (prostokącie) sceny, drugi zaś dotyczył rozmieszczenia fotopunktów na całym jej obszarze. Miarą oceny dokładności procesów fotogrametrycznych zmierzających do wyznaczenia elementów orientacji zewnętrznej poszczególnych scen bloku satelitarnego były błędy średnie liczone z poprawek do współrzędnych punktów kontrolnych. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że dla uzyskania optymalnego rezultatu korekcji geometrycznej nieregularnych scen QuickBird w procesie triangulacji satelitarnej, należy pomierzyć 36 punktów wiążących rozmieszczonych symetrycznie w pasie wspólnego pokrycia scen oraz, że dokładność tego procesu charakteryzują błędy średnie $m_x = 0.7$ m, $m_y = 0.4$ m, $m_z = 1.2$ m. Stwierdzono również, że niezależną korekcję geometryczną poszczególnych scen bloku satelitarnego QuickBird można wykonać z dokładnością $m_x = 0.7$ m, $m_y = 1.4$ m, przy czym dokładność ta jest zdecydowanie wyższa przy zapewnieniu pełnego pokrycia sceny zbiorem punktów osnowy fotogrametrycznej. W analizowanych procesach korekcji geometrycznej nieregularnych scen QuickBird wskazano na metodę RPC, która przy mniejszym nakładzie pomiarów terenowych daje lepsze rezultaty.

1. WPROWADZENIE

Ograniczanie informacji obrazowej w obrębie wysokorozdzielczych scen satelitarnych QuickBird do obszarów zawartych w granicach administracyjnych gmin, powiatów lub województw, stało się obecnie częstym procederem mającym na celu zmniejszenie kosztów opracowania fotogrametrycznego, którego główne koszty generują dane źródłowe.

W związku z pojawieniem się na rynku komercyjnym specyficznych danych fotogrametrycznych, zaistniała potrzeba ich zbadania w zakresie przydatności do obrazowych i wektorowych opracowań mapowych. W obszarze badań metodycznych znalazły się problemy dotyczące korekcji geometrycznej scen, których informacja obrazowa odpowiadała obszarom zawartym wyłącznie w granicach administracyjnych.

W 2007 roku autor niniejszego artykułu rozpoczął badania na podstawie których dokonał analizy metod korekcji geometrycznej nieregularnych scen satelitarnych QuickBird opartych na rozwiązaniu blokowym (triangulacja satelitarna scen) oraz rozwiązaniu tradycyjnym (orientacja pojedynczej sceny).

Uzyskane rezultaty badań zostały zaprezentowane w obszernym opracowaniu „Triangulacja bloku wysokorozdzielczych zobrażeń satelitarnych” stanowiącym pracę magisterską autora, którą obronił w 2008 roku.

Niniejsza publikacja powstała w wyniku kontynuacji podjętej tematyki badań w Zakładzie Fotogrametrii Instytutu Geodezji i Kartografii.

2. CHARAKTERYSTYKA DANYCH TESTOWYCH.

Do badań wykorzystano dwa panchromatyczne nieregularne wysokorozdzielcze zobrażenia satelitarne QuickBird pozyskane w maju 2006 roku pokrywające obszar testowy o powierzchni 466 km² w granicach województwa kujawsko-pomorskiego. Pozyskane zobrażenia pokrywały się wzajemnie tworząc pas o szerokości ok. 1.2 km, co stanowiło 14% sceny wschodniej oraz 10% sceny zachodniej. Wraz z zobrażeniami otrzymano pliki zawierające współczynniki RPC stworzone dla wykorzystanych w badaniu nieregularnych zobrażeń. W dalszej części artykułu nieregularne zobrażenia nazywane będą również scenami.

Na obszarze opracowania scen testowych pomierzono osnowę fotogrametryczną składającą się ze 138 niesygnalizowanych punktów osnowy fotogrametrycznej w postaci szczegółów sytuacyjnych. Punkty osnowy fotogrametrycznej zostały zaprojektowane tak, aby dokładność ich identyfikacji w terenie oraz na obrazach satelitarnych była możliwa z dokładnością nie mniejszą niż 0.5 m. Punkty te stanowiły wymiennie rolę fotopunktów oraz punktów kontrolnych w procesie triangulacji satelitarnej scen QuickBird oraz korekcji geometrycznej poszczególnych scen.

3. METODYKA BADAŃ

Głównym celem przeprowadzonych badań była analiza wpływu nieregularności zobrażeń QuickBird na dokładność ich korekcji geometrycznej realizowanej w odniesieniu do triangulacji bloku oraz pojedynczych scen.

W pierwszym etapie badań dokonano analizy błędów triangulacji satelitarnej w funkcji liczby fotopunktów rozmieszczonych symetrycznie na całym obszarze opracowania bloku. Porównano metody korekcji geometrycznej opartej na wykorzystaniu współczynników RPC oraz metody Generic Pushbroom wykorzystującej parametry wewnętrzne sensora obrazującego dostępne w środowisku oprogramowania Leica Photogrammetry Suite 9.1 dedykowanego obrazom źródłowym QuickBird. Przeanalizowano również wpływ pomiaru punktów wiążących zaprojektowanych w pasie wzajemnego pokrycia scen na dokładność procesu triangulacji satelitarnej.

W kolejnym etapie badań rozwiązano zagadnienia dotyczące wpływu rozkładu fotopunktów na nieregularnym zobrażowaniu QuickBird na dokładność jego korekcji geometrycznej reprezentowanej błędami średnimi liczonymi z poprawek do współrzędnych punktów kontrolnych. Analizie poddane zostały dwa warianty rozmieszczenia fotopunktów. W pierwszym z nich fotopunkty zostały zaprojektowane w wydzielonym fragmencie zobrażowania satelitarnego o regularnym kształcie, w drugim fotopunkty rozmieszczone zostały na całej powierzchni sceny (rysunek 1).

Niezależnie, w niewralgicznych miejscach sceny satelitarnej, zaprojektowano sieć fotopunktów kontrolnych służących do oceny jakości korekcji geometrycznej sceny QuickBird (rysunek 2).

4. ANALIZA WYNIKÓW

Zaprezentowana analiza wyników dotyczy metod RPC oraz Generic Pushbroom opracowanych dla korekcji geometrycznej scen QuickBird w oprogramowaniu LPS. Dokładność procesu triangulacji satelitarnej była charakteryzowana za pomocą błędów średnich liczonych na podstawie poprawek do współrzędnych punktów kontrolnych, z tym że błędy średnie m_x i m_y opisują dokładność procesu triangulacji satelitarnej dla całego bloku, a błędy średnie m_z tylko dla części wspólnej między scenami. Przeprowadzone zostały analizy dokładności triangulacji satelitarnej QuickBird w zależności od liczby i rozmieszczenia fotopunktów w obrębie analizowanego bloku scen.

Zbadano również wpływ pomiaru punktów wiążących w pasie wspólnego pokrycia scen na dokładność procesu triangulacji satelitarnej oraz konfigurację punktów osnowy fotogrametrycznej w ich pozostałej części. W pierwszym etapie badań do korekcji geometrycznej wykorzystano wyłącznie pomiary fotopunktów, bez udziału punktów wiążących. Charakterystyka dokładności triangulacji satelitarnej bloku dwóch scen QuickBird zamieszczona została w tabeli 1.

Na podstawie wyników zamieszczonych w tabeli 1 należy stwierdzić, że zastosowanie współczynników RPC otrzymanych dla poszczególnych scen, których korekcję geometryczną wykonano w procesie triangulacji satelitarnej, pozwoliło uzyskać 4-krotnie lepsze rezultaty w stosunku do metody Generic Pushbroom. Metoda RPC

pozwała ograniczyć liczbę fotopunktów użytych w procesie triangulacji satelitarnej. Dokładność triangulacji satelitarnej przy zastosowaniu tej metody, charakteryzowana błędami średnimi $m_x = 0.51$ m, $m_y = 0.76$ m, $m_z = 0.57$ m, uzyskiwana jest przy pomiarze 18 fotopunktów rozmieszczonych symetrycznie w bloku scen QuickBird. Zastosowanie większej liczby fotopunktów w metodzie RPC nie wpływa znacząco na wzrost dokładności procesu triangulacji satelitarnej zobrażeń QuickBird. Wykorzystane w badaniach oprogramowanie LPS stanowiło barierę dla metody Generic Pushbroom, ze względu na wymagania co do minimalnej liczby fotopunktów biorących udział w procesie triangulacji satelitarnej scen. Dla metody RPC przyjęto, że minimalna liczba fotopunktów niezbędna do wyrównania obserwacji w procesie triangulacji satelitarnej bloku dwóch scen wynosi 11, przy czym do wykonania poprawnej korekcji geometrycznej pojedynczych zobrażeń QuickBird metodą RPC wymagane jest minimum 7 punktów na scenę (Wolniewicz, Kurczyński, 2002). Algorytm metody Generic Pushbroom realizował zadanie triangulacji satelitarnej dopiero przy użyciu 22 fotopunktów.

Tabela 1. Charakterystyka dokładności triangulacji satelitarnej bloku scen QuickBird wykonanej bez pomiaru punktów wiążących

Liczba fotopunktów / liczba punktów kontrolnych	Błędy średnie na punktach kontrolnych [m]					
	Metoda RPC			Metoda GP		
	m_x	m_y	m_z	m_x	m_y	m_z
50/2	0.66	0.70	1.68	4.67	1.20	9.87
46/6	0.78	0.56	1.17	5.93	1.09	1.36
42/10	0.76	0.57	1.16	4.13	2.88	17.91
38/14	0.76	0.55	1.06	3.08	2.32	12.66
34/18	0.63	0.64	0.90	2.16	1.66	10.20
30/22	0.63	0.66	1.11	3.74	1.25	8.73
26/26	0.64	0.70	0.94	1.97	1.84	18.40
22/30	0.60	0.73	0.87	7.21	3.80	19.65
18/34	0.51	0.76	0.57	-	-	-
14/38	0.49	0.74	0.70	-	-	-
11/42	1.34	0.69	0.64	-	-	-

W przypadku bloku satelitarnego złożonego z dwóch zobrażeń QuickBird o niewielkim pokryciu wzajemnym i nieregularnym kształcie, należy określić wpływ pomiaru punktów wiążących na proces wyrównania obserwacji w całym bloku przy zastosowaniu tych samych co poprzednio metod korekcji geometrycznej poszczególnych scen. Z powodu braku możliwości wykonania w oprogramowaniu LPS automatycznego pomiaru punktów wiążących przy tak małym pokryciu wzajemnym scen, pomierzono manualnie 36 punktów wiążących.

Tabela 2. Charakterystyka dokładności triangulacji satelitarnej bloku scen QuickBird z uwzględnieniem metody RPC oraz pomiaru punktów wiążących

Liczba fotopunktów / liczba punktów kontrolnych	Błędy średnie na punktach kontrolnych [m]			
	Bez punktów wiążących		Z punktami wiążącymi	
	m_{XY}	m_Z	m_{XY}	m_Z
46/6	0.96	1.17	0.84	1.22
36/16	0.90	1.26	0.89	1.26
26/26	0.95	0.94	0.90	1.21

Tabela 3. Charakterystyka dokładności triangulacji satelitarnej bloku scen QuickBird z uwzględnieniem metody Generic Pushbroom oraz pomiaru punktów wiążących

Liczba fotopunktów / liczba punktów kontrolnych	Błędy średnie na punktach kontrolnych [m]			
	Bez punktów wiążących		Z punktami wiążącymi	
	m_{XY}	m_Z	m_{XY}	m_Z
46/6	6.03	1.36	3.58	6.96
36/16	3.81	14.52	4.12	17.43
26/26	2.70	18.40	5.08	19.05

Włączenie punktów wiążących do procesu triangulacji satelitarnej scen QuickBird opartej na metodzie RPC spowodowało nieznaczne zmniejszenie składowej m_{XY} błędu średniego w bloku oraz niewielki przyrost składowej m_Z (tabela 2). Zmniejszenie błędu średniego m_{XY} maksymalnie o 0.12 m występuje w przypadku pomiaru 36 punktów wiążących oraz 46 fotopunktów. Zwiększenie błędu średniego m_Z maksymalnie o 0.27 m przy tej samej liczbie pomierzonych punktów wiążących było spowodowane włączeniem do procesu triangulacji satelitarnej zaledwie 26 fotopunktów. W przypadku pomiaru 36 fotopunktów rozmieszczonych równomiernie na obszarze całego opracowania pomiar punktów wiążących nie wpływa na dokładność triangulacji.

W przypadku drugiej metody, której wyniki zestawiono w tabeli 3, dla niemal wszystkich konfiguracji fotopunktów stwierdzono, że włączenie do procesu wyrównania obserwacji punktów wiążących nie wpływa na poprawę dokładności triangulacji satelitarnej. W przypadku włączenia do procesu triangulacji satelitarnej obserwacji 46 fotopunktów maleje składowa m_{XY} o 2.45 m, przy jednoczesnym wzroście składowej m_Z o 5.6 m. Przytoczone wartości liczbowe potwierdzają, że przy zastosowaniu metody Generic Pushbroom otrzymano niższą dokładność procesu triangulacji satelitarnej scen QuickBird w porównaniu z metodą RPC.

Kolejnym etapem badań była analiza wpływu liczby i rozmieszczenia fotopunktów na nieregularnym zobrazowaniu QuickBird na wartości błędów średnich wyznaczenia fotopunktów kontrolnych, które zostały zaprojektowane na skrajach opracowywanej sceny (rysunek 4.2). W procesie korekcy geometrycznej sceny satelitarnej QuickBird dokonano analizy wyników dla dwóch wariantów rozmieszczenia fotopunktów, z których pierwszy zakładał ich regularny rozkład na całej powierzchni sceny, drugi zaś

dotyczył rozkładu w środkowej części sceny (rysunek 1). Wyniki korekcji geometrycznej sceny QuickBird, bazującej na opisanych wariantach rozmieszczenia fotopunktów oraz wyznaczonych współczynnikach RPC, pozwoliły dokonać wnikliwej analizy wpływu nieregularności sceny na wewnętrzną spójność matrycy obrazowej, w szczególności jej części pozbawionej występowania fotopunktów spełniających założone kryterium pomiaru i identyfikacji. Dokładności korekcji geometrycznej skrajnych fragmentów nieregularnego zobrażenia QuickBird została scharakteryzowana na podstawie błędów średnich wyznaczonych z poprawek do sześciu fotopunktów kontrolnych zaprojektowanych w tych fragmentach sceny (rysunek 2).



Rys. 1. Rozkład fotopunktów w drugim etapie badania

Tabela 5. Charakterystyka dokładności korekcji geometrycznej nieregularnej sceny QuickBird przy różnych wariantach rozmieszczenia fotopunktów

Rozkład fotopunktów na scenie	Błędy średnie na fotopunktach kontrolnych [m]		
	m_x	m_y	m_{xy}
Na całej scenie	0.68	1.36	1.50
W centralnej części sceny	2.31	2.86	3.74

Analizując wyniki zamieszczone w tabeli 5 uzyskane dla dwóch wariantów rozmieszczenia fotopunktów na nieregularnym zobrażeniu QuickBird należy stwierdzić, że uzyskanie dokładności jego korekcji geometrycznej na poziomie $m_{xy} = 1.5$ m, jest możliwe przy pomiarze 38 fotopunktów rozmieszczonych równomiernie na scenie. W przypadku rozmieszczenia 28 fotopunktów wyłącznie w centralnej (regularnej) części sceny dokładność to wynosi 3.7 m.



Rys. 2. Rozmieszczenie fotopunktów kontrolnych na badanej scenie

5. WNIOSKI

Dla uzyskania optymalnych rezultatów triangulacji satelitarnej nieregularnego bloku dwóch panchromatycznych scen QuickBird należy pomierzyć przynajmniej 18 fotopunktów rozmieszczonych równomiernie w jego granicach.

Preferowaną metodą korekcji geometrycznej nieregularnych scen QuickBird w procesie ich triangulacji satelitarnej jest metoda RPC, która pozwala na uzyskanie 4-krotnie wyższej dokładności w stosunku do metody Generic Pushbroom.

Włączenie do procesu triangulacji satelitarnej obserwacji punktów wiążących, zaprojektowanych w wąskim pasie wzajemnego pokrycia scen nie wpływa na dokładność tego procesu.

W przypadku braku możliwości pomiaru fotopunktów na skrajach nieregularnej sceny satelitarnej QuickBird dokładność korekcji geometrycznej w tych miejscach sceny jest 2-krotnie niższa od dokładności jej korekcji w miejscach występowania fotopunktów.

6. LITERATURA

Drzewiecki W., Głowienka E., Hermanowska B., Dżugaj M., Trybuś T., 2006. *Wpływ ilości fotopunktów i dokładności numerycznego modelu wysokościowego na dokładność wysokorozdzielczej ortofotomapy satelitarnej*, Kraków 2006, Akademia Górniczo-Hutnicza.

Kurczyński Z., Wolniewicz W., 2002. *Korekcja geometryczna wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych*, Geodeta Nr 11 (90), Listopad 2002.

Wolniewicz W., 2004. *Porównanie wyników ortorektyfikacji obrazów satelitarnych o bardzo dużej rozdzielczości*, Ogólnopolskie Sympozjum Naukowe Fotogrametria, teledetekcja i GIS w świetle XX Kongresu ISPRS”, 24-26 październik 2004 r.

Kraszewski B., 2008. *Triangulacja bloku wysokorozdzielczych zobrażeń satelitarnych*, praca dyplomowa WAT

DEVELOPMENT OF AN IRREGULAR BLOCK OF HIGH RESOLUTION QUICKBIRD SATELLITE IMAGES

KEY WORDS: satellite photogrammetry, high resolution satellite images, Quickbird, triangulation, irregular block

Summary

The paper presents methodology for the development of panchromatic irregular QuickBird satellite images the data for which image are spatially confined to an administrative district or other administrative unit.

The main aim of this methodological research was to analyse effects the irregularity in QuickBird satellite images on the accuracy of triangulation of a satellite image block and the accuracy of geometrical correction of individual frames. The accuracy analysis of satellite triangulation of QuickBird scenes in the function of the number of control points located symmetrically in the entire test area was performed. The analysis focused on effects of measuring tie points on the satellite triangulation process. Two methods of geometrical correction of QuickBird scenes (RPC and Generic Pushbroom) implemented in the Leica Photogrammetry Suite (LPS) software were compared.

Two methodological approaches for geometrical correction of panchromatic irregular QuickBird images were developed. The first approach involves the distribution of control points in a separate, regular fragment (rectangle) of the scene only. In the other approach, the control points were located throughout the entire scene. The RMSEs calculated on the basis of check points residual served as estimators of the accuracy of the photogrammetric process designed to delimit the absolute orientation of individual scenes of a satellite block.

The research showed that the optimal result of geometrical correction of irregular QuickBird scenes in the satellite triangulation process was obtained by measuring 36 tie points arranged symmetrically in the fragment of the scenes examined. It was also demonstrated that the accuracy of the process is $RMSE(X) = 0.7m$, $RMSE(Y) = 0.4m$, $RMSE(Z) = 1.2m$. An independent geometrical correction of QuickBird scenes is possible to perform with an accuracy of $\delta_x = 0.7 m$ and $\delta_y = 1.4 m$; it was also shown that the accuracy was considerably improved by the full coverage of the control points in the scene.

It was shown that the best results were obtained in the RPC model-based geometrical correction of irregular QuickBird scenes.

mgr inż. Bartłomiej Kraszewski
e-mail: bartlomiej.kraszewski@igik.edu.pl
tel. +4823291987