

**WYKORZYSTANIE DANYCH LOTNICZEGO SKANINGU
LASEROWEGO JAKO OSNOWY GEOMETRYCZNEJ
DLA KOREKCJI OBRAZÓW QUICKBIRD**

**USE OF AIRBORNE LASER SCANNING DATA AS THE GEOMETRIC
CONTROL FOR CORRECTING QUICKBIRD IMAGES**

Wiesław Wolniewicz¹, Marek Zaremba²

¹ Instytut Fotogrametrii i Kartografii, Politechnika Warszawska

² Université du Québec en Outaouais, Kanada

SŁOWA KLUCZOWE: fotogrametria satelitarna, QuickBird, LIDAR, GPS, modele korekcyjne

STRESZCZENIE: W pracy przedstawiono analizy przydatności techniki LIDAR do ortorektyfikacji zobrażeń QuickBird bez wykorzystania terenowego pomiaru fotopunktów, dla obszaru miasta Ottawa w Kanadzie i terenów leśnych w Prowincji Alberta. Korekcję geometryczną obrazów QuickBird wykonano metodą wielomianową RPF z wykorzystaniem RPC i metody ścisłej. Przedstawiono właściwości modeli korekcyjnych. Do oceny dokładności generowania ortofotomapy wykorzystywano zarówno NMT jak i NMPT pochodzący z danych uzyskanych ze skaningu laserowego. Do ortorektyfikacji oraz oceny dokładności wykorzystano środowisko PCI Ortho Engine. Uzyskano błędy ortorektyfikacji i poziomie 2-3 pikseli dla obszaru miejskiego a na poziomie jednego piksela dla terenów leśnych. Przedmiotem badania był również wpływ liczby fotopunktów na dokładność procesu ortorektyfikacji. Dokładność powstałej ortofotomapy satelitarnej oceniono na podstawie pomiarów GPS. Otrzymane wyniki potwierdzają znaczenie danych pochodzących z wielu źródeł monitorowania powierzchni Ziemi, które coraz powszechniej są wykorzystywane w różnorodnych zastosowaniach geoinformatycznych. Wykazano praktycznie, iż dane pochodzące ze skaningu laserowego mogą być dobrym źródłem osnowy fotogrametrycznej do korekcji wysokorozdzielczych zobrażeń satelitarnych.

1. WSTĘP

W ostatnich latach daje się zauważyć stale rosnące zainteresowanie zdjęciami VHRS (Very High Resolution Satellite). Powodem tego jest nieustanny wzrost zapotrzebowania na aktualną informację o powierzchni Ziemi. Jest to naturalny kierunek uzupełniający dotychczasowe tradycyjne techniki fotogrametryczne. I tak geometria zdjęć lotniczych jest od dawna bardzo dobrze poznana w odróżnieniu od zdjęć typu VHRS, charakteryzujących się zdecydowanie inną formą ich tworzenia i relacji geometrycznych.

Specyfikę zdjęć typu VHRS charakteryzują następujące cechy oraz parametry:

- kołowe orbity heliosynchroniczne,

- obrazowanie oparte na zasadzie skanera elektrooptycznego,
- w płaszczyźnie ogniskowej znajdują się linijki CCD,
- ciągła rejestracja trajektorii orbity i kątowych elementów orientacji kamery,
- bardzo mały kąt widzenia (ok. 1° - 2°) przy teleskopie układu optycznego o ogniskowej 10 m,
- układ optyczny ma możliwość dużych wychyleń w poprzek jak i wzdłuż orbity,
- wykorzystano technikę rejestracji TDI.

Zdjęcia z tych systemów (IKONOS, QuickBird, OrbitView) powstają w sposób ciągły, a więc w konsekwencji mamy do czynienia z tzw. dynamiczną formą pozyskiwania danych. Naturalną konsekwencją tak tworzonych zdjęć jest potrzeba poznania procesów korekcji geometrycznych na etapie pozyskiwania ortofotomap z tych produktów. Jednym z podstawowych zadań wynikających z tej specyfiki, jest poznanie funkcjonowania modeli korekcyjnych i optymalizacja samego procesu korekcji. Powszechnie udowodniono iż zasadniczym czynnikiem decydującym o dokładności procesu ortorektyfikacji zdjęć VHRS są fotopunkty. Postanowiono przeanalizować dobór fotopunktów pozyskanych przy pomocy techniki skaningu laserowego, na dokładność generowania ortofotomapy z systemu QuickBird.

2. ZAŁOŻENIA PROJEKTU

Celem badań było porównanie procedur i technik generowania ortofotomap ze zdjęć QuickBird dla wytypowanych pól testowych, jakimi były obszary aglomeracji Ottawa i wybranego obszaru kompleksów leśnych w prowincji Alberta. Jednym z zasadniczych zadań prowadzonych prac była ocena dokładności ortofotomap opracowanych z wykorzystaniem fotopunktów pozyskanych z pomocą techniki LIDAR. Wszystkie prace dotyczące zadań ortorektyfikacji przeprowadzono w środowisku PCI OrthoEngine 10.0.2. w odwzorowaniu UTM NAD83. Przedstawiono ocenę dokładności otrzymanych ortofotomap, wygenerowanych z panchromatycznych zdjęć pochodzących z systemu QuickBird.

Główne zadania prowadzonych badań dotyczyły:

- zdefiniowania pól testowych i pozyskanie scen z systemu QuickBird dla obszarów Ottawa i terenów Prowincji Alberty,
- analiza teoretyczna i ocena możliwości dostępnych modeli korekcyjnych VHRS,
- zaprojektowanie i pozyskanie osnowy fotogrametrycznej technikami LIDAR i GPS,
- analiza wpływu typów fotopunktów na dokładność generowanej ortofotomapy,
- ocena dokładności wyników.

3. WYKORZYSTYWANE DANE I CHARAKTERYSTYKA PÓL TESTOWYCH

Przyjęto dwa obszary, na których wykonano eksperyment. Pierwsze pole testowe ustalono na obszar miejski w ścisłym centrum stolicy Kanady, Ottawy. Obszar ten charakteryzuje się względnie małymi deniwelacjami terenu, na poziomie do 100 m. Drugie pole testowe obejmuje teren, na którym ma być realizowana integracja danych wieloźródłowych, obejmuje północno - wschodni obszar prowincji kanadyjskiej Alberta.

Do eksperymentu wykorzystano dwa zdjęcia panchromatyczne pochodzące z systemu QuickBird. Charakterystykę tych zdjęć podano w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka wykorzystywanych zdjęć

Charakterystyka	QuickBird	QuickBird
Obszar zobrazowania	Ottawa	Alberta
Data pozyskania zdjęć	2003-05-04	2005-08-20
Czas zobrazowania	15:50:57	19:07:24
Numer sceny	155057-M2AS-000000067808_01	190724-P2AS-005505319030_01
Typ produktów	Level = LV2A	Level = LV2A
Kąt wychylenia układu opycznego [stopień]	29.7	10.0
Rozdzielczość radiometryczna [bit]	11	11
Rozdzielczość terenowa [m]	0.782	0.635
Rozmiar sceny [pxl]	23176×8232	37168×9864

Do pomiaru punktów osnowy fotogrametrycznej, o wysokiej precyzji, wykorzystano dwuczęstotliwościowe odbiorniki TRIMBLE 4700 i metodę „fast-static”. Dokładność planimetryczną fotopunktów ocenia się na 20 cm a wysokościową 30÷40 cm. W czasie pomiarów terenowych obejmujących tylko obszar pola „Ottawa”, była robiona fotograficzna dokumentacja każdego mierzonego fotopunktu zaprojektowanego uprzednio na zobrazowaniach QuickBird.

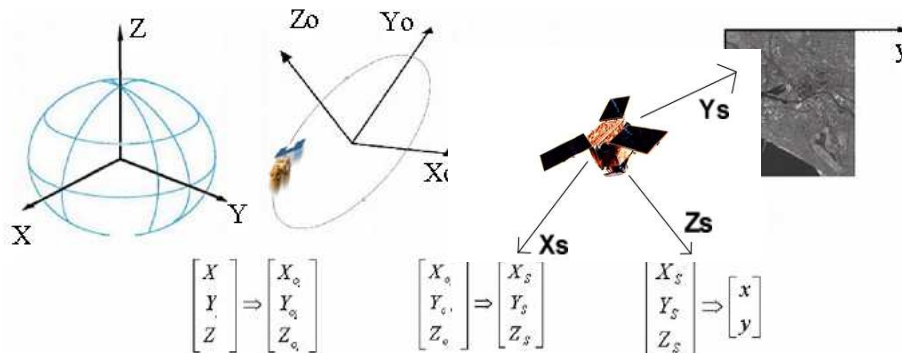
Na obszarze obu pól testowych zaprojektowano i wykonano nalot lotniczy z wykorzystaniem skaningu laserowego. Parametry nalotu przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Parametry nalotu i wykorzystanego systemu LIDAR (Optech 3100)

Parametry techniczne	Dane
Wysokość lotu	ok. 800 m m.p.m.
Szerokość pasa zobrazowania	ok. 300 m
Użyty zakres spektralny	0.9 μm
Wychylenie głowicy skanującej	do $\pm 25^\circ$
Pokrycie wzajemne szeregów	50 %
Odległość osi nalotów	140 m
Rozdzielczość skanowania	0.5 m ²
Częstotliwość skanowania	40 Hz
Wielkości rejestrowanie	ostatnie odbicie i intensywność

4. CHARAKTERYSTYKA WYKORZYSTYWANYCH MODELI KOREKCYJNYCH

Celem korekcji geometrycznej zobrazowań typu VHRS jest określenie matematycznego związku między współrzędnymi terenowymi punktów (X, Y, Z), a współrzędnymi ich obrazów (x, y). Stosuje się kilka istotnie różniących się podejść, skutkujących różnymi modelami geometrycznymi.



Rys. 1. Podstawowe kroki procesu korekcji geometrycznej zobrazenia satelitarnego

Rysunek 1 przedstawia podstawowe kroki procesu korekcji geometrycznej zobrazenia satelitarnego opisano w pracy (Wolniewicz, 2006):

- współrzędne zobrazonego punktu terenowego w układzie geocentrycznym Ziemi są transformowane na współrzędne orbitalne satelity ($X, Y, Z \Rightarrow X_o, Y_o, Z_o$),
- przetworzenie uzyskanych współrzędnych na układ współrzędnych satelity ($X_o, Y_o, Z_o \Rightarrow X_s, Y_s, Z_s$),
- transformacja współrzędnych satelity na układ współrzędnych zobrazenia ($X_s, Y_s, Z_s \Rightarrow x, y$).

Metody korekcji zobrażeń satelitarnych można przedstawić w dwóch zasadniczych grupach:

- modele parametryczne
- modele wielomianowe (RPF)

4.1. Parametryczny model korekcji

Model parametryczny opisuje ściśle geometryczne relacje między terenem i jego obrazem. Model taki musi więc uwzględniać wielozródłowe czynniki zniekształcające. Dla klasycznego zdjęcia fotogrametrycznego taki ścisły model korekcji opiera się na fundamentalnym w fotogrametrii warunku kolinearności i zawiera elementy orientacji wewnętrznej oraz 6 elementów orientacji zewnętrznej zdjęcia, tj. położenie w przestrzeni i trzy kąty nachylenia. Warunek kolinearności jest również podstawą dla budowy ścisłego modelu obrazów satelitarnych. Warunek kolinearności w tym jednak przypadku można odnieść nie do całego obrazu, a tylko do jego pojedynczej linii. Nie można mówić o elementach orientacji obrazów satelitarnych w tym sensie jak dla zdjęcia lotniczego. Wartość elementów orientacji zmienia się w sposób ciągły, należy więc mówić raczej o funkcji tych elementów zależnej od czasu. W literaturze są doniesienia o zbudowaniu takich modeli przez różne ośrodki naukowo-badawcze. Jednak autorzy nie publikują w jawnej postaci ostatecznej postaci modelu.

Modele takie zawierają szereg niewiadomych elementów - parametrów, których wartość dla konkretnego obrazu wyznacza się w oparciu o fotopunkty o znanym położeniu terenowym, odwzorowane na obrazie.

Po skalibrowaniu układu optycznego, oraz w przypadku precyzyjnego pomiaru zmiennych w czasie elementów orientacji zewnętrznej kamery, znane są elementy modelu parametrycznego. Pozwala to prowadzić opracowanie, np. ortorektyfikację „wprost”, tj. bez znajomości fotopunktów, ale ze znanym NMT, lub generować NMT ze stereoskopowej pary obrazów. Niektórzy dystrybutorzy nie chcąc ujawniać parametrów modelu w jawnej postaci, obliczają dla danej sceny obrazowej, odpowiadające im wartości współczynników wielomianu w modelu ilorazowym i te załączają do obrazów udostępnianych użytkownikom.

Ponieważ model parametryczny opisuje rzeczywiste relacje geometryczne, więc poszczególne wyrazy modelu mają konkretną interpretację geometryczną. Modele parametryczne powinny dawać lepsze wyniki niż modele nieparametryczne, być bardziej odporne na rozkład fotopunktów i ewentualne błędy w danych, oraz wymagać mniejszej liczby fotopunktów koniecznych do wyznaczenia niewiadomych parametrów. Czołowi producenci oprogramowania fotogrametrycznego uzupełniają swoje produkty o opcje umożliwiającą opracowanie obrazów satelitarnych pozyskanych z podstawowych systemów, w tym ostatnio, o opracowanie wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych. Na uwagę zasługuje tu najnowsza wersja pakietu Geomatica OrtoEngine kanadyjskiej firmy PCI, w którym opisane są ściśle modele najważniejszych systemów satelitarnych, opracowane przez T. Toutina.

4.2. Wielomianowy model korekcji – RPF

W przypadku, gdy nieznan jest model kamery, przyjmuje się rozwiązanie, opisujące relacjom między zdjęciem a terenem. Najprostszy zapis tych relacji wyraża się następująco:

$$(x, y) = P(X_L Y_L Z_L) \quad (1)$$

gdzie:

- (x, y) - współrzędne obrazu,
- ($X_L Y_L Z_L$) - współrzędne terenowe,
- P - zamiennik modelu kamery.

Matematyczny zamiennik opisuje zależności pomiędzy terenem a zobrazowaniem, uwzględniając inne czynniki, w tym charakter kamery. Takie firmy jak GeoEye i Digital Globe w swojej ofercie dostarczają tego typu informacje pod nazwą współczynników RPC (Rational Polynomial Coefficient), co zastępuje matematyczny model kamery, koncepcję tych relacji pokazano na rysunku 2. Współczynniki RPC są wykorzystywane do obliczeń równań RPF w celu wyznaczenia skorygowanych współrzędnych na zobrazowaniu (na poszczególnej linii) poprzez wyjście z danych terenowych, np. długości, szerokości geograficznej i wysokości. Na wejściu mamy współczynniki RPC i współrzędne terenowe (geodezyjne lub geograficzne), które w wyniku obliczeń korygują obraz.

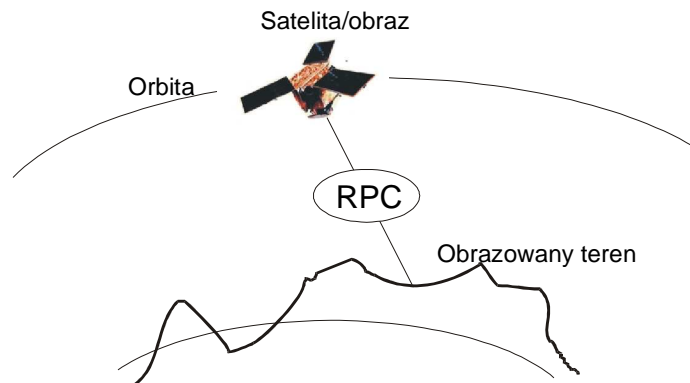
$$\begin{aligned} x_N &= \frac{P_1(\varphi_N, \lambda_N, h_N)}{P_2(\varphi_N, \lambda_N, h_N)} \\ y_N &= \frac{P_3(\varphi_N, \lambda_N, h_N)}{P_4(\varphi_N, \lambda_N, h_N)} \end{aligned} \quad (2)$$

W matematycznej zależności (2), P ma postać:

$$P_q(\varphi_N, \lambda_N, h_N) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{k=0}^3 a_{ijkq} \varphi_N^i \lambda_N^j h_N^k ; \quad q = 1, \dots, 4 \quad (3)$$

$i+j+k \leq 3$

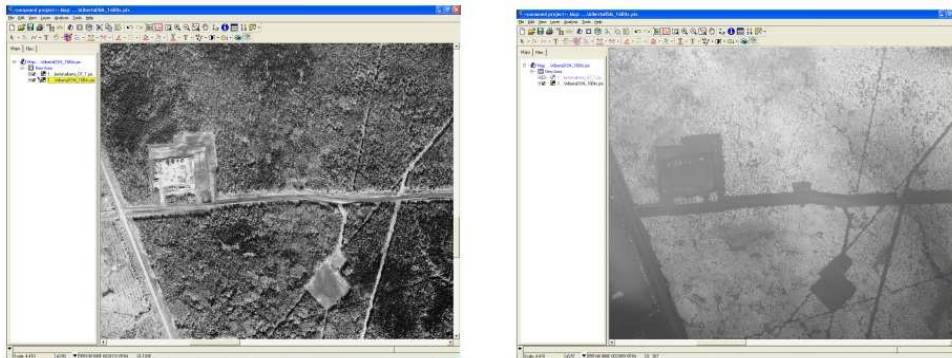
Jest to wielomian trzeciego stopnia zawierający 20 współczynników realizujący transformację pomiędzy terenem a zobrazowaniem, opisany po raz pierwszy przez (Grodecki, *et al.*, 2002).



Rys. 2. Idea modelu korekcyjnego RPF (Grodecki *et al.*, 2002)

5. OCENA UZYSKANYCH WYNIKÓW

W tabelach 2÷6 przedstawiono uzyskane błędy na punktach kontrolnych wyznaczonych dla wygenerowanych ortofotomap. Przetestowano też uzyskane wyniki w procesie ortorektifikacji z tytułu wykorzystania produktów wytworzonych na podstawie danych z LIDAR, tj: Numeryczny Model Terenu (NMT) i Numeryczny Model Pokrycia Terenu (NMPT) wraz z fotopunktami (punkty dostosowania i kontrolne).



Rys. 3. Przykład możliwości identyfikacji fotopunktów na zdjęciu QuickBird i danych pochodzących ze skaningu laserowego

Tabela 3. Porównanie uzyskanych dokładności ortorektyfikacji z wykorzystaniem dostępnych modeli korekcyjnych dla pola testowego „Ottawa” oraz NMPT; fotopunkty i punkty kontrolne odczytane z pomiaru GPS; błąd maksymalny podano dla wariantu z 11 fotopunktami i 14 punktami kontrolnymi

Model korekcyjny	RMS [m] 3 F-punkty		RMS [m] 8 F-punkty		RMS [m] 9 F-punkty		RMS [m] 10 F-punkty		RMS [m] 11 F-punkty		Błąd max. [m]	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Parametryczny	-	-	1.78	1.63	1.19	1.15	1.05	0.98	0.86	0.74	1.77	1.52
RPF	2.15	2.43	1.81	1.90	1.78	1.89	1.80	1.89	1.79	1.86	2.80	3.10

Tabela 4. Porównanie uzyskanych dokładności ortorektyfikacji z wykorzystaniem dostępnych modeli korekcyjnych dla pola testowego „Ottawa” oraz NMT; fotopunkty i punkty kontrolne odczytane z pomiaru dGPS; błąd maksymalny podano dla wariantu z 11 fotopunktami i 14 punktami kontrolnymi

Model korekcyjny	RMS [m] 3 F-punkty		RMS [m] 8 F-punkty		RMS [m] 9 F-punkty		RMS [m] 10 F-punkty		RMS [m] 11 F-punkty		Błąd max. [m]	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Parametryczny	-	-	1.54	1.65	1.00	1.11	0.97	0.94	0.81	0.71	1.64	2.11
RFM	2.13	2.39	1.75	1.89	1.70	1.89	1.69	1.87	1.70	1.83	2.84	3.08

Tabela 5. Porównanie uzyskanych dokładności ortorektyfikacji z wykorzystaniem dostępnych modeli korekcyjnych dla pola testowego „Ottawa” oraz NMPT; fotopunkty i punkty kontrolne odczytane z danych skaningu laserowego; błąd maksymalny podano dla wariantu z 14 fotopunktami i 14 punktami kontrolnymi

Model korekcyjny	RMS [m] 3 F-punkty		RMS [m] 8 F-punkty		RMS [m] 9 F-punkty		RMS [m] 10 F-punkty		RMS [m] 14 F-punkty		Błąd max. [m]	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Parametryczny	-	-	1.38	3.63	0.99	3.55	0.85	3.48	0.71	3.25	2.5	6.7
RPF	4.05	4.01	3.81	3.90	3.78	3.89	3.80	3.89	2.79	3.46	5.8	6.6

Tabela 6. Porównanie uzyskanych dokładności ortorektyfikacji z wykorzystaniem dostępnych modeli korekcyjnych dla pola testowego „Ottawa” oraz NMPT; fotopunkty odczytane z danych skaningu laserowego, a punkty kontrolne z pomiaru dGPS Błąd maksymalny podano dla wariantu z 11 fotopunktami i 14 punktami kontrolnymi

Model korekcyjny	RMS [m] 3 F-punkty		RMS [m] 8 F-punkty		RMS [m] 9 F-punkty		RMS [m] 10F-punkty		RMS [m] 11 F-punkty		Błąd max. [m]	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Parametryczny	-	-	2.68	2.54	1.99	1.95	1.95	1.99	1.96	1.84	2.87	3.02
RPF	2.15	2.43	1.81	1.90	2.68	2.82	2.60	2.79	2.59	2.66	3.89	4.29

Tabela 7. Porównanie uzyskanych dokładności ortorektyfikacji z wykorzystaniem dostępnych modeli korekcyjnych dla pola testowego „Alberta” oraz NMPT; fotopunkty i punkty kontrolne odczytane z danych skaningu laserowego; błąd maksymalny podano dla wariantu z 9 fotopunktami i 7 punktami kontrolnymi

Model Korekcyjny	RMS [m] 3 F-punkty		RMS [m] 8 F-punkty		RMS [m] 9 F-punkty		Błąd max. [m]	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Parametryczny	-	-	0.55	0.48	0.43	0.34	0.80	0.00
RPF	2.15	2.43	1.70	1.59	1.59	1.36	2.97	2.80

6. WNIOSKI

Ortorektyfikacje zdjęć QuickBird realizowano w środowisku PCI OrthoEngine z wykorzystaniem dostępnych modeli korekcyjnych: parametrycznego i RPF. Uwzględniono wpływ NMT i NMPT na proces ortorektyfikacji. Wykorzystano fotopunkty pochodzące z skaningu laserowego i pomiaru GPS. Do podstawowych wniosków można zaliczyć:

1. Fotopunkty pochodzące z skaningu laserowego należy wyjątkowo precyzyjnie identyfikować na tych „zobrazowaniach”, posługując się wiedzą interpretacyjną.
2. Z analiz wyników widać, że identyfikacja fotopunktów na obszarach miejskich jest trudniejsza niż w obszarach leśnych; przekłada się to na uzyskane dokładności przy zastosowaniu metod parametrycznych.
3. Wyniki testu wykazały, że zastosowanie modelu parametrycznego dla korekcji zdjęć QuickBird dają stabilność wyników przy zastosowaniu 8-10 fotopunktów; stwierdzono że zastosowanie metody wielomianowej i współczynników RPC dostarczonych wraz z zdjęciami QuickBird daje gorsze wyniki.
4. Wykazano, iż informacja pochodząca ze skaningu laserowego dostarcza wysokiej precyzji NMT i NMPT oraz fotopunkty, które to można z powodzeniem wykorzystywać do procesów ortorektyfikacji VHRS.

7. LITERATURA

- Di, K., Ma R., Li R., 2003. Rational functions and potential for rigorous sensor model recovery. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 69(1), s. 33-41.
- Grodecki, J., Gene D., 2002. IKONOS Geometric Accuracy Validation. Proceedings of ISPRS Commission I Mid-Term Symposium, Denver, CO.
- Wolniewicz W., 2004. Assessment of Geometric Accuracy of VHR Satellite Images. XX ISPRS Congress, Istanbul.
- Wolniewicz W., 2005. Geometrical capacity of the VHRS images collected with significant off nadir angle. ISPRS, Hanover, on CD-ROM.
- Wolniewicz W., 2006. Podstawy Fotogrametrii Satelitarnej. Część I/II, *Przegląd Geodezyjny*, Nr 3, 4, s. 3-10.
- Wolniewicz W., Luong C. K., 2006. Geometric Modeling of VHRS. 7th Geomatic Week, February 2006, Barcelona.

USE OF AIRBORNE LASER SCANNING DATA AS THE GEOMETRIC CONTROL FOR CORRECTING QUICKBIRD IMAGES

KEY WORDS: satellite photogrammetry, QuickBird, LIDAR, GPS, correction models

Summary

This paper outlines the results of an analysis of the application of LIDAR technology for orthorectification of QuickBird images without using ground control points for the area of the city of Ottawa in Canada as well as for boreal forest areas in the province of Alberta. Geometrical adjustment of QuickBird images was executed using the RPF multinomial method with the use of RPC and the application of the co-linearity condition method. The effects of adjustment models are described in the paper.

In order to evaluate the accuracy of the ortho-photo map generation process, both DCM and DSM obtained from laser scanning data were used. The PCI Ortho Engine environment was used as a tool for ortho-adjustment and the evaluation of accuracy. Errors obtained in the ortho-adjustment process were of the order of 2-3 pixels for municipal areas and 1 pixel for forest areas. The influence of a number of ground control points upon the accuracy of ortho-adjustment process was also investigated. The accuracy of the final satellite ortho-photo map was evaluated by applying GSP surveys.

The obtained results show the importance of data coming from different Earth monitoring sources, which are used more and more extensively in a variety of different geometric applications. Since VHRR and LIDAR became operational there has been increasing consumer demand for both elevation models and images. As all data is digital from the beginning, data processing is done relatively quickly and is highly automated (mainly only quality control needs operator support), it was demonstrated in practice that the data from laser scanning may constitute an excellent source of photogrammetrical control for the adjustment of very high resolution satellite images.

The spectrum of application for precise elevation data and orthophotomaps is much greater than shown here and includes such applications as power line mapping, precision forest management, and open-pit monitoring.

Prof. dr inż. Marek Zaremba
e-mail: marek.zaremba@uqo.ca

Dr inż. Wiesław Wolniewicz
e-mail: W.Wolniewicz@gik.pw.edu.pl
tel. +22 2347358