

Robert Lach
Cezary Misiun
Lesław Skrzypeczyk

TECHNOLOGICZNA GRANICA DOKŁADNOŚCI OPRACOWANIA ORTOFOTOMAP, NA PODSTAWIE ORTOREKTYFIKACJI WYSOKOROZDZIELCZYCH DANYCH SATELITARNYCH IKONOS I QUICK BIRD

Streszczenie. *Jako, że w Polsce pojawia się wiele „informacyjnego szumu” nt. możliwości ortorektyfikacji wysokorozdzielczych danych satelitarnych (ang. VHR data), autorzy pragną podzielić się z krajowym i międzynarodowym środowiskiem fotogrametrycznym wynikami samodzielnie wykonanych prac, związanych z całkowicie krajową produkcją ortofotomap satelitarnych, wykonanych dla ponad 3000 km² w roku 2002.*

Międzynarodowe publikacje dotyczące tej problematyki, pojawiały się już na kilka lat przed wystrzeleniem systemów IKONOS, a później Quick Bird i często pojawiały się w nich spekulacje na temat spodziewanej dokładności opracowań ortofotomap. Już po wystrzeleniu satelity IKONOS pojawiła się inna fala publikacji, dotyczących samodzielnych prób ortorektyfikacji produktów Carterra GEO, które jednak nie mogły osiągnąć najlepszych wyników, wobec braku dostępu do modelu matematycznego sensora satelity IKONOS. (T.Toutin, Ph.Cheng, R.Kaczyński) – mimo prawidłowego podejścia matematycznego, stosującego do ortorektyfikacji model scisły (rational polynomial coefficients). W tym okresie osiągane wyniki błędu, wyrażane w RMSE zawierały się z reguły w przedziale 3-4 m. Zastosowanie modelu sensora satelity IKONOS, po raz pierwszy zaimplementowanego za zgodą SPACE IMAGING Inc. przez firmę ERDAS, kolekcja scen dla Polski z odchyleniem od nadiru nie przekraczającym 18°, spełnienie rygorystycznych wymagań SPACE IMAGING Inc, co do dokładności pomiarów punktów kontrolnych (ang. GCPs.) przy użyciu techniki GPS, zastosowanie do procesu ortorektyfikacji scen Numerycznego Modelu Terenu, cechującego się dokładnością wyznaczenia wysokości rzędu 2-3 metrów - pozwoliło na produkcję ortofotomap, cechujących się wartością RMSE poniżej 1 metra. Ich produkcja zrealizowana została całkowicie przez zespół polski, Bałtyckiego Centrum Systemów Informacji Przestrzennej, dzięki logistycznemu i finansowemu wsparciu Grupy Kapitałowej TECHMEX S.A i otwartej postawy Space Imaging Eurasia.

Krótki wstęp o konkurencji systemów VHR

Opóźniony start ery długo zapowiadanych satelitów wysokorozdzielczych, rozpoczęty w 1999r umieszczeniem na orbicie systemu IKONOS 2 rozwija się coraz bardziej dynamicznie. Jednak oczekiwania użytkowników, co do jakości wysokorozdzielczych danych satelitarnych nie zostały jak dotąd spełnione przez system satelitarny EROS, którego zawartość informacyjna niewiele się różni od funkcjonujących na polskim rynku danych KVR-1000 systemu KOSMOS. Wystrzelenie w październiku 2001r systemu QUICK BIRD przyspieszy powstanie rynku zobrazowań

wysokorozdzielczych, jednak nie wcześniej niż w perspektywie 2-3 lat od roku 2002, wtedy bowiem systemy zaczną faktycznie konkurować ze sobą pod względem zawartości archiwów obszarów miejskich. Efektywne wykorzystanie wysokorozdzielczego systemu satelitarnego nie zależy bowiem od samej rozdzielczości – a przede wszystkim od dostępności pożądaných przez użytkownika danych na rynku. Tymczasem dostępne w internecie archiwum zdjęć Polski - systemu QUICK BIRD firmy Digital Globe wskazuje na dzień 17 września 2002r na istnienie zaledwie 57 scen, cechujących się zachmurzeniem nie większym niż 20 %.. Biorąc pod uwagę tempo tworzenia archiwów systemu IKONOS, którego zdolność do rejestracji dużych obszarów zainteresowania (AOI, Area of Interest) jest czterokrotnie większa niż systemu Quick Bird (Kurczyński, Wolniewicz), jak i fakt tworzenia polskiego archiwum systemu IKONOS już od prawie 3 lat – nie dziwi fakt dysproporcji rozmiaru archiwów IKONOSa i QUICK BIRDa w Polsce. Zgodnie z sugestiami europejskiego dystrybutora danych QUICK BIRD, firmy EURIMAGE (Biagini, Nasini), bardziej realnym w krótkiej perspektywie czasowej (2002-2004) wydaje się skupienie na opracowywaniu ortofotomap obszarów miejskich, ze względu na realną możliwość ich bardziej prawdopodobnego pozyskania – niż na projektach wielkoobszarowych (np. IACS). Tymczasem SPACE IMAGING Inc. rozpoczęła budowę systemu IKONOS BLOCK II, który będzie miał w roku 2004 rozdzielczość 40 cm.

DEM powstały ze stereopary IKONOSa i pierwsza w Polsce ortofotomapa klasy Precision Plus .

Słyszając wiele „informacyjnego szumu” w Polsce, na temat tego, czy zobrazowania wysokorozdzielcze mogą dać produkt tak precyzyjny, by wartość RMSE była mniejsza od 1 metra – i nie mając jeszcze dostępu do modelu sensora – zleciliśmy w 2001r opracowanie produktu Precision Plus – bezpośrednio firmie SPACE IMAGING Inc., działając w imieniu Miasta Bytom, które zamówiło u nas detekcję zmian na bazie porównania ortofotomap z lat 1997 i 2001. Firma SPACE IMAGING Inc. poprosiła nas o przesłanie jedynie punktów GCP (ang. Ground Control Points) i wykonała sama Numeryczny Model Terenu ze stereopary systemu IKONOS, (używając do tego celu modułu Stereo Analyst firmy ERDAS Inc.) a następnie przekazała nam materiał obrazowy po jego ortorektyfikacji. Raport z procesu ortorektyfikacji wykazał $RMSE = 0.9$ m. Po nałożeniu ortofotomapy przesłanej przez SPACE IMAGING, na wykonaną w Polsce ortofotomapę Bytomia (autorstwa OPGK Olsztyn) obydwie ortofotomapy pasowały do siebie wizualnie a jedynie radiometria zobrazowań IKONOSa wyróżniała się bardziej „żywymi” barwami niż ortofoto wykonane ze zdjęć PHARE. W czasie odbioru technicznego produktu w pracowni SIP miasta Bytomia nałożono dane ewidencji gruntów i budynków na ortofotomapę systemu IKONOS, uzyskując również pokrycie się danych e.g. i b. z ortofotomapą, czego dowód przedstawiamy poniżej.



Ortofotomapa z października 2001 r. z nałożonymi granicami działek i konturami budynków miasta Bytom. Skala 1: 3 500, wartość RMSE = 0.9 metra.

TESTY ORTOREKTYFIKACJI DANYCH IKONOS w Polsce

Samodzielna ortorektyfikacja danych Carterra GEO z modelem IGM (Image Geometry Model)

Po tych próbach i zakupieniu od ERDAS Inc. oprogramowania do samodzielnej ortorektyfikacji zobrazowań systemu IKONOS postanowiliśmy wykonać ortofotomapy klasy Precision Plus samodzielnie. W dniu 8 marca 2002 - Murat Erciyes, Prezydent firmy SPACE IMAGING EURASIA spotkał się z władzami Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii oraz z P. Aleksandrem Bentkowskim, Prezesem Agencji Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa. Zdecydowano się na przeprowadzenie testów systemu IKONOS, które obejmowałyby próbki różnych typów obszarów – od prawie płaskiego – do terenu o dużym zróżnicowaniu wysokościowym. Nadzieją Prezesów GUGiK i ARiMR było otrzymanie tak

dokładnego produktu, który mógłby spełnić zarówno wymagania dokładnościowe IACS jak i wymagań dokładności dla modernizacji systemu katastralnego przy wykorzystaniu technologii fotogrametrycznych. Mówiąc krótko – chodziło o wytworzenie ortofotomap o jak największej dokładności, które odpowiadałyby skali nawet 1: 5 000. Ponadto celem testowania było również sprawdzenie, czy w ciągu jednego przejścia system potrafi zarejestrować kilka pasów zdjęć przylegających do siebie, celem optymalizacji procesu pozyskiwania zdjęć. W dniu 3 kwietnia 2002 podpisany został list intencyjny pomiędzy ARiMR i Space Imaging Eurasia, co do produkcji ortofotomapy na potrzeby Zintegrowanego Systemu Zarządzania i Kontroli w Polsce. Treść listu intencyjnego przewidywała przyspieszenie fotografowania obszaru Polski od następnego dnia roboczego po podpisaniu listu intencyjnego. W dniu 4 kwietnia firma SPACE IMAGING EURASIA zarejestrowała 1150 km² zdjęć powiatu Nowosądeckiego, wybranego ze względu na duże przewyższenia terenu – jako dobre pole testowe. (najniższy punkt w powiecie ma ok. 200 metrów wysokości, najwyższy ok. 1200 m wysokości).

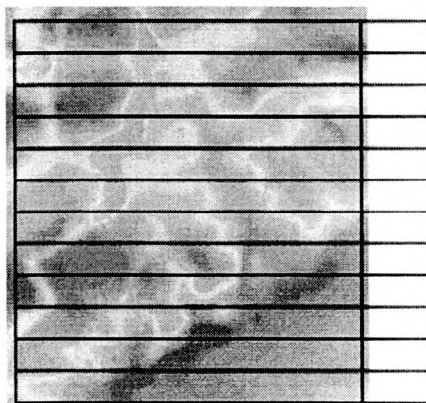
W dniu 7 kwietnia IKONOS zarejestrował 583 km² okolic Gostynina. Ponadto to testów użyto jeszcze zdjęć Kraśnika (121 km²) i Drawska Pomorskiego (1175 km²) Łącznie, firmy SPACE IMAGING EURASIA S.A i Bałtyckie Centrum Systemów Informacji Przestrzennej, sp.z o.o. wykonały ortofotomapy klasy Precision Plus dla ponad 3169 km²

OKREŚLENIE DOKŁADNOŚCI N.M.T.

Do ortorektyfikacji użyto Numerycznego Modelu Terenu, udostępnionego przez firmę SPACE IMAGING EURASIA i jej strategicznych partnerów. Poniżej przedstawiono wyniki testów tego NMT, przeprowadzonych na próbce NMT dla okolic gminy Debrzno, powiat człuchowski. NMT porównano z NMT wytworzonym dla gminy Debrzno, wykonanym ze zdjęć programu PHARE LIS 9206, przy użyciu oprogramowania SoftPlotter v. 1.3. Badaniu został poddany obszar w okolicach Debrzna, o wielkości około 36 km². Teren badany jest zróżnicowany pod względem urzeźbienia, różnica w wysokościach waha się od 135 metrów do 178 metrów.

Opis testu nr 1:

DEM (post spacing 20m)



Aerial Photography 1:26000

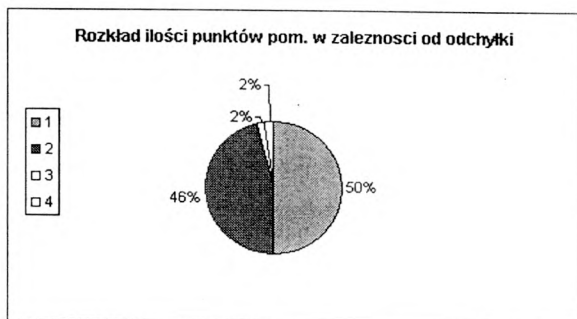


NMT został skonwertowany z oryginalnego pliku o formacie *.dem na zbiór w postaci ASCII. Wynik został zaimportowany do programu MicroStation. Określono linie wzdłuż których zostały wygenerowane profile w odstępach 500 metrów. Z uwagi na różne układy współrzędnych obu DEM'ów, zostały najpierw określone współrzędne profili x,y w jednym układzie, a następnie współrzędne te zostały przekonwertowane na drugi układ dając w ten sposób możliwość wygenerowania profili na drugim NMT. Profile zostały wygenerowane w Microstation. Test został wykonany na 3739 punktach rozmieszczonych co 20 metrów od siebie, zgrupowanych w 13 profilach. Każdy profil zawierał ponad 200 punktów pomiarowych.

Wyniki:

RMSE	2.65
NSSDA	5.20
Max. odchyłka	20.24
Min. odchyłka	-6.68

	0 - 0,5m	1045
1	0 - 1m	1862
2	1 - 5m	1737
3	5 - 10m	70
4	>10m	68



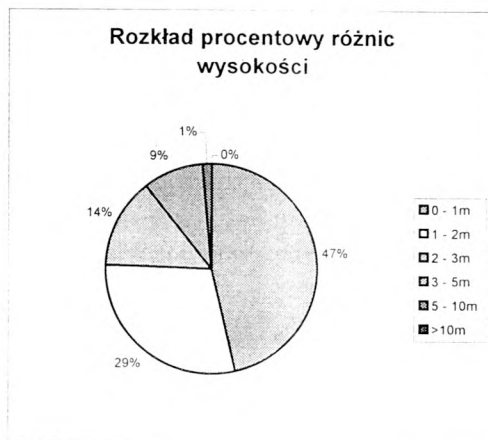
Opis testu nr 2:

Testowi podlega ten sam obszar co w teście nr 1. Badany NMT o oczku 20m został skonwertowany z pliku oryginalnego na zbiór w postaci ASCII. Następnie zbiór ten został zaimportowany do programu ERDAS 8.5. Plikem porównawczym był odpowiadający mu obszar pozyskany ze zdjęć lotniczych w skali 1:26000, z tą różnicą że DEM pozyskany ze zdjęć był w układzie 1965, a badany w układzie 1942. Po ujednoliceniu pod względem układu współrzędnych i wielkości obszaru oba pliki z DEM'em zostały poddane operacji odejmowania w programie ERDAS. Operacja ta polegała na określeniu różnicy między jednym a drugim DEM'em, na każdym jego punkcie. W sumie test objął **165248** punktów, rozłożonych w regularnej siatce co 20m.

Wyniki:

RMSE	1.91
NSSDA	3.75
Max. odchyłka	15.24
Min. Odchyłka	-19.86

	0 - 0,5m	41564
1	0 - 1m	76571
2	1 - 2m	48230
3	2 - 3m	23086
4	3 - 5m	14842
5	5 - 10m	2308
6	>10m	211



Opis testu nr 3:**WIELKOŚĆ PRZESUNIĘCIA RADIALNEGO NA ZDJĘCIU ZE WZGLĘDU NA DENIWELACJE**

Różnica DEM	przesunięcie radialne	w skali 1:26000
0,5m	0,0125mm	0,325m
1m	0,025mm	0,650m
2m	0,050mm	1,300m
2,5m	0,0625mm	1,625m
3m	0,075mm	1,950m
4m	0,100mm	2,600m

$$\Delta r = \frac{r \cdot \Delta h}{H}$$

gdzie:

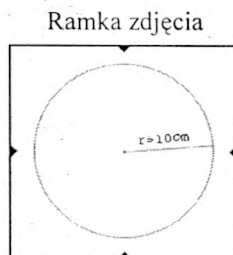
 Δr – przesunięcie r – odległość punktu od środka zdjęcia (10cm) Δh – różnica wysokości H – wysokość lotu (4000m) Δr – radialne

Tabela przedstawia wielkość przesunięcia radialnego na zdjęciu w skali 1:26000

Testowi podlega ten sam obszar co w teście nr 1.

Celem testu było określenie różnic w położeniu szczegółów terenowych na zdjęciu poddanym ortorektyfikacji w oparciu o DEM z próbki *N330951.dem* a później zortorektyfikowanego o DEM wzorcowy.

Proces ortorektyfikacji oraz pomiaru został wykonany w programie ERDAS. Na podstawie różnic wysokości między porównywanymi DEM'ami (0,5m, 1m, 2m, 3m, 4m) zostały wybrane punkty na ortoobrazach.

Wyniki:

Nr Próbki	DEM wzorcowy		DEM porównywany		różnica H	dX	dY	$\sqrt{dX^2 + dY^2}$
	X	Y	X	Y				
1	3510473.42	6003560.43	3510473.70	6003560.43	0.63	-0.28	0.00	0.28
3	3512706.63	6002257.10	3512706.49	6002257.52	0.46	0.14	-0.42	0.44
16	3508956.00	6001406.41	3508956.35	6001406.77	0.56	-0.35	-0.35	0.50
2	3512819.75	6002610.88	3512818.77	6002611.02	1.18	0.98	-0.14	0.99
6	3513496.60	6002775.67	3513497.25	6002775.28	-0.94	-0.65	0.39	0.76
13	3511764.34	6003508.14	3511763.96	6003508.14	0.99	0.37	0.00	0.37
15	3509259.43	6001342.26	3509259.23	6001341.65	-1.08	0.20	0.61	0.64
7	3512790.99	6002125.73	3512791.69	6002125.16	-2.14	-0.70	0.57	0.90
8	3512028.98	6002205.98	3512029.28	6002206.14	-2.06	-0.30	-0.16	0.34
12	3511673.58	6003466.58	3511673.10	6003466.58	1.99	0.48	0.00	0.48
10	3508671.23	6001889.33	3508673.11	6001890.01	3.01	-1.88	-0.67	2.00
11	3511502.19	6003257.71	3511501.80	6003257.94	3.20	0.38	-0.23	0.45
4	3513389.03	6002851.19	3513392.44	6002850.05	-4.31	-3.41	1.14	3.60
9	3511971.94	6002026.77	3511970.87	6002028.32	4.03	1.07	-1.55	1.89
14	3511848.81	6005095.52	3511847.67	6005094.00	4.09	1.14	1.52	1.90
5	3510509.47	6002834.29	3510619.61	6002831.06	-14.41	-11.14	-2.77	15.56

ORTOREKTYFIKACJA KRAJOWA Danych IKONOS Geo Ortho Kit (GEO+pliki rpc)

Dla wybranych wspólnie z GUGiK, ARiMR, ZGWSzG obszarów testowych (Kraśnik, Nowy Sącz, Gostynin, Drawsko Pomorskie) przystąpiono do opracowania projektów osnowy fotogrametrycznej, przy spełnieniu wymagań dokładnościowych SPACE IMAGING Inc. Wymaganie te zakładają pomiar tylko dobrze identyfikowalnych punktów przy dokładności pomiaru nie gorszej niż 20 cm planimetrycznie i nie gorzej niż 60 cm – wertykalnie.

Obiekt KRAŚNIK

Dla obszaru o silnie rozdrobnionej strukturze działek rolnych w okolicach Kraśnika wykonano ortorektyfikację 1 sceny IKONOSa, z dostarczonego przez Space Imaging Eurasia zdjęcia GEO, o kącie odchylenia od nadiru, mniejszym niż 18° , z plikami rpc (rational polynomial coefficients) z dnia 3 czerwca 2001 roku, zarejestrowanego o godz. 9.26 GMT. Wstępnego przetworzenia dokonano na obrazie panchromatycznym. Ortorektyfikację poprzedził proces projektowania osnowy. Na podstawie dostępnych opracowań a także doświadczeń wynikających z wcześniejszych opracowań (Kaczyński, Cheng,) przyjęto następujące założenia:

- 1) Liczba punktów osnowy została celowo zwiększona do 12 (Space Imaging Inc zaleca ok. 6-7), tak aby można było przetestować optymalny sposób rozmieszczenia punktów osnowy a także ich liczbę (Będzie to przedmiotem dalszych badań i analiz)
- 2) Lokalizując punkty starano się połączyć specyfikę wpasowania obrazów metodą wielomianową (możliwie równomierne rozmieszczenia, aby minimalizować ewentualne dystorsje obrazu między punktami osnowy)
Oraz specyfikę modelu sensora typu push-broom dostępnego w komercyjnym pakiecie oprogramowania ERDAS Imagine (Interpolacja środków rzutów poszczególnych linii obrazu). Ponieważ tak wiele czynników stanowiło niewiadomą osnowa musiała być w miarę uniwersalna.
- 3) DTM służący ortorektyfikacji miał pozostać w układzie źródłowym, aby uniknąć błędów transformacji i interpolacji
- 4) Unikano rozmieszczenia punktów współliniowych prostopadle do kierunku lotu satelity.
- 5) Wytypowane punkty stanowiły przecięcia osi obiektów liniowych (skrzyżowania)
Pomiar osnowy został wykonany przez zespół Katedry Fotogrametrii i Teledetekcji Uniwersytetu Warmińsko- Mazurskiego pod kierownictwem prof. dr hab. inż. Stanisława Oszczaka.

1. Pomiar techniką GPS punktów osnowy

Przed przystąpieniem do obserwacji wykonano analizę warunków obserwacyjnych (ilości satelitów, ich konfiguracji geometrycznej etc.) przy użyciu programu MPSM dostarczonego przez firmę Ashtech. Przy ustalaniu kolejności pomiarów brano pod uwagę geometrię sieci oraz optymalny czas dojazdu do poszczególnych punktów. Na podstawie analizy warunków obserwacji oraz położenia punktów w terenie

sporządzono projekt wykonania obserwacji GPS. Na terenie objętym pomiarami wybrano do nawiązania poziomego i wysokościowego 4 punkty sieci POLREF o numerach 1701, 1802, 1803, 2808. Pomiary 12 punktów wykonano metodą statyczną w oparciu o punkty referencyjne w dniach 20.03.2002 przy użyciu 4 odbiorników GPS typu Ashtech Z-XII, Ashtech Z-Surveyor.

Podstawowe parametry pomiaru:

- minimalna wysokość satelitów nad horyzontem 15°
- interwał pomiarowy 5 s
- minimalna liczba satelitów 3
- wartość PDOP < 6

2. Wyrównanie ściśle sieci

Przybliżone składowe wektorów sieci punktów GPS obliczono przy użyciu programu GPPS, dostarczonego przez firmę Ashtech. Obliczenia kontrolne wykonywano na bieżąco w czasie trwania kampanii pomiarowej na komputerze typu Laptop. Ostateczne opracowanie wyników przeprowadzono na komputerze typu IBM Pentium. Przy obliczeniach uwzględniono poprawkę troposferyczną dla standardowych warunków meteorologicznych. Obliczenia wykonano przyjmując kąt minimalnej elewacji 15° . Ściśle wyrównanie sieci przeprowadzono przy użyciu programu FILLNET firmy Ashtech. Wyniki wyrównania otrzymano w układzie współrzędnych WGS-84/ETRF'89

3. Przeliczenie współrzędnych z układu współrzędnych WGS-84 do układu "1942"

Współrzędne wyrównane B, L punktów pomierzonych przetransformowano z układu współrzędnych WGS-84 do układu „1942” w oparciu o 4 punkty wspólne sieci POLREF w obu układach. Transformacje przeprowadzono przy użyciu programu TRANSGPS (autor: prof. dr hab. Idzi Gajderowicz). Wykonano transformację 7-parametrową pierwszego stopnia przyjmując 4 punkty łączne sieci POLREF.

Ortorektyfikację sceny panchromatycznej wykonano w oprogramowaniu ERDAS Imagine v 8.5 w module OrthoBase. Do ortorektyfikacji wykorzystano DTM udostępniony przez BCSIP i Space Imaging Eurasia o oczku siatki równym 20m. Wstępny raport z triangulacji wykazał na jednym z punktów odchyłkę rzędu ok. 4m. Jako, że punkt ten już w momencie wykonywania pomiaru na obrazie posiadał adnotację o problemach z identyfikacją został wykluczony z obliczeń.

Wyniki wyrównania przedstawia poniższy zrzut z ekranu:

Editor: raport, Dir: c:\wymiana\

File Edit View Find Help

Adjustment Report With OrthoBASE

Output image units: pixels
Output ground units: meters
Output z units: meters

Image accuracy for control and check points for each scene

image id: 1

pid	type	image_x	image_y	residual_x	residual_y
1	gcp	6433.6392	1171.8883	C 1244	-0.0578
2	gcp	502.3266	1240.4706	C 0111	-0.1175
3	gcp	10680.7956	3406.1174	C 3072	0.2719
5	gcp	8769.9737	5845.1380	C 5504	-0.3004
6	gcp	1531.3518	5048.0856	C 2093	0.5217
7	gcp	11388.4641	8047.7749	C 0146	0.1969
8	gcp	5187.7042	8810.7166	C 5030	-1.7285
9	gcp	455.9602	8524.5890	C 2911	0.2909
10	gcp	1029.7996	13393.4931	C 0379	-0.5028
11	gcp	6081.9429	11976.7153	C 1139	1.8550
12	gcp	11200.3381	13838.2517	C 0036	-0.4294

RMS Errors for 11 GCPs

	x	y	z
total	0.2711	0.8226	0.8892

Summary RMSE for GCPs and CHRs (number of observations in parenthesis)

	Ground X	Ground Y	Ground Z	Image X	Image Y
Control	0.0000 (0)	0.0000 (0)	0.0000 (0)	0.0000 (0)	0.0000 (0)
Check	0.0000 (0)	0.0000 (0)	0.0000 (0)	0.0000 (0)	0.0000 (0)

Uzyskany wynik ortorektyfikacji, RMSE xy = 86 cm jest więc bardzo obiecujący. Dodatkowo dokonano jeszcze udanej próby połączenia obrazu panchromatycznego z obrazem wielospektralnym (o rozdzielczości 4m) ale występującego w postaci pliku RGB. Uzyskany efekt można określić jako bardzo dobry. Ponieważ obraz wielospektralny pochodził fizycznie z innego zestawu danych, miał fizycznie inny rozmiar niż używane w tym eksperymencie dane. Połączenia dokonano na danych surowych („przycinając” nieco obraz wynikowy) i dopiero taki materiał, bazując na dostarczonym pliku RPC dla obrazu panchromatycznego poddano ortorektyfikacji. Oba obrazy „leżały” na sobie w sposób nie budzący zastrzeżeń.

Obiekt GOSTYNIN. Rektyfikacja bloku scen panchromatycznych

Zdjęcia okolic Gostynina pozyskano w dniu 7 kwietnia 2002 dla powierzchni 583 km². Podobnie, jak w pierwszym przypadku, do ortorektyfikacji wykorzystano omawiany wyżej NMT o post spacing 20 m, zdjęcia dostarczone przez Space Imaging Euraisa i osnowę fotogrametryczną, opracowywaną tak samo jak uprzednio. Poniżej ukazano rozkład punktów kontrolnych.

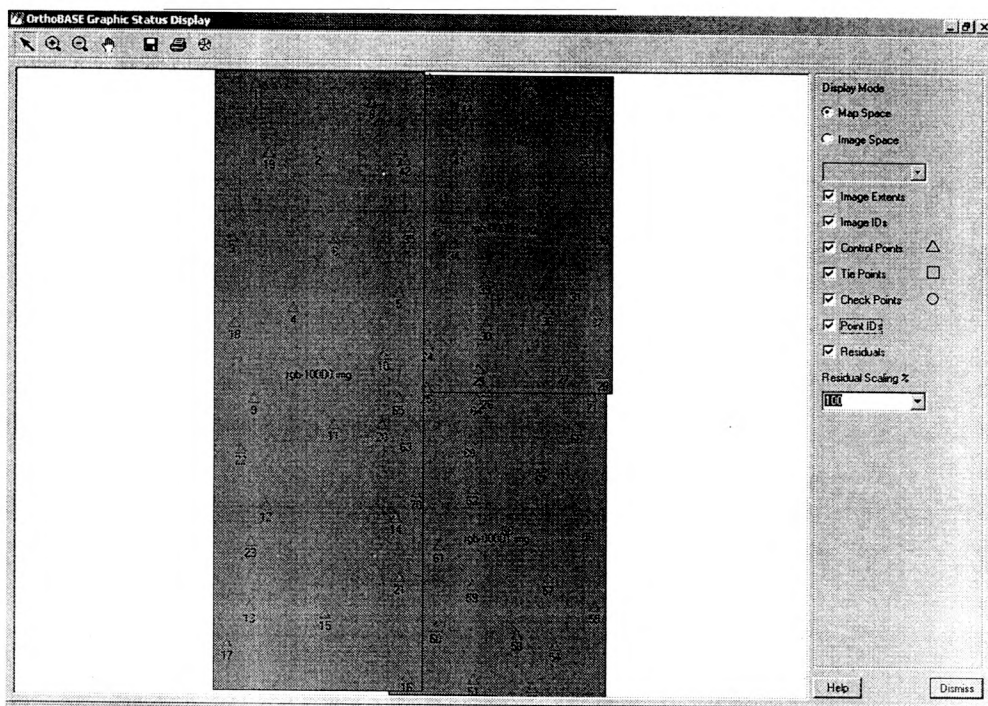


image id 1 : RMS Errors for	18 GCPs:	x:	0.9761
		y:	0.8144
		total:	1.2713
image id 2: RMS Errors for	12 GCPs:	x:	0.7324
		y:	0.4908
		total:	0.8817
image id 3: RMS Errors for	11 GCPs:	x:	0.6242
		y:	0.6100
		total:	0.8727

Rektyfikacja bloku scen wielospektralnych

Image accuracy for control and check points for each scene:

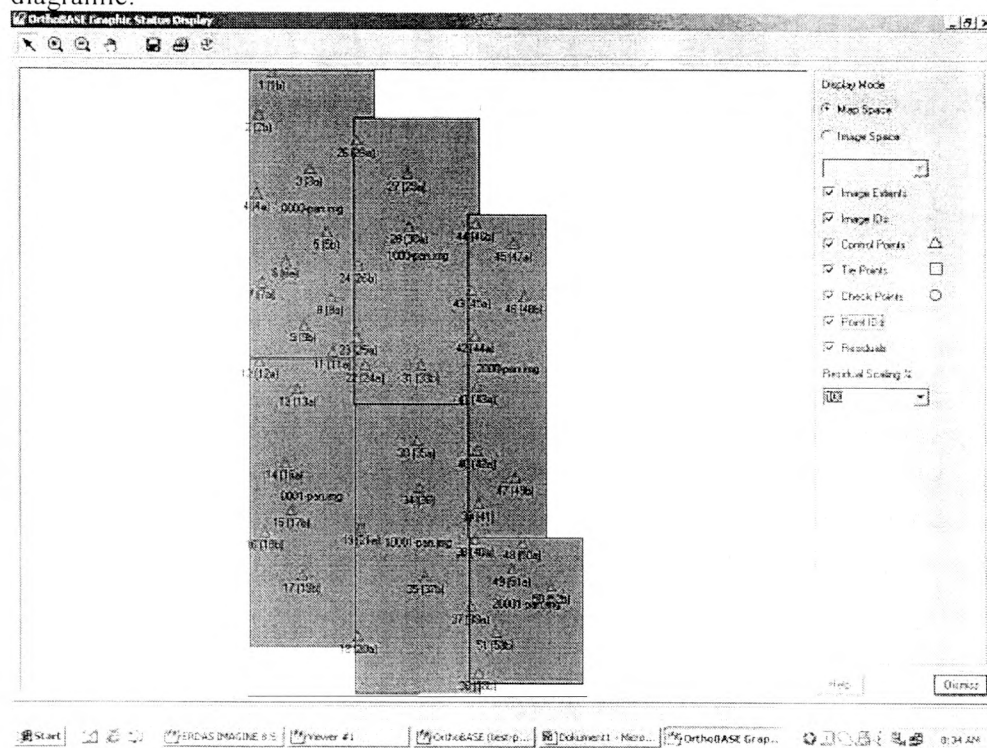
image id 1: RMS Errors for 28 GCPs: x: 0.2952
y: 0.2603
total: 0.3936

image id 2: RMS Errors for 24 GCPs: x: 0.2922
y: 0.3295
total: 0.4404

image id 3: RMS Errors for 23 GCPs: x: 0.3117
y: 0.4108
total: 0.5157

OBIEKT NOWY SĄCZ

Podobnie jak dla Kraśnika i Gostynina skorzystano z NMT o post spacing 20 metrów, ze zdjęć IKONOSa, zarejestrowanych tym razem w dniu 4 kwietnia 2002 podczas jednego przejścia satelity, w trzech przylegających do siebie pasach, dzielonych na dwie części (ze względu na rozmiar plików). Ponadto użyto osnowy fotogrametrycznej, wg wymagań jak wyżej. Punkty kontrolne ukazano na poniższym diagramie.



SPACE IMAGING EURASIA pozyskało obraz w trzech ciągłych pasach, z których następnie każdy ze względu na fizyczny rozmiar plików zostały podzielony na dwie części. Początkowo, nie ustrzeżono się przy tym błędów, bowiem dzieląc sceny nie zachowano wzajemnego pokrycia, co w ostatecznym wyniku spowodowało

konieczność zwiększenia punktów osnowy użytych do triangulacji, a także spowodowało, że końcowa mozaika była „skażona” czarną linią pikseli na stykach scen leżących w danym pasie. SPACE IMAGING EURASIA wygenerowała ponownie sceny dla powiatu Nowosądeckiego dzieląc oryginalny pas rejestracji na wzajemnie zachodzące na siebie sceny, co pozwoliło zlikwidować początkowy brak pokrycia scen. Wynik ostateczny prezentowany jest w postaci wydruku ortofotomapy fragmentu powiatu – podczas konferencji. Punkty osnowy fotogrametrycznej, które miały zostać użyte do korekcji zobrazowań zostały pomierzone bezpośrednio w terenie w oparciu o technikę GPS. Łącznie pomierzono 53 punkty osnowy rozmieszczone na terenie powiatu. Współrzędne zostały następnie transformowane do układu „1942”. W pierwszym etapie prac dokonano ortokorekcji zobrazowań panchromatycznych. Triangulację wykonano w jednym bloku, wyrównanie przeprowadzono w jednym procesie obliczeniowym. Poniżej raport z tego procesu:

Refinement Summary			
Total Image RMSE:		1.2866 pixels	
Control Point RMSE:		Check Point RMSE:	
Ground X:	1.1510 (12)	Ground X:	0.0000 (0)
Ground Y:	1.1889 (12)	Ground Y:	0.0000 (0)
Ground Z:	7.6881 (12)	Ground Z:	0.0000 (0)
Image X:	0.8251 (55)	Image X:	0.0000 (0)
Image Y:	0.9872 (55)	Image Y:	0.0000 (0)

Image accuracy for control and check points for each scene:

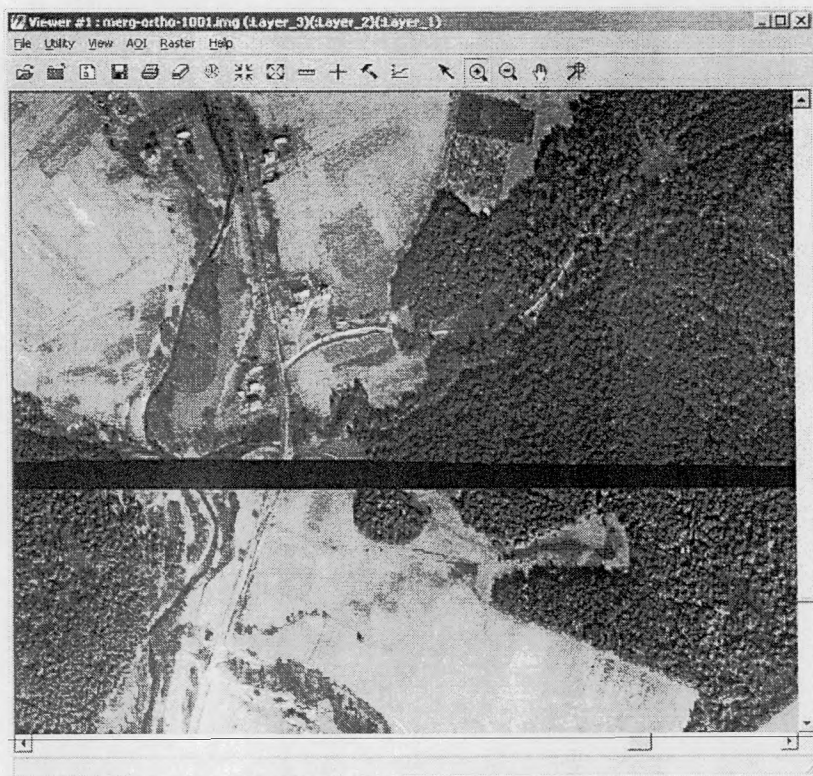
image id 1: RMS Errors for	13 GCPs:	x:	0.8224
		y:	1.1841
		total:	1.4416
image id 2: RMS Errors for	9 GCPs:	x:	0.7305
		y:	0.7736
		total:	1.0640
image id 3: RMS Errors for	10 GCPs:	x:	1.0780
		y:	0.9510
		total:	1.4375
image id 4: RMS Errors for	10 GCPs:	x:	0.9687
		y:	0.7371
		total:	1.2173
image id 5: RMS Errors for	7 GCPs:	x:	0.6371
		y:	1.4884
		total:	1.6191
image id 6: RMS Errors for	6 GCPs:	x:	0.0000
		y:	0.0000
		total:	0.0000

Summary RMSE for GCPs and CHKs (number of observations in parenthesis):

Na etapie opracowywania triangulacji z pomiaru wyłączono punkty wprowadzające największe błędy. Następnym po ortorektyfikacji etapem prac było opracowanie materiału wielospektralnego w barwach pseudonaturalnych. Ze względu na fizyczne

rozmiary pliki wielospektralne przychodzą w rozbiciu na poszczególne kanały, koniecznym było wygenerowanie w pierwszym rzędzie kompozycji trzykanałowych w barwach pseudonaturalnych. Dysponując tak przygotowanym materiałem dokonano ortorektyfikacji materiału wielospektralnego.

Ostatnią fazą procesu obróbki cyfrowej było połączenie obrazu panchromatycznego z wielospektralnym. Operacja popularnie nazywana w środowisku „mergingiem” została wykonana metodą PCA. Przed połączeniem obrazów w jednej mozaice dokonano korekcji histogramów, w sposób zapewniający uzyskanie jednolitej kolorystyki na całym obszarze opracowania. Tak wyglądają poszczególne ortoobrazy: (pokazywane w czasie konferencji – obszerność opracowania nie pozwala na zamieszczenie pełnego raportu) . Tak, jak wspomniano na wstępie - brak pokrycia pomiędzy scenami w pasie uniemożliwiał początkowo wygenerowanie jednolitej mozaiki (pojawia się czarna linia pikseli). W czasie konferencji w Białobrzegach zaprezentujemy wyniki opracowania poprawionego materiału źródłowego (po ponownym przysłaniu przez SPACE IMAGING EURASIA nowo wygenerowanych scen (Jest to bowiem tylko kwestia innego podziału pasa rejestracji) Poniżej pokażemy zbliżenia „styków” poszczególnych scen, aby unaocznić, że statystyczne wyniki nie są tylko liczbami.



Styk scen 2000 i 2001 po ortokorekcji, a przed ich ponownym wygenerowaniem przez SI Eurasia (jak później ustalono -500 pikseli przekrycia)pomiedzy scenami
Skala 1: 5000



Styk scen 0001 i 1001. Skala 1: 5000. Linie pokrycia można zidentyfikować patrząc na lasy. (To nie jest mozaika a jedynie wyświetlone na sobie ortoobrazy!!)

Uzyskane wielkości stanowią bardzo dobry wynik dla terenów górskich. Biorąc pod uwagę wielkość deniwelacji występujących na tym terenie (200- 1200m) wyniki testów wyglądają bardzo interesująco.

WNIOSKI :

1. Rejestracja scen systemu IKONOS powinna być prowadzona z kątem odchylenia od nadiru o maksimum 18° , by stosowane sceny systemu IKONOS dawały ortofotomapy o RMSE ≤ 1 metra,
2. Dokładność pomiaru punktów kontrolnych (ang. GCPs) powinna zgodnie z wytycznymi technicznymi SPACE IMAGING Inc i SPACE IMAGING EURASIA wynosić lepiej niż 20 cm planimetrycznie i lepiej niż 60 cm wertykalnie, by sumaryczny błąd pomiaru i wyznaczenia punktu nie przekraczał 0,5 m (x,y) oraz 1 m (z)
3. Zastosowanie Numerycznego Modelu Terenu o post spacing 20 metrów i dokładności wyznaczenia wysokości rzędu 2-3 metrów pozwala na krajową

produkcję ortofotomap klasy Precision Plus, charakteryzujących się błędem RMSE lepszym niż 90 cm

4. Przetestowany w roku 2002 sposób rejestracji większej powierzchni (3 lub 4 pasy zdjęć obok siebie w ciągu 1 przejścia satelity (Obiekty Nowy Sącz i Drawsko Pomorskie) daje najbardziej optymalny sposób rejestracji powierzchni Polski, co przy 17 przejściach satelity nad Polska miesięcznie daje zdolność rejestracyjną wynoszącą ok. 62 000 km²., co daje łącznie zdolność rejestracji ok. 476 000 km² przy założeniu pełnego wykorzystania czasu obrazowania satelity w sezonie rejestracyjnym wrzesień-październik 2002, kwiecień-wrzesień 2003
5. Biorąc pod uwagę analizę danych archiwum zdjęć satelitarnych, gromadzonych w Regionalnych Stacjach Odbiorczych Thornton i Ankarze, wykonanych w okresie 2000-2002, proporcja pomiędzy całkowitą ilością zdjęć, zarejestrowaną przez system a ilością zdjęć, zachmurzonych mniej niż 20 % wyniosła w pierwszych trzech latach funkcjonowania systemu ok.50 %, więc potwierdzona reprezentatywnymi testami zdolność konsorcjum wytworzenia ortofotomapy kraju w okresie 2002-2003 wynosi 238 000 km², tj.połowę zdolności rejestracyjnej – ze względu na warunki pogodowe.
6. Konsorcjum firm SPACE IMAGING Inc, SPACE IMAGING EURASIA, BAŁTYCKIE CENTRUM Systemów Systemów Informacji Przestrzennej i TECHMEX S.A. dysponuje ponad 60 000 km² bezchmurnych zobrazowań systemu IKONOS dla obszaru Polski, (97 000 km² przy zachmurzeniu 20 %) które mogą natychmiast być przetwarzane w ortofotomapę odpowiadającą skali 1: 5000
7. Przy dostępnym Numerycznym Modelu Terenu o dokładności wyznaczenia wysokości rzędu 2-3 metrów osiągnięto granicę technologiczną opracowania cechującą się takimi samymi lub lepszymi wynikami jak oryginalne produkty obrazowe SPACE IMAGING klasy Precision Plus o RMSE = 0,9 m. Zwiększenie tej dokładności jest możliwe, wymagałoby jednak zastosowania NMT o błędzie wyznaczenia wysokości mniejszym niż 30cm, co praktycznie wskazuje na konieczność zastosowania danych LIDAR, których koszt wytworzenia byłby większy niż ewentualne korzyści z większej dokładności produktu. (DoCoMo, Japonia) – nie usprawiedliwionej poprzez aktualne potrzeby.
8. Powstałe ortofotomapy spełniają zarówno wymagania dokładnościowe Unii Europejskiej (Rozp.Rady Europejskiej Nr 1593/2000) dotyczące budowy ortofotomap i Systemu Identyfikacji Działek Rolnych (Leo, Lemoine, Stakenborg) w ramach budowanego Zintegrowanego Systemu Zarządzania i Kontroli jak i przepisy polskiego prawa geodezyjno-kartograficznego dotyczące dokładności ortofotomap dla potrzeb katastru

Literatura:

Hopfer,A.Surowiec.S., Kosakowski.J. „Wariantowa koncepcja budowy Wielofunkcyjnego Rejestru Gospodarstw Rolnych”, Olsztyn, U.W.M., 2000

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

Bruno Biagini, Riccardo Nasini, 22-23 marca 2002, EURIMAGE European Resellers Meeting, Rzym

Zdzisław Kurczyński, lipiec 2002, Wiesław Wolniewicz, „Wysokorozdzielcze systemy obrazowania satelitarnego”, cz.I, str.18-22 GEODETA,

Zdzisław Kurczyński, Wiesław Wolniewicz, „Wysokorozdzielcze systemy obrazowania satelitarnego, cz.II, Co oznacza piksel poniżej 1 metra”, GEODETA, str.26-30, sierpień, 2002,

Ryszard Preuss, Zdzisław Kurczyński, „Koncepcja wytworzenia ortofotomapy Polski dla potrzeb systemu identyfikacji działek rolnych – LPIS”, str.6-10 GEODETA, sierpień 2002

Jan Konieczny, wrzesień 2002, „Krajowy System Ewidencji Gospodarstw Rolnych i Zwierząt Gospodarskich, polski IACS i LPIS, Szybko, dobrze, tanio ?”, GEODETA, str.8-11,

Robert Lach, Murat Erciyes, wrzesień 2002 „Teraz nasz ruch”, GEODETA, str.12-14,

Tao C.Vincent, Yong Hu, Steve Schnick, 2002, "Photogrammetric Exploitation of IKONOS imagery using the Rational Function Model". ASPRS Congress, Washington

Olivier Leo, Guido Lemoine, Jacques Stakenborg, 2001, Discussion Paper on Land Parcel Identification System v.1.4. , Ispra, Włochy

Rozporządzenie Rady Europejskiej Nr 1593/2000 z 17 lipca 2000

Recenzował: dr inż. Zdzisław Kurczyński