

STANISŁAW DĄBROWSKI

AEROTRIANGULACJA BLOKOWA W OPARCIU O NIEJEDNORODNĄ OSNOWĘ GEODEZYJNĄ

ZARYS TREŚCI: Wykonanie aerotriangulacji dla ok. 1600 zdjęć w skali 1 : 29 000 dla obszaru ok. 17 tys. km kw. wymagało rozstrzygnięcia problemów związanych z zastosowaniem niejednorodnej osnowy geodezyjnej, niedostępnością terenu dla polowej identyfikacji większości punktów, a także dla wykonania pomiaru terenowego wybranych na zdjęciach punktów uzupełniających osnowę terenową. Opisano technologiczne aspekty zastosowanych rozwiązań i rezultaty otrzymanych wyników.

1. WSTĘP

W Zakładzie Fotogrametrii Instytutu Geodezji i Kartografii w Warszawie wykonano pracę obejmującą aerotriangulację ze zdjęć lotniczych zrealizowanych w kilku terminach, a obejmujących obszar około 17 tys. km kw., ograniczony granicami administracyjnymi i brzegiem morskim. Inny, niezależny mały blok zdjęć obejmował obszar wyspy, która stanowiła część opracowywanego terytorium. Celem aerotriangulacji było zagęszczenie osnowy terenowej dla opracowania mapy topograficznej w skali 1 : 25 000.

Teren opracowywany, to w przeważającej części teren pustylny przeciętany siecią dróg, rurociągów i linii energetycznych, w części pokryty zabudową przemysłową a także miejską. Na tym terenie, mniej więcej rok przed wykonaniem opracowywanych zdjęć lotniczych, prowadzone były działania wojenne. Miało to wpływ zarówno na specyficzny obraz terenu i możliwości interpretacji szczegółów, jak i na stan zabudowanych punktów osnowy terenowej oraz dostępność niektórych rejonów dla sprawdzenia czy też dla uzupełnienia osnowy. Osnowa terenowa miała specyficzne cechy, które wynikały ze stanu zabudowy punktów, widoczności na zdjęciach, a także z ich rozmieszczenia. W wielu miejscach na obrzeżach bloku występowały braki osnowy o wystarczającej dokładności albo nawet jakiegokolwiek osnowy, a w tych częściach bloków - jak wiadomo - osnowa jest szczególnie ważna dla konstrukcji sieci aerotriangulacji blokowej.

2. CHARAKTERYSTYKA ZDJĘĆ LOTNICZYCH

Zdjęcia lotnicze całego obszaru zostały wykonane w okresie pomiędzy listopadem 1991 a marcem 1992 r. przez jedną z renomowanych firm europejskich. Loty fotogrametryczne wykonywane były w kierunku wschód-zachód szeregami wzajemnie równoległymi z pokryciem podłużnym ok. 60% i z pokryciem między szeregami ok. 30%.

W pobliżu brzegu morskiego zdjęcia wykonano z pokryciem podłużnym ok. 80%. Niektóre szeregi wykonywane były w kilku częściach z nakładaniem się końcowych lub większych fragmentów. Zdjęcia wykonywane były z samolotu Rockwell Turbo Commander 690A z kamerą fotogrametryczną LMK 500 FMC firmy Zeiss Jena z kompensacją efektu ruchu postępowego, o odległości obrazu 152,4 mm, zamontowanej na łożu przegubowym ze stabilizatorem giro SM2000. Samolot był wyposażony w 12-kanalową aparaturę GPS Ashtec z modułem fotogrametrycznym do nawigacji lotu i wykonania ekspozycji w projektowanych punktach. Dane z GPS nie mogły być wykorzystane przy aerotriangulacji ze względu na to, że w czasie wykonywania zdjęć konfiguracja pozycji satelitów była niekorzystna. Wykonano zdjęcia panchromatyczne na filmie Kodak Panatomic X. Z negatywów tych zdjęć zostały wykonane diapozytywy i odbitki stykowe, które stanowiły podstawowy materiał pomiarowy dla aerotriangulacji.

Jakość techniczna zdjęć i ich obróbki fotochemicznej nie budziły zastrzeżeń. Diapozytywy wykazywały bardzo niewielki regularny skurcz i dużą stabilność. Natomiast obraz terenu na zdjęciach - na dość dużych obszarach - nastęrczał znacznych trudności przy pomiarze i identyfikacji. Dotyczyło to zwłaszcza obszaru, w którym pustynia była pokryta ciemnym nalotem (powstałym podczas działań wojennych). Zarówno piasek pustyni jak i drogi, budowle czy urządzenia znajdujące się na tym terenie tworzyły ciemne obszary, w obrębie których zróżnicowanie tonalne szczegółów było bardzo małe. Zdjęcia tych samych terenów wykonane w innym terminie ukazują teren w większości pozbawiony już tych zaciemnień, co z kolei powoduje, że na styku z zaciemnionymi trudno jest identyfikować punkty wspólne. Ponadto na niewielkim obszarze obraz terenu był zakłócony efektem przypominającym niskie zamglenie, spowodowanym prawdopodobnie lokalną chwilową zamiecią piaskową o niewielkim zasięgu przestrzennym.

3. OSNOWA TERENOWA

Osnowa terenowa aerotriangulacji składała się z wielu punktów o różnym statusie dokładnościowym i o bardzo zróżnicowanej możliwości ich zlokalizowania i zidentyfikowania na zdjęciach. W niektórych rejonach, gdzie na skraju bloku

brak było jakiegokolwiek osnowy, często jako fotopunkt przyjmowano punkt o współrzędnej Z, odczytanej bądź z istniejącej mapy 1 : 50 000, bądź z ortofotomapy w skali 1 : 25 000 rejonów przygranicznych. Znaczna część punktów osnowy geodezyjnej była w terenie zastabilizowana i zasygnalizowana w taki sposób, że powinny one stanowić doskonale fotopunkty dla jednoznacznej identyfikacji i uzyskania aerotriangulacji o wysokim poziomie dokładności. Niestety, tylko część tak zabudowanych punktów posiadała te cechy identyfikacyjne. Wskutek zniszczenia lub zabrudzenia sygnałów i często całej zabudowy punktów, a jednocześnie niemożności przeprowadzenia wizji terenowej dla stwierdzenia ich obecnego stanu faktycznego, z pewnej liczby tych punktów trzeba było zrezygnować. Jednakże - co prawda dość dużym nakładem pracy - pewną ich liczbę udało się odnaleźć na zdjęciach i wykorzystać.

Dokonano tego stosując dwa sposoby:

- lokalizując punkty ze współrzędnych na mapie i przenosząc tę lokalizację względem szczegółów terenowych na diapozytyw, a następnie stereoskopowo poszukując sygnału;

- poszukując - po wstępnym wyrównaniu podbloku - punktu według współrzędnych na modelu, którego dostatecznie dokładna orientacja była określona w wyniku tego wyrównania i wykorzystując funkcje positioning-u autografu analitycznego. W tak zlokalizowanym miejscu, przy dużym powiększeniu i stereoskopowej obserwacji obrazu, niekiedy udawało się "wypatrzyć" sygnał, mimo bardzo minimalnego zróżnicowania tonów jego zarysów. Wówczas taki punkt był mierzony i włączany w proces ponownego wyrównania.

Punkty osnowy terenowej różnego pochodzenia i o różnej charakterystyce dokładnościowej wykorzystywane do aerotriangulacji można było zestawić w następujące grupy :

1. Punkty grupy pierwszej o dokładności określonej średnim błędem położenia $\pm 0,25$ m i wysokości $\pm 0,15$ m.
2. Punkty Z o wysokości określonej na podstawie warstwic mapy 1 : 50 000 z błędem średnim wysokości $\pm 1,50$ m.
3. Punkty o dokładności położenia $\pm 0,35$ m i wysokości $\pm 0,30$ m.
4. Punkty nie zidentyfikowane na zdjęciach i lokalizowane metodą analityczną na których mierzono wysokości, o oszacowanej dokładności $\pm 0,30$ m.
5. Punkty grupy piątej to punkty wysokościowe o rzędnych określonych na podstawie ortofotomapy 1 : 25 000 z dokładnością ok. $\pm 0,50$ m.

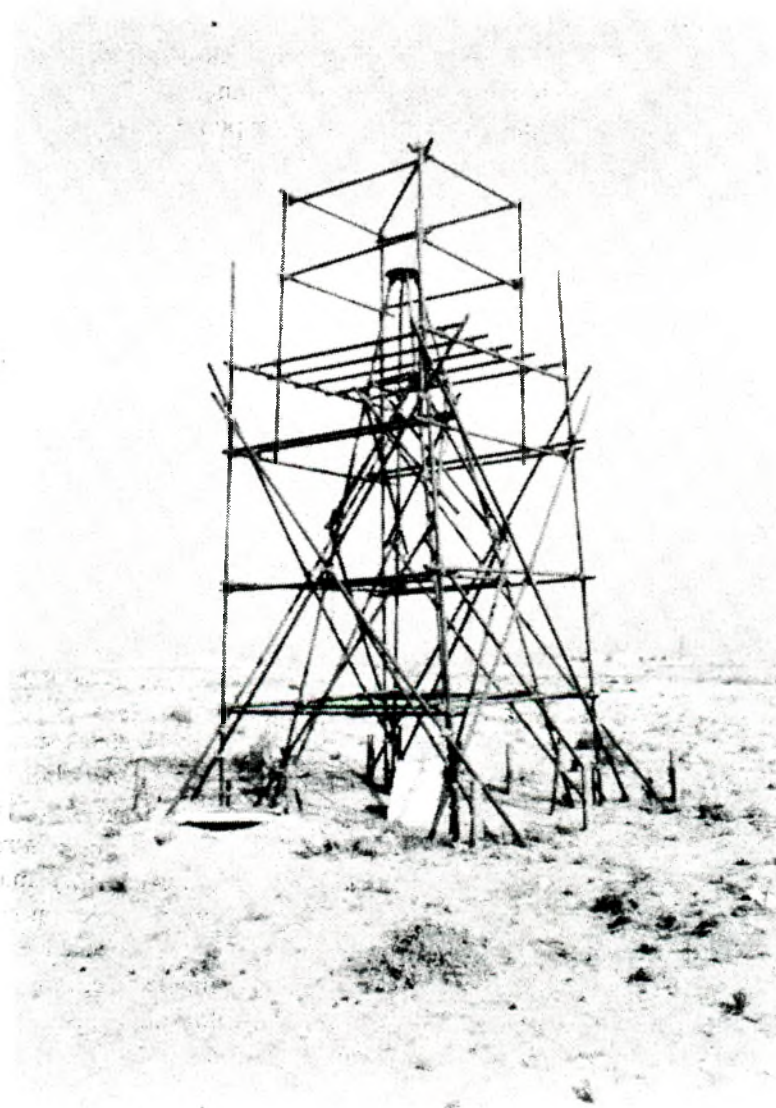
Wykorzystano 470 punktów o znanych współrzędnych XY oraz 542 Z-punktów. Znaczna ich część posiadała zabudowę w postaci słupa betonowego o wysokości nad ziemią ok. 40 cm, otoczonego symetrycznie kwadratową płytą betonową o boku 2 m. Ponadto niektóre z punktów zabudowano rusztowaniem z rur żelaznych, czasami uzupełnionym pomostem umożliwiającym podwyższenie stanowiska pomiarowego. Miało to, oczywiście, niekorzystny wpływ na

odzworowanie tego punktu na zdjęciach. Podane charakterystyki dokładnościowe poszczególnych grup punktów, aczkolwiek uwzględniają błąd pomiaru fotogrametrycznego i błąd pomiaru geodezyjnego, to jednak nie w pełni odzwierciedlają wpływ składowej błędności, która wynika z samego odzworowania obrazu punktu na zdjęciu. Składowa ta może mieć liczącą się wielkość, zwłaszcza na punktach o częściowo zniszczonej lub zasypanej płycie lub na punktach z rusztowaniami i pomostami (rys. 1). Nie udało się jednak, ze względu na niepełną dostępność terenu, przeprowadzić terenowej kontroli i sporządzić aktualnej dokumentacji takich punktów. Wywiad terenowy ograniczono do kilku zaledwie, wybranych spośród dostępnych w tym czasie punktów. Wśród fotopunktów położonych w obszarze miejskim znalazły się takie, których współrzędne zostały wcześniej wyznaczone w procesie aerotriangulacji wykonanej na obszarze miasta na podstawie zdjęć w skali 1 : 3000 w ramach innego opracowania i zlokalizowane na zdjęciach 1 : 29 000 poprzez identyfikację tych samych szczegółów terenowych.

Charakteryzując osnowę warto zwrócić uwagę na fakt, że krawędzie obszaru, które w klasycznie projektowanej aerotriangulacji staralibyśmy się uzbroić względnie gęsto rozmieszczonymi pełnymi punktami osnowy o możliwie największej dokładności, tu bardzo często, z konieczności, były uzbrajane na przykład w punkty grupy 2 lub 5. Osłabiało to niewątpliwie konstrukcję sieci. Aby mogły być spełnione wymagania dokładnościowe należało dołożyć szczególnych starań o zachowanie dokładności wykonania wszystkich etapów aerotriangulacji. Wymagało także dodatkowych kontroli dla kolejnych części opracowywanego obszaru.

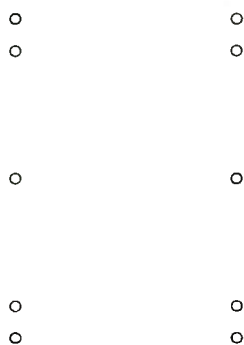
4. TECHNOLOGIA

Podstawowe założenia technologiczne wynikały przede wszystkim z celu aerotriangulacji. Jej rezultatem miała być bowiem sieć punktów identyfikowalnych jednoznacznie na zdjęciach, o liczbie i rozmieszczeniu umożliwiającym poziomowanie i wpasowanie każdego modelu w układ współrzędnych geodezyjnych służących do opracowania mapy topograficznej w skali 1 : 25 000. Z relacji skali mapy i skali zdjęć wynika, że wykonanie aerotriangulacji spełniającej wymagania dokładnościowe mapy nie stawia wobec samej aerotriangulacji szczególnie wysokich żądań dokładnościowych. Jednakże, zwłaszcza ze względu na niejednorodność, dokładność i rozmieszczenie punktów osnowy terenowej postanowiono, że wewnętrzna dokładność aerotriangulacji powinna być duża, taka jaka wynika ze skali zdjęć. Dzięki temu można było oczekiwać ostatecznych rezultatów o dokładności zbliżonej do dokładności osnowy terenowej.



Rys. 1. Punkt sieci geodezyjnej o wysokiej dokładności, ale na zdjęciu lotniczym trudny do precyzyjnego pomiaru stereometrycznego ze względu na istniejącą zabudowę.

Ze względu na specyfikę terenu, brak dostatecznej liczby szczegółów terenowych (znaczne części obszaru to tereny pustynne) przyjęto, że punkty wyznaczane aerotriangulacji będą sygnalizowane kameralnie (zastosowano tu nakłuwanie mechaniczne na instrumencie PUG4 lub strumieniem światła laserowego na instrumencie Transmark). Na każdym modelu projektowano 10 punktów rozmieszczonych następująco: po dwa punkty w pobliżu lewego i prawego skraju modelu w pasie górnym, po jednym punkcie w okolicy lewego i prawego punktu głównego zdjęć i po dwa punkty z lewej i prawej strony w pasie dolnym (rys. 2).



Rys. 2. Schemat rozmieszczenia punktów aerotriangulacji w obszarze modelu.

Projekt aerotriangulacji wykonywany był z wykorzystaniem odbitek stykowych zdjęć, szkicu nalotu fotogrametrycznego i szkicu osnowy geodezyjnej. Lokalizacja punktów wiążących, punktów osnowy, numeracja punktów oraz szkice podbloków aerotriangulacji ze schematycznie naniesionym zasięgiem modeli, rozmieszczeniem i numerami punktów były rezultatem projektowania i stanowiły materiał wyjściowy dla kameralnej sygnalizacji i obserwacji, a także - później - materiał pomocniczy dla wyrównania i kontroli. Numerację punktów wiążących zaprojektowano tak, że numer punktu zawierał informację o jego położeniu w bloku (numer szeregu, numer zdjęcia w szeregu, położenie w pasie górnym, środkowym czy dolnym). Taka numeracja znakomicie ułatwiała wszelkie analizy i lokalizację błędów.

Nietypowym w standardowej technologii aerotriangulacji, a w naszym przypadku bardzo istotnym jej elementem, było stanowisko do odszukiwania fotopunktów trudnych do lokalizacji i identyfikacji. Stanowisko to było wyposażone w instrument stereoskopowy o dobrej optyce i dużych powiększeniach - Kartofflex. Dużą część punktów, których sygnalizacja nie została zachowana w dobrym stanie, a także pewną liczbę punktów osnowy geodezyjnej bez sygnalizacji o zabudowie typowej dla punktów terenowych,

udało się odszukać, zidentyfikować i dzięki temu włączyć do aerotriangulacji, uzupełniając sieć fotopunktów. Stosując ten sposób oraz sposób analityczny lokalizacji według współrzędnych (patrz p. 3.) zlokalizowano 152 punkty osnowy.

Cały blok (bez wyspy, p. 1) składał się z 1565 modeli i ze względów technologicznych był podzielony na 12 podbloków. W takich podblokach dokonywano wszelkich kontroli, poprawek, lokalizacji fotopunktów, eliminacji ewentualnych błędów kameralnej sygnalizacji (np. przez usuwanie niektórych punktów wiążących lub zmianę ich statusu) i wstępnej oceny dokładności rezultatów aerotriangulacji. Ostatecznie jednak cały blok wyrównano jako jedną sieć aerotriangulacji. Tworzyły go punkty pomierzone na modelach w liczbie 33 586 obserwacji położenia sytuacyjnego oraz 26 029 wysokości. Wyrównanie całości bloku przeprowadzone było przy nadliczbowości obserwacji odpowiednio 16 368 oraz 11 236.

Obserwacje wykonywane były na autografie analitycznym Planicomp P1 firmy Zeiss pracującym z komputerem MicroVAX II w systemie PHOCUS (Zeiss-Oberkochen). Modele były tworzone z uwzględnieniem parametrów kalibracji kamery, z korekcją regularnych deformacji diapozytywów i z uwzględnieniem wpływu krzywizny Ziemi i refrakcji. Wyrównania wstępne i wyrównanie ostateczne zostało zrealizowane według metody niezależnych modeli programem PAT MR (Ackerman, Klein). Oceny dokładności dokonano na podstawie standardowych estymatorów, których wartości są obliczane i wyprowadzane przez program PAT MR a także wykonując niezależny test z dodatkowym wyrównaniem. Ponadto po wyrównaniu ostatecznym dokonano transformacji izometrycznej całej sieci aerotriangulacji na zmieniony układ współrzędnych, wskutek przyjęcia nowej elipsoidy odniesienia.

5. CHARAKTERYSTYKA WYNIKÓW

W programie PAT MR wykorzystano następujące standardowe wskaźniki dokładności:

- σ_{xy} - średni błąd typowego spostrzeżenia dla pomiaru modelowych współrzędnych płaskich,
- σ_z - średni błąd typowego spostrzeżenia dla pomiaru wysokości,
- m_{xy} , m_z - średnie błędy wyznaczenia punktu aerotriangulacji,
- μ_{xy} , μ_z - średnie błędy wpasowania na fotopunktach.

Przygotowując wyrównanie aerotriangulacji oszacowano wartości *a priori* tych wskaźników na podstawie charakterystyki dokładności narzędzi pomiarowych i jakości zdjęć oraz dokładności identyfikacji osnowy.

Wartości te, uzyskane w wyniku wyrównania, aczkolwiek dobrze charakteryzują dokładność rezultatów, to jednak zdaniem autora, nie stanowią ostatecznej

weryfikacji wyników aerotriangulacji jako sieci zagęszczającej osnowę geodezyjną. Wynika to z faktu zwykle niepełnego szacowania średnich błędów *a priori*, a także z innych powodów mających swoje źródło m.in. w określaniu wagi punktów. Poza tym można powiedzieć, że te błędy charakteryzują dokładność sieci fotogrametrycznej względem geodezyjnej sieci oporowej, nie uwzględniając w pełni niektórych błędów, na przykład położenia sygnału widocznego na zdjęciu względem znaku geodezyjnego.

W polskich technologiach aerotriangulacji, które nie tak dawno jeszcze obowiązywały, uwzględniano wytyczne techniczne zalecane przez centralną administrację geodezyjną, stosowano bardzo wiarygodne szacowanie dokładności aerotriangulacji na podstawie różnic na punktach geodezyjnych, traktowanych w aerotriangulacji jako punkty wyznaczane. W omawianym przypadku zastosowano test o podobnym charakterze. W jego zakres wchodziło niezależne wyrównanie całego bloku aerotriangulacji ze zmianą statusu 26 losowo wybranych fotopunktów i potraktowaniu ich w niezależnym wyrównaniu jak punkty wyznaczane. Na podstawie różnic pomiędzy współrzędnymi otrzymanymi z wyrównania aerotriangulacji a współrzędnymi geodezyjnymi tych punktów obliczono średnie błędy terenowe aerotriangulacji M_{xy} i M_z .

Uzyskano następujące wartości błędów średnich

- obserwacji:

$$\sigma_{xy} = \pm 8 \mu\text{m} \quad (\textit{a priori} \ 8 \mu\text{m}),$$

$$\sigma_z = \pm 11 \mu\text{m} \quad (\textit{a priori} \ 10 \mu\text{m}),$$

- wpasowania na fotopunkty pierwszej grupy:

$$\mu_{xy} = \pm 23 \text{ cm} \quad (\textit{a priori} \ 25 \text{ cm}),$$

$$\mu_z = \pm 11 \text{ cm} \quad (\textit{a priori} \ 15 \text{ cm}),$$

- wyznaczenia punktu aerotriangulacji:

$$m_{xy} = \pm 17 \text{ cm} \quad (\text{ok. } 6 \mu\text{m} \text{ w skali zdjęcia}),$$

$$m_z = \pm 20 \text{ cm} \quad (\text{ok. } 7 \mu\text{m} \text{ w skali zdjęcia}).$$

Określone na podstawie testu dla 26 punktów wartości średnich błędów aerotriangulacji wyniosły:

$$M_{xy} = \pm 44 \text{ cm} \quad (\text{ok. } 15 \mu\text{m} \text{ w skali zdjęcia i } 18 \mu\text{m} \text{ w skali mapy } 1:25 \text{ tys.})$$

$$M_z = \pm 49 \text{ cm} \quad (\text{ok. } 0,11 \text{ promila wysokości lotu}).$$

Wartości tych ostatnich przytoczonych błędów średnich charakteryzują rzeczywistą dokładność terenową punktów zagęszczających aerotriangulacji. Przytoczone charakterystyki dokładności wskazują na pełną przydatność uzyskanych wyników dla opracowania mapy w skali 1 : 25 000, a nawet w skalach większych, np. 1: 10 000. Biorąc pod uwagę przedstawione powyżej wartości błędów, zgodnie z rozumowaniem przedstawionym powyżej potraktujmy błędy średnie m_{xy} jako składowe błędów M_{xy} . Drugą składową możemy określić w uproszczeniu z zależności:

$$m_{xy}^2 + m_{xy}'^2 = M_{xy}^2, \quad \text{czyli} \quad m_{xy}'^2 = M_{xy}^2 - m_{xy}^2$$

podstawiając podane wyżej wartości otrzymamy: $m_{xy}' = \pm 41$ cm.

Wartość m_{xy}' zawiera w sobie średni błąd wpasowania na fotopunkty wszystkich grup. Na jego wielkość składają się zarówno przytoczone błędy μ_{xy} , jak i pozostałe błędy wynikające m.in. z trudnej do oszacowania rzeczywistej dokładności identyfikowanych fotogrametrycznie punktów osnowy oporowej. Podobne podejście można przyjąć dla oceny wyników wyznaczenia współrzędnej Z, pamiętając o tym, że istnieje tu znacznie szerszy rozrzut klas dokładności fotopunktów.

6. PODSUMOWANIE

Podsumowując, warto zwrócić uwagę na te aspekty rozwiązane zadania, które odbiegają od standardów. Współczesne narzędzia fotogrametryczne, zarówno urządzenia i instrumenty, jak i oprogramowanie znacznie rozszerzają możliwości uzyskania poprawnych rozwiązań, nawet jeżeli dane i materiały wyjściowe nie spełniają klasycznych wymogów co do jakości, jednoznaczności czy kompletności. W naszym przypadku, jak już wspomniano, kompletność i rozmieszczenie osnowy możliwej do zidentyfikowania było dalekie od ideału.

Ewentualny pomiar fotopunktów naturalnych, i tak zresztą w większości rejonów trudnych do znalezienia (pustynia), z uwagi na niedostępność terenu nie mógł być brany pod uwagę. Problem ten rozwiązały dostatecznie wspomniane w opisie technologii sposoby lokalizacji czy wręcz "odtworzenia" fotopunktów (lokalizacji położenia na podstawie współrzędnych geodezyjnych i pomiar jego wysokości na modelu, której wartość w układzie geodezyjnym była znana). Technika odszukiwania punktów z wykorzystaniem opisów topograficznych i istniejących starych map, z zastosowaniem stereoskopowej penetracji odszukanego rejonu na instrumencie Kartoflex, została dopracowana w trakcie realizacji tych prac i przyniosła bardzo dobre rezultaty.

Znane nam były zjawiska przenoszenia się i narastania błędów aerotriangulacji, które w klasycznych rozwiązaniach nie dopuszczają właściwie dołączania do bloków tych fragmentów, które wychodzą na zewnątrz obrysu utworzonego przez najbardziej zewnętrzne punkty osnowy. Problem ten występował w naszej pracy w wielu miejscach. Rozwiązano to wystarczająco dobrze, obierając w tych rejonach punkty, których lokalizację udało się ustalić na istniejącej mapie np. 1 : 50 000 lub 1 : 25 000 i odczytać z tej mapy możliwie najdokładniej wysokość. Taki punkt traktowano jako fotopunkt o znanej wysokości Z ze stosowną dokładnością. Z-punkty, pomimo swego statusu dokładnościowego, umożliwiły uzyskanie poprawnej geometryzacji wewnętrznej bloku w tym rejonie i dobrych dokładności współrzędnych płaskich punktów aerotriangulacji.

Na modelach, które były wysokościowo wpasowane na takie punkty, należało się liczyć z tym, że dokładność wysokościowego opracowania tego modelu będzie na podobnym poziomie.

Proces wyrównania aerotriangulacji, przeprowadzany był najpierw w podblokach na surowych danych obserwacyjnych i znanych punktach osnowy. To dawało materiał do oceny i eliminacji błędów obserwacji, kameralnej sygnalizacji czy identyfikacji osnowy. Następnie, jeżeli było to potrzebne, przeprowadzano znowu wyrównanie podbloku dla dokonania lokalizacji niektórych punktów osnowy. Po uzupełnieniu osnowy następowało rzeczywiste wyrównanie kompletnego podbloku. W omawianym obszarze było 12 takich podbloków. Podziału na podbloki dokonywano przyjmując założenie, że ze względu na potrzeby eliminacji błędów i kontroli wygodnie będzie, jeżeli ich wielkość będzie wynosiła 100 - 200 modeli, oraz że w każdym takim podbloku liczba i rozmieszczenie punktów osnowy pozwoli na wstępne wyrównanie. Ostateczne wyrównanie przeprowadzono dla jednego bloku, obejmującego dane uprzednio skontrolowane 12 podbloków. Jak wykazała praktyka, przyjęte rozwiązania technologiczne okazały się zadowalające i wykonana aerotriangulacja w pełni przydatna do opracowania z tych zdjęć mapy topograficznej 1 : 25 000 metodą stereometryczną.

LITERATURA

- [1] Brown D.C. Bundle Adjustment with Strip and Block Invariant Parameters. *Bildmessung und Luftbildwesen*. 1974, Nr 6.
- [2] Dąbrowski S. Zastosowanie metody modelowania stochastycznego do badania efektów przenoszenia się błędów fotogrametrycznej osnowy terenowej w procesie analitycznego opracowania bloku zdjęć. Praca doktorska. Politechnika Warszawska. Wydział Geodezji i Kartografii. 1976, s. 95.
- [3] Dąbrowski S. Opracowanie algorytmów dla wyznaczania orientacji zdjęć satelitarnych z uwzględnieniem parametrów ruchu orbitalnego. Instytut Geodezji i Kartografii. Opracowanie w ramach problemu węzłowego 06.7. Podproblem 4. "Teledetekcja". 1985 s. 47. (nie publikowane).
- [4] Dąbrowski S., Dźwigałowski F., Ziobro J. Fototriangulacja na podstawie zdjęć satelitarnych o dużych kątach nachylenia. *Prace Instytutu Geodezji i Kartografii*. T. XXXVI. 1989, s. 65-85.
- [5] Główny Urząd Geodezji i Kartografii. Wytyczne techniczne G-1.8. Aerotriangulacja analityczna. 1984, s. 91.

- [6] Jacobsen K. Attempt at Obtaining the Best Possible Accuracy in Bundle Block Adjustment. Kongres ISP, Komisja III. Hamburg 1980.

Recenzował: prof. dr hab. inż. Wojciech Bychawski

Przyjęto do druku w grudniu 1994

STANISŁAW DĄBROWSKI

**BLOCK AEROTRIANGULATION
BASED ON HETEROGENEOUS GEODETIC FRAMEWORK**

S u m m a r y

Block composed from about 1600 photographs at a scale of 1 : 29 000 had to be processed by necessity with the use of aerotriangulation based on heterogeneous geodetic framework. Due to lack of photogrammetric framework at the edges of the area, difficulties in searching and identifying some existing points of framework, certain number of destroyed points and due to inaccessible terrain for identifying or supplementing framework, various non-typical technological solutions were needed, as well as use of intermediate results of analyses was implied. Special phase of "recovering" framework points, which are normally unusable or non-identified, has been prepared. Moreover, utilizing the existing maps and photo maps, points with heights taken from the maps were also used. Search of photo point position on the basis of its coordinates was applied, using capabilities of the analytical plotter. Measuring works were done with the use of Zeiss Planicom P1 plotter, working at PHOCUS system. Preliminary adjustment, adjustment of sub-blocks and final adjustment of the total block was done, using software for aerotriangulation adjustment from independent models PAT MR. Very good inherent accuracies of model measurement and aerotriangulation were obtained, as well as good fit to framework points was reached. In order to make accuracy verification independent test was performed, using 26 points with known geodetic coordinates as points, which are determined in the process of aerotriangulation. That verification gave positive result. The performed aerotriangulation was next used for stereometric elaboration of the map at a scale of 1 : 25 000; that map confirmed in practice full usefulness of its results.

Translation: Zbigniew Bochenek

СТАНИСЛАВ ДОМБРОВСКИ

**БЛОКОВАЯ АЭРОТРИАНГУЛЯЦИЯ НА БАЗЕ
НЕОДНОРОДНОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ**

Р е з ю м е

Аэротриангуляция в блоке, составленном из около 1600 снимков в масштабе 1 : 29 000, выполнялась по необходимости на базе неоднородной геодезической сети. Отсутствие фотограмметрической геодезической основы на краях территории, невозможность нахождения и идентификации многих существующих точек основы, некоторое количество разрушенных точек и недоступность местности для идентификации и дополнения основы, требовали применения разных нетипичных технологических решений и использования проведенных анализов посредних (этапных) результатов. Введено здесь специальный этап для "возврата" точек основы невозможных для использования обычным путем, т.е. найденных или трудных для идентификации. Кроме того, прибегая к существующим картам и фотокартам, использовано также точки, высоты которых были считаны с карты. Применялся, между прочим, поиск позиции опознака на основе его координат, используя свойства аналитического автографа. Измерительные работы были выполнены на инструменте Planicompr P1 Zeiss, работающем в системе PHOCUS. Предварительное уравнивание, уравнивание подблоков, а также окончательное уравнивание целостности в одном блоке было проведено с использованием программы уравнивания аэротриангуляции из независимых моделей РАТ MR. Были получены отличные внутренние точности измерения модели и аэротриангуляции, а также хорошее совмещение с точками основы. Для верификации точности был проведен независимый тест, принимающий 26 точек с известными геодезическими координатами в качестве точек, определенных в процессе аэротриангуляции. Эта проверка дала положительный результат. Выполненная аэротриангуляция была в дальнейшей фазе использована для стереометрической обработки карты 1 : 25 000, что практически подтвердило полную пригодность её результатов.

Перевод: Róża Tołstikowa