

Porównanie wyników aerotriangulacji wykonanej na autografie analitycznym (pomiar zdjęć na filmie) i cyfrowym (pomiar zeskanowanych zdjęć)

Cyfrowo szybciej

ROMUALD KACZYŃSKI, JAN ZIOBRO

W krajowej produkcji fotogrametrycznej obecnie częstsze jest wykorzystanie zdjęć skanowanych niż zdjęć na filmie. Wynika to ze względnego potania sprzętu komputerowego i oprogramowania



jak i ze znacznie większych możliwości technologii cyfrowej, do

których zaliczyć można automatyczne wytworzenie numerycznego modelu terenu czy wytworzenie ortofotomap.

Technologia cyfrowa nie jest jednak szeroko stosowana w aerotriangulacji – najwydajniejszym narzędziu do dowiązywania zdjęć lotniczych do układu współrzędnych, w jakim opracowywana jest mapa. Powodowane to jest między innymi wysokimi kosztami specjalistycznego oprogramowania i wyszkolenia personelu. W Zakładzie Fotogrametrii IGiK aerotriangulację na autografie analitycznym wykonujemy od 10 lat, a liczba opracowanych modeli przekroczyła 10 tysięcy. Półautomatyczną aerotriangulację cyfrową stosujemy od dwóch lat, a nasze doświadczenie opiera się na opracowaniu kilkuset zdjęć*. Dla porównania obydwu technologii wybrano blok, który ma odpowiednie do tego cechy: jest stosunkowo duży, zdjęcia mają dobrą jakość geometryczną i fotograficzną, osnowa fotopunktów jest dość dokładna. Zdjęcia barwne wykonano w skali 1:8 000, kamerą LMK 3000, z kompensacją rozmazu, o odległości obrazu 305 mm. Blok tworzyły więc 93 zdjęcia w 9 szeregach, o pokryciu podłużnym 60% i poprzecznym 37%. Fo-

topunktami w liczbie 69 (68 XYZ, 1 Z) były szczegóły sytuacyjne o dobrej identyfikacji w terenie i na zdjęciach (fotografowane było miasto) i równomiernie rozmieszczone w obszarze bloku. Łączny błąd określenia współrzędnych metodą GPS i błąd identyfikacji oszacowano na $M_{XYZ}=10$ cm (zostało to potwierdzone w trakcie wyrównania bloku).

Zdjęcia skanowano za pomocą skanera Photoscan PS1 firm Carl Zeiss i Intergraph, pikselem o wielkości $22\mu\text{m}$. Skanowanie przeprowadzono z wyrównaniem obrazu do układu tłowego kamery lotniczej. Gęstości optyczne zdjęć zawierały się w przedziale od 0,7D do 2,3D, co świadczy o dość dobrym naświetleniu i obróbce fotochemicznej zdjęć. Rozpiętość tonalna zdjęć w kanale czerwonym została odwzorowana na co najmniej 200 stopniach szarości, bez obcięć tonów w cieniach i światłach. Skanowanie wykonano z korekcją gamma równą 2,0. W trakcie skanowania wytwarzano podobrazy wymagane dla automatycznego pomiaru. Obrazy zdjęć lotniczych zapisywano na dysk z kompresją metodą JPEG o współczynniku kompresji $Q=20$, co dało zmniejszenie zbioru od 4 do 5 razy.



Aerotriangulację na autografie analitycznym zaprojektowano wybierając po trzy punkty wiążące szczegóły terenowe w pasie potrójnego pokrycia zdjęć. Punkty identyfikowano na sąsiednich szeregach, opisując je na odbitkach stykowych zdjęć tak, że na jednym modelu obserwowanych było 10 punktów. W całym bloku wybrano 333 punkty wiążące, a całkowita liczba punktów obserwowanych na modelach wyniosła 1325.

Pomiar przeprowadzono na autografie analitycznym Planicomp P1 firmy Carl Zeiss w następujący sposób:

- sprawdzono dokładność instrumentu;
- orientację wewnętrzną zdjęć wykonano mierząc 8 znaczków tłowych i transformując afinicznie obserwacje na układ współrzędnych tłowych;
- orientację wzajemną zdjęć modelu uzyskano poprzez usunięcie paralaks w 10 punktach. Punkty te nie są wiążącymi, służą tylko do budowy modelu stereoskopowego. Do usuwania paralaks obserwator wybierał po dwa punkty leżące w narożnikach modelu i po jednym przy punktach głównych. Dokładność orientacji uznawano za zadowalającą, gdy średnia wartość paralaksy poprzecznej nie przekraczała 3 μ m.
- pomiar punktów wiążących wykonano w trybie stereoskopowym, jednokrotnie obserwując punkty;
- dla wykrycia błędów grubych i obserwacji odstających wyrównywano cały blok programem PATM.

Aerotriangulację na autografie cyfrowym zaprojektowano wybierając nominalne położenia punktów wiążących w pasie potrójnego pokrycia zdjęć w szeregu. Zaplanowano 6 takich punktów, po dwa na skrajach i przy pun-

Tabela 1. Ocena dokładności wyników wyrównania bloku

Średnie błędy wyznaczone przez programy wyrównania	Autograf analityczny		Autograf cyfrowy		
	PATM	PATB	PATM	PATB	
typowego spostrzeżenia współrzędnej modelowej lub tłowej [μ m]	xy	8,1	5,5	5,8	4,9
	z	28,2	–	22,3	–
współrzędnej fotopunktu [cm]	XY	7,3	8,4	9,3	10,9
	Z	5,7	5,3	6,3	6,9
współrzędnej punktu wyznaczonego (wiążącego) [cm]	XY	4,6	4,9	3,4	3,9
	Z	15,3	15,4	13,2	12,1

kie głównym. Punkty skrajne były w trakcie pomiaru przenoszone i mierzone na zdjęciach sąsiednich szeregów tak, że pojedyncze zdjęcie było wiązane z około 30 punktami sąsiednimi. Punktów wiążących w całym bloku było 631, liczba obserwacji punktów w bloku wyniosła 2590. Pomiar wykonano półautomatycznie na autografie cyfrowym ImageStation 6487 firmy Intergraph. Półautomatyczność polega na wyborze przez operatora punktu wiążącego w pobliżu jego nominalnego położenia. Natomiast przeniesienie punktu na zdjęcia sąsiednie i pomiar współrzędnych tłowych odbywa się już automatycznie przy zastosowaniu metod ogólnie nazywanych „image matching”. Pomiar odbywa się jednocześnie na wszystkich zdjęciach i przy uwzględnieniu na każdym ze zdjęć wartości około 1 tysiąca pikseli, tworzących obraz punktu i jego otoczenia.

Punktami wybieranymi do pomiaru były szczegóły obrazu charakteryzujące się wysokim kontrastem otoczenia, natomiast nie musiały one stanowić konkretnych szczegółów topograficznych ani dającego się w prosty i dokładny sposób opisać fragmentu obrazu. Należy przy tym zauważyć, że wynikiem aerotriangulacji istotnym dla późniejszego opracowania modelu na autografach analitycznych i cyfrowych nie są współrzędne punktów wiążących i ich opis na odbitkach stykowych, ale jedynie elementy orientacji zewnętrznej zdjęć lotniczych.

W półautomatycznym pomiarze stosowano następujące metody image matching:

- *correlation* – dla przybliżonego określenia współrzędnej punktu, z dokładnością ok. 0,5 piksela. Przybliżenie to jest wymagane przez dokładniejszy pomiar wymieniony poniżej;
- *least square matching* – dokładny pomiar współrzędnych o średnim błędzie określenia współrzędnych nie większym niż 0,12 piksela (dla omawianych zdjęć jest to 2,7 μ m);
- *interest operator* – funkcja wspomagająca operatora w wyborze punktu do pomiaru, stosowana w przypadku, gdy w pobliżu nominalnego położenia punktu brak jest wyraźnych granic kontrastu.

Pomiar na ImageStation przebiegał następująco:

- orientację wewnętrzną przeprowadzono na 8 znaczków tłowych. Pomiar ten wykonano automatycznie. Znaczkę tłową pierwszego zdjęcia bloku były mierzone przez operatora, a pozycja kursora pomiarowego na obrazie znaczkę tłową stanowiła wzorcowy obraz dla automatycz-

Zadzwoń

**3... 5... 10... % taniej
HURTOWO**

- ✓ *Tachimetry elektroniczne.*
- ✓ *Niwelatory optyczne i cyfrowe.*
- ✓ *Teodolity i pionowniki.*
- ✓ *Światłokopiarki amoniakalne.*
- ✓ *Papiery światłoczułe, folie, kalka.*
- ✓ *Materiały do ploterów, kserografów i kreślarskie.*
- ✓ *Taśmy, łąty, statywy, stojaki, węgielnice, szkicowniki, tyczki, piony, farby do znakowania...*

PHU BIMEX s.c., ul. Dobra 19, 66-400 Gorzów Wlkp.
tel.: (095) 72 07 192, 72 07 193 fax: (095) 72 07 194

nego pomiaru znaczków tłowych wszystkich następných zdjęć bloku. Średnia wartość poprawki do współrzędnej znacznika po transformacji afinicznej, liczona z wyników wszystkich orientacji, wyniosła 4,3 μm . Maksymalna poprawka do współrzędnej jednego ze znaczków miała wartość 9,3 μm ;

■ przeniesienie punktu i pomiar współrzędnych wykonano przy wielkości okna pomiarowego 33 piksele na 33 piksele i średnim błędzie przeniesienia nie większym niż 0,12 piksela;

■ w celu wykrycia obserwacji odstających blok wyrównywano programem Photo-T. Program ten jest silnie zintegrowany z programem pomiarowym i przystosowanie wyników obserwacji z innych systemów jest dość czasochłonne, dlatego w celu porównania wyniki z obydwu autografów wyrównano programem PATB.

Observacje bloku wyrównano dwiema metodami: metodą niezależnych modeli – programem PATM i metodą wiązek – programem PATB. Metody te dają różniące się nieco oceny dokładności wyników, mimo że dane są te same. Wynika to z zastosowania różnych modeli matematycznych aerotriangulacji. Oceny dokładności zestawiono w tabeli 1.

W pierwszym wierszu tabeli podano błąd typowego spostrzeżenia, który w zależności od metody wyrównania można utożsamiać ze średnim błędem współrzędnej modelowej lub średnim błędem współrzędnej tłowej. Wartości tego błędu pozwalają twierdzić, że uzyskane dokładności pomiaru są wysokie zarówno z autografu cyfrowego, jak i analitycznego. Dokładność uzyskana na autografie cyfrowym jest o około 20% wyższa. Średnie błędy współrzędnej fotopunktu zamieszczone w drugim wierszu tabeli wskazują, że na autografie cyfrowym gorzej zidentyfikowano fotopunkty (o ok. 30%). Fotopunkty, których współrzędne otrzymały większe poprawki, były końcami białych linii rozdzielających pasy ruchu na jezdni. Dla zdjęć skanowanych ten typ szczegółu został źle wybrany, gdyż koniec linii może się w ogóle nie odwzorować na żadnym pikselu lub odwzorować na jednym pikselu więcej (terenowa wielkość piksela wynosiła ok. 17 cm). Ważną oceną aerotriangulacji jest średni błąd współrzędnej wyznaczanych punktów wiążących. Błędy te, zamieszczone w trzecim wierszu tabeli, pokazują, że wynik z autografu cyfrowego jest o ok. 25% dokładniejszy. Różnica w dokładności współrzędnych poziomych i współrzędnej wysokości (około 4 razy) wynika zużycia kamery lotniczej o wąską kątnym obiektywem.

Wyniki wyrównań pokazują, że obie technologie dają dobre, niewiele różniące się rezultaty. Istotna różnica między nimi istnieje w pracochłonności wykonania. Poniżej opisujemy w skrócie najważniejsze różnice w technologii wpływające na różną pracochłonność poszczególnych etapów pracy. W projektowaniu bloku dla pomiaru na autografie analitycznym trzeba na zdjęciach zaznaczyć rejon, w których punkty wiążące będą sygnalizowane kameralnie lub wybierane punkty wiążące. Następnym etapem pracy jest sygnalizacja punktów na specjalnym instrumencie lub identyfikacja szczegółów sytuacyjnych. Tych dwóch etapów nie ma w aerotriangulacji cyfrowej, gdyż jedynie planuje się liczbę i nominalne położenie punktów wiążących;

jednakowe dla wszystkich zdjęć. A wybór konkretnych punktów i ich przeniesienie na sąsiednie zdjęcia odbywa się podczas pomiaru.

Równie duże różnice w nakładzie pracy występują na etapie pomiaru – półautomatyczny wykonywany jest jednocześnie na wszystkich zdjęciach i może obejmować grupę wybranych punktów. Na autografie analitycznym pomiar wykonywany jest tylko na dwóch zdjęciach i dla każdego punktu oddzielnie, a od obserwatora wymagane jest większe doświadczenie niż od operatora na autografie cyfrowym. Jednoczesny pomiar na wielu zdjęciach pozwala na natychmiastową ocenę wiązania, natomiast błąd w obserwacji na pojedynczym modelu wykrywany jest dopiero podczas wyrównania.

Mniejsze różnice występują na etapie wyrównania i następującego po nim poprawiania obserwacji odstających. Choć i tu wysoka integracja narzędzi i automatyzacja pomiaru daje znacznie większą wydajność pracy.

Oceniamy, że pracochłonność aerotriangulacji omawianego bloku na autografie cyfrowym była trzykrotnie mniejsza niż na analitycznym, pomimo dwukrotnie większej liczby obserwacji w bloku (2590 do 1325). Sądzymy, że dobre wyniki i wysoka wydajność aerotriangulacji na zdjęciach skanowanych będą skłaniały coraz więcej firm do inwestowania w tę technologię.

Autorzy są pracownikami Instytutu Geodezji i Kartografii w Warszawie

* Pracę tę wykonano w ramach grantu KBN pt. „Aerotriangulacja cyfrowa metodą korelacji”.

P.U.H. „GODEX”

81-006 Gdynia ul. Morska 306
tel. /faks (0-58) 663-92-73; (0-58) 664-30-94
tel. kom. (0-601) 61-55-45 (całą dobę); (0-501) 155-077
e-mail: GODEX@printer.pl

OFERUJE SPRZĘT GEODEZYJNY NOWY I UŻYWANY

Sprzęt używany: Nasadki: WILD DI3S - 3000 zł
WILD DI4 - 4700 zł
RED MINI - 5000 zł
W cenę wliczone jest osadzenie, tyczka z lustrem, ład. bat.
Stacje pomiarowe: ELTA 4 - 6500 zł
SET 4B - 12 000 zł
SET 4B II - 12 500 zł

Udzielamy 6-miesięcznej gwarancji

Sprzęt nowy: Leica, Zeiss, Topcon, Nikon
Nikon C-100: 15 600 zł + 400 zł komplet osprzętu
Nikon DTM-310: 19 900 zł + 300 zł komplet osprzętu

Drobny sprzęt pomiarowy: ■ Komplet (tyczka + lustro + statyw) – od 750 zł, ■ Statywy aluminiowe i drewniane – od 260 zł, ■ Ruletki 30 m – 115 zł, 50 m – 135 zł, ■ Niwelatory, węgielnice, łaty, ■ Baterie i ładowarki

Ponadto w ofercie: Oprogramowanie C-GEO, WinKalk
Rejestratory danych do każdego instrumentu

Zadzwoń i zamów – sprzedaż i szkolenie na miejscu u klienta.
Wszystkie ceny do negocjacji, możliwy leasing i raty – bez pośrednictwa.
Ceny netto bez podatku VAT 22%.

**U NAS ZNAJDZIESZ WSZYSTKO,
CZEGO POTRZEBUJESZ**