

Romuald Kaczyński
Jan Ziobro

PORÓWNANIE PÓLAUTOMATYCZNEJ I AUTOMATYCZNEJ AEROTRIANGULACJI

Streszczenie

Przedstawiono porównanie wyników opracowania dwóch bloków, o wielkości 93 i 56 zdjęć, w różnych skalach i o różnej jakości, metodą półautomatycznego pomiaru za pomocą ISDM firmy INTERGRAPH i automatyczną metodą za pomocą MATCH-AT firmy Inpho. Przedstawiono porównanie wyników z obu metod i ocenę dokładności za pomocą fotopunktów kontrolnych.

1. Wstęp

Celem opisywanego badania jest określenie wielkości przewidywanego wzrostu dokładności elementów orientacji zewnętrznej w metodzie automatycznej aerotriangulacji, *Ackermann [1996]*, w odniesieniu do aerotriangulacji półautomatycznej. Istotnie większa dokładność wyznaczenia elementów orientacji zewnętrznej pozwoliłaby na projektowanie rzadszej osnowy terenowej.

Drugim powodem badania jest sprawdzenie celowości wykonywania automatycznej aerotriangulacji (AAT) dla bloków zdjęć o niskiej jakości radiometrycznej i przy silnym pokryciu terenu, gdyż mimo znacznego postępu w fotogrametrii zdarzają się projekty w oparciu o materiały wtórne.

Do badania wybrano dwa bloki, których fotopunkty i fotopunkty kontrolne są szczegółami terenowymi o dokładności identyfikacji ok. 0,5 piksela, a jeden z bloków tworzą kopie oryginalnych zdjęć.

2. Opis danych testowych

Na zdjęciach bloku I znajduje się miasto wraz z przedmieściami i terenami rolniczymi na jego obrzeżach. Jakość zdjęć pod względem geometrycznym i radiometrycznym jest dobra. Blok ma 17 fotopunktów i 44 fotopunkty kontrolne. Fotopunktami są dobrze identyfikowalne szczegóły terenowe, których współrzędne określono bezpośrednim pomiarem, a łączny błąd identyfikacji i pomiaru określono na 9 cm.

Blok II jest fragmentem bardzo dużego bloku zdjęciowego, gdzie szeregi mają po kilkadziesiąt zdjęć, tak że czas wykonania zdjęć sąsiednich szeregów znacząco się różni.

Skanowane były diapozytywowe kopie oryginałów. Kopie te mają deformacje o charakterze radialnym, o wielkości sięgającej 19 μm . Na zdjęciach bloku znajduje się 5 miast tworzących aglomerację przemysłową, poprzedzielanych lasami. Blok ten posiada 16 fotopunktów i 16 fotopunktów kontrolnych. Są nimi szczegóły sytuacyjne, których współrzędne wyznaczono metodą GPS. Błąd pomiaru i identyfikacji określono na 45 cm.

Barwne zdjęcia obu bloków skanowano za pomocą skanera PS1, z wielkością piksela 22,5 μm . Do aerotriangulacji użyto czerwonego kanału.

Tabela 1. Opis bloków

OPIS	BLOK I	BLOK II
skala zdjęć	1: 8 000	1: 27 000
liczba zdjęć szeregów	93 9	56 4
pokrycie podłużne / poprzeczne, %	60 / 37	60 / 30
kamera odległość obrazu, mm	LMK 3000 305	RC 20 152
wysokość lotu, m	2700	4400
liczba fotopunktów fotopunktów kontrolnych	17 44	16 16
rodzaj skanowanych zdjęć kanał barwny	barwne, oryginalne, czerwony	barwne, wtórnik, czerwony
rozmiar piksela, μm	22.5	22.5
charakterystyka terenu	miasto, częściowo otwarty, pagórkowaty	5 miast, częściowo zalesiony, płaski

3. Półautomatyczna aerotriangulacja

Pomiar ten dla obu bloków wykonano na stacji IS 6487 Intergraph, za pomocą programu ISDM. Po orientacji wewnętrznej i obserwacji fotopunktów i fotopunktów kontrolnych pomiary te zostały skopiowane do projektu automatycznej aerotriangulacji w celu zachowania podobnych warunków dla późniejszego porównania wyników z obu metod.

Tabela 2 . Parametry półautomatycznej aerotriangulacji

OPIS	BLOK I	BLOK II
liczba znaczków tłowych	8	4
błąd śr. orientacji wewnętrznej, μm	4.3	5.3
liczba punktów wiążących na zdjęciu	26	26
ogólna liczba punktów wiążących	630	366
wiązących szeregi	350	175

W półautomatycznym pomiarze projektowano po dwa punkty wiążące w pobliżu położenia punktów Grubera. Operator wybierał wysokokontrastowe szczegóły obrazu i tak aby mogły być przeniesione na wszystkie sąsiednie zdjęcia za pomocą metody LSM. Na zdjęciu przeciętnie pomierzono 26 punktów wiążących. Półautomatyczne obserwacje obu bloków zostały wyrównywane za pomocą programu BINGO-F 4.0. Blok II wyrównano z dodatkowymi parametrami, gdyż zdjęcia mają duże, systematyczne deformacje.

4. Automatyczna aerotriangulacja

Automatyczną aerotriangulację wykonano za pomocą programu MATCH-AT firmy Inpho, o numerze wersji 2.0.0.6, na stacji Intergraph SSK, z następującymi parametrami jednakowymi dla obu bloków:

- *splitting factor* - 4, co szczególnie korzystnie wpłynęło na wynik pomiaru, gdyż wybór lepszych położenia klastrów punktów wiążących i zwiększenie ich liczby jest konieczne przy tak trudnym terenie, jak w opracowywanych blokach;
- liczba punktów wiążących w klastrze - 14 ;
- *matching strategy* - *most accurate*.

Wartości dwóch ostatnich parametrów oraz błąd średni a priori współrzędnych tłowych określono poprzez wstępne obliczenia. Bloki opracowano bez żadnego interaktywnego pomiaru, za wyjątkiem pomiaru fotopunktów. Blok II opracowano z dodatkowymi parametrami. W trakcie opracowywania stwierdzono, że model tych parametrów w programie BINGO-F jest nieco lepszy dla korygowania systematycznych zniekształceń niż model wbudowany w AAT. Dlatego też do analiz wzięto wyniki wyrównania uzyskane tym programem.

Lista obszarów podejrzanych (brak punktów wiążących) utworzona przez program MATCH-AT zawiera: dla bloku I - jedną pozycję; dla bloku II - 8 pozycji. Należy zauważyć, że klastrów, które wiążą szeregi, z w pełni przeniesionym chociaż jednym punktem jest: w bloku I 85 %, a w bloku II 71 %, oraz że przy wyrównaniu bloku z eliminacją pomiarów odstających ogólna liczba punktów wiążących szeregi zmniejszyła się: w bloku I o około 40%, a w bloku II o około 30%.

Tabela 3. Parametry automatycznej aerotriangulacji

OPIS	BLOK I	BLOK II
parametry pomiaru	spliting factor = 4 liczba punktów w klastrze = 14 most accurate bez dodatkowych parametrów	spliting factor = 4 liczba punktów w klastrze = 14 most accurate z dodatkowymi parametrami
ogólna liczba punktów wiążących	5616	3955
liczba punktów wiążących na zdjęciu	190	209
ogólna liczba klastrów / wiążących szeregi	522 / 230	347 / 108
liczba obszarów podejrzanych	1	8

5. Porównanie wyników wyrównania bloków

Wyniki zamieszczone w wierszu 4 Tabeli 4 pokazują, że dokładności współrzędnych tłowych uzyskane w AAT są niższe niż w półautomatycznej aerotriangulacji: dla bloku I o 10% i dla bloku II o 24 %. Niższa dokładność współrzędnych tłowych w AAT, w bloku II wynika prawdopodobnie z:

- bardzo długich szeregów i tym samym istotnie różnego czasu wykonania sąsiednich szeregów, (jako punkty wiążące brane są również załamania krawędzi cieni);
- nie do końca skorygowanych deformacji zdjęć o za pomocą dodatkowych parametrów wyrównania.

W wierszu 5 Tabeli 4 jest zamieszczona ocena dokładności współrzędnych fotopunktów na podstawie poprawek wyrównawczych. Błędy otrzymane z obu metod mają zbliżone wartości.

Tabela 4. Ocena wyników wyrównania bloków

OPIS			BŁOK I		BŁOK II	
			ISDM	MATCH-AT	ISDM	MATCH-AT
1	skala zdjęć odległość obrazu liczba zdjęć		1 : 8 000 305 mm 93		1 : 27 000 152 mm 56	
2	liczba fotopunktów fotopunktów kontrolnych		17 44		16 (14 XYZ, 2 Z) 16 (15 XYZ, 1 Z)	
3	błąd śr. a priori współ. fotopunktów i kontrolnych X,Y,Z, cm		9, 9, 15		45, 45, 30	
4	błąd śr. współrz. tlowej, $\mu\text{m} / \text{piksel}$		4.9 / 0.22	5.4 / 0.24	5.8 / 0.26	7.2 / 0.32
5	błąd śr. współ. fotopunktów X,Y,Z, cm		9, 10, 14	12, 13, 8	40, 32, 17	42, 41, 22
6	błąd śr. współ. kontrolnych X,Y,Z, cm		15, 11, 19	17, 15, 27	52, 40, 36	54, 45, 77
7	błąd śr. współ. punktów wiążących, X,Y,Z, cm	śr.	5, 5, 19	5, 5, 19	26, 24, 36	26, 24, 42
		maks.	12, 15, 46	10, 11, 34	57, 50, 72	46, 46, 66
8	błąd śr. elementów orientacji zewnętrznej	XoYoZo, cm	śr. 31, 33, 15	19, 26, 13	43, 39, 28	39, 30, 26
			maks. 59, 49, 34	36, 39, 24	65, 67, 43	54, 54, 36
		ω, φ, κ, mgrad	śr. 8.1, 7.6, 1.7	6.5, 4.7, 1.1	4.6, 5.0, 2.2	3.3, 4.7, 1.6
			maks. 11.7, 15.0, 3.8	9.9, 8.7, 2.0	8.4, 6.9, 4.2	7.2, 6.3, 2.9
9	Średniokwa- dratowa różnica elementów między ISDM a MATCH-AT		Xo,Yo,Zo, cm		64, 80, 34	
			ω, φ, κ, mgrad		19.7, 16.3, 2.8	
					74, 45, 36	
					6.4, 11.1, 3.4	

Również niezależna ocena dokładności obu typów aerotriangulacji za pomocą fotopunktów kontrolnych (Tabela 4 wiersz 6), pozwala twierdzić, że za wyjątkiem błędu średniego współrzędnej Z w bloku II uzyskanego z AAT, dokładności uzyskane w obydwóch metodach nie różnią się znacząco. Zbyt duży błąd średni współrzędnej Z w AAT, w bloku II, ma prawdopodobnie swoje źródło w systematycznych wpływach, wymienionych w poprzednim akapicie, na które szczególnie wrażliwe są wysokości wyznaczanych punktów.

W wierszu 7 podano ocenę dokładności wyznaczenia współrzędnych terenowych punktów wiążących, przeciętną dla całego bloku i dla najmniej dokładnie wyznaczonych. Przeciętne dokładności uzyskane w obu metodach nie różnią się.

W wierszu 8 Tabeli 4 zamieszczono ocenę dokładności wyznaczenia elementów orientacji zewnętrznej zdjęć. Z porównania przeciętnych dla całego bloku wartości błędów średnich wynika, że otrzymane z AAT elementy orientacji zewnętrznej są dokładniejsze: w bloku I o ok. 25% ,w bloku II o ok. 15%, od tych z półautomatycznej aerotriangulacji. Również mniejsze są błędy maksymalne.

W ostatnim wierszu Tabeli 4 podane są wartości średniokwadratowej różnicy między elementami orientacji zewnętrznej zdjęcia wyznaczonych w obu aerotriangulacjach. Wartości różnic dla bloku I przekraczają przeciętnie o 77% wartości jakich można by się spodziewać analizując przeciętne wartości błędów, (wiersz 8). Przyczyną tego są słabiej wyznaczone elementy orientacji 10 zdjęć leżących na załamaniach brzegu bloku, który nie jest prostokątny - ma od 7 do 14 zdjęć w szeregu. Te maksymalne różnice wartości elementów orientacji wynoszą: 2.1 m dla elementów liniowych i 54 mgrad dla liniowych. Dla bloku II wartości średniokwadratowej różnicy między elementami orientacji zewnętrznej są większe od przewidywanych o około 30%.

6. Wnioski

1. Dokładności wyznaczenia współrzędnych terenowych punktów wiążących uzyskane obu metodami aerotriangulacji są prawie jednakowe. Błędy średnie pomiaru współrzędnych tłowych mieszczą się w przedziale od 0,22 do 0,32 piksela;
2. Otrzymano mniejszy niż się spodziewano wzrost dokładności elementów orientacji zewnętrznej w AAT, z powodu większego błędu średniego współrzędnych tłowych niż w półautomatycznej aerotriangulacji;
3. Niższa jakość zdjęć bloku II nie stanowiła przeszkody w wykonaniu AAT za pomocą MATCH-AT, a jedynie obniżyła nieco jej dokładność.

Podziękowania

Badania wykonano w ramach projektu finansowanego przez Komitet Badań Naukowych (grant numer: 9T12E 01417).

Literatura

1. Ackermann F., 1996, *Some Considerations about Automatic Digital Aerial Triangulation*, OEEPE Official Publication, No.33, pp.157-164.
2. Heipke C., Eder K., 1998, *Performance of tie extraction in automatic aerial triangulation*, OEEPE Official Publication, No. 35, pp. 127-185.

3. Heipke C., 1998, *Automatic aerial triangulation: results of the OEEPE-ISPRS test and current developments*, Photogrammetric Week'99, D. Fritsch, R. Spieller (Eds.), Wichmann, Karlsruhe, pp.177-191.
4. Kersten T., 1999, *Digital Aerial Triangulation in Production – Experiences with Block Switzerland*, Photogrammetric Week'99, D. Fritsch, R. Spieller (Eds.), Wichmann, Karlsruhe, pp.193-204.
5. Madani M., 1999, *Operation and Performance of an Integrated Automatic Aerial triangulation System*, Proceedings of the OEEPE Workshop on Automation in Digital Photogrammetric Production, Paris, June 21-24.
6. Urset A., Maalen-Johansen, 1999, *Automatic Triangulation in Nordic Terrain - Experiences and Challenges with MATCH-AT*, Proceedings of the OEEPE Workshop on Automation in Digital Photogrammetric Production, Paris, June 21-24.

Recenzował: dr inż. Władysław Mierzwa