

Sekcja Fotogrametrii i Teledetekcji Komitetu Geodezji Polskiej Akademii Nauk
oraz
Zakład Fotogrametrii i Teledetekcji Akademii Rolniczej w Krakowie

Archiwum Fotogrametrii Kartografii i Teledetekcji
Vol. 6, 1997, str. 11-30

Zbigniew Sitek

KOMERCYJNE OBRAZY SATELITARNE ZIEMI I GIS W FOTOGRAMETRII CYFROWEJ

Streszczenie

Artykuł zarysowuje bieżące i przyszłe programy teledetekcyjne, które wykorzystują różnego rodzaju sensory. Szczególną uwagę poświęcono kilku komercyjnym obserwacyjnym satelitom Ziemi, które zostaną wyniesione na orbity wokółbiegunowe w najbliższych dziewięciu latach (1997-2005). Będą to satelity zarządzane przez amerykańskie instytucje prywatne i będące ich własnością - wyposażone w cyfrowe elektrooptyczne skanery obrazujące o bardzo wysokiej rozdzielczości przestrzennej, dostarczające obrazów panchromatycznych z rozdzielczością terenową 1 lub 3 metrów a w zakresach wielospektralnych od 4 do 15 metrów. Artykuł podaje dwie tablice. Jedna zestawia istniejące operacyjne, cywilne, gospodarcze systemy satelitarne. Druga tablica prezentuje wysokorozdzielcze, komercyjne satelity obserwacyjne Ziemi wraz z informacjami o ich orbitach i sensorach.

W artykule krótko opisano dwa zasadnicze zadania fotogrametrii cyfrowej i zamieszczono uwagi o nowych technikach korelacji satelitarnego obrazu stereoskopowego.

Artykuł rozważa także pewne wykorzystanie Cyfrowej Terenowej Wysokościowej Bazy Danych (CTWBD) w zastosowaniach GIS - zarówno te, które wymagają informacji wysokościowych takich jak CMT (Cyfrowy Model Terenu) oraz tych pochodzących z CMT tj. dotyczących nachylenia zboczy czy różnic wysokości.

Rozwój prywatnych, nowej generacji, wysokorozdzielczych systemów satelitarnych wskazuje, że zastosowanie zobrażeń z pułapu satelitarnego do opracowania map w skalach średnich, a być może i dużych stanie się wkrótce praktyczną rzeczywistością.

1. Wstęp

Z raportu Sekretariatu Organizacji Narodów Zjednoczonych (Konferencja Kartograficzna ONZ, Pekin, Maj 1994) wynika, że poza Europą i Ameryką Północną - stan opracowania map topograficznych zwłaszcza w skali 1:25 000 jest niewystarczający. Roczne powiększanie zasobów mapowych wynosi 2,8 %, a w skali 1:50 000 tylko 1,1 %. Natomiast aktualizacją tych map objętych jest odpowiednio rocznie 4,9 % i 2,3 % - i nie były one unaczęsniane odpowiednio od 20 i 45 lat.

Racjonalnego przyspieszenia opracowania i aktualizacji takich map można oczekiwać po zwiększonym wykorzystaniu do tego celu satelitarnych systemów obserwacyjnych a zwłaszcza nowych metod i systemów satelitarnych, które będą generowały obrazy nawet z rozdzielczością przestrzenną 1 metra, co umożliwi opracowanie także map wielkoskalowych zapewniając powtarzalność pomiaru co kilka dni. Obrazy o odpowiedniej rozdzielczości przestrzennej umożliwiają uzyskanie właściwej dokładności sytuacyjnej i wysokościowej w czasie opracowania mapy. I tak np. [4] obrazy z pikselami 1-2 m wystarczają do opracowania map w skali 1:10 000, z pikselami 3-5 m. w skali 1:25 000 a z pikselami 5 -10 m w skali 1:50 000. Należy też podkreślić, że opracowanie map z takich obrazów satelitarnych są 2 do 4 razy tańsze w porównaniu do opracowań ze zdjęć lotniczych i mogą dostarczać szybsze wyniki zwłaszcza przy aktualizacji map.

Zatem metody fotogrametrii konwencjonalnej (analogowej) i analitycznej mogą być zastąpione fotogrametrią cyfrową a obrazy fotograficzne zastąpione obrazami cyfrowymi zbieranymi bezpośrednio przez sensory satelitarne.

Do głównych zadań fotogrametrii cyfrowej w odniesieniu do opracowania map należą [3]:

- generowanie cyfrowej terenowej wysokościowej bazy danych (DTED¹),
- opracowanie map cyfrowych (wirtualnych) a w szczególności ortoobrazów cyfrowych.

DTED może być tworzona różnymi metodami korzystając z tradycyjnej fotogrametrii analitycznej lub przez digitalizację warstw i punktów wysokościowych z istniejących map i tworzenie z nich powierzchni. Trzecim źródłem jest wykorzystanie istniejących cyfrowych terenowych baz wysokościowych - jak to ma miejsce np. w Stanach Zjednoczonych, w Anglii i innych krajach.

Najszybszym jednak sposobem tworzenia DTED jest automatyczne generowanie cyfrowego modelu terenu z wykorzystaniem cyfrowych fotogrametrycznych stacji roboczych [10]. Szybkość operacyjna określania wysokości w tych stacjach przekracza 150 punktów na sekundę, co w porównaniu do

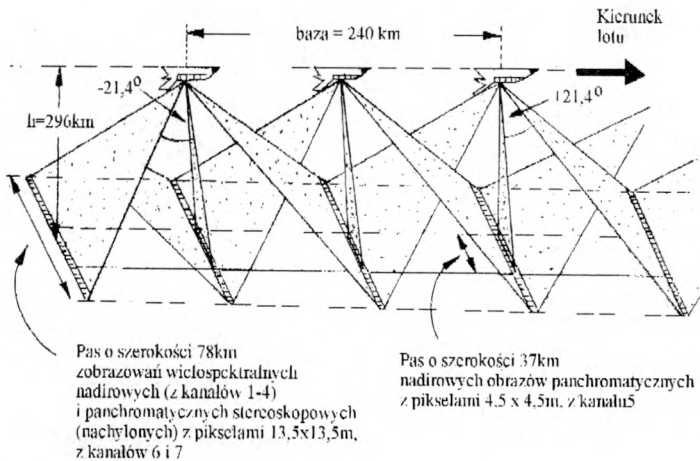
¹ w jęz.ang. Digital Terrain Elevation Database

analogowych lub analitycznych instrumentów fotogrametrycznych obsługiwanych przez operatorów jest niezwykle wydajne, gdyż osiągają tylko 6 do 10 punktów na minutę [8].

Wykorzystanie GIS w fotogrametrii cyfrowej dotyczy dwóch głównych rodzajów jego zastosowań. Jedne to te, które wymagają informacji wysokościowych (cyfrowego modelu wysokości) lub informacji pochodnych (nachylenie, położenie), a drugie są powiązane z mapami podstawowymi o wysokiej precyzji (obraz ortogonalny) albo przetwarzanymi obrazami stanowiącymi źródło danych wektorowych.

2. Istniejące satelitarne systemy obserwacyjne Ziemi

Tradycyjne obserwacyjne satelity Ziemi dzielą się na trzy typy: rozpoznawcze, meteorologiczne i gospodarcze. Zostały one zaprojektowane i skonstruowane z funduszy rządowych w programach rządowych. Dotyczy to programów satelitów gospodarczych takich jak amerykański Landsat, francuski SPOT, indyjski IRS 1A, 1B, 1C, japoński JERS-1, europejski ERS1 i 2,



Rys. 1. Obrazowanie stereoskopowe panchromatyczne i monoskopowe wiclospektralne w systemie MOMS z promi kosmicznego w czasie niemieckiej misji Spacelab

Informacje o satelitach gospodarczych (rządowych)
i ich sensorach (zestawione z publikacji: [3,4,12 i 13]).

Tablica 1

Program	NOAA ¹⁾ -12 do 14	Landsat 1 i 2	Landsat 3	Landsat 4 i 5	Landsat-7
Państwo/Ins-tytucja	USA	USA/ NASA	USA/ NASA	USA/ NASA	USA/NASA
Rok wyniesienia	1991	1972 i 1975	1978	1982 i 1984	1998
Wysokość (km)	833	918	918	705 i 699	705
Nachylenie orbity	98,9 ⁰	99,1 ⁰	99,1 ⁰	99,1 ⁰ i 98,2 ⁰	98 ⁰
Czas przelotu satelity jest zsynchronizowany z pozor. ruchem Słońca					
Interwał powtarzania		18 dni	18 dni	16 dni	6 dni
Obrazowanie	Skaner optyczno - mechaniczny				
Zakresy spektralne (rozdziel. spektral- na) (w μm)	AVHRR ²⁾ 0,58-0,68 0,725-1,10 3,55-3,93 10,3-11,3 11,5-12,5	MSS ³⁾ 0,50-0,60 0,60-0,70 0,70-0,80 0,80-1,10	MSS ⁴⁾ z zakresami jak w Landsatach 1 i 2 oraz zakres termalny 10,4- 12,60	MSS jak Lands. 1 i 2 oraz TM 0,45-0,52 0,52-0,60 0,63-0,69 0,76-0,90 1,55-1,75 10,4-12,5 2,08-2,35	ETM+ 8 zakresów: 1-Panchrom. 6-widzialn., bliskiej i średniej podczerw., 1-podcz. termalna
Rozdzielczość terenowa w nadirze	1,1 km	79 x 79 m	79 x 79 m zakr. termal. 240x240m	MSS 79x79 m TM 30 x 30 m z termalny 120x120m	Pan.-15 m Widz., blisk. i śred. pod.30m termal 60 m
Szerokość pasa wybier. jednym obrotom lustra skanera (długość tego pasa wynosi 185 km)	Pośrodku 1,1 km Po bokach 3,5 km	6x79 =474m	6x79=474 m zakr. termal. 2x237=474m	MSS-4 i 5 6 x 81,5 m 6x82,5 m TM 16x30 m z termalny 4x120 m	480m = 32x15 m = 16x30 m = 8 x 60 m
Wymiar sceny	2400x 185 km	185x 185 km	185x 185 km	185x 185 km	185x 170 km
Czas obiegu	102 min	103 min	103 min	99 min	

kanadyjski Radarsat, niemiecki MOMS 01 i 02 czy rosyjski Resurs 1-3. Są one dość dobrze scharakteryzowane w różnych podręcznikach teledetekcyjnych - również np. w [12] - dlatego nie będą tutaj omawiane. Ale niektóre ich parametry i rodzaje sensorów w które je wyposażono zestawiono w tablicy 1.

Programy niemiecki i rosyjski nie są powszechnie znane dlatego przedstawię je w kilku zdaniach. System MOMS-02 (*Modular Optoelectronic Multi-Spectral Scanner*) w 1993 roku był zainstalowany m.in. na wahadłowcu NASA (wysokość 296 km, nachylenie orbity 28,5⁰ i obrazował obszary Afryki, Azji i Ameryki Pd. Będzie też wykorzystany przez 3 lata od 1996 r. w rosyjskiej misji „Priroda” na stacji MIR [3]. rejestruje obrazy stereoskopowe pomiędzy 51.6⁰ szerokości północnej i południowej z wysokości

Informacje o satelitach gospodarczych (rządowych)
i ich sensorach (zestawione z publikacji: [3,4,12 i 13]).

Tablica 1 c.d.

Program	SPOT 1 do 5	ERS-1 i 2	JERS-1	IRS- 1A,1B,1C	MOMS-02	Resurs F2
Państwo/ Instytucja	Francja	ESA i Kanada	Japonia	Indie	Niemcy	Rosja
Rok wynie- sienia	1-1986 2-1990 3-1993 4-1997 5-1999	Satelite radarowe 1-1991 2-1995	1992	1A-1988 1B-1991 1C-1996	prom kos. IV/V 1993 stacja MIR 1996	
Wyso-kość (km)	1-832 2-795 do 816	785	568	904	prom.296 stacja 400	170-450
Nachyle- nie orbity	98,7 ⁰	98,5 ⁰	98 ⁰	99,1 ⁰	28,5 ⁰	
Interwał powtarza- nia	26 dni	35 dni	44 dni			
Rodzaj obrazowa- nia	HRV ⁵⁾	SAR ⁶⁾	$\frac{OPS^{7)}}{SAR}$	LISS ⁸⁾ 1,2 i 3	stereo MOMS	
Zakresy spektral- ne (rozdziel. spektr.) (w μ m)	Panchrom. 0,51-0,73 Wielospek- -tralne 0,50-0,59 0,61-0,68 0,79-0,89	AMI SAR 5,3 Ghz (5,66 cm)	8 zakre- sów w μ m od 0,52 <u>do 2,4</u> 1,28 Ghz (23,5 cm)	0,45-0,52 0,52-0,59 0,62-0,68 <u>0,77-0,86</u> LISS 3 4 zakresy Panchrom. i 0,52-1,7	7 kanałów Wielospektr. 0,440-0,505 0,530-0,575 0,645-0,680 0,710-0,810 Stereo 0,520-0,760 0,520-0,760 0,520-0,760	Zdjęcia satelitarne wykonane kamerami na filmach m.in. <u>KEA 1000</u> KWR 100
Rozdziel- czość tere- nowa w nadirze (m)	SPOT 1-4 Pan.10 Wiel.20 SPOT-5 Pan.5 Wiel.20	25	18,3x <u>x24,2</u> 25	1-72 2-36 3-5,8 Pan. 23,5 70,5	Wielospektr 13,5 Stereo 4,5 Pan 13,5 Pan 13,5 Pan	$\frac{8}{2}$
Szerokość wybier. pasa	60 km	100 km	75 km	148	dla 4,5m 37 km dla 13,5 m 78 km	<u>232 km</u> 40 km

1) Seria satelitów NOAA należy do grupy satelitów meteorologicznych

2) Oprócz radiometru AVHRR, którego obrazy wykorzystuje się do celów gospodarczych na satelicie NOAA zainstalowano 7 innych urządzeń do sondowania promieniowania Ziemi, atmosfery, stratosfery oraz rejestrowania energii elektronów i protonów a także cząstek promieniowania kosmicznego

3) Na satelitach Landsat 1 i 2 zainstalowano trzy kamery telewizyjne RBV obejmujące scenę 185x185 km w trzech zakresach (w μ m): 0,475-0,575; 0,580-0,680; 0,698-0,830

4) Na Landsacie-3 działały tylko dwie kamery TV obrazujące w zakresie panchromatycznym (0,505 - 0,750 μ m). Każda wybierała pas o szerokości 98 km pokrywając scenę 185x185 km czterema obrazami TV.

5) HRV - Haute Resolution Visible - skaner elektrooptyczny

6) SAR - Synthetic Aperture Radar - radar obrazujący z anteną syntetyzowaną

7) OPS - japoński ośmiokanałowy skaner wielospektralny (dwa kanały o zakresie 0,76-0,86 μ m wykorzystuje się do obrazowania stereoskopowego

8) LISS-Linear Imaging Self Scanner - czterozakresowy indyjski skaner wielospektralny

około 350-430 km. MOMS-02 wyposażono w 5 obiektów, które umożliwiają rejestrowanie linii skanowania w siedmiu kanałach określonych w tablicy 1 (4 wielospektralne, $\Delta\lambda = 0,44 - 0,81 \mu\text{m}$ o rozdzielczości przestrzennej 13,5 m i 3 panchromatyczne $\Delta\lambda = 0,52 - 0,76 \mu\text{m}$). Dwa obiektywy zorientowane nadirowo służą do przekazywania promieniowania wielospektralnego a trzy ujmują zakres panchromatyczny, przy czym jeden zorientowany nadirowo rejestruje z rozdzielczością 4,5 x 4,5 m, podczas gdy z pozostałych dwóch (rys. 1) - jeden jest odchylony do przodu o $+21,4^\circ$ a drugi do tyłu $-21,4^\circ$ i dostarczają pikseli o rozdzielczości 13,5 x 13,5 m. Te trzy obiektywy o orientacji $+21,4^\circ$, 0° i $-21,4^\circ$ umożliwiają rejestrację obrazów stereoskopowych wzdłuż toru lotu. Odpowiadające sobie obrazy do obserwacji stereoskopowej są rejestrowane co 40 sekund z tej samej orbity.

W Rosji pozyskuje się na filmie fotograficzne zdjęcia satelitarne rejestrowane w różnych kanałach spektralnych. Zdjęcia są rejestrowane różnymi kamerami fotograficznymi ale szczególnym zainteresowaniem cieszą się zdjęcia z kamer KFA 1000, KFA 3000 i KWR 100 umieszczonych na satelitach Resurs F1 i Resurs F2 (tablica 1). Zdjęcia te są skanowane do postaci cyfrowej.

3. Planowane satelitarne systemy teledetekcyjne

Do czwartego typu satelitów Ziemi (oprócz rozpoznawczych, meteorologicznych i gospodarczych) można zaliczyć satelity komercyjne, których wyniesienie zaplanowano na lata 1996 - 2005. W tym okresie zostanie wyniesionych ponad 100 satelitów różnych typów, nie licząc satelitów wysyłanych w kosmos [2]. Do 1999r zaprojektowano wyniesienie 60 satelitów.

W związku z rozwojem geoprzestrzennych systemów informacyjnych oraz znacznym postępowaniem w technologii pozyskiwania obrazów cyfrowych, do 2000 roku wzrosło prawie trzykrotnie komercyjny rynek obrazów satelitarnych. Firmy komercyjne zapowiadają znaczne obniżenie kosztów opracowania i wyniesienia nowych satelitarnych systemów obrazujących, które w 1998r będą dostarczały danych także o rozdzielczości przestrzennej poniżej 1 m. Jak zmniejszają się koszty urządzeń obrazujących, może świadczyć fakt, że zapowiadany przez firmę *Philips Imaging Technology* skaner kadrowy (kamera CCD) o wymiarach 7000 na 9000 detektorów będzie kosztował tylko 100 ml \$ USA, podczas gdy 10 lat temu koszt ten wyniósłby 1 miliard \$. Czynniki te powodują, że rozwija się zapotrzebowanie na wysokorozdzielcze dane obrazowe i opracowania ortoobrazowe niezbędne do dokumentowania i badania małych obszarów. W dalszym ciągu jednak będą rozwijane dotychczasowe rządowe programy satelitarne nakierowane na globalne monitorowanie w celu poznawania i rozumienia środowiska oraz aby racjonalnie gospodarować zasobami naturalnymi. Należą do nich w USA programy NOAA, LANDSAT-7 i EOS. Na amerykańskie komercyjne programy satelitarne

składają się [13]: GDE, Space Imaging, Orbimage, Earth Watch, Resource 21, TRW Lewis i CTA Clark.

3.1. Satelitarne programy rządowe USA

Istniejące operacyjne rządowe gospodarcze systemy satelitarne są zestawione w tablicy 1, w tym także amerykańskie. Dostarczają obrazów do inwentaryzacji zasobów naturalnych i zastosowań kartograficznych.

Jednym z najstarszych w USA programów satelitarnych, sprzed prawie dwudziestu laty, jest program NOAA², w ramach którego są m.in. również dostarczone dane obrazowe z radiometru AVHRR³. Są to dane o rozdzielczości przestrzennej 1,1 km w 5 zakresach spektralnych (1 widzialny, 1 bliskiej podczerwieni i 3 termalne). Obrazy te używa się do ogólnego klasyfikowania kategorii pokrycia terenowego, do monitorowania zasobów, do wprowadzania danych do modeli globalnych i regionalnych oraz łączenie z obrazami Landsata do bieżącego archiwizowania danych przy badaniach zmian globalnych, a także do przetwarzania testowego i strategii zarządzania niezwyklej ilości danych [13].

Program LANDSAT-7 jest także rządowym długofalowym programem USA, który zapoczątkowano w 1972r w NASA⁴. Po nieudanym wyniesieniu Landsata-6, w 1998r będzie wprowadzony na orbitę Landsat-7 jako wspólne przedsięwzięcie NASA, NOAA i U.S.Geological Survey (U.S.G.S.). Satelita będzie krążył na wysokości 705 km po orbicie zsynchronizowanej ze Słońcem nachylonej o 98^o, dostarczy całkowitego pokrycia Ziemi w ciągu 16 dni. Parametry te tak dobrano aby zapewnić ciągłość danych pozyskiwanych przez poprzednie Landsaty. Podstawowym urządzeniem obrazującym jest - *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) - udoskonalony skaner TM+, który będzie pozyskiwał dane w 8 zakresach spektralnych (1 zakres panchromatyczny o zwiększonej rozdzielczości przestrzennej - 15 m, 6 zakresów rejestrujących promieniowanie widzialne, bliskiej i średniej podczerwieni o rozdzielczości 30 m i 1 zakres termalny - 60m). Scena ma rozmiary 185 x 170 km i obejmuje 3,8 Gb.

Program EOS (*Earth Observing System*) jest częścią NASA-owskiej - MTPE (*Mission To Planet Earth*), która jest zaplanowana dla monitorowania środowiska i oceny zmian globalnych. Zgodnie z programem EOS przez 15 lat począwszy od 1998r co 3 do 5 lat będzie wynoszona na orbity okołoziemskie seria statków wyposażonych w instrumenty teledetekcyjne do obserwacji atmosfery, oceanów i powierzchni Ziemi. Pierwszy EOS AM-1 ma

² National Oceanic and Atmospheric Administration

³ Advanced Very High Resolution Radiometer

⁴ National Aeronautics and Space Administration

parametry podobne do Landsata-7 i będzie wyposażony w 5 instrumentów, z których 2 - MODIS i ASTER krótko tutaj scharakteryzuję.

MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) - spektrometr obrazujący średniej rozdzielczości wyposażono w 36 zakresów spektralnych (widzialne, bliska i średnia oraz termalna podczerwień z rozdzielczością przestrzenną 250, 500 lub 1000 m). Będzie on dostarczał długoterminowych obserwacji zmian globalnych i procesów zachodzących na powierzchni Ziemi oraz w niższej atmosferze.

ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) udoskonalony radiometr satelitalny do pomiaru emisji i odbić termalnych wyposażono w 14 zakresów spektralnych (3 widzialne i bliskiej podczerwieni z rozdzielczością przestrzenną 15 m, 6 średniej podczerwieni z rozdzielczością 30 m i 5 podczerwieni termalnej z rozdzielczością 90 m). Jest on opracowany wspólnie przez Stany Zjednoczone i Japonię. Informacje zbierane przez ten radiometr będą podstawą do długoczasowego monitorowania powierzchni terenu, wody, lodu i chmur. Planuje się - w oparciu o te dane opracowanie map roślinności, map użytkowania ziemi, hydrologicznych, geologicznych i topograficznych. Będzie można również generować cyfrowe modele wysokościowe (DEM) ze stereoskopowych obrazów cyfrowych pozyskiwanych wzdłuż toru lotu równocześnie z sensorów zorientowanych nadirowo i ku przodowi.

3.2. Satelitarne programy komercyjne w USA

Po wielu latach starań kilka organizacji komercyjnych uzyskało licencje od rządu USA na opracowanie i konstrukcje wysokorozdzielczych urządzeń do pozyskiwania obrazów satelitarnych panchromatycznych i wielospektralnych [1].

Do wyznaczania położenia sensorów we wszystkich omawianych poniżej systemach korzysta się z GPS, a ich orientacja jest określana z gwiazd stałych.

Systemy obrazujące będą przenoszone przez małe satelity wokółbiegunowe o niskich orbitach kołowych zsynchronizowanych z poziomym ruchem Słońca. Tory i orientacje orbit będą dostosowane do potrzeb rynku i do takich zapotrzebowań użytkowników jak interwały powtórzonego obrazowania tych samych obszarów (tzw. rewizyty), wymagania stereoskopii czy czasowe monitorowanie wydarzeń.

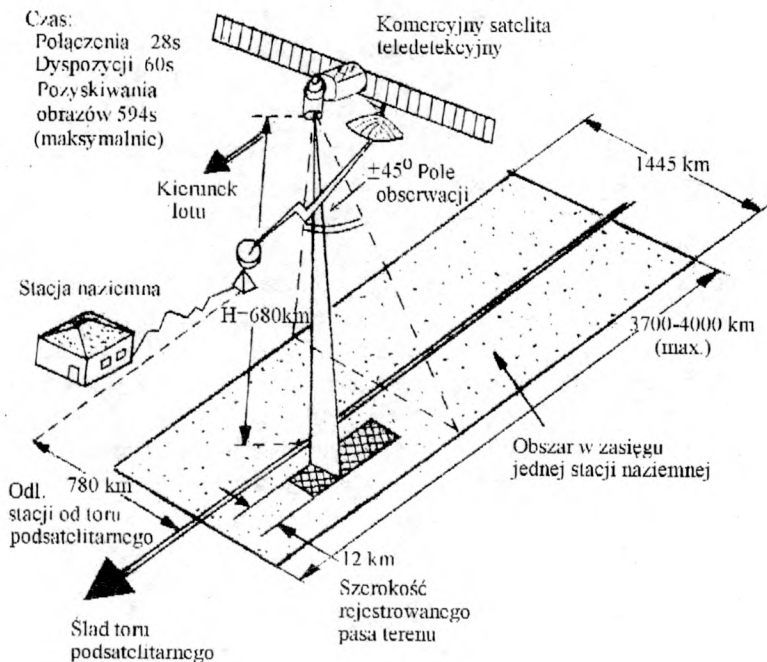
Do pozyskiwania danych obrazowych zastosowano skanery liniowe elektrooptyczne z sekwencyjnym przemieszczaniem („przelewaniem”) i wyprowadzaniem ładunków. Wyjątek stanowi kamera CCD zainstalowana w systemie Early Bird. Rozdzielczość radiometryczna tych skanerów wynosi 8 lub 11 bitów. Taka rozdzielczość nawet przy małym kontraście obiektu i słabych warunkach oświetleniowych umożliwi zachowanie obrazu dobrej jako-

ści. Rozdzielczość spektralna jest w ogólności podobna do zakresów Landsata i SPOT'a. Niektóre z tych komercyjnych programów zostaną poniżej krótko omówione.

Space Imaging Inc. planuje wykorzystanie dwusatelitarnego systemu począwszy od 1997r. System kamerowy będzie wyniesiony na orbitę o wysokości 680 km i będzie miał znane położenie z GPS i znaną orientację z gwiazd stałych [2]. Dlatego bez punktów kontrolnych będzie można z tych danych określać położenie obiektów z dokładnością od 12 do 15 m. Dane te wsparte punktami kontrolnymi i wysokościami terenowymi pozwalają na wytwarzanie ortofotografii w skali 1 : 24 000. Zasięgi i parametry systemu Space Imaging pokazano na rys.2.

Sieć stacji odbiorczych w Denver, na Alasce i w Atlancie będzie rozwinięta na inne kraje. Stacja naziemna (rys.2) jest powiązana z satelitą i przekazuje następujące dyspozycje dostarczone przez zamawiającego obrazy: granice obszaru, zakresy spektralne, początek i koniec ścieżki obrazowania, optymalną bazę i stosunek bazowy B/H dla obserwacji stereoskopowych sceny obrazowanej z tej samej orbity. System kamerowy został zbudowany przez firmę Kodak. Niektóre parametry zestawiono w tablicy 2. Użytkownicy będą mogli otrzymać następujące standardowe zobrazowania: skorygowane radiometrycznie, skorygowane geometrycznie bez punktów kontrolnych lub precyzyjnie w oparciu o punkty kontrolne z dokładnością 2 m, cyfrowe modele terenowe, wielospektralne z podniesioną ostrością (z połączenia obrazów panchromatycznych i wielospektralnych) a także selektywnie łączone stosunki kanałów wielospektralnych oraz mozaiki obrazowe.

GDE System, Inc. jest oddziałem Tracor Company znanego z udanego opracowania cyfrowych fotogrametrycznych stacji roboczych Helavy [2]. Zrzeszenie planuje w 1999r wyniesienie satelity z sensorami panchromatycznymi o zakresie spektralnym $\Delta\lambda=0.50-0.90 \mu\text{m}$ i rozdzielczości przestrzennej 0,85m. Monoskopowe zobrazowania będą zestawiane w pasach o wymiarach 15 km na 1700 km lub w scenach 120x120 km. W tym samym przejściu satelity będzie możliwość pozyskiwania zobrazowań stereoskopowych w pasach 15 km na 700 km lub scenach 70 x 70 km z ustaleniem położenia sensorów przez GPS.



Rys.2. Schemat rozmieszczenia urządzeń i obszarów w systemie Space Imaging

Umożliwi to określenie położenia i wysokości obiektów z dokładnością odpowiednio 12 m i 8 m bez punktów kontrolnych oraz 2 m i 3 m z ich wykorzystaniem. W tabelicy 2 podano niektóre dane tego systemu. Planowane jest wykorzystanie Internetu do przesyłania danych w przeciągu 2 dni od czasu ich pozyskania w postaci obrazów podobnych jak to oferuje Space Imaging Inc.

Orbimage należy do Orbital Science Corporation (OSC). W grudniu 1997r zostanie wyniesiony ich satelita OrbView-1 rakieta Pegasus należąca do OSC [1]. Będzie kontrolowany przez istniejący ośrodek Orbimage w Wirginii. Satelita będzie przekazywał zobrazowania w czasie rzeczywistym do stacji odbioru i przetwarzania w Stanach Zjednoczonych lub innych krajach z którymi OSC zawrze umowę.

Informacje o wysokorozdzielczych satelitach komercyjnych
i ich sensorach (zestawione z publikacji [1,2,3 i 4])

Tablica 2

Towarzystwo	Early Bird		Orb.Scien OrbView-1	Space Imag.	GDE
	Early Bird	Quick Bird			
Data wyniesienia	VIII.1996	VII.1997	XII.1997	XII.1997	XI.1999
Ciężar (kg)	~100	~150	150	225-275	
Wysokość (km)	475	470	460	680	743
Nachylenie orbity	97,3 ⁰	52 ⁰	97,25 ⁰	98,1 ⁰	98,8 ⁰
	przelot satelity jest zsynchroniz. z poziomym ruchem Słońca				
Interwał powtarzania	20 dni	20 dni	16 dni	14 dni	16 dni
Rewizyty	1,5-2,5 dnia	1,5-2,5 dnia	< 3 dni	1-3 dni	1-3 dni
Rodzaj zobrazowania	Kamera CCD	Liniový skaner elektrooptyczny (z „przelewaniem” ładunków)			
Zakresy spektralne	<i>Pan</i> <i>Wielo</i>	<i>Pan</i> <i>Wielo</i>	<i>Pan</i> <i>Wielo</i>	<i>Pan</i> <i>Wielo</i>	<i>Panchro- matyczny</i>
Rozdzielczość terenowa w nadirze	3 m 15m	1 i 2m 4 m	1 i 2m 4 m	0,82m 4 m	0,8 m
Rozdzielczość spektralna (µm)	0,45-0,80 0,50-0,59 0,61-0,68 0,79-0,89	0,45-0,90 0,45-0,52 0,52-0,60 0,63-0,69 0,76-0,90	0,45-90 0,45-0,52 0,52-0,60 0,63-0,69 0,76-0,90	0,45-0,90 0,45-0,52 0,52-0,60 0,63-0,69 0,76-0,90	0,50-0,90
Szerokość pasa	6 km 30x30 km	36 km 36 km	8 km 8 km	11 km 11 km	≥15 km
Scena stereo w nadirze	36 km ² 900 km ²	36x36 km	8x8 km lub inna	60x60 km	70x70 km 15x700km
Obrazowanie stereo	wzdłuż toru lotu			wzdłuż i poprzecznie do toru lotu	
Odchylenie skanera od nadiru	Wzdłuż i poprzecznie do toru lotu				
	±30 ⁰	±30 ⁰	±45 ⁰	±45 ⁰	±45 ⁰
Położenie i orientacja sensora	GPS	GPS i gwiazdy stałe			
Liczba scen (maks.)	500/orbitę	100/orbitę	535/dzień	przetwarza 600/dzień	580/dzień
Rejestracja na pokładzie	500 scen	100 scen	250 scen 32 GB	64 Gb	60 Gb
Dostarczenie użytkowni- kowi od pozyskania	15 min- 48 godz	15 min- 48 godz	15 min- 24 godz	24-48 godz	24-48 godz
Dokładność z punktami kontrol. bez punktów kontrol.	Pozioma 6m -	Pozioma 2m -	Pozioma 2m 12m	Pozioma 2m 12m	Pozioma 2m 12m
Dokładność z punktami kontrol. bez punktów kontrol.	Pion 4m -	Pion 3m -	Pion 3m 8m	Pion 3m 8m	Pion 3m 8m

OrbView-1 będzie dostarczał obrazów z rozdzielczością przestrzenną 1m i 2 m z sensorów panchromatycznych i 4 m sensorami wielospektralnymi, które będą używały wspólnej apertury. System ten jest skanerem elektrooptycznym umożliwiającym obrazowanie we wszystkich kierunkach przy odchyleniu osi skanera od pionu do 45⁰. Zapewnia to ponowną rejestrację obszaru (rewizytę) co 1,8 doby na równiku, co 1,5 doby na szerokościach geograficznych ± 30⁰ i co 0,9 doby na szerokościach ±60⁰. Przewiduje się, że satelita będzie przeka-

zywał dane w okresie 3-5 lat. Typowy rozmiar sceny to 8x8 km ale zbieranie w innych scenach jest możliwe [2].

Na podstawie tych stereoskopowych obrazów o wysokiej rozdzielczości i przy wykorzystaniu fotograficznie identyfikowanych punktów kontrolnych można opracowywać mapy w skali 1 : 24 000 z warstwicami co 6 m. Zestawienie informacji o tym systemie podano w tablicy 2. Orbimage zakłada sieć dystrybutorów międzynarodowych i będzie archiwizować i rozprowadzać dane przez swoją agencję Orbnet w asortymentach podobnych jak Space Imaging i GDE Systems.

Earth Watch, Inc. wprowadza dwa satelity wokółbiegunowe o nachyleniu orbity $97,3^{\circ}$ i zasięgu 52° szerokości Pn. i Pd.: *Early Bird* w 1996r i *Quick Bird* w 1997r [2]. Na *Early Bird* systemem obrazującym jest dwuwymiarowa macierzowa kamera CCD⁵ (podobna do filmowych kamer kadrowych), która dostarcza obrazów cyfrowych panchromatycznych i wielospektralnych. Obrazy te cechują się wysoką dokładnością metryczną podobną do tej z kamer fotogrametrycznych i mogą być wykorzystane do celów GIS i opracowań mapowych. Kadr zakresu wielospektralnego pokrywa (w trzech zakresach podobnych do kanałów SPOT'a z rozdzielczością 15 m) powierzchnię 30 x 30 km, w obrębie której równocześnie są rejestrowane sceny panchromatyczne ($\Delta\lambda = 0.45 - 0.80 \mu\text{m}$ z rozdzielczością 3 m) o wymiarach 6 x 6 km. Powierzchnia jednego kadru wielospektralnego obejmuje 36 stereoskopowych scen panchromatycznych. Korzystając z fotograficznie zidentyfikowanych punktów kontrolnych obrazy te mogą dostarczać położenia obiektów terenowych z odchyłką standardową 6 m w poziomie i 4 m w pionie.

Quick Bird będzie dostarczał zobrazowań w kombinacji rozdzielczości 1 m, 2m i 15 m z dwóch typów satelitów orbitujących w tandemie z szerokim wyborem opcji metrycznych i spektralnych. Obrazy wielospektralne *Quick Bird* (z rozdzielczością 4m) w czterech zakresach podobnych do pierwszych czterech kanałów Landsata oraz dwa obrazy panchromatyczne z rozdzielczością 1 m ($\Delta\lambda = 0.45 - 0.90 \mu\text{m}$) wykorzystują wspólną aperturę. Obrazy będą rejestrowane na pokładach tych satelitów i przekazywane do centrali w Kolorado [1].

Towarzystwo *Earth Watch* pozostaje właścicielem wszystkich obrazów zbieranych przez jego satelity. Ich stacje naziemne będą transmitowały surowe dane do Longmont w Kolorado, gdzie będą poddawane korekcji radiometrycznej i geometrycznej a następnie archiwizowane i transmitowane do odbiorców lub dystrybutorów w postaci podobnej jak wcześniej mówione systemy. Inne informacje o satelitach *Early Bird* i *Quick Bird* zestawiono w tablicy 2.

Resource 21 jest komercyjnym teledetekcyjnym systemem informacyjnym dostarczającym danych do wydajnej uprawy pól rolnych. Licen-

⁵ Charge Coupled Devices - urządzenia ze sprzężeniem ładunkowym

cję na ten system uzyskał Institute of Technology - Development z Kolorado wraz z 5 innymi instytucjami. Rozpocznie działanie w konstelacji 4 satelitów - 2 w końcu 1998 i 2 w 1999r (wszystkich będzie 5) umieszczonych na wysokości 743 km dokładnie na tej samej płaszczyźnie orbitalnej nachylonej o $98,0^{\circ}$ i zsynchronizowanej ze Słońcem ze ścisłą kontrolą fazowania (konstelacja fazowania 0° , $77,14^{\circ}$, 180° , $257,14^{\circ}$). Będzie ona dotyczyła dwóch satelitów powtarzających co 7 dni swoje tory terenowe i umożliwi dwukrotnie w tygodniu (co 3,5 dnia) nadirowe rewizyty wszystkich obszarów.

Wielospektralny skaner liniowy z przelewaniem ładunków nazywany M10 jest nominalnie przystosowany do nadirowego wybierania pasa o szerokości 205 km ale ma możliwość stereoskopowego wybierania poza nadirem (wzdłuż toru $\pm 30^{\circ}$ i poprzecznie do toru lotu $\pm 40^{\circ}$). Pojazd satelitarne może się przechylać lub można nachylać same sensory umożliwiając obrazowanie stereoskopowe i częstotliwość rewizyt terenowych do 3 razy dziennie [2].

Rozdzielczość przestrzenna systemu wielospektralnego (w 4 kanałach w μm : 0,45-0,52; 0,53-0,59; 0,63-0,69; 0,76-0,90) wynosi $10 \times 10 \text{ m}$ (0,01 ha) i jest zaplanowana do monitorowania gospodarstwa o powierzchni 72 ha lub większych z rozróżnialnością 0,1 ha. Ponadto przewidziano dwa kanały podczerwieni średniej. Jeden o rozdzielczości przestrzennej 20 m i rozdzielczości spektralnej 1,55-1,68 μm i drugi o rozdzielczości odpowiednio 1000 m i 1,23-1,53 μm . Przetwarzanie tych danych dostarczy informacji o czasowym stanie pól i gleb dzięki częstemu monitorowaniu takich czynników jak: zawartość wilgoci, rozpoznanie szkodników i chwastów oraz potrzeb pokarmowych upraw. Położenie skanera jest określane z GPS a orientacja z gwiazd stałych. Ciężar satelity 700 kg, rozdzielczość radiometryczna piksela 12 bitów, dokładność pozioma bez punktów kontrolnych 30 m, z p.k. 5 m, względna 1m. Na pokładzie każdego satelity jest rejestrowanych 176 Gb. System ten rejestruje pasmo „cirrus” z zakresu promieniowania widzialnego i średniej podczerwieni przeznaczone do kalibrowania danych i wspomaganie usuwania wpływów atmosferycznych w czasie pozyskiwania obrazów.

4. Obrazy satelitarne w fotogrametrii cyfrowej

Głównym zadaniem fotogrametrii cyfrowej jest - jak to zaznaczono we wstępie - generowanie cyfrowej terenowej bazy wysokościowej oraz opracowanie map cyfrowych. To pierwsze zadanie jest realizowane na cyfrowych fotogrametrycznych stacjach roboczych [10], gdyż oferują one generowanie terenowych baz danych automatycznie i z dużą prędkością przy małych kosztach (nie trzeba szkolić operatorów aby pozyskali wprawę i umiejętności do zbierania takich danych). Istotną zaletą w odniesieniu do tych zadań jest to, że systemy satelitarne dostarczają danych w formacie cyfrowym gotowym do bezpośredniego wykorzystania w komputerach.

Fotogrametria cyfrowa stała się uznaną metodą zbierania danych a związana z nią automatyzacja i techniki analizy obrazów przyczyniają się do szybkiego wyprowadzenia z laboratoriów badawczych do zastosowań produkcyjnych. Podobnie jak w autografach analitycznych również w fotogrametrycznych cyfrowych stacjach roboczych wymagany jest proces orientacji i formowania modelu przestrzennego z obrazów stereoskopowych z wykorzystaniem punktów tłowych, wiążących i terenowych punktów kontrolnych - z tym, że jest to proces zautomatyzowany z niewielkim zaangażowaniem operatora [10].

Do automatycznego generowania cyfrowych modeli wysokościowych (DEM) sformułowano szereg specjalnych algorytmów i opracowano różne metody. Bazują one na technikach dopasowywania i korelacji powierzchni albo korelacji cech objętych małymi szablonami tj. elementarnymi wycinkami obrazów pary tworzącej zobrazowanie stereoskopowe (szczegółowe informacje na ten temat podano w publikacji [9]). Po dokonaniu orientacji oprogramowanie oblicza współczynniki zestawu wielomianów, które określają geometryczny kształt modelu stereoskopowego. Wykorzystując różnice tonalne każdego obrazu, algorytm cyfrowo koreluje poszczególne punkty. Powierzchnie z jasnymi tonami i urozmaiconą teksturą korelowane są bardzo szybko gdyż korelator wykorzystuje składowe wysokiej częstotliwości do korelacji zawartości obrazu. Powierzchnie o niskiej częstotliwości są zazwyczaj korelowane wolniej, mimo, że wycinki obrazu automatycznie powiększają swoje wymiary do pozyskania dostatecznej tekstury w obrębie rozważanego wycinka aby umożliwić korelację. Jeżeli korelator nie może dokładnie określić wysokości jakiegoś punktu, wtedy taka wysokość jest interpolowana z wykorzystaniem techniki wagowania i radialnie rozmieszczonych punktów sąsiadujących [8].

Jest zrozumiałym, że zbierając hierarchicznie dane o gruboziarnistej rozdzielczości poprzez sukcesywnie coraz drobniejsze jej poziomy zmniejsza się możliwość generowania fałszywych wyników. Przez zmniejszanie skali zobrazowań zmiany wysokościowe są mniej wyraziste w przestrzeni obrazu, dlatego wpływ zmian wysokości jest minimalizowany i badanie szerszych zasięgów wysokościowych jest szybsze. Również korelacje przy zmniejszonych skalach obrazów mają tendencje do zmniejszania nierozróżnialności pomiędzy pojawiającymi się podobnymi obiektami przez unieruchamianie wielkich pól, które zawierają te obiekty. Wysokości pozyskiwane na danym poziomie w rezultacie tego procesu są wykorzystywane w kolejnym etapie oceny i generowania tych wysokości na wyższym poziomie rozdzielczości.

Dysponując terenową cyfrową bazą wysokościową można wytwarzać z obrazów cyfrowych inne produkty, a przede wszystkim ortoobrazy. Są to takie obrazy, z których wyrugowano zniekształcenia spowodowane różnicami wysokości terenu oraz niedoskonałością sensorów. W procesie korekcyjnym zmierzającym do utworzenia ortoobrazów chodzi o to, aby doprowadzić każ-

dy piksel osobno do takiego ukształtowania jakby powstał w rezultacie projekcji ortogonalnej (czyli był utworzony nadirowo).

W celu zapoznania czytelnika z zagadnieniami dokładności jakie osiąga się w rezultacie opracowania cyfrowych obrazów skanerowych przytoczę tu za [3] doświadczenia z opracowania map z obrazów MOMS-02, który scharakteryzowano w p.2 i tablicy 1.

Miasto Dubai zobrazowane sposobem stereo (rys.1) było terenem testowym. Punkty kontrolne (p.k) sytuacyjne wybrano z map topograficznych w skali 1 : 10 000 a wysokościowe z map w skali 1 : 25 000. Współrzędne tłowe p.k. mierzono na ekranie z dokładnością podpikselową monokulamiem i stereoskopowo wykorzystując wszystkie kanały panchromatyczne tj. 5, 6 i 7.

Do wyrównania wiązek programem BLASPO wykorzystano standardowe wielkości orbity i parametry dodatkowe na afiniczność - również kątową. Do orientacji bezwzględnej modelu stereoskopowego niezbędne są co najmniej 4 p.k.. Uzyskano błędy poziome (x,y) od $\pm 3,5$ m do $\pm 4,0$ m odpowiadające 0,7 do 0,9 piksela 4,5 m (z kanału 5-ego nadirowego). Paralaksa podłużna mierzona z obrazów kanałów 6 i 7 (o rozdzielczości 13.5 m \cong 10 μ m) była określana z odchyłką standardową ± 5 m. Podobne wyniki rzędu ± 3 m do ± 5 m dla różnic położień uzyskano z niezależnych p.k. pomierzonych na ortoobrazach.

Błędy cyfrowego modelu wysokości (DEM) określono na obrazach MOMS-02 pustynnych obszarów Australii po jego automatycznym określeniu i wynosiły one ± 5 m a niekiedy były większe. Ogranicza to sporządzanie map warstwicowych do cięcia 25 m natomiast błędy sytuacyjne umożliwiają wykorzystanie tych obrazów do opracowania map w skali 1 : 25 000.

Stosując fotogrametryczną stację roboczą np. Leica/Helava DPW 770 i zdjęcia w skali 1 : 10 000 po automatycznym wygenerowaniu cyfrowego modelu i porównaniu go z modelem określonym analitycznie otrzymano dla bardzo zróżnicowanego terenu różnice od 0 m do 2 m. Dla terenów o regularnej rzeźbie i zdjęć w skali 1 : 16 000 i tych samych instrumentach otrzymano różnice pomiędzy 0,4 - 1,0 m.

Transponując te dane na opracowanie map z obrazów satelitów zestawionych w tablicy 2, których rozdzielczość przestrzenna w zakresie panchromatycznym będzie się mieściła w granicach 0,8 m do 3 m można oczekiwać, że obrazy te zabezpieczą większość potrzeb jakie są wymagane od map wielkoskalowych. Jest zrozumiałym, że rozpoznawalność zależy od natury obiektów przedstawionych na mapach. Doświadczenia wykazują, że np. takie obiekty jak budynki miejskie czy chodniki uliczne rozpoznawane na mapach europejskich wymagają pikseli o rozdzielczości 2m lub większej. Taką właśnie rozdzielczość przestrzenną zapowiadają twórcy satelitów komercyjnych.

5. Wykorzystanie obrazów cyfrowych i GIS w opracowaniach kartograficznych.

Mozna tutaj wyróżnić zastosowania dwóch różnych typów [8] wymagających:

- informacji wysokościowych (DEM) lub informacji o różnicach wysokości,
- precyzyjnych map podstawowych (ortoobrazów) bądź tła jako źródła danych wektorowych.

Istnieje bardzo wiele zastosowań cyfrowej terenowej bazy wysokościowej do przestrzennego modelowania danych podczas rozwiązywania różnych projektów inżynierskich. Dla przykładu można wymienić np. [11] opracowanie map zagrożenia erozyjnego gleb czy map degradacji gleb spowodowanej skażeniem metalami ciężkimi. Do oceny zagrożenia gleb erozją wodną wykorzystano oprogramowanie GIS, cyfrowy model terenu, mapy typów i rodzajów gleb, mapę użytkowania Ziemi oraz mapę rozkładu opadów [5]. Dla potrzeb modelowania erozyjnego mapę glebową zgeneralizowano do 6 rodzajów i gatunków gleb. Do integracji 5 warstw tematycznych wykorzystano ideę modelu USLE (*Universal Soil Loss Equation*) i wygenerowano mapę cyfrową. W wyniku dwustopniowej reklasyfikacji wydzielono 3 klasy zagrożenia erozyjnego : małe, średnie i duże.

Oceny skażenia gleb metalami ciężkimi można dokonać stosując technologię GIS [6]. Uwzględniając rodzaj gleby, jej właściwości fizykochemiczne, warunki klimatyczne, rzeźbę terenu, sposób użytkowania ziemi, możliwości GIS do przetwarzania i integracji elementów bazy oraz do prowadzenia analiz statystycznych i przetwarzania obrazów cyfrowych - dokonano oceny stopnia degradacji gleb metalami ciężkimi (Cd, Pb). Wyróżniono w rejonie Krakowa trzy strefy o skażeniu niskim, średnim i wysokim. Innym przykładem może być projektowanie dróg i autostrad. Tutaj warstwa wysokościowa jest niezbędna we wszystkich kolejnych etapach projektu. Podczas projektowania lokalizacji dla nowych terenów budowlanych warstwa wysokościowa umożliwiająca określenie spadków terenu oraz rodzaje gleb mogą ujawnić obszary zagrożone osuwaniem się gruntu. Jeszcze innym przykładem jest obliczenie aspektu określającego południową lub północną ekspozycję zboczy, co ma istotne znaczenie np. przy planowaniu lokalizacji winorośli.

Cyfrowe terenowe bazy wysokościowe są często wykorzystywane do wizualizacji różnego rodzaju cech i obiektów w tym także dla potrzeb monitoringu środowiska czy lokalizacji budowli architektonicznych. Bazy te są szczególnie przydatne do sporządzania różnych widoków perspektywicznych w rzucie środkowym lub aksonometrycznym, z dowolnego punktu i kierunku patrzenia. Tych zastosowań GIS z udziałem cyfrowego modelu terenu jest bardzo wiele.

Drugi typ wykorzystania obrazów cyfrowych i GIS jest związany z ortoobrazami, które dostarczają bardzo dokładnych i aktualnych map pod-

stawowych. Obecnie bardzo wiele instytucji zarządzających zasobami naturalnymi korzysta z takich map obrazowych w miejsce raczej skomplikowanych map wektorowych. Znane powiedzenie stwierdzające, że „obraz jest wart tysiąca słów” można zamienić na „piksel jest wart tysiąca wektorów” [8]. Niemniej największą zaletą ortoobrazów jest to, że mogą one być wprost używane w GIS. Takie obrazy mogą być wykorzystane do opracowania map wektorowych lub do pomiaru innych informacji bezpośrednio na ekranie komputera. Obecnie operator używając myszy digitalizuje bazowe informacje wektorowe a także atrybuty bezpośrednio z ortoobrazu na ekranie - używając komputera jako monoplota. Jest to proces nie wymagający wprawy i tym samym zmniejsza koszty tworzenia bazy danych, które jak wiadomo są głównym składnikiem nakładów na systemy GIS-owskie.

Do bardzo ważnych zadań kartograficznych należy aktualizacja map. Obecnie istnieją możliwości wykorzystania do tego celu ortofotografii cyfrowej jako źródła danych do wybierania monokularnych danych albo wykorzystanie cyfrowych fotogrametrycznych stacji roboczych z obserwacją stereoskopową - jako stanowiska trójwymiarowego pozyskiwania danych. Jak dotąd nie ujawniły się instytucje, które wykorzystują fotogrametrię cyfrową jako rutynowe narzędzie do aktualizowania map lub baz danych [7]. Poczyniono jednak postępy w kilku krajach w automatyzacji badania zmian występujących na obrazach cyfrowych. Ale upłynie jeszcze sporo czasu kiedy te techniki wyjdą z laboratoriów i zostaną wdrożone do zarządzania topograficznymi bazami danych. Jednym z łatwiejszych zadań w sensie „rozumienia obrazu” jest rozpoznawanie i śledzenie cech liniowych, takich jak np. drogi. Porównanie - w procesie półautomatycznym - nowego obrazu np. satelitarnego z siecią obrazu starego np. zdjęcia lotniczego pozwala na aktualizacje tego ostatniego odejmując stary obraz od nowego. W następstwie takiego usuwania szumów operator ujrzy obszary godne uwagi. W dalszym procesie w wyniku „aktualizacji kierowanej Gis-em” zostaną automatycznie rozpoznane nowe szczegóły i ich wybieranie zgodne z hierarchią tematyczną. W etapie końcowym automatyczne systemy sztucznej inteligencji mogą podejmować decyzję zamiast operatora - człowieka.

Automatyczna analiza obrazów wykorzystująca bazy danych spowoduje integrację obrazów rastrowych i obrazów wektorowych w GIS-ach dostarczając przestrzeni obrazoweogeograficznej. Taka przestrzeń obrazowa umożliwi pozyskiwanie w pełni trójwymiarowych danych a nie jak dotychczas 2,5 - wymiarowych (gdzie wartość z jest atrybutem punktu x, y). Do trzech wymiarowych danych można dołączać inne, np. czas, uzyskując GIS wielowymiarowy. Ale takie rozszerzenie GIS-u wymaga zmiany koncepcji stosowanych baz danych i sposobów ich zarządzania.

W przyszłości niewątpliwie fotogrametria cyfrowa wykorzystująca obrazy satelitarne stanie się narzędziem do aktualizacji map i baz danych.

6. Uwagi końcowe

Z przedstawionych wyżej informacji wynika, że systemy pozyskiwania danych satelitarnych dla celów opracowania map - również wielkoskalowych - są w ustawicznym rozwoju. Powoduje to również rozwój nowych technologii generowania cyfrowych modeli wysokościowych (DEM) wykorzystujących korelację satelitarnych obrazów stereoskopowych. Nowe komercyjne satelitarne systemy obrazujące mogą dostarczać danych w żądanym czasie, szybko, w postaci cyfrowej, równocześnie w zakresach wielospektralnych i panchromatycznych zapewniają powtarzalność czasową, mają dużą rozdzielczość radiometryczną i dobrą dokładność stereometryczną. Dlatego są to obrazy konkurencyjne w stosunku do zdjęć lotniczych, przy czym koszt ich pozyskania w odniesieniu do obrazowanej powierzchni jest co najmniej dwukrotnie niższy [2]. Doskonała rozdzielczość przestrzenna tych danych satelitarnych będzie przyczyną ich coraz szerszego rozpowszechnienia na rynku międzynarodowym. Spowoduje to, że obrazowanie lotnicze będzie przekształcone z fotograficznego na cyfrowe i prawdopodobnie zintegrowane w komercyjnych towarzystwach satelitarnych.

Opracowanie map topograficznych z takich danych satelitarnych staje się rzeczywistością operacyjną. W najbliższych 5-ciu latach będą zbierane takie dane przez satelity Francji, Indii, Japonii, Kanady, Niemiec, Stanów Zjednoczonych i Rosji. Rozdzielczość przestrzenna 1 m zapewnia opracowanie map topograficznych, aktualizacje map i produkcję ortoobrazów w skalach 1 : 10 000 i większych.

Nie ma wątpliwości, że systemy cyfrowe będą ustawicznie udoskonalane, gdyż zmniejszają koszty opracowań i są łatwo osiągalne. Niemalą w tym rolę odegrają fotogrametryczne cyfrowe stacje robocze i systemy fotogrametrii cyfrowej otwierające wraz z danymi satelitarnymi możliwości łatwego aktualizowania baz danych GIS.

Literatura

1. Doyle F.J., Thirty Years of Mapping from Space. Intern. Archiv of Ph.&R.S. Vol. XXXI part B4, Vienna, 1996 p.70-73
2. Fritz L.W. Commercial Earth Observation Satellites. Inter. Archiv. of Ph.&R.S. Vol.XXXI, part B4, Vienna, 1996, p.273-282
3. Konecny G., Schiewe J., Mapping from Digital Satellite Image Data with Special Reference to MOMS-02. Photogrammetry & r>S., Vol.51 Nr 4, 1996, p. 173-181.
4. Konecny G., International Mapping from Space. Intern. Archiv. of Ph.& R.S. Vol.XXXI, part B4, Vienna, 1996 p.465-468.

5. Mularz S., Mapping Soil Erosion by GIS. GIS in Ecological Studies & Environmental Management, Warszawa, September p.137-148.
6. Mularz S., Mierzwa W., An Attempt to Apply GIS Technology for Soils Degradation Assessment. GIS for Environment, Kraków, Nov.p.171-177.
7. Newby P.R.T., Digital Images in the Map Revision Process. Photogrammetry & R.S. Vol.51, Nr 4, 1996 p.188-195.
8. Shears J.C., Allan J.W., Sofcopy Photogrammetry and its Uses in GIS. Intern. Archiv. of Ph. & R.S. Vol XXXI, part B4, Vienna, 1996, p.70-73.
9. Sitek Z., Fotogrametria cyfrowa - nowy etap rozwoju fotogrametrii. Geodezja i Kartografia, t.XL, z.2, 1991, s.234-242.
10. Sitek Z., Fotogrametryczne cyfrowe stacje robocze. Moniterra, Nr 7-8, Kraków, 1992, s.3-9.
11. Sitek Z., Experience with Environment Monitoring of Cracow Region (Poland) Based on GIS. Intern. Archives of Ph. & R.S. Vol. XXXI, part B-7, Vienna, 1996, p.618-623
12. Sitek Z., Wprowadzenie do teledetekcji lotniczej i satelitarnej. Wydawnictwo AGH, 1997.
13. Welch R., U.S.Government Satellite Remote Sensing Programs: 1995-2000, Intern. Archiv. of Ph. &R.S. Vol. XXXI, part B4, Vienna, 1996, p.934-936.

***Images from Commercial Satellite Earth Observing Systems
and GIS in Softcopy Photogrammetry.***

Summary

The paper outlines current and future remote sensing programs which are base on a variety of sensors. Special focus has been placed on several commercial. Earth observation satellites which will be lunched in the next nine years 1997 - 2005 into polar orbit. Commercially owned and operated digital observing sensors belong to very high resolution satellite electro-optical systems and produce digital panchromatic images with spatial resolutions 1 or 3 meters and in multispectral bands from 4 to 15 meters.

The paper contains two tables. One lists existing operational Earth Resources remote sensing civilian satellite systems that produce images suitable for resource inventory and cartographic applications. And the second summarise high resolution commercial Earth observing satellites, their orbit and sensor information.

The paper describes shortly two principal goals of softcopy photogrammetry. Creation the terrain data in the form of a Digital Terrain Model and a georeferenced orthorectified image - Orthoimage.

Some remarks on technique of stereo satellite image matching for automated DTM generation are presented. Paper also discusses „softcopy photogrammetry” as a tool for digital processes involved in the production of Digital Terrain Elevation Database (DTED).

The paper outlines also some uses of DTED with GIS applications both: those requiring height information such as DTM and derivative data like slope or high differences and also those which needs base maps - orthoimage as backdrops or source of vector data. GIS and softcopy photogrammetry show great promise for the integration variety of spatial information tasks in resource management, topographic and thematic mapping and different kind of engineering and urban projects. GIS offers efficient tools for manipulating, analysing and presenting data delivered by remote sensing imagery and softcopy photogrammetry. The development of new generation commercially owned, very high resolution satellite systems shows that operational application of space mapping become soon practical reality also at medium and maybe large scale mapping.