

Irenusz Ewiak
Romuald Kaczyński

DOKŁADNOŚĆ GENEROWANIA NMT ZE ZDJĘĆ LOTNICZYCH PHARE W SKALI 1:26000

Streszczenie. Zdjęcia kolorowe w skali 1:26 000 wykonane w ramach programu Phare wykorzystywane są do generowania Numerycznego Modelu Terenu metodą fotogrametrii cyfrowej. W referacie opisano poszczególne etapy mające wpływ na dokładność generowania NMT metodą korelacji obrazów. Opracowany NMT metodą fotogrametrii cyfrowej sprawdzono na podstawie pomiaru współrzędnych przestrzennych punktów na autografie analitycznym oraz w terenie metodą GPS. Stwierdzono wystarczającą dokładność NMT dla generowania ortofotomap cyfrowych z pikselem 0.5m oraz do opracowania NMT terenów płaskich z dokładnością $Mz < 0.2$ promila wysokości lotu H .

I. CZĘŚĆ TECHNOLOGICZNA

1. Znaczenie poszczególnych etapów fotogrametrii cyfrowej w procesie generowania Numerycznego Modelu Terenu

Dokładność pomiaru Numerycznego Modelu Terenu zależy nie tylko od narzędzia pomiarowego i przyjętej techniki pomiarowej ale jest uwarunkowana dokładnością poszczególnych etapów fotogrametrii cyfrowej poprzedzających właściwy pomiar.

Do etapów tych należą:

- wykonanie zdjęć lotniczych;
- skanowanie;
- pomiar fotopunktów w terenie;
- aerotriangulacja.

1.1. Wykonanie zdjęć lotniczych

Kolorowe zdjęcia lotnicze w programie Phare wykonane zostały nowoczesnymi kamerami fotogrametrycznymi z kompensacją rozmycia obrazu (FMC) oraz żyroskopową stabilizacją kamery, jednak bez systemu rejestracji współrzędnych środków rzutów metodą DGPS.

Obecnie zdjęcia lotnicze wykonuje się na nowoczesnym filmie o rozszerzonym uczuleniu spektralnym oraz z rejestracją środków rzutów metodą DGPS.

1.2. Skanowanie zdjęć lotniczych

Skaner fotogrametryczny przeznaczony do skanowania negatywów oraz diapozytywów zdjęć lotniczych powinien charakteryzować się precyzją skanowania nie mniejszą niż $2\mu\text{m}$, przenoszeniem gęstości optycznych w zakresie od 0.1D do 3D oraz przedziałem apertur skanowania w zakresie 14 - $25\mu\text{m}$. Warunki te spełnia min. skaner fotogrametryczny PS-1 Zeiss/Intergraph.

Aby zagwarantować powyższe warunki skaner musi być kalibrowany conajmniej raz w roku w pomieszczeniu, w którym dopuszczalne wahania temperatury wynoszą $\pm 1^\circ\text{C}$, zachowana jest wilgotność powietrza narzucona przez producenta skanera oraz wyeliminowane są drgania podłoża.

Przeznaczone do skanowania zdjęcia lotnicze należy umieścić w pomieszczeniu, o którym mowa powyżej, co najmniej na 24 godziny przed rozpoczęciem skanowania. Zasadnicze skanowanie należy poprzedzić skanem pilotażowym zdjęcia, będącego reprezentantem serii zdjęć, dla którego należy wcześniej ustawić parametry skanowania.

Obraz cyfrowy będący wynikiem skanowania powinien być pozbawiony dystorsji, błąd średni pomiaru na znaczkach tłowych nie powinien przekraczać $10\mu\text{m}$ (transformacja afiniczna) oraz kontrastowy na całej powierzchni. Histogram obrazu powinien być rozciągnięty na co najmniej 230 stopniach szarości w 8-bitowej skali. Przekroczenie poziomu poniżej 0 lub powyżej 255 jest dopuszczalne jedynie dla 5/10000 pikseli obrazowych.

Dla pomiaru Numerycznego Modelu Terenu zdjęcia lotnicze należy skanować z aperturą w zakresie 14- $25\mu\text{m}$, opcjonalnie z 4-krotną kompresją JPEG (w kanale czerwonym) oraz z całym zakresem piramidy obrazowej (full set of overviews) z przepróbkowaniem metodą Gaussa.

1.3 Pomiar fotopunktów techniką GPS

Dokładność pomiaru fotopunktów naturalnych jest rzędu $\pm 3\text{cm}$. Dokładność wynikowa wyznaczenia współrzędnych fotopunktów zależy jedynie od dokładności identyfikacji punktu naturalnego w terenie i na zeskanowanym obrazie zdjęcia lotniczego i wynosi średnio $mX, Y = \pm 40\text{ cm}$. Dokładność ta jest oczywiście wyższa w przypadku pomiaru fotopunktów sygnalizowanych.

Fotopunkt powinien być kontrastowy w stosunku do tła oraz dobrze identyfikowalny w terenie i na zdjęciu.

1.4 Aerotriangulacja cyfrowa

W praktyce stosowane są dwie metody aerotriangulacji cyfrowej: półautomatyczna i automatyczna.

W pokryciu podłużnym i poprzecznym bloku zdjęć powinna występować wystarczająca ilość punktów naturalnych, które mogą być użyte jako punkty wiążące pod warunkiem, że obraz charakteryzuje się odpowiednią teksturą i kontrastem.

Zapewniona powinna być wysoka dokładność (1/5 piksela) półautomatycznego lub automatycznego korelacyjnego pomiaru współrzędnych tłowych na obrazie cyfrowym. Błąd σ_0 nie powinien przekraczać 8 μm .

W przypadku braku pomiarów DGPS w trakcie nalotu, do wyrównania bloku aerotriangulacji należy wykorzystywać większą ilość fotopunktów terenowych.

W automatycznej aerotriangulacji cyfrowej wykonanej np. z pomocą MATCH-AT lub ISAT 2001 korelowanych jest około 200 punktów wiążących na zdjęciu. Błąd średni typowego spostrzeżenia σ_0 (przy opracowaniu zdjęć Phare w skali 1:26000) wynosi poniżej 6 μm , a błędy wyznaczenia współrzędnych fotopunktów rzędu $mX = mY < 0.4 \text{ m}$ i $mZ < 0.2 \text{ m}$.

1.5 Pomiar Numerycznego Modelu Terenu

NMT generowany jest metodą korelacji obrazów epipolarnych i może być wyznaczony z teoretyczną dokładnością rzędu 0.3 piksela. Metoda pomiaru LSM (Least Square Matching) pozwala na osiągnięcie dokładności "matchingu" rzędu 0.1- 0.2 piksela, zaś FBM (Feature Based Matching) daje dokładność rzędu 0.3- 0.4 piksela.

Gęstość siatki generowanego NMT przyjmuje się w granicach 20- 30 m. Numeryczny Model Terenu generowany metodą korelacji obrazów jest mniej dokładny dla zdjęć lotniczych o zbyt dużych kontrastach i gęstościach optycznych.

Przed przystąpieniem do automatycznego pomiaru NMT na obrazie stereoskopowym należy pomierzyć powierzchnie wydzielenia, linie nieciągłości oraz charakterystyczne punkty pokrycia terenu. Generując NMT należy zdefiniować globalny lub lokalny charakter terenu (płaski, pagórkowaty, górzysty), wielkość okna poszukiwań dla pomiaru korelacyjnego oraz dopuszczalny zakres paralaks dla wybranego charakteru terenu. Punkty odstające należy edytować manualnie lub automatycznie za pomocą wbudowanego do oprogramowania modułu filtracji.

II. CZĘŚĆ EKSPERYMENTALNA

2. Charakterystyka dokładności opracowania NMT w oparciu o materiały fotogrametryczne obiektu „Wisła”

2.1 Materiały i dane fotogrametryczne wykorzystane w badaniach

W badaniach wykorzystano:

- zdjęcia lotnicze, negatywy czarno-białe w skali 1:17 000 wykonane w maju 1999r. dla obiektu „Wisła”;
- obrazy zeskanowanych zdjęć lotniczych (22.5 μm) w skali 1:17 000 oraz 1:26 000 pozyskane ze skanera PS1 Zeiss/Intergraph;

- osnowę fotogrametryczną w postaci sygnalizowanych 9 fotopunktów, których współrzędne określone zostały w oparciu o pomiary GPS z dokładnością $m_{xy} = 10\text{cm}$, $m_z = 15\text{cm}$, oraz niesygnalizowane Z-punkty $m_z = 25\text{cm}$;
- elementy orientacji zdjęć w skali 1:17 000 oraz współrzędne terenowe punktów wiążących wyznaczone na podstawie aerotriangulacji bloku składającego się z 2 szeregów po 16 zdjęć w szeregu, który wyrównano programem „BINGO F” uzyskując: $\sigma_0 = 6\mu\text{m}$, średnie błędy dla punktów obiektu (RMS) $m_{xy} = 14\text{ cm}$; $m_z = 25\text{cm}$, średnie błędy osnowy fotogrametrycznej $m_{xy} = 5\text{ cm}$; $m_z = 19\text{ cm}$.

Współrzędne tłowe punktów wiążących pomierzono na autografie analitycznym P-1 Zeiss, zaś wyznaczone ich współrzędne terenowe wykorzystano jako osnowę fotogrametryczną dla zdjęć w skali 1:26 000.

2.2. Pomiar NMT na autografie analitycznym P-1 Zeiss

Na autografie analitycznym wydzielono strefy podlegające pomiarom kontrolnym szacując różne stopnie trudności w generowaniu modelu numerycznego dla każdej z tych stref.

Poszczególne strefy przedstawiają się następująco:

- otwarta przestrzeń użytkowana rolniczo,
- otwarta przestrzeń pokryta trawą,
- obszary użytkowane rolniczo z luźną zabudową z drzewami (sady, krzaki),
- obszary z gęstą zabudową z drzewami.

W poszczególnych strefach pomierzono wysokości na autografie analitycznym Planicomp P-1 Zeiss tych samych punktów siatki, które zostały wygenerowane programem MATCH- T.

W celu opracowania NMT (na autografie analitycznym P1 i metodą cyfrową) na podstawie zdjęć w skali 1:17000 użyto w obu przypadkach elementów orientacji zewnętrznej otrzymanych z wyrównania aerotriangulacji. Tak pozyskany materiał pozwolił na dokonanie porównań użytych metod dla pozyskania modelu numerycznego terenu oraz dla oceny wzajemnej dokładności wyznaczania rzędnych punktów modelu.

2.3 Pomiar NMT na cyfrowej stacji roboczej Z-Station Z/I Imaging

Wygenerowano model numeryczny terenu wybranego obszaru obejmującego 4 stereogramy zeskanowanych zdjęć lotniczych w skali 1:17000. Do wygenerowania tego modelu użyto programu MATCH- T. Dla tego samego obszaru wygenerowano NMT ze zdjęć w skali 1:26 000 programem MATCH- T zachowując wymiary siatki i położenia poszczególnych punktów takie same jak dla modelu wygenerowanego ze zdjęć w skali 1:17 000. Gęstość wygenerowanej siatki wynosiła 10 m x 10 m.

Do celów porównania w/w NMT z NMT opracowanym na autografie analitycznym P-1 (wzorzec) wybrano co 10 punkt siatki w co 10-tym profilu dla terenów otwartych (rola, łąka) i co 3 punkt w co 3-cim profilu dla terenów gęsto zabudowanych z zaroślami i terenów z luźną zabudową.

Tabela 1

Ocena dokładności NMT (obiekt Wisła) wygenerowanego programem MATCH-T (bez edycji) ze zdjęć w skali 1:17 000 oraz 1:26 000 względem analogicznego modelu pomierzonego manualnie na autografie analitycznym P1 Zeiss ze zdjęć w skali 1: 17 000.

Wzorcowy NMT pomierzony analitycznie na P1 Zeiss	Pokrycie terenu	Porównywane NMT wygenerowane automatycznie MATCH-T		Liczb porównywanych lotu	Dokładność porównywanego NMT					
		Liczb porównywanych			Ze wszystkich różnic		Po usunięciu różnic odstających			
		Mz pom.	ΔZ śr.		Liczba usuniętych punktów	Mz pom.	Promil wys. lotu	ΔZ śr. [m]	ΔZ max. [m]	
Wysokość lotu H=2500m	ROLA CZYSTA	2500	721	0.53	0.17	21	0.36	0.15	0.12	1.66
	ŁĄKA CZYSTA	4000	511	0.79	-0.09	5	0.71	0.18	-0.11	2.51
		2500	64	0.36	0.08	0	0.36	0.14	0.08	-1.44
		4000	64	0.82	-0.43	1	0.76	0.19	-0.40	-2.41
Skala zdjęć 1:17000	ROLA LUŻNO ZAROŚLA	2500	31	1.18	0.70	4	0.60	0.24	0.39	1.54
		4000	31	2.94	1.64	5	1.11	0.28	0.74	2.31
	ŁĄKA LUŻNO ZAROŚLA	2500	92	1.66	1.18	22	0.83	0.33	0.68	1.65
Dokładność NMT z P1 Mzpom = 0,25m	ZAROŚLA	4000	91	3.14	2.43	31	1.45	0.36	1.31	2.43
	ZABUDOWA LUŻNA	2500	480	1.02	0.74	33	0.66	0.27	0.59	1.63
		4000	252	1.61	1.06	20	1.00	0.25	0.77	2.49
	ZABUDOWA GĘSTA	2500	469	1.48	1.12	111	0.80	0.32	0.67	1.66
	4000	468	2.15	1.65	112	1.31	0.33	1.04	2.49	
	2500	1867	1.04	0.61	191	0.59	0.24	0.39	1.66	
	4000	1417	1.75	0.87	174	1.0	0.25	0.46	2.51	

Niezależnie, dokonano oceny NMT wygenerowanego automatycznie ze zdjęć w skali 1:26 000 poprzez pomiar w terenie rzędnych z dokładnością 10 cm wzdłuż profili w odstępach co 5m. Profile poprowadzono wzdłuż zmiennych form terenowych.

Dodatkowo sprawdzeniu poddano modele wygenerowane automatycznie z tych samych zdjęć (1:26 000) przez firmy TECSULT (Kanada) oraz BlomInfo (Dania) pokrywające obszarowo model wygenerowany przez IGiK (Polska).

2.4 Wyniki

W oparciu o różnice powstałe w wyniku wyznaczania rzędnych tych samych punktów z zastosowaniem automatycznego ich pomiaru programem MATCH-T i manualnie przez obserwatora na autografie analitycznym P-1 określono średnie błędy pomiaru wysokości dla poszczególnych stref trudności (tabela 1).

Określono błędy średnie pomiaru rzędnych NMT wygenerowanych metodą fotogrametrii cyfrowej przez firmy TECSULT i BlomInfo oraz IGIK przyjmując za bezbłędne profile wykonane w terenie metodą GPS (tabela 2).

Tabela 2.

Ocena dokładności NMT wygenerowanego metodą fotogrametrii cyfrowej ze zdjęć w skali 1:26 000 przez TECSULT (Kanada), BlomInfo (Dania), IGiK (Polska) względem pomierzonych w terenie profili metodą GPS

	TECSULT	BLOMINFO	IGiK
<i>Błąd średni (RMS) liczony z różnic wysokości H</i>	0.4 m	0.5 m	0.5 m
Minimalna różnica wysokości punktów ΔH_{\min}	0.0 m	0.0 m	0.0 m
Maksymalna różnica wysokości punktów Δ_{\max}	1.9 m	1.9 m	1.3 m
Średnia różnica wysokości	0.3 m	0.4 m	0.4 m
Liczba porównywanych punktów	143	816	438

2.5 Analiza dokładności i wnioski

Bloki zdjęć wykonanych w skali 1: 17 000 stanowią regularny segment z fotopunktami sygnalizowanymi pozwalają na automatyczne wygenerowanie NMT (bez przeprowadzania edycji takiego modelu), z dokładnością około 0,6 m dla terenu

otwartego bez naturalnych przeszkód i zabudowań. Po przeprowadzeniu edycji błąd średni wynosi około 0.5m. Jest to poniżej 0.2 ‰ H lotu.

Zdjęcia wykonane w skali 1:26 000 pozwalają na automatyczne wygenerowanie NMT programem MATCH-T, który jednak wymaga filtracji i edycji manualnej. Dokładność tak opracowanego NMT jest około $Mz=0.5$ m. Błąd średni wysokości dla terenu o zróżnicowanym krajobrazie, w którym poza terenem otwartym znajdują się zarośla, zabudowa rzadka i gęsta, po przeprowadzeniu edycji wynosi poniżej 0.8 m, tj. maksymalnie 0.2‰ H.

Błędy te otrzymano na podstawie porównania rzędnych odpowiadających sobie punktów siatki NMT pomierzonych na autografie P1 (ze zdjęć w skali 1:17000) oraz NMT wygenerowanym za pomocą programu MATCH -T (ze zdjęć w skali 1:26000) oraz na podstawie porównania rzędnych punktów siatki NMT wygenerowanego za pomocą programu MATCH-T ze zdjęć w skali 1:26000 z odpowiadającymi im punktami profili terenowych.

Literatura:

1. Ewiak I., 1998, Niektóre aspekty skanowania zdjęć lotniczych za pomocą skanera PS-1 Zeiss. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji. Kraków, Vol. 8, s.11-1 do 11-10.
2. Kaczyński R., Ziobro J., 1998, Digital aerial triangulation for DTM and orthophoto generation. Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 32, Part 4, Stuttgart, pp.281-283.
3. Kaczyński R., Ziobro J., Ewiak I., 1999, Dokładność poszczególnych etapów generowania ortofotomap cyfrowych ze zdjęć PHARE 1:26 000. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji. Mierki, Vol. 9, s.57-60.

Recenzował: dr inż. Zdzisław Kurczyński