

PRZEDWYRÓWNAWCZE WYKRYWANIE BŁĘDÓW GRUBYCH W POMIARZE ŚRODKÓW RZUTU DLA AEROTRIANGULACJI

PRE-ADJUSTMENT DETECTION OF GROSS ERRORS IN GPS MEASUREMENT FOR AERIAL TRIANGULATION

Jan Ziobro

Zakład Fotogrametrii, Instytut Geodezji i Kartografii w Warszawie

SŁOWA KLUCZOWE: aerotriangulacja, GPS, błędy grube, przedwyrównawcza analiza pomiarów

STRESZCZENIE: Artykuł przedstawia metodę przedwyrównawczego wykrywania błędów grubych w pomiarze środków rzutu. Metoda opiera się na analizie różnic wyników dwóch niezależnych wyznaczeń: wyniku otrzymanego z wyrównania aerotriangulacji bez uwzględnienia pomiaru środków rzutu i wyniku pomiaru środków rzutu wykonanego podczas nalotu fotogrametrycznego. Technika pomiaru środków rzutu dla aerotriangulacji metodą GPS istnieje od 1993 r. i jest ciągle doskonalona w zakresie precyzji i niezawodności. W zwykłym opracowaniu faktyczna weryfikacja jakości tego pomiaru odbywa się dopiero na etapie wyrównania aerotriangulacji. Głównym celem wyrównania jest uzyskanie najbardziej prawdopodobnego wyniku, a warunkiem tego jest usunięcie z obliczeń błędów grubych. Praktyka wykazuje, że spełnienie tego warunku jest trudne, czasochłonne i nie w pełni skuteczne. Wykrycie i lokalizacja błędów grubych jest trudna ze względu na: zły podział obserwacji GPS na profile, wielokrotne błędy grube, omyłki w pomiarze GPS, czasami niewystarczający poziom niezawodności sieci. W metodzie porównywane są odległości między sąsiednimi punktami profilu z dwóch niezależnych wyznaczeń. Dodatkowo są również porównywane są przyrosty współrzędnych między sąsiednimi środkami rzutu. W metodzie, jako odstające są oznaczane te różnice, których wielkość jest większa od trzykrotnego błędu średniego tej różnicy. Metoda została przetestowana na 26 blokach, które opracowano w kraju w ciągu kilku ostatnich lat. Celem testowania było sprawdzenie wielkości i liczby pozostających w sieci błędów grubych po zastosowaniu metody. Analizę tych błędów przeprowadzono metodą *data snooping* W. Baardy – metodą poprawek standaryzowanych. W blokach testowych, o skali zdjęć 1:13 000, poziom wykrywalności błędów grubych w pomiarze środków rzutu wyniósł około 6 błędów średnich współrzędnej środka rzutu, a dla skali zdjęć 1:26 000 około 12 błędów średnich.

1. WPROWADZENIE

Technika pomiaru środków rzutu dla aerotriangulacji metodą GPS jest szeroko stosowana od 1993 r., tj. od momentu pełnego funkcjonowania systemu NAVSTAR GPS (Ebadi, 1997). Technika ta jest ciągle doskonalona w zakresie precyzji i niezawodności poprzez: nowe sposoby pomiaru i nowe metody opracowania (Lamparski, 2001), wspólne opracowanie nieprzetworzonych wyników pomiaru GPS i aerotriangulacji (Jacobsen, 1996; Ellum, *et al.*, 2005), integrację pomiaru GPS z pomiarem INS.

W krajowych opracowaniach aerotriangulacji stosowany jest standardowy sposób opracowania, w którym systematyczne błędy pomiaru GPS koryguje się za pomocą dodatkowych parametrów – *shift i drift*, a zasadnicza weryfikacja tego pomiaru odbywa się dopiero na etapie wyrównania bloku. Głównym celem wyrównania jest uzyskanie najbardziej prawdopodobnego wyniku, a warunkiem tego jest usunięcie z obliczeń omyłek i błędów grubych. Praktyka wykazuje, że spełnienie tego warunku jest trudne, czasochłonne i nie w pełni skuteczne.

W wyrównaniu aerotriangulacji z obserwacjami środków rzutu, przy wielu obserwacjach odstających, przyczyny odstawiania są bardzo trudne do ustalenia ze względu na:

- zły podział obserwacji na profile GPS, który według autora jest praktycznie nie do wykrycia na podstawie analizy samych poprawek do obserwacji środków rzutu, ze względu na mocne powiązanie obserwacji poprzez *shift i drift*;
- omyłki w pomiarze GPS, które mogą powodować tak duże zaburzenia w sieci aerotriangulacyjnej, że otrzymany wynik będzie gorszy od początkowego przybliżenia niewiadomych (Adamczewski, 2004; Nowak, 1986); należy zauważyć, że zastosowanie w takim przypadku estymacji mocnej może prowadzić do fałszywego eliminowania obserwacji, w szczególności gdy omyłki dotyczą podziału obserwacji na profile GPS;
- wystąpienie w sieci wielu błędów grubych, w szczególności gdy w jednym profilu występuje więcej niż jeden błąd gruby, powoduje nakładanie się ich wpływu, co nie pozwala na wskazanie obserwacji faktycznie obciążonych;
- niewystarczający poziom niezawodności sieci aerotriangulacyjnej.

Osiągnięcie wymaganego poziomu niezawodności sieci, podanego w publikacjach (Casca, 1987; Gruen, 1980; Foerstner, 1985; Kruck, 2004; Prószyński *et al.*, 2002), wymaga starannego projektowania aerotriangulacji. Niewystarczająca wielkość miary lokalnej wewnętrznej niezawodności nie pozwala na identyfikację odstających obserwacji środków rzutu, gdyż w takim przypadku reakcja sieci na zaburzenie może być większa w sąsiednich obserwacjach, niż w obserwacji obciążonej błędem grubym.

Z praktyki krajowej wynika, że liczba omyłek i błędów grubych jest niekiedy bardzo duża (nawet do kilkunastu procent obserwacji), co powoduje, że wykrycie i usunięcie ich z obliczeń napotyka znaczne trudności, gdyż:

- wymaga to dużej liczby powtórzeń cyklu eliminacji, na który składają się: ustalenie przyczyny dużych poprawek, eliminacja obserwacji odstającej i ponowne wyrównanie bloku;
- usuwanie z wyrównania obserwacji odstających odbywa się niekiedy czasochłonną metodą prób i błędów;
- analiza oparta wyłącznie o poprawki do współrzędnych środków rzutu prowadzi niekiedy do nadmiernego i często fałszywego eliminowania obserwacji.

2. OPIS METODY

Motywy przedstawione w poprzednim punkcie skłoniły autora do opracowania metody przedwyrównawczego wykrywania błędów grubych w pomiarze środków rzutu. Metoda opiera się na analizie różnic wyników dwóch niezależnych wyznaczeń: wyniku otrzymanego z wyrównania aerotriangulacji bez uwzględnienia pomiaru środków rzutu i wyniku pomiaru środków rzutu wykonanego podczas nalotu fotogrametrycznego.

Zaletą porównania dwóch niezależnych wyników jest wykrywanie i usuwanie wielu błędów w jednym kroku obliczeniowym, i to przy dowolnie dużych omyłkach i błędach grubych. W przeciwieństwie do powyższego, w wykrywaniu błędów grubych na podstawie wyniku wyrównania sieci zasadniczo wolno usunąć tylko jedną obserwację odstającą, a następnie trzeba ponownie wyrównać sieć (Nowak, 1986; Prószyński, *et al.*, 2002).

Wadą opisywanej metody może być zbyt mała skuteczność. Oznacza to, że mimo zastosowania tej metody w sieci mogłoby pozostać dużo obserwacji odstających i obciążonych dużymi błędami grubymi. Przesłanki tego mogą być następujące:

- metoda oparta jest o wyrównanie uwzględniające tylko fotopunkty, co może dawać małą dokładność współrzędnych środków rzutu uzyskanych z takiego wyrównania;
- w obliczeniu błędu różnicy odległości lub różnicy przyrostów współrzędnych, współrzędne środków rzutu i ich błędy średnie uzyskane z wyrównania są traktowane jako wielkości niezależne; dla wyjaśnienia tej wątpliwości testowanie skuteczności metody oparto na dość licznej próbie bloków opracowanych w kraju w okresie ostatnich kilku lat.

W metodzie podstawową testową wielkością jest różnica odległości między sąsiednimi środkami rzutu. Na ogół jest to baza zdjęć tworzących model stereoskopowy, ale w braku obserwacji GPS testowana jest różnica odległości między dalszymi środkami rzutu. Porównanie odległości ma istotne zalety, których nie posiada porównanie współrzędnych środków rzutu, a mianowicie:

- odległość obliczona ze współrzędnych środków rzutu jest wolna od wpływu błędów systematycznych profilu GPS – od *shift'u* i *drift'u*;
- praktyka pokazuje że błędy grube pomiaru środków rzutu metodą GPS najczęściej deformują współrzędne właśnie w kierunku bazy fotografowania;
- analiza kolejnych różnic odległości wzdłuż profilu GPS pozwala wykryć zmianę wielkości błędów systematycznych profilu.

W metodzie dodatkowo są testowane różnice współrzędnych środków rzutu, ale po uprzednim uwzględnieniu wpływu *shift'u* i *drift'u*. Umożliwia to wykrywanie błędów grubych w przypadku deformacji współrzędnych w kierunku prostopadłym do bazy fotografowania.

Za kryterium wskazujące na błąd gruby przyjęto trzykrotną wielkość błędu różnicy odległości. Błędy różnicy odległości i różnicy przyrostu współrzędnej są obliczane dla każdej pary sąsiadujących z sobą środków rzutu na podstawie ich indywidualnych błędów średnich współrzędnych obliczonych w wyrównaniu bloku i błędu średniego współrzędnej w pomiarze GPS.

Obliczenia realizuje program DIAG_GPS, który wykorzystuje istniejące zbiory danych, dlatego użycie metody wymaga tylko niewielkiego zwiększenia nakładu pracy.

Program podaje dla każdego przesła profilu GPS: nazwy środków rzutu tworzących przesło profilu, różnicę odległości poziomych (RH), różnicę przyrostów współrzędnej pionowej (RV), długość przesła, różnice przyrostów współrzędnych poziomych (RX, RY). Jedną gwiazdką oznaczana jest różnica większa niż dwa błędy; dwiema różnica większa niż trzy błędy, trzema różnica większa niż 3.3 wartości błędu.

Dla całego profilu podawane są: liczba przesł; długość profilu; *shift* profilu (SX, SY, SZ); wielkość przesunięcia końców profilu spowodowaną jego obrotem (ROTX, ROTY, ROTZ). Zbyt duża wielkość *shift'u* i *drift'u*, nawet przy dopuszczalnej wielkości różnic, sugeruje omyłkę w pomiarze środków rzutu.

Poniżej zamieszczono dwa przykłady analizy wyników, pochodzące z bloków użytych do testowania metody, pokazujące typowe decyzje podejmowane w trakcie analizy. W pierwszym przykładzie, na rysunku 1, przedstawiony jest fragment wyniku dla profilu 7101, z bloku 4b, o skali zdjęć 1:26 000. Przesło 82758 – 82759 jest oznaczone dwiema gwiazdkami, co wskazuje, że obserwacje biorące udział w obliczeniu różnic są obciążone błędem grubym. Ponieważ różnice dla sąsiednich przesł nie wykazują przekroczenia tolerancji, można więc wnioskować, że w oznaczonym przesle nastąpiła zmiana obciążenia systematycznych profilu – *shift'u* i *drift'u*. Profil ten należy podzielić na dwa profile.

W drugim przykładzie, Rysunek 2, pokazano fragment wyniku dla profilu 25458, z bloku 10 – 30, o skali zdjęć 1:13 000. Analiza wyniku pozwala stwierdzić, że w sąsiednich przesłach, które tworzy obserwacja 2551087, różnice odległości mają dużą wartość i przeciwnie znaki. Obserwacja ta jest obciążona błędem grubym i należy ją usunąć z wyrównania.

LINE	7101	111111	RH	RZ	PRZESLO	RX	RY
82750	82751		-.05	.48	2321.16	.62	-.10
82751	82752		.67	.60	2308.81	-.02	.63
82752	82753		.59	.07	2327.32	-.32	.55
82753	82754		-.40	.23	2303.84	.04	-.45
82754	82755		.87	.00	2313.41	.18	.82
82755	82756		.47	-.20	2342.36	.12	.43
82756	82757		.33	-.50	2301.89	-.71	.31
82757	82758		.06	-.37	2321.44	-.11	.02
82758	82759		-1.73	-.28 **	2311.93	.04	-1.78 ***
82759	82760		.04	.25	2325.01	-.58	.02
82760	82761		.42	-.18	2327.00	.71	.36
82761	82762		.01	-.06	2300.81	-.24	-.02
82762	82763		-.22	.08	2334.04	.02	-.27
82763	82764		-.40	.12	2297.85	.03	-.44
82764	82765		-.07	.19	2327.88	-.04	-.12
82765	82766		.32	-.09	2325.26	-.39	.29
82766	82767		.40	.26	2307.10	.34	.35

N PRZ	SX	SY	SZ	ROTX	ROTY	ROTZ
23	-.97	-.47	2.80	.49	.53	.53

DLOGOSC 53299.3

Rys. 1. Przykład analizy dla błędnego podziału obserwacji na profile GPS

LINE	25458	11111	RH	RZ	PRZESŁO	RX	RY
2551078	2551079		.45	-.01	1143.50	-.82	-.52
2551079	2551080		-.65	-.28	1160.68	.00	.61
2551080	2551081		-.07	.13	1166.85	-.35	.02
2551081	2551082		.12	.18	1165.83	.49	-.14
2551082	2551083		-.39	-.13	1155.45	-.03	-.43
2551083	2551084		-.60	.02	1155.11	-.04	.56
2551084	2551085		-.36	-.01	1162.75	.09	.33
2551085	2551086		.43	.27	1157.38	.18	-.47
2551086	2551087		1.37	-.29 ***	1155.19	.24	-1.40 ***
2551087	2551088		-.94	-.49 *	1157.06	-.28	.89 *
2551088	2551089		-.21	-.14	1160.63	.41	.19
2551089	2551090		-.41	.10	1159.17	.06	.37
2551090	2551091		.10	.06	1161.29	-.84	-.15 *
2551091	2551092		-.18	.06	1152.08	.00	.14
2551092	2551093		.05	.00	1165.06	-.24	-.10
2551093	2551094		-.07	.01	1155.21	.83	.07
2551094	2551095		.06	-.04	1155.71	-.32	-.12
2551095	2551096		-.01	.25	1160.88	.44	-.01

N PRZ	SX	SY	SZ	ROT X	ROT Y	ROT Z
31	-.40	-3.41	8.49	.52	.59	.18

DŁOGOSC 35898.4

Rys. 2. Przykład analizy dla pojedynczej odstającej obserwacji GPS

3. TESTOWANIE METODY

Celem testowania było sprawdzenie wielkości i liczby pozostających w wyrównaniu błędów grubych pomiaru środków rzutu, po skorygowaniu jego wyników za pomocą tej metody. Analizę niewykrytych błędów grubych przeprowadzono metodą *data snooping* W. Baardy – metodą poprawki standaryzowanej.

Testowanie przeprowadzono na 26 blokach, które opracowano w kraju w ciągu kilku ostatnich lat. Bloki testowe można podzielić na trzy grupy różniące się skalą zdjęć lotniczych: grupa I – 9 bloków o skali zdjęć 1:13 000; grupa II – 11 bloków o skali zdjęć 1:26 000; grupa III – 6 bloków o różnych skalach, od 1:5 000 do 1:20 000. W blokach tych fotopunktami są szczegóły terenowe. Poniżej podano dwa parametry charakteryzujące bloki testowe: liczbę zdjęć w boku i liczbę zdjęć przypadających na jeden fotopunkt. Dla poszczególnych grup, wynosiły one:

- w grupie I – od 888 do 2388 zdjęć; od 8 do 15 zdjęć na jeden fotopunkt,
- w grupie II – od 333 do 3402 zdjęć; od 7 do 13 zdjęć na jeden fotopunkt,
- w grupie III – od 100 do 364 zdjęć; od 3 do 18 zdjęć na jeden fotopunkt.

W pierwszym kroku testowania bloki wyrównano w zwykły sposób, ale bez uwzględnienia pomiaru GPS wykonanego w trakcie nalotu fotogrametrycznego. Ważnym czynnikiem skuteczności przedstawianej metody jest dokładność współrzędnych środków rzutu otrzymana z takiego wyrównania, gdyż określa ona poziom wykrywalności błędów

grubych w pomiarze środków rzutu. Dla grup bloków I i II można podać przeciętny błąd średni współrzędnej środka rzutu, wynosi on:

- dla grupy I – $MX_o = 18$ cm; $MY_o = 15$ cm; $MZ_o = 18$ cm;
- dla grupy II – $MX_o = 45$ cm; $MY_o = 35$ cm; $MZ_o = 35$ cm.

Dla grupy III nie podano średnich wartości ze względu na różne skale zdjęć lotniczych.

Dla I i II grupy bloków można przewidzieć przeciętny poziom wykrywalności błędów grubych, przyjmując przeciętne dla całej grupy błędy średnie współrzędnych środka rzutu i wartość błędu średniego pomiaru współrzędnej GPS równą 15 cm. Głównym kryterium wykrywania jest różnica odległości między sąsiednimi środkami rzutu na profilu GPS otrzymana z dwóch niezależnych wyznaczeń, 3-krotnie większa od błędu tej różnicy.

Przeciętny, 3-krotny błąd różnicy, wynosi:

- dla I grupy bloków o skali zdjęć 1:13 000 – 93 cm;
- dla II grupy bloków o skali zdjęć 1:26 000 – 83 cm.

Na podstawie tego oszacowania można twierdzić, że obserwacje GPS obciążone błędem grubym powodującym przekroczenie kryterium zostaną wykryte za pomocą omawianej metody. Natomiast błędy grube o mniejszych wartościach mogą zostać wykryte dopiero w trakcie łącznego wyrównania bloku z pomiarem GPS. Sprawdzenie prawdziwości powyższego twierdzenia wykonano w ostatnim, trzecim kroku testowania.

Podane powyżej przeciętne wartości kryteriów dla tych dwóch skal zdjęć mają jedynie charakter pogładowy i mają za cel określenie przeciętnego, możliwego do osiągnięcia poziomu wykrywalności błędów. W obliczeniach programem DIAG_GPS kryterium to jest obliczane dla każdej pary sąsiadujących z sobą środków rzutu na profilu GPS, na podstawie ich indywidualnych błędów średnich współrzędnych.

W drugim kroku testowania przeprowadzono wykrywanie błędów grubych za pomocą metody. Danymi do obliczeń były zbiory współrzędnych środków rzutu i ich błędy średnie uzyskane z wyrównań opisanych w pierwszym kroku testowania oraz zbiory współrzędnych środków rzutu w podziale na profile GPS, uzyskane z pomiarów wykonanych w trakcie nalotów fotogrametrycznych. Po analizie wyników otrzymanych z programu DIAG_GPS zbiory z pomiaru GPS skorygowano z tytułu: omyłek, błędów grubych i złego podziału na profile GPS. Liczba wprowadzonych korekcji dla poszczególnych bloków testowych była bardzo różna, od kilku do kilkuset.

W trzecim kroku testowania bloki wyrównano łącznie z pomiarem środków rzutu, który wcześniej skorygowano według wskazań metody. W trakcie samego wyrównania nie eliminowano obserwacji odstających GPS. Celem tego kroku jest potwierdzenie skuteczności metody, tj. stwierdzenie, że największe błędy grube wykryte w trakcie wyrównań, w grupach bloków I i II, są mniejsze od przewidywanego poziomu wykrywalności, określonego na początku tego punktu.

Wyrównanie bloków wykonano za pomocą programu BINGO (Kruck, 2004), który dla wszystkich obserwacji oblicza: poprawkę do obserwacji; wartość miary lokalnej wewnętrznej niezawodności; poprawkę standaryzowaną; wielkość błędu grubego, którym jest obciążona obserwacja odstająca.

Tabela 1. Obserwacje odstające środków rzutu, w blokach grupy I, o skali zdjęć 1:13 000

L.p.	Nazwa bloku	Największa wartość błędu grubego, nabra [m]	Częstość występowania poprawek standaryzowanych, wi [%]			
			> 3.0	> 3.3	> 4.0	> 5.0
1	10 – 30	1.75	1.00	0.50	0.12	0.02
2	13 – 30	0.68	0.52	0.25	0.03	0.00
3	3 – 68	0.93	0.45	0.16	0.04	0.00
4	4 – 68	0.83	1.36	0.80	0.17	0.02
5	5A – 68	0.61	1.68	1.45	0.55	0.04
6	5B – 68	0.55	0.59	0.33	0.00	0.00
7	7 – 68	0.57	0.71	0.43	0.12	0.03
8	8 – 68	0.70	1.02	0.65	0.26	0.03
9	9 – 68	0.75	0.86	0.34	0.04	0.01
Przeciętnie		0.81	0.91	0.55	0.15	0.02

Tabela 2. Obserwacje odstające środków rzutu, w blokach grupy II, o skali zdjęć 1:26 000

L.p.	Nazwa bloku	Największa wartość błędu grubego, nabra [m]	Częstość występowania poprawek standaryzowanych, wi [%]			
			> 3.0	> 3.3	> 4.0	> 5.0
1	2 – 1	0.79	1.00	0.50	0.20	0.00
2	2 – 2	1.05	0.74	0.21	0.11	0.11
3	2 – a	1.19	0.82	0.43	0.13	0.04
4	2 – b	1.27	0.68	0.33	0.11	0.00
5	2 – c	1.19	0.77	0.44	0.11	0.00
6	3 – 3	0.91	1.12	0.66	0.13	0.01
7	4 – 7	0.56	0.37	0.25	0.00	0.00
8	4 – a	1.55	1.31	0.73	0.29	0.03
9	4 – b	1.63	1.02	0.65	0.12	0.03
10	4 – c2	1.52	1.27	0.63	0.21	0.10
11	4 – d	2.12	0.96	0.60	0.28	0.03
Przeciętnie		1.25	0.91	0.49	0.15	0.03

Tabela 3. Obserwacje odstające środków rzutu, w blokach grupy III, o różnych skalach zdjęć

L.p.	Nazwa bloku	Największa wartość błędu grubego, nabra [m]	Częstość występowania poprawek standaryzowanych, wi [%]			
			> 3.0	> 3.3	> 4.0	> 5.0
1	C – 16	1.79	1.59	1.22	0.24	0.00
2	H – 5	0.49	0.91	0.46	0.46	0.00
3	J – 20	0.85	0.92	0.27	0.00	0.00
4	L – 6	0.32	0.98	0.33	0.16	0.00
5	O – 20	0.82	0.80	0.00	0.00	0.00
6	R – 8	0.25	1.32	0.88	0.22	0.00
Przeciętnie			1.09	0.53	0.18	0.00

W tabelach 1, 2 i 3 zamieszczono największy w bloku błąd gruby (nabra) w pomiarze środków rzutu, a w kolejnych czterech kolumnach podano częstość występowania obserwacji środków rzutu, dla których wielkość poprawki standaryzowanej (wi) może wskazywać na obciążenie obserwacji błędem grubym. Częstość ta podana jest w procentach wszystkich obserwacji GPS występujących w wyrównaniu.

Przeciętna wartość największego błędu grubego dla bloków w I grupie, o skali zdjęć 1:13 000, wyniosła 0.81 m; w grupie II, o skali zdjęć 1:26 000 wyniosła 1.25 m. Porównanie tych wartości z wartościami przewidywanymi (podanymi na początku tego punktu) potwierdza skuteczność metody.

Przeciętne częstości występowania poprawek standaryzowanych dla obserwacji podejrzanych o obciążenie błędem grubym, otrzymane z 26 bloków wynoszą:

- poprawki standaryzowane większe niż 3.0 błędu średniego stanowią 0.95 % ,
- poprawki standaryzowane większe niż 3.3 błędu średniego stanowią 0.52 % ,
- poprawki standaryzowane większe niż 4.0 błędu średniego stanowią 0.16 % ,
- poprawki standaryzowane większe niż 5.0 błędu średniego stanowią 0.02 % .

We wszystkich 26 blokach wystąpiła tylko 1 poprawka standaryzowana o wartości większej niż 6. Należy zauważyć, że nie wszystkie obserwacje o poprawce standaryzowanej większej niż 3.0 są obciążone błędem grubym. Odstawianie tych obserwacji może być skutkiem reakcji sieci na błędy grube w pomiarze sąsiednich środków rzutu lub w pomiarze współrzędnych tłowych, lub też w pomiarze współrzędnych fotopunktów.

4. PODSUMOWANIE

Metoda umożliwia wykrycie w jednym kroku obliczeniowym wszystkich omyłek i znacznej części błędów grubych. Poziom wykrywalność błędów grubych zależy w znacznej mierze od skali zdjęć i błędu średniego pomiaru środków rzutu metodą GPS. W blokach testowych, o skali zdjęć 1:13 000, poziom wykrywalności błędów grubych w pomiarze środków rzutu wyniósł około 6 błędów średnich pomiaru współrzędnej środka rzutu, a dla skali zdjęć 1:26 000 około 12 błędów średnich.

Przy zdarzających się omyłkach i wielu obserwacjach odstających korzyść ze zmniejszenia liczby cykli wyrównawczych jest znaczna, a nakład pracy przy stosowaniu metody niewielki.

5. LITERATURA

- Adamczewski Z., 2004. *Rachunek wyrównawczy w 15 wykładach*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- Casca J., 1987. A reliability criterion for geodetic network design. *Zeszyty Naukowe, Akademia Górniczo-Hutnicza, Geodezja* 95.
- Ebadi H., 1997. A comprehensive study on GPS assisted aerial triangulation. Dissertation. The University of Calgary.
- El-Hakim S.F., Ziemann H., 1984. A step-by-step strategy for gross-error detection. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 50.
- Ellum C., El-Sheimy N., 2005. The common adjustment of GPS and photogrammetric measurements, FIG Working Week 2005 and GSDI-8, Cairo.
- Foerstner W., 1985. The reliability of block triangulation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. LI, 8.
- Foerstner W., 1987. Reliability analysis of parameter estimation in linear models with applications to mensuration problems in computer vision. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 40, s. 273–310.
- Greening W. J. T., Schickler W., Thorpe A. J., 2000. The proper use of directly observed orientation data: Aerial triangulations is not obsolete, ASPRS Annual Conference, Washington, DC.
- Gruen A., 1980. Precision and reliability aspects in close-range photogrammetry. *Int. Arch. Photogrammetry*, 11(23B), s. 378–391.
- Jacobsen K., 1996. A new approach of combined block adjustment using GPS-satellite constellation, *ISPRS Congress*, Vienna 1996.
- Kruck E., 2004. Bingo 5.1 User's manual. *Geoinformatics and Photogrammetric Engineering*.
- Lamparski J., 2001. *NAVSTAR GPS Od teorii do praktyki*. Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie.
- Nowak E., 1986. *Teoretyczne i praktyczne aspekty geodezyjnego rachunku wyrównawczego*. *Prace Naukowe, Geodezja*, z. 27, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej.
- Prószyński W., Kwaśniak M., 2002. *Niezawodność sieci geodezyjnych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.

Wiśniewski Z., 2005. *Rachunek wyrównawczy w geodezji (z przykładami)*. Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie.

PRE-ADJUSTMENT DETECTION OF GROSS ERRORS IN GPS MEASUREMENT FOR AERIAL TRIANGULATION

KEY WORDS: aerialtriangulation, GPS, gross errors, pre-adjustment analysis of measurement

Summary

This article presents a method for pre-adjustment detection of gross errors in the measured projection centers. The method is based on analyzing the differences of the results of two independent measurements: one obtained from adjustment of aerial triangulation without determining the projection center and the second, which considers measurement of the projection centers during photogrammetric mission.

The technique of measuring projection centers for aerial triangulation with the use of the GPS method has existed since 1993 and is still being improved, as far as precision and reliability is concerned.

In standard work, real verification of measurement quality is done only at the stage of aerial triangulation adjustment. The main aim of adjustment is to obtain the result with the highest probability, and it depends on removing the gross errors from calculations. As can be seen from practice, this condition is difficult to fulfill; the procedure is time-consuming and is not fully efficient.

The detection and location of gross errors is difficult due to improper division of GPS measurements into profiles, multiple gross errors, mistakes in GPS measurement, or insufficient network reliability level.

In the proposed method, the distances between neighboring points of profile are compared, which were obtained from two independent determinations. In addition, the increments of coordinates between neighboring projection centers are also compared. Differences which prove to be higher than three times the mean error are considered to be gross errors.

The method was tested on 26 blocks, which were prepared in recent years in Poland. The aim of testing was to verify the magnitude and number of gross errors of projection centers, which remain in the network after applying the method. Analysis of non-detected gross errors was done using the W. Baarda data snooping method, i.e. the method of standardized residuals. In the test blocks on a scale of 1:13 000 level of detectability of gross errors in the measured projections centers was ca. 6 times the mean error of coordinates of the projection center, while for 1:26 000 photographs it was 12 times the mean error, respectively.

The method detected all mistakes and most gross errors in one calculation step, which resulted in a decreased number of adjustment cycles in cases when many data errors existed.

Dr inż. Jan Ziobro
e-mail: ziobro@igik.edu.pl
tel. +22 3291987