

## DOKŁADNOŚĆ OPRACOWANIA ORTOFOTOMAPY CYFROWEJ Z DANYCH CARTERRA GEO Pan i Quick Bird Pan

### 1. Dane panchromatyczne CARTERRA Geo firmy Space Imaging

IKONOS firmy Space Imaging umieszczony został na orbicie na wysokości 680 km w dniu 24.09.1999 roku i pracuje od dwóch lat w trybie operacyjnym.

Produkt CARTERRA Geo jest po korekcji przeprowadzonej przez Space Imaging, w której wykorzystuje się dane rejestrowane w trakcie wykonania sceny, takie jak: elementy orientacji wewnętrznej sensora (punkt główny w linii, odległość obrazowa, dystorsja układu optycznego), elementy orientacji zewnętrznej każdej linii takie jak: współrzędne sensora w przestrzeni wyznaczone metodą dGPS, kąty nachylenia: omega, fi, kapa (wyznaczone żyroskopowym urządzeniem nawigacyjnym INS). Każda scena jest rektyfikowana na płaszczyznę równoległą do elipsoidy WGS-84, która oddalona jest od niej o wysokość  $Z_0$ .

Scena panchromatyczna CARTERRA Geo ma wielkość piksela  $GSD=1m$  (choć istnieje też możliwość zamawiania w SPACE IMAGING EURASIA danych po resamplingu do  $GSD = 80cm^1$ ) i jest dostarczana użytkownikowi w formacie GeoTIFF, TIFF, NITF 2.0, BIL lub BIP jako obraz 8 bitowy lub 11 bitowy w zakresie spektrum 450 - 900 nm. Wielkość sceny wynosi 11 km x 11 km. Razem z obrazem cyfrowym dostarczane są współczynniki (azymut sensora "a" i kąt wychylenia lustra "e"), które są stałe dla danej sceny. Te dane i współrzędne kilku fotopunktów wystarczają do dokładnej orientacji sceny.

Do produktu Ortho-kit i zobrazowań stereoskopowych dołączany jest "Image Geometry Model" (IGM) w RPC (Rational Polynomial Coefficient), czyli współczynniki wielomianu wyznaczające zależność pomiędzy współrzędnymi przestrzennymi obiektu a współrzędnymi obrazowymi. Współczynniki te pozwalają na orientację sceny, dwóch scen stereoskopowych, opracowanie NMT (dla zobrazowań stereoskopowych) i wygenerowanie ortofotomapy.

Korekcja współrzędnych danych produktu Geo:

$$\Delta X = [-(Z - Z_0)\sin a]/\text{tg } e$$

$$\Delta Y = [-(Z - Z_0)\cos a]/\text{tg } e$$

gdzie: X, Y, Z - współrzędne terenowe fotopunktów w układzie geodezyjnym

$Z_0$  - odstęp płaszczyzny od elipsoidy, na którą rzutowana jest scena IKONOS wykonywana w firmie Space Imaging

<sup>1</sup> Wg informacji wyłącznego dostawcy SPACE IMAGING EURASIA w Polsce – Bałtyckiego Centrum S.I.P.

$a$  - azymut sensora

$e$  - kąt wychylenia lustra

$\Delta X, \Delta Y$  - przesunięcie punktu z powodu projekcji na płaszczyznę odniesienia.

Transformacja DLT (Direct Linear Transformation), czyli transformacja rzutowa przestrzeni obiektu na płaszczyznę obrazu (współrzędnych terenowych  $X, Y, Z$  na współrzędne obrazowe  $x, y$ ):

Kolumna  $x = [L1X + L2Y + L3Z + L4] / [L9X + L10Y + L11Z + 1]$

Linia  $y = [L5X + L6Y + L7Z + L8] / [L9X + L10Y + L11Z + 1]$ .

W współczynnikach równań zawarte są elementy orientacji wewnętrznej i zewnętrznej sceny.

Niektórzy autorzy przeprowadzają jeszcze transformację afiniczną:

$$x = A1X + A2Y + A3Z + A4$$

$$y = A5X + A6Y + A7Z + A8$$

$$\text{ale: } A3 = - [(A1 \sin a) + (A2 \cos a)] / \operatorname{tg} e$$

$$A7 = - [(A5 \sin a) + (A6 \cos a)] / \operatorname{tg} e$$

W przypadku znanych wartości parametrów " $a$ " i " $e$ " do wyznaczenia pozostaje więc tylko 6 współczynników, stąd wystarczy pomierzyć współrzędne przestrzenne od 4 do 6 fotopunktów

(w miarę możliwości o różnych wysokościach) rozmieszczonych równomiernie na scenie.

Dokładność takiej transformacji dla obrazów wykonanych w nadirze i terenów płaskich jest rzędu

jednego piksela (Grodecki 2002). Dla obszarów podgórskich otrzymano średni błąd kwadratowy współrzędnych  $X, Y$  wyznaczony na punktach kontrolnych około 2 m (Jacobsen 2002).

Inna metoda, w której wykorzystuje się funkcje wielomianowe jest niebezpieczna, gdyż dokładne wpasowanie następuje tylko na fotopunktach i jest tym lepsze im większy jest stopień użytego wielomianu (Cheng, Toutin 2002).

Funkcja wielomianowa:  $f(X, Y, Z) = a + bx + cy + dz + exy + gxz + hyz + ix + jy + kz + lxy + \dots$ . Współrzędne obrazowe  $x, y$  opisane są funkcjami:

$$x = f1(X, Y, Z) / f2(X, Y, Z) \quad y = f3(X, Y, Z) / f4(X, Y, Z)$$

W metodzie tej potrzebna jest duża ilość fotopunktów i tak: dla wielomianu I-stopnia conajmniej 7, dla II stopnia conajmniej 19 i dla III-stopnia conajmniej 39. Zaleca się użycie dwa razy więcej fotopunktów niż ilość minimalna. Metoda jest dobra dla rejonów małych i o małej deniwelacji terenu.

## 2. Dane panchromatyczne produktów Quick Bird Basic i Standard

Satelita Quick Bird umieszczony został na orbicie na wysokości 450 km w dniu 18.10.2001 roku. Dane panchromatyczne w zakresie widma od 450 nm do 900 nm zbierane są pikselem  $GSD=0.61$  m w nadirze i 0.72 m poza nadirem w pasie o szerokości 16.5 km i rejestrowane jako obraz 11 bitowy/piksel (2048 poziomów szarości). Dane Standard przepróbkowane są następnie do piksela  $GSD=0.7$  m.

Najtańszy produkt Basic (1B) jest skorygowany radiometrycznie i za kalibrację skanera. Do danych obrazowych dołączane są dane ISD (Image Support Data), które zawierają m.in.: dane kalibracji i kąty nachylenia sensora, współczynniki RPC (Rational Polynomial Coefficients). Scena składa się z 27 424 linii x 27 552 kolumn (pikseli w linii), co odpowiada obszarowi 16.5 x 16.5 km.

Produkt Standard (2A) z pikselem  $GSD=70$  cm jest po korekcji radiometrycznej, korekcji sensora, oraz korekcji geometrycznej do zadanej projekcji kartograficznej. Korekcje obejmują m.in.: radiometryczną korekcję detektorów, korekcję danych radiometrycznych do wartości absolutnych, korekcję dystorsji optycznej skanera, linii skanowania, elementów orientacji wewnętrznej sensora, wpływu niestabilności lotu satelity na orbicie, krzywiznę Ziemi i jej obrót oraz dystorsję panoramiczną. Do minimalizacji zniekształceń sceny wykorzystywany jest zgrubny NMT. Każda scena korygowana jest niezależnie przez firmę DigitalGlobe.

## 3. Dokładność generowania ortofotomap cyfrowych

W zależności od metody korekcji danych "surowych" otrzymuje się różne dokładności ortofotomap cyfrowych. Zalecana jest metoda ścisła opracowania danych surowych IKONOS i Quick Bird, którą opracował m.in. dr Therry Toutin z CCRS z Kanady (włączona jest ona w moduł opracowania ortofotomapy w oprogramowaniu PCI Ortho Engine). Nowy moduł "Quick Bird Rigorous Model" będzie wkrótce dostępny w oprogramowaniu firmy PCA. Firma Z/I Imaging opracowała moduł pod nazwą "IKONOS Tools". Moduły te pozwalają na orientację sceny (scen stereo) i opracowanie ortofotomapy na podstawie danych dostarczanych przez firmy Space Imaging i Digital Globe oraz współrzędnych przestrzennych tylko kilku fotopunktów.

Dla danych IKONOS CARTERRA Geo i terenu o deniwelacji  $\Delta h < 60$  m otrzymano błąd średni położenia szczegółu sytuacyjnego ortofotomapy  $m_x = m_y = \pm 1.3$  m. Dla danych Quick Bird Basic i terenu o deniwelacji  $\Delta h$  około 100m otrzymano  $m_x = m_y = \pm 0.9$  m. Do opracowania ortofotomapy użyto NMT w siatce 30 x 30 m charakteryzujący się dokładnością  $m_z = \pm 2$  m.

Dokładność opracowania w IGIK ortofotomapy terenu płaskiego (bez danych sensora, który wówczas nie był dostępny) na podstawie surowych danych IKONOS CARTERRA Geo na podstawie tylko 5 fotopunktów, których współrzędne określono z mapy topograficznej w skali 1:10 000 wynosi:  $m_x = m_y = \pm 3.6$  m. Ze względu na

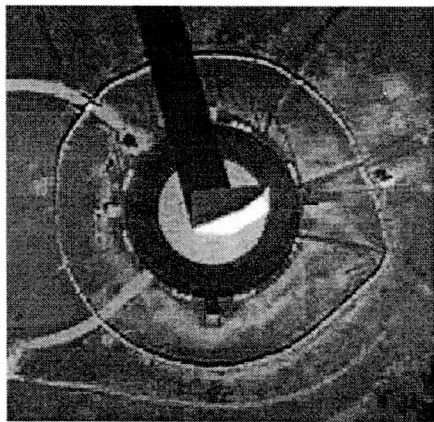
użycie współrzędnych fotopunktów z mapy topograficznej uważamy, że duży wpływ na dokładność ortofotomapy mają błędy ich wyznaczenia.

Oprogramowania fotogrametryczne firm ERDAS, Z/I Imaging i PCI umożliwiają wykorzystywane modelu sensora systemu IKONOS i funkcji RPC (Rational Functions Coefficient do bardziej precyzyjnej ortorektyfikacji. Podczas testów wykonanych w Polsce w 2002 r. uzyskano wyniki o RMSE poniżej 1 metra, dla terenów o różnych deniwelacjach.

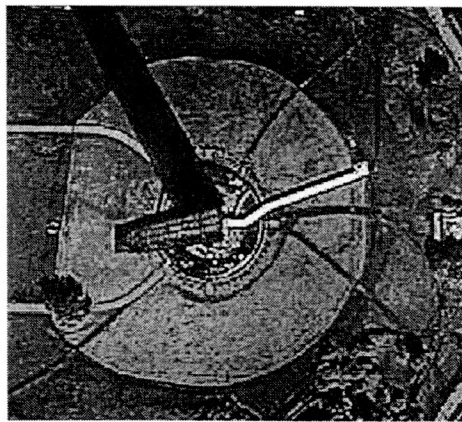
Informacyjność wysokorozdzielczych danych satelitarnych IKONOS Pan zapewnia opracowanie map w skalach 1:10 000 (Jacobsen, 2002).

Wyniki uzyskane w Polsce przez Bałtyckie Centrum Systemów Informacji Przestrzennej dowodzą, że można uzyskać ortofotomapę odpowiadającą skali 1: 5 000 z błędem położenia punktu sytuacyjnego poniżej 1 m, opracowaną na podstawie obrazów panchromatycznych IKONOS z odchyleniem sensora od nadiru nie przekraczającym 18°, NMT z siatką 20 m x 20 m i dokładnością wyznaczenia wysokości 2- 3 metry, oraz użyciu 7- 10 fotopunktów, zidentyfikowanych i pomierzonych w terenie zgodnie z wymaganiami SPACE IMAGING Inc (Lach 2002).

Na poniższych rysunkach zamieszczono przykładowe dane satelitarne IKONOS i Quick Bird.



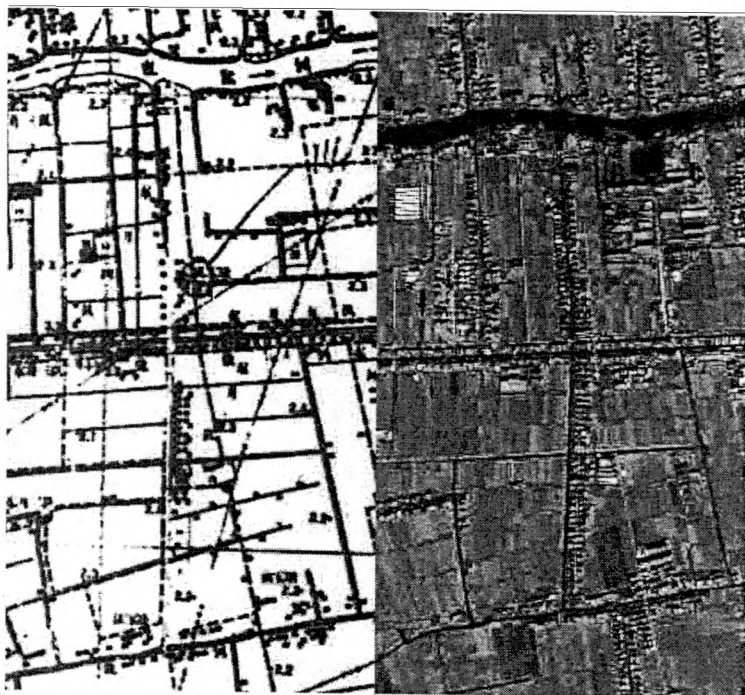
61 CM Resolution



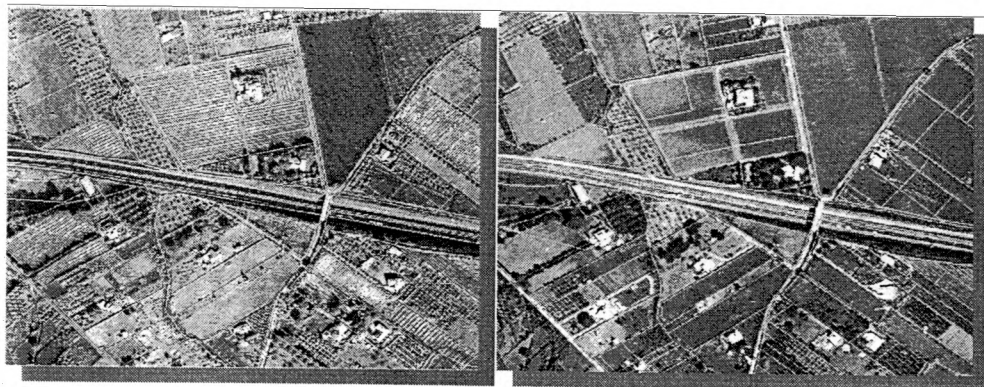
1 Meter Resolution

Rys. 1. Dane satelitarne o różnych wielkościach GSD (Eurimage)





Rys. 2. Mapa topograficzna w skali 1:10 000 i ortofotomapa z pikselem 1m.



Rys. 3. Pomniejszona ortofotomapa (oryginał w skali 1:4000) z nałożoną treścią wektorową opracowana na podstawie zdjęć lotniczych (z lewej) i opracowana z danych Quick Bird Pan z prawej (Eurimage).

### Literatura:

- Biagini B., 2002, QuickBird Capabilities. Euroimage, Warsaw meeting 2.07.2002.
- Cheng Ph., Toutin T., 2002, IKONOS and QuickBird orthorectification. ASPRS Congress, Washington.
- Curt H. Davis, Xiangyun Wang, Planimetric accuracy of IKONOS 1-m panchromatic image products.
- Gene D., Grodecki J., 2002, Block Adjustment with Rational Polynomial Camera Models. ASPRS Congress, Washington.
- Grodecki J., Gene D., 2001, IKONOS Geometric accuracy. ISPRS Workshop, Hanover, Sept. 19-21.2001.
- Jacobsen K., 2002, Generation of orthophotos with CARTERRA Geo images without orientation information. ASPRS Congress, Washington.
- Kaczyński R., Ewiak I., Ren Wei Chun, Yang Ming Hui, 2001, Evaluation of Panchromatic IKONOS data for Mapping. Geodesy and Cartography. Vilnius, Vol. XXVII, No 4, pp. 157-160.
- Lach R., Misiun C., 2002. Wyniki ortorektyfikacji zdjęć satelitarnych IKONOS w Polsce dla obiektów: Bytom, Nowy Sącz, Kraśnik, Gostynin; opracowanie udostępnione przez Bałtyckie Centrum S.I.P.
- Toutin T., Cheng Ph. 2002, A Milestone for High Resolution Mapping. Earth Observation Magazine, Vol. 11, No 4.
- Tao C. Vincent, Yong Hu, 2001, The Rational Function Model: A Tool for Processing High-resolution Imagery. Earth Observation Magazine, USA.
- Tao C. Vincent, Yong Hu, Steve Schnick, 2002, Photogrammetric Exploitation of IKONOS imagery using the Rational Function Model. ASPRS Congress, Washington,

Recenzował: dr inż. Zdzisław Kurczyński