

ROMUALD KACZYŃSKI

Instytut Geodezji i Kartografii w Warszawie

NAJNOWSZE TECHNIKI FOTOGRAMETRII LOTNICZEJ I SATELITARNEJ

1. FOTOGRAMETRIA LOTNICZA

Od niedawna na rynku dostępne są profesjonalne, fotogrametryczne kamery cyfrowe produkowane m.in. przez firmy Leica Geosystems i Z/I Imaging.

Pierwszy typ kamery oparty jest na wykorzystaniu linijek detektorów CCD, drugi na wykorzystaniu matryc złożonych z pojedynczych detektorów.

Uzyskanie wystarczająco dokładnych elementów orientacji zewnętrznej (kątów nachylenia zdjęcia: ω , φ , χ oraz współrzędnych środków rzutów: X_0 , Y_0 , Z_0) każdej linii obrazu jest możliwe dzięki stosowaniu systemu pozycjonowania dGPS/INS. Znajomość tych elementów pozwala, podczas cyfrowego opracowania, na wyeliminowanie zniekształceń każdej linii obrazu, sprowadzając nalot do przypadku lotu idealnie stabilnego.

W kamerze cyfrowej typu matrycowego zastosowano konstrukcję modułową, w której duże powierzchnie terenu fotografowane są jednocześnie przez kilka kamer. Uzyskane w ten sposób obrazy łączone są w jeden obraz zwany wirtualnym, który podlega dalszemu opracowaniu, **taką samą** technologią, jaką stosuje się do opracowania skanowanych zdjęć lotniczych.

Obrazy wykonane kamerami cyfrowymi można opracować bez korzystania z systemu pozycjonowania dGPS/INS, ale podobnie jak w przypadku zdjęć na filmie wymagane jest rozwinięcie aerotriangulacji blokowej.

W porównaniu z tradycyjnymi kamerami fotogrametrycznymi na błonę filmową, kamery cyfrowe pozwoliły m. in. na:

- wyeliminowanie migawki aparatu,

- wyeliminowanie stosowania błony filmowej i obróbki fotochemicznej,
- wyeliminowanie procesu skanowania zdjęć,
- podwyższenie radiometrycznej zdolności rozdzielczej obrazu do 12 bitów na piksel,
- wykonania podczas lotu fotogrametrycznego zobrazowań panchromatycznych i wielospektralnych,
- szybki dostęp do surowych danych cyfrowych i parametrów lotu.

Kamera ADS 40

Kamera cyfrowa firmy ADS 40 LH Systems to optyczno-elektroniczny skaner z 3 linijkami detektorów.

Dane techniczne kamery ADS 40 [Fricker i in. 1999]

Metoda pozyskiwania obrazów panchromatycznych	3 linijki CCD z detektorem SH40, dane stereoskopowe
Ilość pikseli w linii	12 000
Wymiar piksela	6,5 μm
Zakres dynamiczny	12 bitów
Rozdzielczość radiometryczna	8 bitów
Pole widzenia w stopniach	64
Kalibrowana odległość obrazowania	62.77 mm
Zdolność rozdzielcza obiektywu [lp/mm]	150 dla przysłony 1:4
Pojemność dysków MM40	216 + 438 GB
Zakres rejestracji dla GSD 15 cm 30 cm 60 cm	240 km 480 km 970 km
Maksymalna wysokość lotu	7600 m dla kabiny niehermetyzowanej
Zawieszenie stabilizowane żyroskopowo	Leica PAV 30
Kontrola lotu i pracy kamery	CU 40 i FCMS

Stereoskopowy obraz panchromatyczny pozyskiwany jest w trybie ciągłym do przodu z kątem widzenia 28.4° od nadiru oraz wstecz pod kątem 14.2° . Każdy ma dwie linijki składające się z 12 000 elementów (pikseli) przesunięte względem siebie o $1/2$ piksela (tj. o $3.25 \mu\text{m}$).

Zobrazowanie w kanałach R, G, B pozyskiwane jest czterema linijkami CCD poprzez filtry interferencyjne w kierunku do przodu, a w zakresie NIR w nadirze. Zakres dynamiczny detektorów wynosi 12 bitów, a radiometryczna zdolność rozdzielcza wynosi 8 bitów i jest rejestrowana co 1.2 ms/linię. Zakresy rejestracji: Panchromatyczny kanał: $0.465\text{--}0.68 \mu\text{m}$; Red: $0.61\text{--}0.66 \mu\text{m}$; Green: $0.535\text{--}0.585 \mu\text{m}$; Blue: $0.43\text{--}0.49 \mu\text{m}$; NIR: $0.835\text{--}0.885 \mu\text{m}$. Pole zobrazowania w kierunku prostopadłym do kierunku lotu wynosi 64° . Przy szybkości samolotu $V = 370 \text{ km/h}$ i wysokości lotu $H = 2880 \text{ m}$ terenowy wymiar piksela (GSD) wynosi 15 cm. Z uwagi na ruch samolotu w trakcie skanowania linie nie są do siebie równoległe. Dlatego też dane surowe (poziom 0) muszą być przetworzone do poziomu pierwszego. Do tego celu wykorzystuje się zobrazowanie surowe i elementy orientacji każdej linii pozyskane z systemu GPS/INS POS Applanix. Dane te następnie można użyć do przeprowadzenia aerotriangulacji. Dane cyfrowe z poziomu pierwszego i dane orientacji mogą być następnie użyte do cyfrowych opracowań NMT, ortofotomap, mozaikowania np. systemem SOCET SET. Dane ze skanera trzylinijkowego wymagają więcej wstępnych przetworzeń aniżeli dane cyfrowe z kamer z matrycą detektorów.

Kamera DMC 2001 Z/I Imaging

W celu zwiększenia rozdzielczości i zasięgu rejestracji skonstruowano kamerę wieloobiektywową o konstrukcji modułowej Digital Modular Camera (DMC 2001).

Kamera umieszczona jest na podwieszeniu T-AS firmy Carl Zeiss stabilizowanym żyroskopowo. Stosowany jest również system Forward Motion Compensation (FMC) metodą elektroniczną do eliminacji wpływu rozmazu obrazu. Systemy CCNS4 i AEROcontrol stosowane są do rejestracji pozycji (metodą GPS/INS) oraz do planowania i realizacji nalotu fotogrametrycznego.

W trakcie lotu rejestrowane są cztery obrazy panchromatyczne (tzw. *sub-images*) w tym samym momencie; dwa w kierunku lotu sa-

molotu oraz dwa w kierunku poprzecznym, co pozwala na otrzymanie obrazów stereoskopowych.

W procesie wstępnego przetworzenia obrazów modułowych z czterech obrazów generowany jest jeden ekwiwalentny obraz wirtualny (*virtual image*), który odpowiada jednemu „zdjęciu perspektywicznemu”. GSD, czyli rozmiar piksela terenowego na takim obrazie, jest zawsze kwadratem.

Dane modułu panchromatycznego mozaikowej kamery DMC

Typ pozyskiwania obrazów panchromatycznych Moduł <i>sub-image</i>:	Macierz detektorów
Kalibrowana odległość obrazowa	120 mm
Wymiar piksela	12 μm
Pole widzenia (kierunek linii/pikseli)	23° x 39°
Rozdzielczość radiometryczna	12 bitów
Wymiary zobrazowania [mm]	49.15 x 86.02
Wymiary zobrazowania [pikseli]	4096 x 7168
Obraz wirtualny (<i>virtual image</i>)	
Odległość obrazowa	120 mm
Wymiar piksela	12 μm
Wymiar obrazu [pikseli]	8000 x 13 500
Wymiar obrazu [mm]	95 x 168
Pole widzenia (w kierunku linii/pikseli)	44° x 77°
Pojemność urządzenia rejestrującego	3 x 250 GB, tj. około 2 tys. obrazów
Waga kamery	80 kG

Dzięki zachowanej projekcji centralnej obraz przetwarzany jest z wykorzystaniem tego samego oprogramowania, jaki stosuje się do opracowań zdjęć skanowanych. Równoległe z obrazowaniem panchromatycznym mogą być również rejestrowane cztery zobrazowania spektralne.

System DMC składa się z kamery, GPS, IMU (system GPS/INS), stabilizowanego żyroskopowo podwieszenia kamery T-AS, monitora sterującego, RTC, 3 dysków FDS o pojemności 250 GB każdy, co pozwala na rejestrację 2200 obrazów.

Przetwarzanie wstępne obejmuje jedynie korekcję radiometryczną i geometryczną oraz utworzenie obrazu wirtualnego z 4 obrazów częściowych.

Dokładność opracowania zobrażeń z kamer cyfrowych:		
skala	1:3800	1:21 600
GSD (piksel)	5 cm	25 cm
AT sigma 0	2.3 μ m	2.1 μ m
piksel orto	7.5 cm	30 cm

2. WYSOKOROZDZIELCZE ZOBRAZOWANIA SATELITARNE

Od kilku lat na orbicie okołoziemskiej znajdują się nowe systemy zbierające dane panchromatyczne oraz w czterech zakresach spektralnych (R, G, B, NIR) w tym m.in. IKONOS, QuickBird i EROS.

Wybrane parametry satelitów wysokorozdzielczych

Parametr	QuickBird-2	IKONOS-2	EROS-A1
H lotu na orbicie	450 km	680 km	480 km
GSD w nadirze Pan	0.61 m	0.81 m	1.8 m
Kanały spektralne	Pan + 4 MS	Pan + 4 MS	Pan
Szerokość pasa	16.5 km	11 km	12.5 km
Czas rewizyty	5 dni	3 dni	2 dni
Rejestracja danych	137 GB	64 GB	
GSD w nadirze spektralne	2.44 m	4 m	-
Na orbicie od:	X 2001 r.	IX 1999 r.	XII 2000 r.
Stacje odbiorcze danych	USA	m.in. w Polsce	m.in. w Izraelu

Dane z satelity QuickBird wykorzystuje się w Anglii jako dodatkowe dane źródłowe do detekcji zmian rejonów w celu aktualizacji map w skalach od 1:6000 do 1:10 000.

Dla opracowania danych z QuickBird i Ikonos współrzędne płaskie fotopunktów naturalnych mierzy się z dokładnością M_p od 0.2 m do 0.4 m. Ortofotobrazy generuje się z dokładnością $M_p = 0.6$ m z danych QuickBird i $M_p = 0.8$ m z danych IKONOS. Aby otrzymać taką dokładność używa się NMT z danych pomierzonych systemem LIDAR ($M_z < 1$ m).

W Szwajcarii dane z IKONOS i QuickBird wykorzystywane są do aktualizacji sieci komunikacyjnej. W celu określenia dokładności porównano ortofotomapy cyfrowe wykonane ze zdjęć lotniczych (piksel 0.5 m) z ortofotomapami wygenerowanymi z danych IKONOS (piksel 1 m) i QuickBird (piksel 0.6 m). Otrzymano: $M_p = 0.6$ m dla orto ze zdjęć lotniczych, $M_p = 0.75$ m z danych QuickBird i $M_p = 0.9$ m z danych IKONOS. Kompletność sieci drogowej: 91% dla lotniczych, 54% z IKONOS i 73% z QuickBird. Dokładność położenia dróg: 95% lotnicze, 81% IKONOS i 90% QuickBird.

W ramach programu HRS-SAP, pilotowanego przez ISPRS i CNES, opracowano nowe dane SPOT 5 HRS (stereoskopowe z pikselem 5 m x 10 m). Otrzymano dokładność $M_{x,y} = 15$ m i $M_z = 10$ m bez użycia fotopunktów i odpowiednio większą z ich użyciem.

W IGIK zbadano dokładność opracowania NMT i ortofotomapy na podstawie stereoskopowych zobrazowań IKONOS Pan. Opracowano dwie sceny rejonu Rzeszowa pozyskane w lipcu 2001 r. z stosunkiem bazowym $B/H = 1:1.8$ i kątach wychylenia lustra od nadiru 11.5° i 29.3° . Do ortorektyfikacji sceny o wychyleniu 11.5° od nadiru użyto fotopunktów wyznaczonych w terenie metodą GPS z $M_{x,y} = 0.3$ m i $M_z = 0.4$ m oraz NMT z siatką o oczku 25 m x 25 m i dokładności $M_z < 0.8$ m.

Do orientacji sceny stereoskopowej użyto 10 fotopunktów naturalnych oraz metadanych. Otrzymano $M_x = 0.7$ m, $M_y = 0.6$ m, $M_z = 0.7$ m na fotopunktach oraz na 23 niezależnych punktach kontrolnych: $M_x = 0.7$ m; $M_y = 0.7$ m; $M_z = 0.9$ m. Do wygenerowania referencyjnego NMT ze zdjęć lotniczych w skali 1:26 000 z siatką 25 m x 25 m użyto program MATCH-T Inpho. NMT wygenerowano również z danych stereoskopowych IKONOS. Otrzymane modele porównano oprogramowaniem MGE Terrain Analyst INTERGRAPH. Analizę przeprowadzono na 1820 punktach reprezentujących różne typy terenu (miasto, łąki, teren pofałdowany). Otrzymano: $M_z = 0.7$ m

dla terenu miejskiego, $M_z = 0.5$ m dla łąk i $M_z = 0.7$ m dla terenów falistych. Ortoobrazy wygenerowano z pikselem $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ z dokładnością $M_{x,y}$ od 1 m do 2 m. Stwierdzono, że 7 fotopunktów oraz wielomian I stopnia wystarcza do orientacji sceny IKONOS terenów płaskich oraz 12–15 fotopunktów dla terenów górskich. Wpasowanie sceny do układu geodezyjnego jest wówczas $M_{x,y} = 1$ m.

Prezentowane są wyniki opracowania sceny **QuickBird Pan** z $GSD = 0.62$ m rejonu Polski, pozyskanej 20 sierpnia 2002 r. przy prawie pionowej osi skanera dla terenu o deniwelacji w przedziale 150–275 m. W terenie pomierzono techniką GPS 12 naturalnych fotopunktów, których identyfikacja dla współrzędnych X i Y jest z dokładnością 0.4 m. Autor uważa, że do wpasowania sceny w układ geodezyjny wystarcza od 5 do 7 fotopunktów, tj. jeden fotopunkt na 45 km^2 . Użycie tej liczby fotopunktów i współczynników RPC oraz wielomianu pierwszego stopnia pozwala na orientację sceny z dokładnością $RM_{Sxy} = 0.9$ m. Dokładność określono na podstawie niezależnych punktów kontrolnych, które nie były użyte do orientacji sceny. Do ortorektyfikacji użyto NMT z siatką $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ i $M_z < 2\text{ m}$. Używając ścisłego modelu kamery, 6 fotopunktów oraz wielomianu pierwszego stopnia uzyskano dokładność ortofotomapy $M_{x,y} = 1$ m.

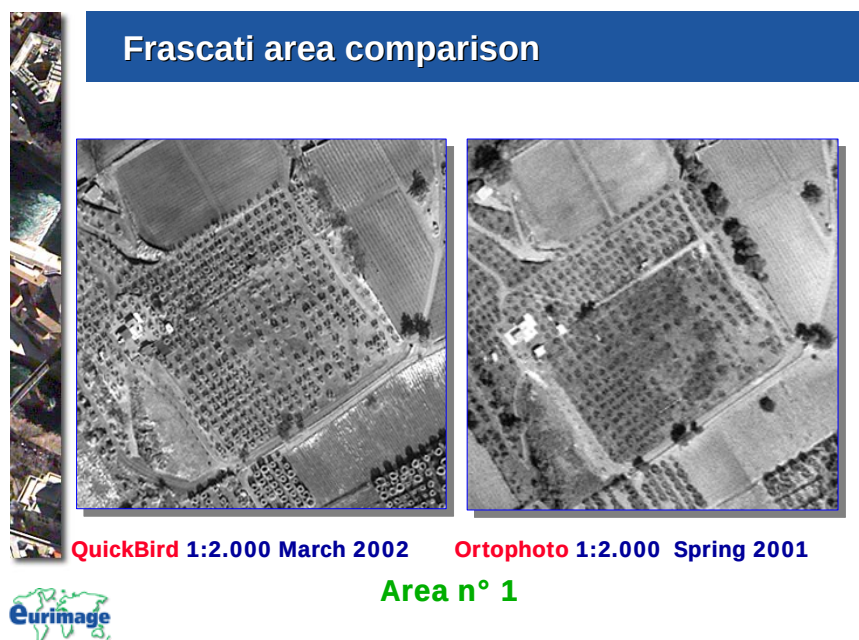
Toutin z CCRS z Kanady i Volpe z EURIMAGE otrzymali dokładność $M_{x,y} < 1$ m, korzystając ze ścisłego modelu kamery QuickBird oraz z użyciem tylko 6 fotopunktów.

Zalety wysokorozdzielczych zobrazowań IKONOS i QuickBird

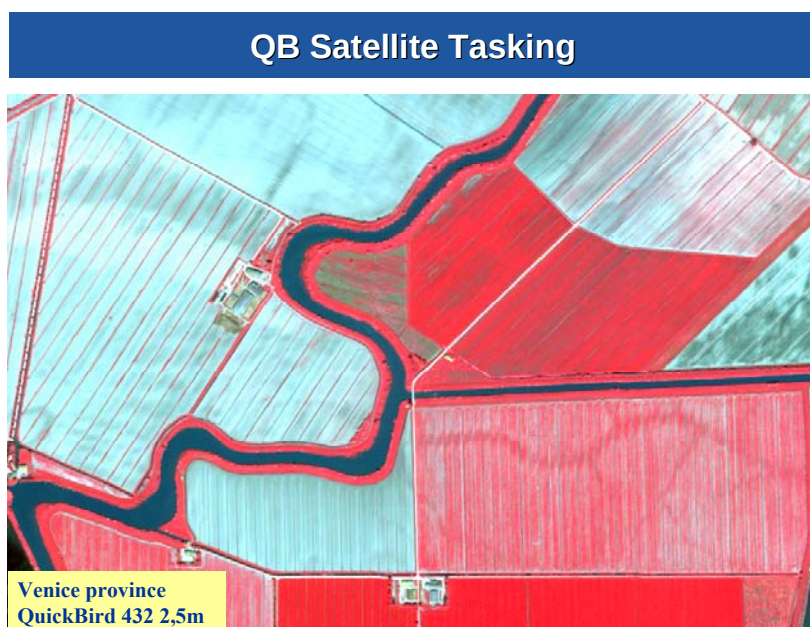
- Satelity znajdują się na orbicie całą dobę i cały rok bez przerwy oraz bez konieczności lądowania.
- Nie jest wymagana zgoda na nalot fotogrametryczny dla danego rejonu.
- Zobrazowania wykonywane są w zakresie widzialnym i bliskiej podczerwieni.
- Cechuje je lepsza zdolność radiometryczna niż zdjęć lotniczych.
- Występuje duża powtarzalność rejestracji tego samego rejonu (co kilka dni), co jest szczególnie przydatne w przypadku rejestracji rejonów, w których wystąpiła klęska żywiołowa lub rejestracji częstych zmian.
- W krótkim czasie rejestrowany jest duży obszar, np. na jednej scenie QuickBird zarejestrowany jest obszar o powierzchni $16.5\text{ km} \times 16.5\text{ km}$, podczas gdy obszar jednego zdjęcia lotniczego

w skali 1:25 000 obejmuje maksymalnie 5.7 km x 5.7 km, tj. prawie 10 razy mniej.

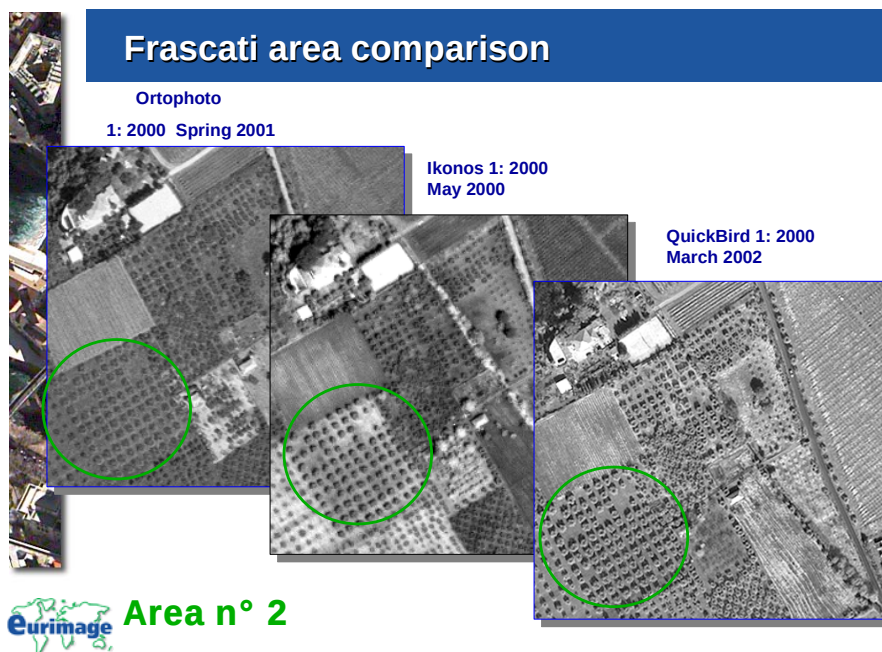
- Dane są wykorzystywane przez wielu użytkowników, nie tylko w celu opracowania map. Dotyczy to w szczególności danych wielospektralnych, które mogą być wykorzystane do zasilania lub budowy GIS dla różnych celów. Jeden obraz z satelity QuickBird lub IKONOS rejestruje obrazy z rozdzielczością radiometryczną 11-bitów w zakresie: panchromatycznym (zakres widzialny i bliska podczerwień), widzialnym w kanałach: R, G, B, bliskiej podczerwieni.
- Istnieje możliwość opracowania rejonów niedostępnych oraz niemożliwych do wykonania nalotu fotolotniczego.
- Do opracowania sceny wystarcza 6 fotopunktów o znanych współrzędnych geodezyjnych, tj. 1 fotopunkt przypada na 45 km².
- Niepotrzebne jest utrzymywanie przez cały rok samolotu fotogrametrycznego, specjalistycznej załogi fotolotniczej oraz drogiej kamery fotogrametrycznej.
- Niepotrzebny jest drogi sprzęt i chemikalia do obróbki fotochemicznej filmów lotniczych.
- Niepotrzebny jest drogi skaner fotogrametryczny i proces skanowania zdjęć.
- Niepotrzebne jest przeprowadzenie aerotriangulacji cyfrowej bloku zdjęć lotniczych oraz kosztowne oprogramowanie do jej przeprowadzenia.
- Opracowanie danych satelitarnych jest stosunkowo szybkie.
- Występuje możliwość opracowania szczegółów sytuacyjnych w cieniach.
- Występuje duża automatyzacja opracowań danych.
- Cechuje je *true ortho*, czyli ortoobraz bez przesunięć obrazów obiektów wystających powyżej powierzchni terenu dla obrazów rejestrowanych w nadirze.
- Od września 2004 r. obrazy m.in. z satelity IKONOS rejestrowane są w Polsce przez stację odbiorczą w Komorowie w Satelitarnym Centrum Operacji Regionalnych (SCOR).



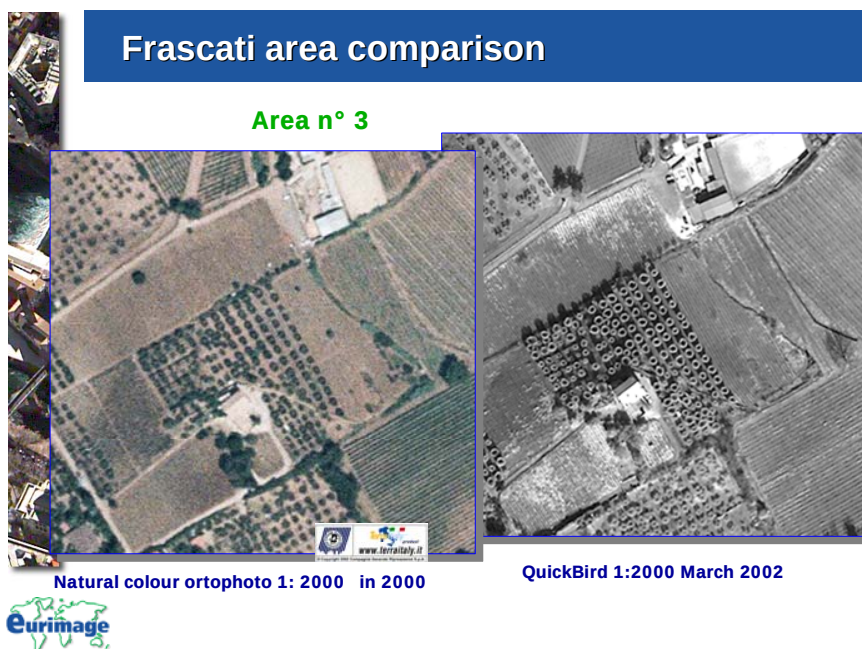
Rys. 1. Ortofotomapa z danych Pan QuickBird i ortofotomapa ze zdjęć lotniczych tego samego rejonu we Włoszech. DigitalGlobe i EURIMAGE



Rys. 2. Kompozycja barwna z kanałów IR, R, G z danych QuickBird. DigitalGlobe i EURIMAGE



Rys. 3. Ortofotomapa ze zdjęć lotniczych, z IKONOS Pan oraz z danych QuickBird Pan. EURIMAGE



Rys. 4. Ortofotomapa z barwnych zdjęć lotniczych oraz z danych QuickBird Pan. EURIMAGE

Ograniczenia wysokorozdzielczych zobrazowań satelitarnych

- Duży wpływ warunków pogodowych. Trudno jest otrzymać obrazy rejonów w Polsce bez częściowego zachmurzenia.
- Mniejsza terenowa zdolność rozdzielcza niż wielkoskalowych zdjęć lotniczych (15–25 cm). Jednakże takie zdjęcia wykorzystuje się tylko do opracowań map wielkoskalowych terenów zurbanizowanych.
- Terenowa zdolność rozdzielcza (GSD) odpowiada zdjęciom lotniczym wykonanym w skali około 1:30 000.
- Do opracowania ortofotomap cyfrowych z zobrazowań monoskopowych (jakich się głównie używa) potrzebny jest NMT z dokładnością $RMSz < 3$ m.
- Do dokładnych opracowań można korzystać jedynie z zobrazowań o kącie wychylenia lustra skanera poniżej 18° , szczególnie dla terenów o małej dokładności NMT oraz dla opracowań obszarów o małej deniwelacji.
- Konieczne jest specjalistyczne oprogramowanie oraz *know how*.

Możliwości zastosowań wysokorozdzielczych danych satelitarnych

Kartografia

Dane z satelity IKONOS lub QuickBird pozwalają na aktualizację materiałów kartograficznych w skali 1:25 000 nawet bez wykorzystania fotopunktów. Dane IKONOS Pan i Pan-Sharpener pozwalają na ekstrakcję szczegółów topograficznych dla opracowania map według standardów National Imaging and Mapping Agency (NIMA – obecnie agencja zmieniła nazwę na NGA).

Przy użyciu fotopunktów istnieje możliwość stosowania danych QuickBird nawet do aktualizacji map w skali 1:5 000 takich elementów topograficznych jak:

- osie dróg i ulic,
- zarysy budynków,
- linii kolejowych,
- mostów i wiaduktów,
- kanałów i rzek,
- parkingi i place.

Wysokorozdzielcze dane satelitarne IKONOS i QuickBird są cenne nie tylko do celów opracowywania map topograficznych czy ortofotomap cyfrowych, ale również dla gospodarki narodowej, w tym m.in. dla:

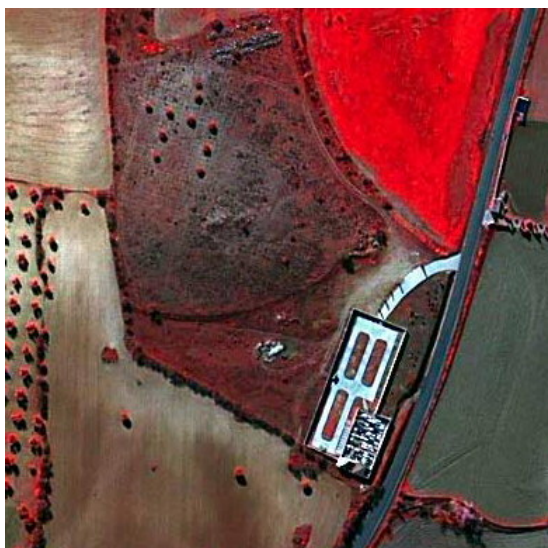
- rolnictwa (m.in. badanie stanu zasiewów),
- IACS przy zdalnej, obiektywnej metodzie kontroli zasiewów,
- leśnictwa,
- planowania przestrzennego,
- ochrony środowiska,
- planowania i monitorowania rozwoju miast,
- katastru fiskalnego,
- obronności i rozpoznania wojskowego.

W roku 2006 planowane jest umieszczenie na orbicie nowego satelity IKONOS Block II, który z wysokości od 550 km do 770 km będzie obrazował powierzchnię Ziemi z GSD = 0.25 m w nadirze i 0.5 m przy odchyleniu lustra do 60°. Szerokość pasa zobrazowania będzie równa 15.4 km w nadirze i 20.5 km dla kąta 60°. Będzie obrazował ten sam wycinek powierzchni Ziemi pikselem 1 m x 1 m codziennie i pikselem 0.5 m co 3 dni.

Również w 2006 r. planowany jest nowy satelita QuickBird, który operacyjnie będzie pozyskiwał dane z pikselem 0.46 m w kanale panchromatycznym oraz w 8 kanałach spektralnych.

Porównanie parametrów QuickBird-2 i satelity WorldView 110

Parametr	QuickBird-2	WorldView 110
H lotu [km]	450	770
Kanały spektralne	Pan + 4MS	Pan + 8MS
GSD w nadirze dla Pan	0.61 m	0.46 m
GSD w nadirze dla MS	2.4 m	1.8 m
Czas rewizyty	5 dni	od 3 do 1 dnia
Szer. pasa zobrazowania	16.5 km	16.8 km
Rejestracja danych	137 GB	1600 GB
Szybkość transmisji danych	320 MB/s	800 MB/s
Metody przesyłania danych	stacja wirtualna (VGT)	VGT i bezpośrednio



Rys. 5. Kompozycja do interpretacji użytków rolnych z danych QuickBird MS



Rys. 6. Kompozycja w barwach umownych z danych QuickBird MS dla leśnictwa



Rys. 7. Skrzyżowanie alei Wilanowskiej z ul. Modzelewskiego:
zdjęcie barwne 1:26 000 i QuickBird Pan

Podziękowanie

Do wybrania właściwej drogi badań w zakresie teledetekcji satelitarnej przyczyniły się w znacznym stopniu dyskusje z Szanownym Jubilatem.

LITERATURA

- Baltsavias E., Sullivan L.O., Zhang C., 2004, *Automated Road Extraction and updating using the ATOMI System – Performance Comparison between Aerial film, ADS 40, Ikonos and QuickBird orthoimagery*. Comm. II, ISPRS Istanbul.
- Cheng P., Toutin T., Zhang Y., Wood M., 2003, *QuickBird Geometric Correction, Path and Block Processing and Data Fusion*. EOM, May 2003.
- Cheng Ph., Toutin T., 2002, *IKONOS and QuickBird orthorectification*. ASPRS Congress, Washington.
- Civil & Commercial Applications Project, 2002, *Evaluation of IKONOS Pan, MSI and Pan-Sharpener Imagery for Suitability to Feature Extraction Tasks*. Braxton.

- Curt H. Davis, Xiangyun Wang, *Planimetric accuracy of IKONOS 1-m panchromatic image products*.
- Holland D., Marshall P., *Using High Resolution Satellite Imagery in well-mapped country*, Ordnance Survey, U. K.
- Eisenbaiss H., Baltsavias E., Pateraki M., Zhang I., 2004, *Potential of IKONOS and QuickBird imagery for accurate 3D point positioning, orthoimage and DSM generation*. Comm. III, ISPRS Istanbul.
- Ewiak I., Kaczyński R., *Accuracy of DTM generated from SPOT 4 and SPOT 5- HRS data*. Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing. XX ISPRS Congress, Istanbul, XXXV, B1, Comm. I, pp. 474 – 478.
- 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., Majde A., *Accuracy of DTM and ortho generated from IKONOS stereo data*. Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing. XX ISPRS Congress, Istanbul, XXXV, B4, Comm. IV, pp. 463 – 464.
- Kaczyński R., Ewiak I., R.W. Chun, Yang Ming Hui, 2001, *Evaluation of Pan IKONOS data for mapping*. Geodesy and Cartography. Vol. XXVII, No 4, pp. 157 – 160. Vilnius.
- Karwel K., 2004, *Określenie zakresu przydatności wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych z systemu IKONOS w pracach geodezyjnych*, Praca dyplomowa na Politechnice Warszawskiej, Warszawa.
- Lach R., Misiun C., 2002, *Technologiczna granica dokładności opracowania ortofotomap na podstawie ortorektyfikacji wysokorozdzielczych danych satelitarnych IKONOS i QuickBird*. Bałtyckie Centrum Systemów Informacji Przestrzennej: Wyniki prac testowych na obiekcie IKONOS- Nowy Sącz. Sopot.

- Lach R., Misiun C., 2002, *Wyniki ortorektifikacji zdjęć satelitarnych IKONOS w Polsce dla obiektów: Bytom, Nowy Sącz, Kraśnik, Gostynin*; Bałtyckie Centrum S.I.P.
- Madani M., Dorstel C., Heipke C., Jacobsen K., 2004, *DMC practical Experience and accuracy assessment*. Comm. I, ISPRS Istanbul.
- Majde A., Kaczyński R., Ziobro J., 2002, *Określenie nowych cech zdjęć satelitarnych najnowszej generacji*. Projekt badawczy KBN Nr 9 T12E 022 19. Warszawa.
- Nale D. K., 2002, *QuickBird and Aerial Product Comparison*. EMAP International, August 2002.
- 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.
- Toutin T., Cheng P., 2002, *QuickBird – a Milestone for High Resolution Mapping*. EOM, Vol.11, No.4.
- Use of IKONOS for LPIS Coverage in Poland, 2003, ARiMR, Koln, November 2003.
- Volpe F., 2003, *Advanced processing of QuickBird products*. EURIMAGE Meeting, Frascati.
- Volpe Fabio, 2003, *Geometrical processing of a QuickBird image over Poland*. EURIMAGE Meeting, Frascati, 10 June 2003.
- Volpe Fabio, 2003, *Report on the geometrical processing of Valencia QuickBird scene*. EURIMAGE Meeting, Feascati, 4 June 2003.
- Wolniewicz W., *Assessment of Geometric Accuracy of VHR Satellite Images*. XX ISPRS Congress, Istanbul, Comm.I, WG 1/2.
- <http://www.edc-daac.usgs.gov>, <http://www.dlr.de/srtm>
<http://www.jpl.nasa.gov/srtm>, <http://photojournal.jpl.nasa.gov>
<http://www.LH-systems.com>, <http://www.ZIImaging.com>

Materiały ilustracyjne zamieszczono dzięki uprzejmości firm: SpaceImaging, DigitalGlobe, SCOR oraz EURIMAGE.