

Jolanta Orlińska
Robert Pośnik
Ryszard Preuss

CYFROWA POSTAĆ MATERIAŁÓW ŹRÓDŁOWYCH DLA AUTOMATYCZNEGO GENEROWANIA NUMERYCZNEGO MODELU TERENU

Streszczenie. *Podstawowy materiał źródłowy dla opracowań fotogrametrycznych w technologiach cyfrowych stanowią skanowane zdjęcia lotnicze. Proces wtórnego pozyskiwania danych jakim jest zamiana postaci analogowej zdjęć lotniczych na postać cyfrową jest najważniejszą, prawdopodobnie krytyczną, choć często najmniej docenianą, procedurą w łańcuchu produkcyjnym fotogrametrii cyfrowej (Baltsavias, E). Świadomy dobór parametrów skanowania oraz strategii przetwarzania obrazu na tym etapie technologicznym zadecyduje o jakości danych cyfrowych, a w konsekwencji również o jakości produktu końcowego.*

W artykule zostanie przeanalizowany wpływ wybranych parametrów skanowania na jakość automatycznie wygenerowanego numerycznego modelu terenu przy użyciu fotogrametrycznej stacji cyfrowej. Do najistotniejszych parametrów procesu, w kontekście niniejszego zadania, zaliczono wybór sposobu skanowania (kanału), rozdzielczość oraz przyjęty stopień kompresji. Doświadczenia prowadzono na stacji cyfrowej ImageStation 2000, w programie ISAE (ImageStation Automatic Elevation) wykorzystując zdjęcia kolorowe w skali 1:26000 co pozwoli na zastosowanie uzyskanych wyników badań w produkcji krajowej. Wyniki przeprowadzonych eksperymentów zostaną ukazane na tle dotychczasowych doświadczeń innych autorów.

1. Wstęp

We wstępie niniejszego artykułu zostaną przybliżone problemy dotyczące procesu skanowania zdjęć lotniczych dla potrzeb opracowań cyfrowych, które w dalszej części uzupełnione zostaną o prezentację wyników przeprowadzonych eksperymentów oraz ich analizy. Istotnymi zagadnieniami procesu skanowania są: tryb skanowania (kanał), właściwy dobór wielkości piksela, kompresja (JPEG), a zwłaszcza przyjęte miary kompresji oraz klasyfikacja technik kompresji.

Wykorzystywanie fotogrametrycznych stacji cyfrowych w produkcji fotogrametrycznej stało się obecnie powszechną praktyką. Większość procesów wykonywana jest jednak rutynowo w oparciu o dotychczas obowiązujące, zaczerpnięte z technologii analogowych metody, normy, standardy i zasady, które wraz z rozwojem nowoczesnych technologii powinny również być dostosowywane do możliwości i specyfiki technologii cyfrowych. Tak więc inżynierowie i operatorzy stacji cyfrowych często projektują proces czy wykonują daną czynność aplikując wprost tradycyjne zasady „*kiedyś tak robiłem, kiedyś tak to liczyłem, kiedyś tak to szacowałem ...*”. Staramy się przestarzałe techniki przenieść do nowoczesnych i zaawansowanych technologii. Nie da się ukryć że bez ciągłego śledzenia rozwoju

nowoczesnych technik i empirycznego testowania sprzętu i oprogramowania nie jesteśmy w stanie określić nowych norm i zasad dla naszej pracy.

I tak - skanery, którymi obecnie dysponujemy oprócz ich naturalnej funkcjonalności, oferują nam nowe możliwości w procesie wytworzenia cyfrowych produktów fotogrametrycznych, co powoduje zwiększenie zainteresowania i zapotrzebowania na cyfrowe dane fotogrametryczne tj. ortofotomapy, automatyczną aerotriangulację, automatyczne tworzenie DTM oraz integrację tych danych w GIS. Wszystkie te produkty zaczynają swoje „życie” na szybie skanera, a świadomy dobór parametrów skanowania oraz strategii przetwarzania obrazu na tym etapie technologicznym zadecyduje o jakości danych cyfrowych, a w konsekwencji również o jakości końcowego produktu. Dobrze serwisowany, skalibrowany, nowoczesny skaner, dostarczy materiału źródłowego bardzo wysokiej jakości. Jest to materiał wszechstronny, przeznaczony do wielokrotnego użytku, na który nie ma wpływu biegnący czas. Stąd skanowanie, które jest narodzinami danych cyfrowych jest jednym z najważniejszych etapów – zły obraz¹ w prostej linii przekłada się na bardzo zły produkt. Tak więc użytkownicy obrazów cyfrowych powinni bezwzględnie egzekwować wysoką jakość cyfrowego materiału. Musimy zdawać sobie sprawę że w 90 % za złą jakość obrazu odpowiada człowiek, a nie urządzenie.

Świadome zlecenie parametrów skanowania w przyszłości zaowocuje lepszym materiałem końcowym. Najczęściej mamy problem z doбором najbardziej optymalnego rozmiaru piksela. Nie ma jasnej odpowiedzi na to pytanie. Między użytkownikami, naukowcami, a także producentami skanerów trwa dyskusja co do kryterium doboru wielkości piksela. Podstawowym czynnikiem, który w produkcji decyduje o zastosowanej rozdzielczości skanowania jest wciąż przede wszystkim ekonomia procesu, na którą wpływa klasa i wydajność sprzętu oraz oprogramowania oraz ilość danych podlegająca przetwarzaniu w trakcie opracowania. Choć następuje gwałtowny rozwój technologii komputerowych, obrzynie zbiory danych, będące wynikiem stosowania wysokiej rozdzielczości skanowania, nie zawsze mogą być obsługane przez popularnie wykorzystywane oprogramowanie i sprzęt. Obecnie uważa się, że technicznie możliwości fotogrametrycznych stacji cyfrowych pozwalają na wykorzystanie obrazów cyfrowych o rozdzielczości oscylującej w granicach 12.5 – 15 μm . Dotychczasowe doświadczenia produkcyjne i wyniki wielu testów empirycznych wykazało, że próg przydatnej rozdzielczości skanowania wynosi 30 μm chociażby w przypadku aerotriangulacji automatycznej [Kaczyński, Ziobro, 1998]. Z drugiej strony jednak aby zachować rozdzielczość filmu oryginalnego na poziomie 30÷60 l/mm, należy stosować wielkość piksela równą 6-12 μm co wynika bezpośrednio z często stosowanej do estymacji wielkości piksela teorii próbkowania.

Przytoczone przykłady potwierdzają tezę, że należy śledzić rozwój technologii skanowania oraz wykonywać okresowe testy sprzętu i oprogramowania w celu ciągłej weryfikacji ich aktualnych możliwości. Z analizy literatury wynika, że dla planowanych w ramach prowadzonych badań eksperymentów, wyjściową aperturą skanowania jest wielkość 15 μm , z której zostaną wygenerowane na drodze przetwarzania obrazów mniejsze rozdzielczości (30 μm). Nie badano obrazów

¹ zła geometria, zła radiometria, duża ilość artefaktów, zadrapań itp.

skanowanych z aperturą 60 μ m oraz 120 μ m ponieważ z literatury wiadomo o dużych błędach występujących na tych rozdzielczościach. Istnieją różne metody zmiany [Baltasvias ,1998] rozdzielczości oryginalnego obrazu takie jak zoom optyczny, zoom elektroniczny, zoom programowy , wykorzystanie dodatkowych obiektywów oraz metody hybrydowe łączące w sobie w/w rozwiązania. W prezentowanym eksperymencie do zmiany rozdzielczości wykorzystano tzw. zoom programowy. Termin ten oznacza, że skanowanie jest zawsze realizowane z rozdzielczością podstawową dla danego skanera, a obraz jest następnie poddawany pod-próbkowaniu z niższą rozdzielczością z wykorzystaniem komputera sprzężonego ze skanerem.

Kolejnym zagadnieniem podlegającym rozważaniom w podjętych badaniach jest kompresja. Mimo intensywnych badań prowadzonych na świecie w poszukiwaniu nowych bardziej efektywnych metod kompresji wciąż najbardziej popularną jest kompresja JPEG. Każdy użytkownik obrazów cyfrowych i rozlicznych technologii przetwarzania obrazów służących różnym celom (nie tylko pomiarowym) napotyka na różne stosowane miary stopnia kompresji. Przedmiotem analiz w prowadzonych badaniach nie jest jednak ani algorytm ani sposób jej realizacji (strategia). Po szczegółową wiedzę w tym zakresie odsyłamy czytelnika do bogatej literatury na temat kompresji. Poniżej zostaną przedstawione niektóre miary kompresji stosowane powszechnie szczególnie przez środowisko fotogrametrów co wydaje się być zagadnieniem podstawowym dla każdego użytkownika.

Najprostszą zależnością określającą stopień kompresji jest wzór na stopień kompresji objętościowej:

$$K_0 = (\text{oryginalny rozmiar zbioru}) / (\text{skompresowany rozmiar zbioru}) \quad /1/$$

Jest to wielkość przedstawiająca zależność kompresji obrazu i jakości obrazu. Wyrażenie to jednak nie w pełni opisuje straty jakości obrazu. Odmiennie bowiem skompresowane zostaną zbiory o tej samej liczbie pikseli stanowiące obraz o odmiennej charakterystyce i dynamice radiometrycznej.

Wydaje się również, że pomiar stopnia kompresji powinien być liczony na podstawie obrazów pierwotnych tzn. bez obrazów piramidalnych (overview).

Inny pomiar kompresji i oceny jakości obrazu proponuje [G.Wallace ,2000]. Miarą stopnia kompresji jest tu liczba bitów na piksel w skompresowanym obrazie N_b , która jest definiowana jako ogólna liczba bitów w skompresowanym obrazie dzielona na liczbę pikseli:

$$N_b = (\text{ogólna liczba bitów w skompresowanym obrazie}) / (\text{liczba pikseli}) \quad /2/$$

Na podstawie wzoru /2/ zostały przeliczone wartości N_b dla określenia przedziałów degradacji obrazów. Wyniki wraz z propozycją ocen jakości obrazu zaprezentowane są w tabeli poniżej.

N_b [bitów/piksel]	Jakość obrazu
0.25-0.5	Średnia jakość do dobrej
0.5-0.75	Dobra jakość do bardzo dobrej
0.75-1.0	Doskonała jakość
1.5-2.0	Porównywalna z oryginałem

Kolejna metoda szacowania stopnia kompresji i oceny jakości obrazu opiera się na wykorzystaniu błędu średniego:

$$RMS=1/n*\sqrt{\sum(X_i-Y_i)^2} \quad /3/$$

gdzie:

X_i – oryginalna wartość piksela

Y_i – wartość piksela po kompresji

n - ogólna liczba pikseli w obrazie

Błąd ten przedstawia statystyczne różnice pomiędzy oryginalnym i kompresowanym obrazem. Jednak niekiedy jakość kompresowanego obrazu z wyższym RMS jest lepsza niż z niższym RMS. Ta anomalia nie podlegała naszej analizie.

W prezentowanym eksperymencie do kompresji obrazu użyty został programu ISRasterUtilities 2.3, który do określania stopnia kompresji wymaga podania wartości współczynnika Q .

Wartość tego współczynnika w instrukcji obsługi została zdefiniowana następująco „większy współczynnik Q większa kompresja, mniejszy współczynnik Q niższa kompresja obrazu”, dlatego też zdecydowaliśmy się na przeliczenie wartości tego współczynnika na wartość kompresji objętościowej K_0^2

2. Cel, metodyka badań i wyniki

Celem eksperymentu było zbadanie wpływu wyjściowych parametrów skanowania na jakość DTM tworzonego w procesie automatycznej korelacji. Za najważniejsze parametry uznaliśmy wielkość apertury skanowania, tryb pracy skanera, stopień kompresji oraz format zapisu danych. W literaturze fachowej większość autorów skupia się w swoich pracach nad wpływem wielkości piksela i stopnia kompresji, podkreślając ich strategiczne znaczenie. Prezentowane w literaturze wyniki badań nie w pełni porządkują i wyczerpują temat znaczenia postaci danych cyfrowych dla opracowań fotogrametrycznych. Po analizie dostępnych materiałów publikowanych w prasie fotogrametrycznej, w publikacjach naukowych oraz w internecie zwraca uwagę fakt, że brak jest odniesienia w prezentowanych wynikach badań do trybu skanowania, które w przeprowadzonych w ramach niniejszego

² Patrz część eksperymentalna Etap III

eksperymentu analizach okazało się kluczowym parametrem mającym wpływ na jakość korelowanego DTM. W celu wyodrębnienia i określenia wielkości wpływu badanych parametrów na jakość DTM, przygotowano pole testowe i zaprojektowano specjalną strategię przetworzeń. Należy podkreślić, że celem badań nie była ocena skuteczności odtworzenia skomplikowanych form geomorfologicznych w procesie automatycznego generowania numerycznego modelu terenu lecz ograniczenia wpływu ukształtowania powierzchni terenu na korelację. Dlatego na stereogramach zostały wyselekcjonowane obszary, na których panowały ze względów topograficznych najlepsze warunki dla metody korelacji zastosowanej w programie ISAE. Przedmiotem opracowania były dwa stereogramy zdjęć w skali 1:26000 z okolic Bytomia Odrzańskiego, na obszarze których pomierzone zostały punkty referencyjne w równomiernej siatce (45x45 m w liczbie około 3500 punktów na każdym) o współrzędnych ściśle pokrywających się z generowaną siatką punktów w programie ISAE. Dla każdego przetworzenia zagwarantowano identyczne parametry początkowe tj. ten sam plik projektowy, układ współrzędnych, wersja oprogramowania itp. Dokładność odtworzenia układu fotogrametrycznego do układu terenowego wynosiła $m_{xy}=0.3\text{m}$, $m_z=0.4\text{m}$. Punkty siatki referencyjnej były mierzone z dokładnością $m_z=0.5\text{m}$. W analizach nie uwzględniono błędów związanych z odtworzeniem modeli fotogrametrycznych, zaniedbano również wpływ błędów obserwatora ze względu na względny charakter prowadzonych porównań.

Współrzędne płaskie punktów siatki referencyjnej i siatki interpolowanej z skorelowanych punktów rozproszonych pokrywały się idealnie w celu wyeliminowania konieczności powtórnej interpolacji „z” na porównywanych punktach. Uzyskane wynikowe współrzędne korelowanych punktów nie były poddawane dodatkowej filtracji i wygładzaniu powierzchni (poza standardową filtrację z gawaniem w procesie korelacji) w celu uniknięcia zafałszowania analiz.

Etap I – Skanowanie materiałów i zaprojektowanie strategii przetworzeń oraz generowanie zdjęć epipolarnych.

Gdy wszystkie prace w środowisku stacji fotogrametrycznej ImageStation zostały wykonane (tj. zaprojektowanie zasięgów, odtworzenie orientacji, przygotowanie plików referencyjnych) następnym etapem przygotowań było zaprojektowanie typów skanowanych obrazów. Na potrzeby niniejszego opracowania zastosowano specjalną strategię skanowania obrazów tak, aby można było na ich podstawie wykonać jak największą liczbę różnych przetworzeń zdjęć epipolarnych do dalszych testów. Poniżej znajduje się ich zestawienie z krótkim opisem.

- *RGB_Hardware* (Obrazy skanowane w opcji kolor jednocześnie w trzech kanałach i zapisane w pojedynczym pliku).
- *RGB_Band_Hardware* (Obrazy skanowane w opcji kolor osobno dla każdego kanału i zapisane w oddzielnych plikach).
- *GrayScale_Hardware* (Obrazy skanowane w opcji czarno-białej przez wszystkie filtry).
- *GrayScale_Band_Hardware* (Obrazy skanowane w opcji czarno-białej przezpuszczane dla każdego z osobno filtrów).

Obrazy skanowane były z interpolowaną rozdzielczością 15 μm .

Z opisanych powyżej obrazów zaprojektowano przetworzenia i skojarzono z nimi projekty fotogrametryczne ze specjalnie przygotowanymi zdjęciami. Jak wcześniej zaznaczono wszystkie przetworzenia bazowały na jednym projekcie fotogrametrycznym. Powtarzano jedynie orientację wewnętrzną zdjęć dla każdego rodzaju obrazów. Poniżej w tabeli 2, zaprezentowane są wyniki przetworzeń tylko dla jednego stereogramu, gdyż wyniki badań uzyskane dla drugiego stereogramu nie wykazały istotnych różnic

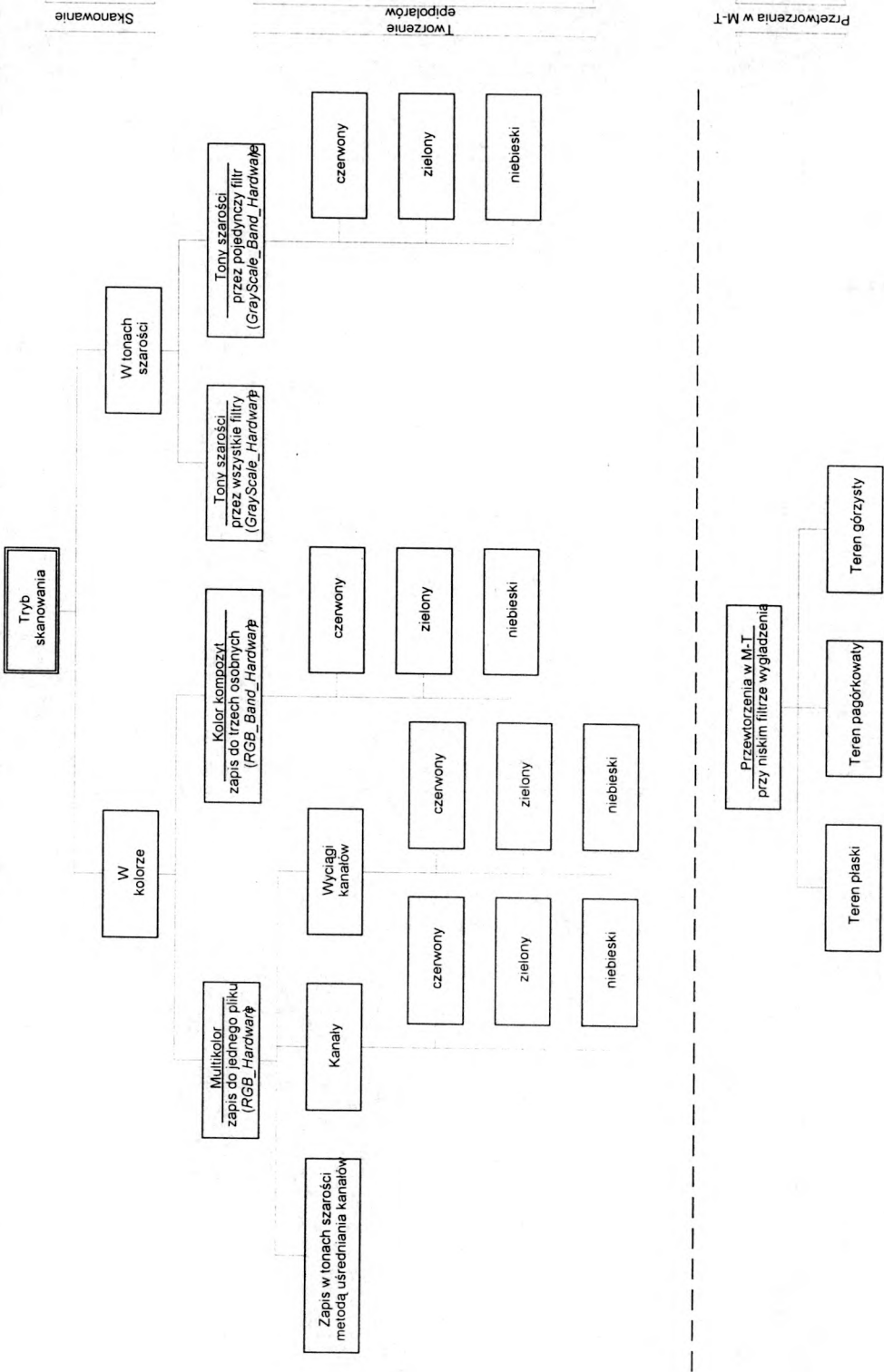
Pierwsza część eksperymentu miała na celu wybranie najlepszej opcji skanowania obrazów dla automatycznej korelacji dla potrzeb numerycznego modelu terenu oraz w celu sprawdzenia przydatności poszczególnych rodzajów obrazu źródłowego dla innych opracowań fotogrametrycznych (Ortofotomapa, Sterodigitalizacja). W tabeli 2 prezentowane są wyniki ważniejszych analiz dla zaprojektowanych strategii. W kolumnie nr 1 zawarta jest nazwa przetworzenia. W kolejnych kolumnach 2,3,4,5 prezentowana jest częstość występowania w określonych wcześniej przedziałach wielokrotności błędu średniego a priori. Wartość błędu średniego a priori, dla analizowanego przypadku zdjęć została ustalona na poziomie $m_z=0.6$ m, potrójna graniczna dopuszczalna wartość błędu średniego wynosi $m_z=1.8$ m. Odchyłki przekraczające podaną wartość graniczną wartości były uznawane jako błędy grube (kolumna 4). W kolumnie 6, podano sumaryczną częstość wystąpień odchyłek mieszczących się w granicach potrójnego błędu średniego. W kolumnach 7,8,9 podane są wartości: m_{sys} - błąd systematyczny, σ - odchylenie standardowe, m_0 -błąd średni.

Wstępna analiza wyników potwierdza fakt, że najlepszym kanałem dla korelacji obrazów jest kanał zielony. Dla wszystkich przetworzeń na kanale zielonym (12 sztuk) uzyskano najlepsze wyniki. Zastanawiający jest fakt, że o wiele gorzej wypadają przetworzenia generowane w oparciu o obrazy kolorowe zapisane w pojedynczym pliku (*RGB_Hardware*) w porównaniu do przetworzeń generowanych w oparciu o obrazy kolorowe, gdzie zapisano każdy kanał w oddzielnym pliku (*RGB_Band_Hardware*). Taka zależność zauważalna jest również dla obrazów skanowanych w tonach szarości dla poszczególnych kanałów (*GrayScale_Band_Hardware*) do obrazów skanowanych w tonach szarości przez wszystkie filtry (*GrayScale_Hardware*). Należy zauważyć bardzo słabą przydatność wręcz katastrofalną obrazów skanowanych w tonach szarości przez wszystkie filtry (*GrayScale_Hardware*). Warto też zwrócić uwagę, że na jakość numerycznego modelu terenu mały wpływ miał wybór typu terenu. Wpływ ukształtowania terenu w tym eksperymencie został skutecznie wyeliminowany.

Podsumowując prezentowane wyniki należy stwierdzić, że złe dobranie trybu skanowania dla potrzeb konkretnego zadania, może spowodować obniżenie jakości automatycznie korelowanego numerycznego modelu terenu nawet 45%.

Tabela 2: Tabela zawiera wyniki przetworzeń dla obrazów zawsze w trzech strategiach dla terenu płaskiego, pagórkowatego i górzystego z niskim wygładzaniem powierzchni

Typ terenu	Przetworzenia dla typów obrazów epipolarnych	Częstość występowania [%] w przedziałach [m]				częst.wyst. [%] do 1.8m	Charakterystyka dokładności [m]		
		[0÷0.6]	[0.6÷1.2]	[1.2÷1.8]	[1.8÷∞]		m _{sys}	□	m ₀
Płaski Pagórkowaty Górzysty	Obrazy kolorowe zapisane w jednym pliku dla kanału niebieskiego	43,21	41,78	10,28	4,74	95,261	0,766	0,678	1,023
		42,96	41,36	9,34	6,34	93,659	0,787	1,236	1,465
		44,84	36,38	10,73	8,05	91,951	0,972	2,943	3,098
Płaski Pagórkowaty Górzysty	Obrazy kolorowe zapisane w jednym pliku dla kanału zielonego	69,72	25,05	3,73	1,50	98,502	0,459	0,563	0,726
		69,02	24,15	3,97	2,86	97,143	0,496	1,089	1,197
		67,39	22,44	5,37	4,81	95,192	0,542	1,925	2,000
Płaski Pagórkowaty Górzysty	Obrazy kolorowe zapisane w jednym pliku dla kanału czerwonego	45,33	45,09	7,70	1,88	98,118	0,663	0,511	0,837
		44,53	45,19	7,46	2,82	97,178	0,739	1,554	1,721
		46,69	39,41	8,36	5,54	94,460	0,791	2,129	2,270
Płaski Pagórkowaty Górzysty	Kanał niebieski obrazu kolorowego	60,98	28,33	7,07	3,62	96,376	0,568	0,707	0,907
		59,93	26,97	6,79	6,31	93,693	0,592	1,039	1,196
		59,69	24,56	7,60	8,15	91,847	0,648	2,258	2,349
Płaski Pagórkowaty Górzysty	Kanał zielony obrazu kolorowego	84,46	12,37	1,85	1,32	98,676	0,215	0,603	0,640
		82,68	12,23	3,07	2,02	97,979	0,198	0,749	0,775
		78,40	12,82	4,29	4,49	95,505	0,318	2,168	2,191
Płaski Pagórkowaty Górzysty	Kanał czerwony obrazu kolorowego	56,10	36,20	5,99	1,71	98,293	0,586	0,504	0,773
		56,38	34,84	6,38	2,40	97,596	0,626	1,138	1,298
		55,47	32,54	6,45	5,54	94,460	0,700	2,093	2,206
Płaski Pagórkowaty Górzysty	Obraz w tonach szarości przez wszystkie filtry	40,70	47,21	9,62	2,47	97,526	0,733	0,544	0,913
		41,64	44,36	10,52	3,48	96,516	0,723	0,734	1,030
		42,75	39,69	10,84	6,72	93,275	0,809	1,831	2,002
Płaski Pagórkowaty Górzysty	Obraz w tonach szarości przez pojedynczy filtr niebieski	56,10	31,71	7,87	4,32	95,679	0,632	0,721	0,958
		57,00	29,58	7,49	5,92	94,077	0,603	1,368	1,494
		57,25	26,76	8,05	7,94	92,056	0,800	3,285	3,380
Płaski Pagórkowaty Górzysty	Obraz w tonach szarości przez pojedynczy filtr zielony	79,20	16,97	2,33	1,50	98,502	0,301	0,580	0,653
		78,36	16,24	2,72	2,68	97,317	0,358	1,344	1,391
		76,24	15,71	3,62	4,43	95,575	0,349	1,793	1,826
Płaski Pagórkowaty Górzysty	Obraz w tonach szarości przez pojedynczy filtr czerwony	60,45	33,10	5,09	1,36	98,641	0,517	0,497	0,717
		59,79	31,78	5,85	2,58	97,422	0,536	1,067	1,193
		59,16	29,27	6,31	5,26	94,739	0,664	2,309	2,402
Płaski Pagórkowaty Górzysty	Programowy wyciąg kanału niebieskiego	42,54	42,02	10,24	5,19	94,808	0,763	0,711	1,043
		41,95	40,24	10,35	7,46	92,544	0,835	1,511	1,726
		44,01	35,75	10,42	9,83	90,174	1,050	3,801	3,943
Płaski Pagórkowaty Górzysty	Programowy wyciąg kanału zielonego	69,93	25,26	3,17	1,64	98,362	0,440	0,588	0,734
		68,50	25,30	3,97	2,23	97,770	0,470	1,015	1,118
		67,63	22,20	5,12	5,05	94,948	0,525	1,785	1,861
Płaski Pagórkowaty Górzysty	Programowy wyciąg kanału czerwonego	45,40	45,57	7,14	1,88	98,118	0,677	0,530	0,860
		44,81	43,94	8,40	2,86	97,143	0,717	1,082	1,298
		46,13	39,69	8,29	5,89	94,111	0,808	2,099	2,249
Płaski Pagórkowaty Górzysty	Programowa konwersja kanałów metodą uśredniania pikseli	55,61	37,18	5,09	2,13	97,875	0,583	0,574	0,818
		55,44	35,23	6,41	2,93	97,073	0,595	1,127	1,274
		56,03	32,23	5,89	5,85	94,146	0,663	2,168	2,267



Rysunek 2: Schemat blokowy eksperymentu

Etap II – Szczegółowe porównanie przetworzeń i analiza wyników

Ten etap miał na celu uporządkowanie wyników testu, prezentację wyników oraz porównanie w grupach. Wyodrębniono następujące grupy przetworzeń do dalszych analiz:

a) *Porównanie przetworzeń na obrazach skanowanych w tonach szarości przez wszystkie filtry (GrayScale_Hardware) do przetworzeń na obrazach w tonach szarości uzyskanych przez konwersję obrazu kolorowego (GrayScale_Software).*

Wniosek: Mając obrazy kolorowe zapisane w pojedynczym pliku (RGB_Hardware) przekonwertowano je przy pomocy programu ImageStation Raster Utilities metodą uśredniania wartości pikseli (average) na obrazy w tonach szarości (GrayScale_Software). Wyniki wizualnej inspekcji obrazu wykazały, że dla oka ludzkiego nie istnieje zauważalna różnica pomiędzy tymi obrazami. Porównując jednak wyniki numeryczne przetworzenia stwierdzono, że programowe przetworzenie z obrazu kolorowego na obraz w tonach szarości dało 15 % poprawę jakości DTM w stosunku do obrazów skanowanych w tonach szarości przez wszystkie filtry (GrayScale_Hardware). Nie analizowano głębiej przyczyn tak zastanawiających rezultatów eksperymentu. Jednym z wielu powodów może być charakterystyka skanera.

b) *Porównanie przetworzeń na obrazach skanowanych w tonach szarości przez wszystkie filtry (GrayScale_Hardware) do przetworzeń na obrazach skanowanych w tonach szarości dla poszczególnych kanałów (GrayScale_Band_Hardware).*

Wniosek: Porównanie przetworzeń opartych na obrazach skanowanych w tonach szarości dla poszczególnych kanałów (GrayScale_Band_Hardware), w tym przypadku przez filtr zielony, do obrazów skanowanych w tonach szarości przez wszystkie filtry (GrayScale_Hardware) wykazało prawie 39 % poprawę jakości DTM. Wyraźnie widać, że pozostałe przetworzenia oparte na kanałach czerwonym i niebieskim znacznie odbiegają od wyników otrzymanych na kanale zielonym. Są to spadki w pierwszym przedziale dokładności w granicach od 19 % (dla kanału czerwonego) poprzez 24% (dla kanału niebieskiego) aż do 39 % dla przetworzeń opartych na obrazach skanowanych w tonach szarości przez wszystkie filtry (GrayScale_Hardware).

c) *Porównanie przetworzeń wykonanych na obrazach w tonach szarości wygenerowanych ze zdjęć kolorowych w programie ImageStation Raster Utilities (GrayScale_Software).*

Wniosek: Mając obrazy kolorowe zapisane w pojedynczym pliku (RGB_Hardware) przekonwertowano je przy pomocy IS Raster Utilities metodą uśredniania pikseli (average) oraz metodą poprzez robienie wyciągów z poszczególnych kanałów na obrazy w tonach szarości (nazwane jako GrayScale_Software). Analizując wyniki widzimy że konwersja metodą uśredniania wartości pikseli nie jest najlepszym rozwiązaniem dla metod korelacji. Tak więc dla potrzeb automatycznej korelacji na obrazie w tonach szarości należy wykorzystać wyciąg pojedynczego kanału, najlepiej kanału zielonego. Porównanie przetworzenia na obrazach w tonach szarości wygenerowanych programowo (GrayScale_Software) metodą uśredniania pikseli do przetworzeń na obrazach w tonach szarości wygenerowanych programowo

(GrayScale_Software) metodą zrobienia wyciągu kanału zielonego wykazuje 15 % pogorszenie jakości DTM.

d) *Porównanie przetworzeń wygenerowanych na obrazach kolorowych zapisanych w pojedynczym pliku (RGB_Hardware) do przetworzeń wykonanych na obrazach kolorowych z kanałami zapisanymi w oddzielnych plikach (RGB_Band_Hardware).*

Wniosek: Doświadczenie to pozwala porównać przetworzenia oparte na zdjęciach skanowanych w opcji RGB. W każdym przypadku lepszy efekt daje korelacja na obrazach skanowanych w oddzielnych kanałach.

Podsumowując powyższe zestawienia należy stwierdzić, że najlepsze warunki korelacji w programie ISAE występują na kanale zielonym. Niemalże znaczenie ma również metoda skanowania i tryb pracy skanera.

Etap III – Wyznaczenie współczynnika kompresji dla ISRU 2.3

Tabela 3.

Zestawienie współczynników kompresji i rozmiaru plików dla obrazów skanowanych z aperturą 15 μm i 30 μm .

Współczynnik kompresji Q	Rozmiar zbioru dla apertury skanowania 30 μm	Stopień kompresji objętościowej K_0 dla apertury skanowania 30 μm	Rozmiar zbioru dla apertury skanowania 15 μm	Stopień kompresji objętościowej K_0 dla apertury skanowania 15 μm
Q0	67.6	1.00	274	1.00
Q1	32.7	2.07	150	1.83
Q2	27.6	2.45	128	2.14
Q3	23.8	2.84	114	2.40
Q4	20.6	3.28	101	2.71
Q5	17.7	3.82	89	3.08
Q10	10.5	6.44	54	5.07
Q15	7.8	8.67	38	7.21
Q20	6.4	10.56	30	9.13
Q25	5.3	12.75	25	10.96
Q50	3.1	21.81	13	21.08

Etap IV – Wpływ apertury skanowania - stopnia kompresji – piramidy obrazów (overview)– zapis „tiled”.

Tabela 4

Wpływ apertury skanowania, stopnia kompresji, piramidy obrazów i zapisu „tiled” na jakość DTM

Przetworzenie	Częstość występowania [%] w przedziałach [m]				częst.wyst.[%] do 1.8m	Charakterystyka dokładnościowa [m]		
	0÷0.6	0.6÷1.2	1.2÷1.8	1.8÷∞		m_{sys}	σ	m_0
15 μ m_Q5	84.46	12.06	2.02	1.46	98.537	0.212	0.627	0.662
15 μ m_Q10	84.08	11.92	2.58	1.43	98.571	0.176	0.648	0.672
15 μ m_Q15	82.65	13.69	2.30	1.36	98.641	0.184	0.652	0.677
15 μ m_Q20	82.16	13.38	3.14	1.32	98.676	0.174	0.680	0.702
15 μ m_Q25	79.27	15.64	3.38	1.71	98.293	0.192	0.683	0.710
15 μ m_Q50	74.53	15.30	6.27	3.90	96.098	0.281	1.470	1.496
30 μ m_Q5	74.88	16.41	4.77	3.94	96.063	0.541	3.495	3.537
30 μ m_Q10	73.76	17.74	4.74	3.76	96.237	0.661	4.363	4.412
30 μ m_Q15	71.29	17.91	5.61	5.19	94.808	0.144	2.848	2.852
30 μ m_Q20	71.18	18.92	5.92	3.97	96.028	0.122	2.572	2.574
30 μ m_Q25	69.69	18.01	7.39	4.91	95.087	-0.067	3.678	3.678
30 μ m_Q50	57.63	20.80	10.28	11.29	88.711	-0.539	6.319	6.341
ovg_t128	84.46	12.37	1.85	1.32	98.676	0.215	0.603	0.640
ovg_t256	84.95	12.20	1.57	1.29	98.711	0.215	0.587	0.625
ovg_t512	84.49	12.33	1.85	1.32	98.676	0.209	0.608	0.643

Wniosek: Górna część Tabeli 4 przedstawia zależności pomiędzy aperturą skanowania a współczynnikiem kompresji. Z analizy tych danych w przypadku obrazów z aperturą 15 μ m, nawet do współczynnika kompresji $Q=20$ ($K_0=9,13$), nie stwierdzono znacznego obniżenia jakości DTM. Duży skok zauważalny jest przy współczynniku $Q=25$. Porównując różnice spadku jakości DTM pomiędzy aperturą 15 μ m i 30 μ m stwierdzono, że różnice są znaczne i oscylują w granicach 10%. Można zatem wysnuć wniosek, że korzystniej jest skanować obrazy z jak najwyższą rozdzielczością i kompresować zbiory również z jak najwyższym współczynnikiem z przedziału $Q=5-20$ ($K_0=3-10$). Zalecenia dotyczą jednak wyłącznie automatycznego korelowania dla potrzeb DTM.

Szara część tabeli prezentuje jaki wpływ ma sposób zapisu (tiled) i piramida obrazów (overview) zapisane w zbiorach cyfrowych. Okazało się, że możliwe jest uruchomienie programu ISAE jedynie w opcji tworzenia piramidy obrazów (overview) metodą Gaussa, a wielkość zdefiniowanych fragmentów obrazu w zapisie „tiled” w zbiorze, zgodnie z oczekiwaniami, nie wnosi istotnych zmian i można ją zaniedbać.

Wnioski końcowe

Wyniki przeprowadzonych eksperymentów dowodzą, że tryb skanowania i dobór wielkości piksela to bardzo istotne parametry w procesie wtórnego pozyskiwania danych jakim jest etap skanowania obrazów analogowych, mające bezpośredni wpływ na jakość produktu końcowego, w tym przypadku numerycznego modelu terenu. Najlepsze rezultaty uzyskano dla kanału zielonego w każdym z zastosowanych trybów skanowania. Optymalną rozdzielczością skanowania jest rozdzielczość 15 μ m. Rezultaty badań potwierdzają doświadczenia światowe, że korzystniej jest skanować obrazy z wyższą rozdzielczością i kompresować z większym współczynnikiem objętościowym ($K_0=3-10$) niż odwrotnie. Ponadto, lepsze wyniki automatycznej korelacji w procesie generowania numerycznego modelu terenu uzyska się skanując i zapisując poszczególne kanały w oddzielnych plikach.

Oprogramowanie stosowane do przetwarzania obrazów (algorytmy przetwarzania) w każdym przypadku powinno być dokładnie przetestowane pod kątem jego wpływu na radiometrię obrazu, co w przypadku wykorzystywania metod automatycznej korelacji może mieć w konsekwencji również wpływ na jakość geometryczną. Przykładem jest zastosowana w eksperymentach metoda uśredniania wartości pikseli w przetwarzaniu obrazu, która wpłynęła na pogorszenie jakości numerycznego modelu terenu

Prezentowane badania przeprowadzono w ramach pracy dyplomowej Roberta Pośnika [2002] - „*Wpływ parametrów skanowania na automatyczną korelację DTM w programie ISAE*” i są fragmentem programu badawczego realizowanego w ramach przygotowywanej rozprawy doktorskiej Jolanty Orlińskiej „*Dobór optymalnych parametrów automatycznego generowania numerycznego modelu terenu na fotogrametrycznej stacji cyfrowej*”.

Literatura:

1. J.Ziobro, R.Kaczyński [1998, *IGIK, zeszyt 97, tom XLV*], „Analiza wpływu stopnia kompresji obrazu cyfrowego oraz apertury skanowania na późniejszy automatyczny pomiar”
2. C. Robinson, B. Montgomery, [1995, *PWeek '95*] „The effects of image compression on automated DTM generation”
3. B. Furth [1999, *Handbook of Multimedia, CRC 1999*] „Image presentation and compression”
4. E.P. Baltasvias [1999, *PWeek'99*] „On the performance of photogrammetric scanners”
5. P. Kern, J. Carswell [1994, *wwwsgi.ursus.maine.edu*] - „An investigation into the use of JPEG image compression for digital photogrammetry: „Does the compression on images affect measurement accuracy ?”
6. J. Orlińska [2002] – „Dobór optymalnych parametrów automatycznego generowania numerycznego modelu terenu a fotogrametrycznej stacji cyfrowej” – rozprawa doktorska w przygotowaniu.

Recenzowała: prof. dr hab. Aleksandra Bujakiewicz