

Ostrowski M., Preuss R., Kurczyński Z.

TWORZENIE CYFROWEJ ORTOFOTOMAPY W BARWACH RZECZYWISTYCH NA PODSTAWIE ZDJĘĆ WYKONYWANYCH KAMERAMI NIEMETRYCZNYMI

1. Wstęp

Mapy fotograficzne powszechnie stosowane od lat 60-tych, wykazały swoją wyższość nad tradycyjnymi mapami kreskowymi w wielu zastosowaniach tematycznych. Szczegółowość przekazywania treści na takich mapach jest ograniczona tylko skalą i rozdzielczością zdjęć, nie zawiera subiektywnych elementów generalizacji. Pozwala to na wielokierunkową, niemożliwą do przewidzenia na etapie tworzenia mapy, interpretację obrazu fotograficznego przez zainteresowanych. Rola fotogrametrii sprowadza się w tej technologii do zmiany projekcji zdjęć i nadaniu im powszechnie przyjętych odwzorowań mapowych.

Wprowadzenie w latach 80-tych technik cyfrowej ortofotomapy pozwoliło na wykorzystanie fotogrametrii do bezpośredniego zasilania systemów GIS (SIT). Fotomapa może stanowić bazę geometryczną takich systemów. Danymi źródłowymi dla wytwarzania ortofotomapy są obrazy cyfrowe. Dostępne obrazy z satelitarnych systemów takich jak SPOT, TM i innych są doskonałym materiałem źródłowym do tworzenia map w skalach globalnych i średnich. Szczegółowa analiza środowiska przyrodniczego wymaga jednak źródłowych obrazów o wysokiej rozdzielczości. Tego wymogu obecne, jak również planowane w przyszłości systemy satelitarne nie będą w stanie spełnić, ze względu na uwarunkowania obrazowania powierzchni Ziemi z orbit satelitarnych (radiometryczne, geometryczne, etc.). Również obrazy pozyskiwane obecnie kamerami CCD z pułapów lotniczych nie stanowią jeszcze alternatywy dla tradycyjnej rejestracji fotograficznej przede wszystkim ze względu na rozdzielczość. Tak więc dzisiaj i w dającej się przewidzieć przyszłości podstawą dla tworzenia fotomap cyfrowych będą skanowane zdjęcia lotnicze.

W niniejszym artykule autorzy prezentują próbę stworzenia technologii wytwarzania cyfrowej ortofotografii w barwach rzeczywistych ze zdjęć lotniczych wykonanych kamerą niemetryczną na przykładzie opracowania dla Słowińskiego Parku Narodowego.

2. Charakterystyka materiałów źródłowych

Wiele opracowań środowiska przyrodniczego w makroskali wymaga oparcia się o barwne zdjęcia lotnicze wykonane często w nieprzewidywalnych terminach i stanach pogodowych, powiązanych np. z cyklem wegetacji roślin, lokalnymi uwarunkowaniami klimatycznymi czy spontanicznością zjawiska. Spełnienie tych warunków przez specjalistyczne, centralne przedsiębiorstwo wykonujące zdjęcia fotogrametryczne jest praktycznie niemożliwe do spełnienia. Jedynym możliwym rozwiązaniem jest wykorzystanie regionalnych aeroklubów i wykonanie zdjęć kamerami niemetrycznymi z lekkich samolotów sportowo-szkoleniowych. Rozwiązanie takie,

poza wspomnianym wyżej istotnym warunkiem dyspozycyjności, jest przede wszystkim wielokrotnie tańsze, co czyni zdjęcia lotnicze dostępnymi dla lokalnych użytkowników, dysponujących ograniczonymi środkami finansowymi. Obecnie obowiązujące regulacje prawne umożliwiają szersze wykorzystanie tych możliwości.

Należy się jednak liczyć, że ze względu na uwarunkowania nawigacyjne i użycie kamer niemetrycznych, uzyskane tą drogą zdjęcia będą znacznie odbiegały od standardowych zespołów zdjęć fotogrametrycznych. Problemy te mogą być przezwyciężone dzięki zastosowaniu rozwiązań analitycznej aerotriangulacji i cyfrowego przetwarzania zdjęć.

W prezentowanym opracowaniu zastosowano kamerę niemetryczną Hasselblad z obiektywem szerokokątnym Distagon 4/50. Zdjęcia barwne 6x6 na materiale negatywowym Reala zostały wykonane z samolotu z lukiem w podłodze z wysokości 1000 m.

Oprócz zdjęć barwnych wykonanych kamerą niemetryczną zrobiono fragmentarycznie zdjęcia na materiale w czarno-białym panchromatycznym przy zastosowaniu kamery fotogrametrycznej Hasselblad. Zdjęcia te nie były wykorzystane do opracowań fotogrametrycznych. Do kalibracji spektralnej tworzonej fotomapy wykorzystywano bezpośrednie pomiary spektralne wybranych powierzchni z lądu lub spektropolarymetrem z samolotu. Zagadnienia kolorymetryczne, równie istotne w fotomapach jak fotogrametryczne, nie są w niniejszym opracowaniu rozwinięte.

Skala zdjęć została ustalona jako kompromis między przeciwstawnymi sobie: terenową zdolnością rozdzielczą wymaganą dla opracowań przyrodniczych, możliwie niską wysokością lotu minimalizującą wpływ atmosfery na barwę, ogniskową powodującą zmiany perspektywiczne i jednoczesnym dążeniem do ograniczania ilości zdjęć stanowiących pokrycie dla danego terenu. Zespół tych czynników wyznaczył w konsekwencji skalę odwzorowania 1 : 20 000.

Pozyskane zdjęcia charakteryzują się zmiennym pokryciem podłużnym w zakresie 20%-40%, zmiennym pokryciem poprzecznym, dużymi skrętami i stosunkowo dużymi nachyleniami w stosunku do zdjęć wykonywanych rutynowo.

Zadanie polegało na weryfikowaniu możliwości zaproponowanej metody i określenia krytycznych etapów pracy. Założono skrajne, dopuszczalne w pracach fotogrametrycznych, utrudnienia pracy sprzętem niemetrycznym poziomowanym osobno przy każdym zdjęciu (zdjęcia wykonywane z ręki aparatem bez napędu, wymagającym każdorazowo wyjęcia aparatu w celu naciągnięcia migawki). Zrezygnowano z jednego magazynka dla filmu 70 mm, stosując cztery osobne magazynki.

Istotne są również warunki wykonywania zdjęć i sam obiekt. Wybranie terenu Słowińskiego Parku Narodowego daje możliwość pracy lekkim samolotem w warunkach nawigacji strefy nadmorskiej (gwałtowne zmiany prędkości wiatru, skoki pionowe i poziome samolotu). Przy innycpracach w głębi lądu takie warunki już się nie pojawiają. Istotna jest również charakterystyka geomorfologiczna terenu objętego fotomapą. Jako teren testowy wybrano obszar wydm ruchomych (z tej przyczyny mapy topograficzne są zawsze nieaktualne), rozległych szuwarów, bagien, lasów, wód jeziornych (Łebsko jest trzecim do wielkości jeziorem w Polsce) i morza. Powierzchnie te charakteryzują się jednakową teksturą z minimalną ilością punktów orientacyjnych, często tylko na obrzeżach danej powierzchni.

Zakładamy, że wykonywane w przyszłości zdjęcia nie będą bardziej odbiegać od standardów fotogrametrycznych.

3. Zakres prac eksperymentalnych

Typowa technologia tworzenia cyfrowej ortofotomapy wymagałaby :

- skanowania zdjęć
- określenia geometrii bloku zdjęć (proces aerotriangulacji),

- wytwarzania DTM,
- przetwarzania pojedynczych zdjęć,
- mozaikowania (łączenia pojedynczych ortofotoobrazów w sekcje mapy),
- edycji mapy.

Zrealizowanie tego ciągu technologicznego w sposób standardowy byłoby niemożliwe ze względu na brak właściwej geometrii zdjęć w bloku. Wykonanie ortofotografii wymagałoby indywidualnej polowej osnowy dla każdego zdjęcia. Takie rozwiązanie niweczy postawione na wstępie założenia minimalizacji kosztów i dostępności opracowanej cyfrowej ortofotomapy.

Oparcie się o istniejące mapy, nawet w odpowiednio dużej skali jest niemożliwe ze względu na ubóstwo dających się zidentyfikować na mapie i zdjęciach szczegółów sytuacyjnych. Poza tym taka droga nie zapewniłaby spójnego geometrycznego odniesienia w całym bloku.

Autorzy przezwyciężyli te problemy poprzez wykorzystanie istniejących archiwalnych zdjęć lotniczych w skali 1:25000. Podstawowym zadaniem w tworzonej technologii stało się łączne rozwiązanie bloku aerotiangulacji z archiwalnych zdjęć fotogrametrycznych i wykonanych zdjęć barwnych, przeznaczonych do wytworzenia właściwej ortofotografii. Taki blok składa się z dwóch zdjęć fotogrametrycznych i 10 barwnych negatywów z dwóch szeregów. Ten zespół zdjęć połączono w blok poprzez następujące kategorie punktów:

- fotopunkty zidentyfikowane na czarno białych diapozytywach i mapach topograficznych w skali 1 : 10 000
- punkty przejściowe dla diapozytywów
- punkty łączące diapozytywy i barwne negatywy
- punkty przejściowe dla barwnych negatywów

Wszystkie punkty zostały nakłute na PUG - 4. Najtrudniejszym etapem była identyfikacja punktów łącznych dla diapozytywów i barwnych negatywów, ze względu na brak konturów sytuacyjnych i duży odstęp czasowy (zdjęcia archiwalne wykonano w 1984 r.). Uniemożliwiało to praktycznie obserwację i identyfikację stereoskopową równocześnie diapozytywów czarno- białych i negatywów barwnych. Oceniono, że taka obserwacja byłaby możliwa, gdyby zamiast negatywów barwnych wykonano barwne diapozyty. Stosunkowo łatwa dało się natomiast zaobserwować stereoskopowo i nakłuwać punkty przejściowe między barwnymi negatywami.

Obserwację zdjęć wykonano na autografie analitycznym P 3. W przypadku zdjęć niemetrycznych układ tłowy był materializowany przez ramkę zdjęcia osobno dla poszczególnych serii zdjęć. Ta okoliczność, jak również brak metryk pełnej kalibracji zaważyły na dokładności wykonywanej aerotrangulacji. Efekt wpływu dystorsji dał się nawet zaobserwować wizualnie w modelu utworzonym po odtworzeniu orientacji wzajemnej. Docelowo przewiduje się wcześniejszą kalibrację aparatu wraz z używanymi ładownikami.

W wyniku obserwacji wygenerowano inicjalne pliki współrzędnych tłowych do zasadniczego wyrównania w systemie PAT B-GPS.

Łączne rozwiązanie bloku zdjęć charakteryzowało się następującymi dokładnościami:

- na punktach osnowy: $m_p = \pm 2 \text{ m}$
 $m_n = \pm 0.5 \text{ m}$
- na pozostałych punktach: $m_{x,y} = 0.04 \text{ mm}$

Te relatywnie duże błędy wynikają ze wspomnianego wcześniej wyboru i identyfikacji punktów, jak również nieuwzględnienia rzeczywistej geometrii zdjęć niemetrycznych. Autorzy świadomie zrezygnowali z opcji samokalibracji ze względu na słabą geometrię rozwiązywanego bloku i niską precyzję punktów osnowy. Te mankamenty miałyby duży wpływ na ewentualne opracowanie wysokościowe ze zdjęć niemetrycznych, są jednak do zaakceptowania dla opracowania sytuacyjnego jakim jest wytworzenie ortofotomapy.

Zaprezentowane rozwiązanie aerotiangulacji pozwoliło :

- całkowicie wyeliminować prace terenowe,
- zagwarantować jednolite odniesienie geometryczne dla całego zespołu zdjęć amatorskich
- wyznaczyć elementy orientacji zewnętrznej zdjęć amatorskich pomimo ich wcześniej wspomnianych mankamentów geometrycznych.

Skanowaniu poddano zarówno negatywy zdjęć barwnych jak i diapozytywy zdjęć panchromatycznych. Do skanowania wykorzystano skaner Photoscan-PS1 Zeiss-Intergraph. Zeskanowano zdjęcia przy wielkości piksela 15 m. Dalsze opracowanie ortofotomapy wykonano we współpracy z Wojskowym Ośrodkiem Geodezji i Teledetekcji na stacji Image-Station 6787. Zeskanowane zdjęcia fotogrametryczne posłużyły do wygenerowania DTM. Do tego celu wykorzystano pakiet MATCH-T bazujący na automatycznej korelacji obrazu.

Do odtworzenia orientacji bezwzględnej zdjęć wykorzystano współrzędne punktów przejściowych wyznaczone w procesie aerotriangulacji. Ortorektyfikację pojedynczych zdjęć barwnych wykonano wykorzystując pakiet ISIR (Image Station Image Rectifier). Temu procesowi poddano trzy sąsiednie negatywy z dwóch szeregów. Ortofotografie wygenerowano w skali 1:10 000 z rozdzielczością 30m. Wzajemne pokrycie ortofotografii pozwoliło ocenić jakość geometryczną procesu przetwarzania. Wizualny ogląd nie wykazał dostrzegalnych różnic geometrycznych na poziomie rozmiaru piksela. Potwierdza to prawidłowość metodyczną zastosowanego rozwiązania technologicznego. Fotomapę wytworzono z pomocą pakietu MGE Imager. Proces ten obejmuje mozaikowanie i uzgodnienie radiometryczne w strefie stykowej poprzez dostosowanie wzajemne histogramów łączonych zdjęć. Finalną fotomapę przekazano użytkownikowi w postaci zbioru rastrowego zapisanego w formacie TIFF na Exabyte oraz wypłotowano na ploterze atramentowym. Wydrukowana mapa zawiera również nałożony rysunek warstwowy utworzony wtórnie z DTM.

4. Wnioski

Przeprowadzone prace eksperymentalne wykazały praktyczną możliwość stosowania kamer niometrycznych do wytwarzania ortofotomap cyfrowych. Zastosowana metodyka ma charakter technologiczny i może być stosowana na skalę produkcyjną. Zaletą jej jest :

1. Duża dyspozycyjność operacyjna na etapie rejestracji fotograficznej przy stosunkowo niskich kosztach, dzięki zastosowaniu kamer niometrycznych i samolotu dostępnego w aeroklubach. Zaleta ta ma zasadnicze znaczenie dla wielu opracowań tematycznych, realizowanych przez lokalne ośrodki.

2. Wykorzystanie fotogrametrycznych zdjęć archiwalnych do procesu aerotiangulacji co zwalnia od uciążliwych i kosztownych prac terenowych oraz gwarantuje jednolite opracowanie bloku zdjęć nie spełniających standardów fotogrametrycznych.

Pomimo uzyskania zadawalającego produktu końcowego, w przyszłych podobnych opracowaniach zaleca się wykonanie polowej kalibracji kamery niometrycznej oraz stosowanie barwnych materiałów odwracalnych (zamiast materiałów negatywowych).

Prezentowane opracowanie ma charakter pilotowy. Nabyte doświadczenie będzie wykorzystane przy rejestracji fotograficznej, tym razem całego terenu Słowińskiego Parku Narodowego w czerwcu br. (około 300 zdjęć) i wytworzenia barwnej cyfrowej ortofotomapy dla całego obszaru.

dr Marek Ostrowski - Uniwersytet Warszawski, Pracownia Fotografii i Informacji Obrazowej
dr inż. Ryszard Preuss, dr inż. Z. Kurczyński - Politechnika Warszawska, Instytut Fotogrametrii
i Kartografii, Warszawa, Plac Politechniki 1

Recenzował: prof.dr hab.inż. Józef Jachimski