

JAN ZIOBRO

DOWIĄZYWANIE ZDJĘĆ SATELITARNYCH DO ODWZOROWANIA KARTOGRAFICZNEGO

ZARYS TREŚCI. Przedstawiono wielomianową metodę dowiązywania skanerowych zdjęć satelitarnych do układu odwzorowania kartograficznego, w celu zagęszczenia osnowy fotopunktów dla cyfrowego przetwarzania zdjęć i dla oceny dokładności lokalizacji informacji pozyskiwanej ze zdjęć. Szczegółowo opisano algorytm metody oraz zamieszczono wyniki dowiązania 7 typów zdjęć.

1. Wstęp

Celem przedstawionej pracy jest opracowanie metody zagęszczania osnowy fotopunktów dla cyfrowego przetwarzania zdjęć satelitarnych oraz określenie możliwej do uzyskania dokładności lokalizacji informacji pozyskiwanych za pomocą aparatów różnych typów. Założono przy tym, że metoda powinna być uniwersalna i możliwa do zastosowania niezależnie od typu skanera, rodzaju odwzorowania kartograficznego oraz wielkości dowiązywanej sceny.

Metoda wielomianowej aproksymacji spełnia ten warunek. Problem ten w pracy rozszerzono o zagadnienia uwzględnienia błędności fotopunktów w układzie kartograficznym i automatycznego określania postaci wielomianu aproksymującego. Metoda polega na wyborze grupy fotopunktów, które się dobrze identyfikują na zdjęciu i na mapie oraz wyborze na zdjęciu punktów, których współrzędne zostaną wyznaczone poprzez określenie zależności między zdjęciem a mapą. Współrzędne w układzie zdjęcia określa się za pomocą pomiaru na stereokomparatorze; współrzędne w układzie odwzorowania są określane na podstawie mapy lub bezpośredniego pomiaru w terenie.

W artykule przedstawiono opis algorytmu obliczeń, uwagi dotyczące projektowania pomiaru oraz przykłady dowiązania zdjęć pozyskanych różnymi aparaturami.

2. Opis algorytmu

2.1. Wstępne przekształcenie

Współrzędne pomierzonych na zdjęciu punktów są wstępnie przeliczane na układ odwzorowania kartograficznego za pomocą przekształcenia przez podobieństwo - obrót, przesunięcie, zmiana skali (transformacja Helmerta). Celem jest eliminacja niezdefiniowanych czynników pomiaru zdjęcia na stereokomparatorze, a mianowicie:

- ułożenia zdjęcia na nośniku stereokomparatora;
- początku układu współrzędnych stereokomparatora;
- jednostek pomiaru współrzędnych.

Przekształcenie to jest odmianą procesu deflacyjnego i jest niezbędne dla stabilności algorytmu.

Drugim celem przekształcenia jest obliczenie przybliżonych współrzędnych punktów zagęszczających w układzie kartograficznym. Transformacja jest wykonywana w oparciu o wszystkie fotonpunkty, przy założeniu bezbłędności współrzędnych fotonpunktów w odwzorowaniu kartograficznym. Wyznaczane są ponadto:

- średniokwadratowe odchylenie między współrzędną zdjęcia i współrzędną w odwzorowaniu kartograficznym;
- maksymalne odchylenie.

Te dwie wielkości są miarą podobieństwa obu obrazów powierzchni Ziemi - zdjęcia i mapy. Dla stabilności algorytmu współrzędne w obu układach są redukowane o współrzędne środka ciężkości wszystkich fotonpunktów w układzie kartograficznym.

2.2. Postać wielomianu aproksymującego

Zależność między zdjęciem a mapą można aproksymować maksymalnie wielomianem 5 stopnia (42 wyrazy). Na podstawie badania różnych zdjęć satelitarnych można stwierdzić, że dla praktycznych zastosowań wystarczający jest już 4 stopień (30 wyrazów).

Postać wielomianu jest następująca:

$$\begin{aligned}
 x = & A_0 + A_1X + A_2Y + \\
 & A_3X^2 + A_4XY + A_5Y^2 + \\
 & A_6X^3 + A_7X^2Y + A_8XY^2 + A_9Y^3 + \\
 & A_{10}X^4 + A_{11}X^3Y + A_{12}X^2Y^2 + A_{13}XY^3 + A_{14}Y^4 + \\
 & A_{15}X^5 + A_{16}X^4Y + A_{17}X^3Y^2 + A_{18}X^2Y^3 + A_{19}XY^4 + A_{20}Y^5; \quad (1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y = & B_0 + B_1X + B_2Y + \\
 & B_3X^2 + B_4XY + B_5Y^2 + \\
 & B_6X^3 + B_7X^2Y + B_8XY^2 + B_9Y^3 + \\
 & B_{10}X^4 + B_{11}X^3Y + B_{12}X^2Y^2 + B_{13}XY^3 + B_{14}Y^4 + \\
 & B_{15}X^5 + B_{16}X^4Y + B_{17}X^3Y^2 + B_{18}X^2Y^3 + B_{19}XY^4 + B_{20}Y^5; \quad (2)
 \end{aligned}$$

We wzorach:

- x i y - są współrzędnymi punktu na zdjęciu skanerowym;
- X i Y - są współrzędnymi punktu w odwzorowaniu kartograficznym;
- A_i i B_i - są współczynnikami przy wyrazach wielomianu aproksymacyjnego.

2.3. Równania poprawek

Układane są dwa rodzaje poprawek:

- a. Równania poprawek do współrzędnych punktu na zdjęciu wynikające z zależności funkcyjnych (1) i (2). Równania te są nieliniowe ze względu na wyznaczone poprawki do współrzędnych fotopunktów w układzie kartograficznym;
- b. Równania poprawek do współrzędnych fotopunktów w układzie kartograficznym. Współrzędne te są traktowane jako bezpośrednie obserwacje o określonym błędzie średnim.

Dla fotopunktu układane są 4 równania poprawek, a dla punktów zagęszczających 2 równania.

2.4. Układ równań poprawek

Układ równań poprawek jest układem nadokreślonym, gdyż zakłada się, że liczba fotopunktów nie powinna być mniejsza niż liczba wyznaczanych wyrazów wielomianu (dwukrotnie więcej obserwacji niż niewiadomych). Układ jest rozwiązywany metodą najmniejszych kwadratów poprzez ułożenie i rozwiązanie układu równań normalnych. Równania są równoważone na

podstawie błędów średnich współrzędnych w obu układach, przy czym:

- współrzędne w układzie zdjęcia mają jednakowy błąd średni,
- współrzędne w układzie odwzorowania kartograficznego mają przypisywane indywidualne wielkości błędów średnich,
- relacja wag jest tak dobrana, że współrzędne na zdjęciu mają wagę równą 1.

2.5. Rozwiązanie układu równań poprawek

Układ nieliniowych równań poprawek jest rozwiązywany metodą iteracyjną - prostą metodą Newtona. Równania są rozwijane w szereg Taylora z ograniczeniem do wyrazów I rzędu. Po rozwiązaniu układu równań liniowych przyrosty niewiadomych są dodawane do ich wartości przybliżonych, a następnie wykonywana jest kolejna iteracja. Proces iteracyjny jest przerywany, gdy wszystkie przyrosty wyznaczanych współrzędnych są mniejsze od wartości błędu średniego współrzędnych na zdjęciu - od wartości błędu pomnożonego przez współczynnik skali uzyskany z transformacji Helmerta.

Początkowymi przybliżeniami niewiadomych dla pierwszej iteracji są:

- dla współczynników wielomianu - wartości zerowe,
- dla współrzędnych fopunktów - wartości odczytane z mapy,
- dla współrzędnych punktów zagęszczających - wartości tych współrzędnych po transformacji Helmerta.

2.6. Rozwiązanie układu równań liniowych

Układ ten jest rozwiązywany metodą wielogrupową, ze względu na dużą liczbę niewiadomych, jak również ze względu na strukturę miejsc zerowych układu równań poprawek. Niewiadomymi wiążącymi są wyrazy wielomianu, a niewiadomymi grupowymi współrzędne punktów w układzie odwzorowania kartograficznego.

Przy wyznaczaniu niewiadomych grupowych, dla zwiększenia stabilności algorytmu, zastosowano proces deflacyjny. Po wyznaczeniu niewiadomych wiążących - współczynników wielomianu, niewiadome grupowe - współrzędne punktów - są wyznaczane poprzez ponowne ułożenie i rozwiązanie równań poprawek (przy stałych wyrazach wielomianu). Proces wyznaczania niewiadomych grupowych jest wykonywany metodą iteracyjną. Rozwiązanie układu jest wykonywane algorytmem Banachiewicza.

2.7. Ocena dokładności

Ocena dokładności wyników dowiązania, tj. współrzędnych punktów i wyrazów wielomianu, jest wykonywana bezpośrednio - na podstawie błędu średniego typowego spostrzeżenia i odwrotności pierwiastka układu równań normalnych. W ostatniej iteracji do układu równań poprawek ułożonych dla obserwacji fotopunktów dołączane są równania poprawek dla punktów zagęszczających, przez co współrzędne otrzymują również bezpośrednią ocenę dokładności (przy czym równania te nie mają wpływu na wyznaczenie współczynników wielomianu).

2.8. Weryfikacja wyrazów wielomianu

Eliminacja nieistotnych wyrazów wielomianu aproksymującego opiera się na dwóch testach statystycznych:

- a. badanie ilorazu wartości bezwzględnej współczynnika przy wyrazie do błędu średniego, z jakim ten współczynnik został wyznaczony;
- b. badanie korelacji między wyznaczonymi wyrazami.

Kryteria weryfikacji zostały określone empirycznie.

Dla wymienionych testów obliczane są ilorazy współczynnika do błędu średniego - t oraz obliczana jest macierz korelacji wyrazów - r . Eliminację wyrazów przeprowadza się iteracyjnie. W pierwszym kroku przyjmuje się możliwie wysoki stopień wielomianu (przy zachowaniu dostatecznej nadliczowości fotopunktów), ze względu na to, że na ogół określenie *a priori* postaci wielomianu nie jest możliwe. Na podstawie przeprowadzonych testów i literatury można stwierdzić, że zasadniczo w jednym kroku wolno usunąć tylko jeden wyraz, po czym ponownie należy przeprowadzić wyznaczenie wyrazów wielomianu.

Algorytm weryfikujący oparty jest na założeniu, że usuwanie nieistotnych wyrazów nie powinno spowodować wzrostu błędu średniego typowego spostrzeżenia większego niż błąd średni tego błędu, uzyskany w obliczeniu z początkową liczbą wyrazów (przy stosunku liczby obserwacji fotopunktów do liczby wyrazów ≥ 2.0).

Kryteria weryfikacji są następujące:

- usuwane są wyrazy, które mają iloraz $t < 2.50$;
- usuwane są wyrazy, które mają korelację z innym wyrazem $r > 0.85$ i których parametry t i r spełniają nierówność:

$$(1 - r) \cdot t < 0.35;$$

- priorytet ma pierwsze z powyższych kryteriów, a usuwany jest wyraz którego parametry r i t najlepiej spełniają podane nierówności.

Dla podanych w rozdziale 4 przykładów dowiezania zdjęć zmiana błędu średniego typowego spostrzeżenia spowodowana eliminacją nieistotnych wyrazów zawiera się w przedziale od -5% do +17% wartości początkowej tego błędu.

2.9. Oprogramowanie

Algorytm obliczeń został zrealizowany w postaci pakietu programów o nazwie IMAGE, dla komputera IBM PC. Dane dla obliczeń są przygotowywane w sposób konwersacyjny; wyznaczenie postaci wielomianu i obliczenie punktów zagęszczających jest w pełni zautomatyzowane.

3. Projektowanie pomiaru

3.1. Układy współrzędnych

Metoda praktycznie nie stawia ograniczeń co do odwzorowania zdjęcia skanerowego, jak również co do rodzaju odwzorowania kartograficznego. Należy podkreślić, że dowiezanie polega na określeniu zależności między "płaskimi" zbiorami punktów - obrazami, przez co nie jest uwzględniony wpływ zniekształceń obrazu z tytułu różnic wysokości terenowych punktów. Dla pewnych typów zdjęć różnice te mogą mieć istotny wpływ na dokładność wyznaczenia punktów zagęszczających. Przy obserwacji zdjęcia układ współrzędnych stereokomparatora jest dowolnie określany.

3.2. Liczba i rozmieszczenie fotopunktów

Fotopunkty należy wybrać tak, aby równomiernie pokrywały scenę oraz żeby punkty zagęszczające znajdowały się wewnątrz obszaru ograniczonego fotopunktami. Dla zdjęć opracowywanych po raz pierwszy jest zalecane, aby ich liczba była nie mniejsza niż 20. Dla typów zdjęć, które były już opracowywane zalecana jest ich liczba równa liczbie istotnych współczynników wielomianu z poprzednich dowiezań (kolumna 9 tablicy 1), jednak nie mniej niż 5.

3.3. Wybór fotopunktów

Fotopunktami mogą być te szczegóły sytuacyjne, które można dobrze zidentyfikować zarówno na zdjęciu skanerowym, jak i na mapie. Dla skal zobrazowania od 1:200 000 do 1:500 000 (przy wysokiej rozdzielczości obrazu) najkorzystniejsze są skrzyżowania dróg, które ze względu na swój liniowy obraz dobrze się identyfikują na zdjęciu i pozwalają określić współrzędne z dokładnością równą graficznej dokładności mapy.

Dla skal mniejszych (niskiej rozdzielczości obrazu) jako fotopunkty należy wybierać załamania granic wód i lasów. Zalecane jest, aby przy wybieraniu fotopunktów skala mapy nie była większa niż 5 razy od skali zobrazowania. Większy stosunek skalowy daje zbyt dużą różnicę w zgeneralizowaniu treści mapy i zdjęcia oraz uciążliwe manipulowanie dużą liczbą arkuszy mapy. Korzystne jest wybieranie fotopunktów na instrumencie Kartoflex, który pozwala zestroić obrazy mapy i zdjęcia oraz dwuocześnie obserwować zestrojone obrazy.

3.4. Dokładność współrzędnych fotopunktów

Do obliczeń wymagane jest określenie błędów średnich, z jakimi wyznaczono współrzędne na zdjęciu i w odwzorowaniu. Dla współrzędnych w układzie zdjęcia błąd ten będzie określony wielkością piksela (0.5 do 1.0 piksela) lub będzie się zawierał w granicach od 10 μm do 25 μm dla zdjęć fotograficznych. Przy określaniu błędu współrzędnych w odwzorowaniu należy brać pod uwagę nie tylko błąd graficzny mapy, ale również dokładność identyfikacji szczegółu.

W algorytmie przyjęto, że współrzędne punktu w układzie zdjęcia mają jednakowy błąd średni. Natomiast współrzędne fotopunktów w układzie odwzorowania mają przypisywane indywidualne błędy średnie ze względu na możliwą różną jakość identyfikacji na mapie.

3.5. Punkty zagęszczające

Łączna liczba punktów obsarwowanych na zdjęciu (fotopunktów i zagęszczających) nie może przekraczać 150.

Wymagane jest, aby punkty zagęszczające znajdowały się wewnątrz wieloboku ograniczonego fotopunktami. Przy przewidywanym wysokim stopniu wielomianu (nieskorygowane geometrycznie obrazy) punkty wyznaczone

nie powinny leżeć na granicy ww. obszaru. W przypadku gdy punkt zagęszczający leży poza tą granicą, to błędy wyznaczonych współrzędnych mogą być wielokrotnie większe od obliczonych błędów średnich.

4. Przykłady dowiązania zdjęć

W rozdziale przedstawione są wyniki dowiązania 7 typów zdjęć do układu odwzorowania kartograficznego. Opisy danych i wyniki dowiązań zamieszczone w tablicy 1 pozwalają na określenie optymalnej liczby fotopunktów dla tych typów zdjęć oraz mogą być pomocne przy opracowaniach zdjęć pozyskanych innymi aparatami.

4.1. Skaner AVHRR

Fragment jednej sceny uzyskanej skanerem AVHRR, zobrazowanej w dwóch kanałach - 1 i 2. Skala obrazów wynosi 1:5 200 000. Dowiązanie zdjęć wykonano na podstawie 24 i 26 fotopunktów (są to różne zbiory fotopunktów), rozmieszczonych na powierzchni ok. 130 tys. km² Polski.

Fotopunktami są granice kompleksów leśnych, jezior oraz rzek. Wyboru fotopunktów dokonano na mapie 1:1 000 000, współrzędne odczytano na mapie 1: 200 000, w układzie "42", z dokładnością $M_{xy} = \pm 500$ m (łącznie z błędem identyfikacji). Dokładność współrzędnych na zdjęciu określono jako 3/4 piksela, tj. $m_{xy} = \pm 780$ m.

4.2. Skaner SPOT I

Dwie sceny wykonane aparaturą SPOT, silnie nachylone. Obrazy są po korekcji krzywizny Ziemi i nachylenia. Ponieważ położenie punktu na zdjęciu jest obciążone znacznym wpływem przesunięć radialnych z tytułu różnic wysokości terenu - Góry Świętokrzyskie, wprowadzono korekcję z tego tytułu. Skorygowano położenie fotopunktów, rzutując je na płaszczyznę o średniej wysokości. Do redukcji wykorzystano parametry orbity satelity. Błąd z tytułu redukcji współrzędnych oszacowano na 1 m. Skala zobrazowania wynosi 1:400000; scena pokrywa obszar o wymiarach 50 x 50 km.

Zdjęcia są dowiązywane na podstawie 27 fotopunktów rozmieszczonych na 80% powierzchni sceny. Fotopunktami są przede wszystkim skrzyżowania dróg oraz załamania granic użytków rolnych. Współrzędne fotopunktów pomierzono w terenie z błędem $M_{xy} = \pm 2$ m, w układzie "65". Za błąd średni współrzędnych obrazu przyjęto wielkość 0.5 piksela tj. $m_{xy} = \pm 5$ m.

4.3. Skaner SPOT II

Te same sceny, jak wyżej, z tym, że fotopunktami są inne szczegóły sytuacyjne (skrzyżowania dróg), w liczbie po 20, odczytane na mapie topograficznej w skali 1:50 000, w odwzorowaniu "42". Błąd współrzędnych odczytanych z mapy wynosi $M_{xy} = \pm 15$ m. Położenie fotopunktów również zostało skorygowane z tytułu różnic wysokości.

4.4. KOSMOS - 79 nachylone

Trzy zdjęcia w rzucie środkowym uzyskane kamerą o odległości obrazu 770 mm, w skali 1:270 000. Zdjęcia mają nachylenie 19° ; pokrywają obszary o wymiarach 62 x 62 km. Danymi do obliczeń są obserwacje i wyniki kosmotriangulacji bloku 21 zdjęć. Współrzędne zdjęcia są po korekcjach z tytułu skurczu i dystorsji. Błąd współrzędnych przyjęto z kosmotriangulacji równy $m_{xy} = \pm 3.5$ m (po przemnożeniu przez mianownik skali zdjęć). Współrzędne w układzie "42" mają indywidualne błędy średnie o znacznych różnicach, o wielkości M_{xy} od 4 m do 24 m. Liczba fotopunktów wynosi: 26, 24 i 22.

4.5. KOSMOS - 79 pionowe

Dwa zdjęcia o takich samych parametrach jak wyżej, z tą różnicą, że nachylenie wynosi tylko 0.5° ; błędy średnie M_{xy} znajdują się w przedziale 3.5 m do 4.5 m. Liczba fotopunktów wynosi po 25.

4.6. KOSMOS - 75

Trzy zdjęcia w rzucie środkowym uzyskane kamerą o odległości obrazu 201 mm, w skali 1:1 054 000. Zdjęcia pokrywają obszar o wymiarach 190 x 190 km. Pomierzone na zdjęciu współrzędne wzięto do obliczeń bez żadnych korekcji. Błąd ich oszacowano na $m_{xy} = \pm 15.8$ m. Fotopunktami są na ogół załamania konturów lasów. Współrzędne fotopunktów w układzie "42" odczytano na mapach topograficznych w skali 1:50 000, z błędem $M_{xy} = \pm 15.0$ m. Liczba fotopunktów wynosi: 37, 41 i 26. Na dwóch zdjęciach fotopunkty są rozmieszczone na całej powierzchni zdjęcia (37 i 41 fotopunktów), a na trzecim na 60% powierzchni (26 fotopunktów).

4.7. Skaner MSS

Trzy sceny uzyskane skanerem MSS z kanałów 6 lub 7; skala zobrazowania 1:1 000 000. Zdjęcia pokrywają obszary 190 x 190 km. Jako błąd średni współrzędnych na zdjęciu przyjęto wielkość 0.5 piksela tj. $m_{xy} = \pm 40$ m. Fotopunktami są granice kompleksów leśnych oraz wód. Współrzędne fotopunktów odczytano z mapy w odwzorowaniu "42", w skali 1:200 000, z błędem średnim $M_{xy} = \pm 60$ m. Liczba fotopunktów wynosi: 17, 13 i 14.

4.8. Uwagi do tablicy 1

- a. W kolumnie 9 podana jest łączna liczba wyrazów wielomianów dla aproksymacji współrzędnych X i Y, po wyeliminowaniu przez program wyrazów nieistotnych. Początkowa (łączna) liczba wyrazów, w każdym omawianym dowiązaniu, była równa liczbie fotopunktów.
- b. W kolumnie 10 podany jest błąd średni typowego spostrzeżenia, który jest równy błędowi średniemu obserwacji na zdjęciu, uzyskanemu z wyrównania.
- c. W kolumnie 12 błąd średni współrzędnej punktu zagęszczającego, jest wartością uśrednioną, gdyż różni się ona nieznacznie dla poszczególnych wyznaczonych punktów.
- d. Równie dobre rezultaty dowiązania zdjęć SPOT I i SPOT II są efektem zarówno uwzględnienia błędności współrzędnych fotopunktów w układzie kartograficznym, jak i występującej dla tych zdjęć bardzo dużej nadliczowości obserwacji.
- e. Wartości błędów średnich i poprawek maksymalnych podane są w metrach.

5. Podsumowanie

Zaprezentowana metoda dowiązania satelitarnych zdjęć skanerowych pozwala na wpisywanie pozyskiwanych ze zdjęć informacji w układ kartograficzny z dokładnością od 0.5 do 1.0 piksela, przy optymalnej liczbie fotopunktów. Należy zauważyć dobrą jakość przebadanych odwzorowań skanerowych, w których błędy przypadkowe odwzorowań mają wielkość nie większą niż błędy dowiązania. Wyniki dowiązania zdjęć satelitarnych w rzucie środkowym pozwalają na stwierdzenie, że metoda jest uniwersalna ze względu na rodzaj odwzorowania zdjęciowego.

Wyniki dowiązania zdjęć do układu odwzorowania kartograficznego

Tablica 1

Lp.	Nazwa danych	Nr zdjęcia	Liczba foto-punktów	Błąd średni współrzędnej		Wynik transformacji Helmerta		Wynik dowiązania zdjęcia			
				na zdjęciu	w odwzorowaniu	Błąd średni	Maks. poprawka	Liczba wyrazów wielomianu	Błąd średni typowego spożyczenia	Maks. poprawka do współ. na zdjęciu	Błąd średni wsp. punktu zagęszczającego
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	AVHRR	kanal 1	24	780.0	500.0	14598.8	36958.6	11	945.3	2497.6	950.0
		kanal 2	26	780.0	500.0	14936.7	40282.8	15	851.4	2127.9	850.0
2	SPOT I	051087	27	5.0	2.0	6.4	13.6	2	5.8	11.6	5.7
		121087	27	5.0	2.0	9.6	24.7	6	5.6	10.7	5.4
3	SPOT II	051087	20	5.0	15.0	17.3	40.7	2	5.1	3.8	5.1
		121087	20	5.0	15.0	22.3	46.4	3	5.8	4.3	5.8
4	KOSMOS 79 nachylone	20 447	26	3.5	4-24	762.4	1621.9	12	5	10.9	4.5
		20 397	23	3.5	4-24	760.1	1764.1	16	4.1	10.0	4.1
		20 400	22	3.5	4-24	814.1	1881.2	14	2.7	3.4	2.9

Wyniki dowiązania zdjęć do układu odwzorowania kartograficznego

cd. Tablica 1

Lp.	Nazwa danych	Nr zdjęcia	Liczba foto-punktów	Błąd średni współrzędnej		Wynik transformacji Helmerta		Wynik dowiązania zdjęcia			
				na zdjęciu	w odwzorowaniu	Błąd średni	Maks. poprawka	Liczba wyrazów wielomianu	Błąd średni typowego spostrzeżenia	Maks. poprawka do współ. na zdjęciu	Błąd średni wsp. punktu zagęszczenia
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5	KOSMOS 79 pionowe	20 233 20 235	25 25	3,4 3,4	3-4 3-4	17,6 18,9	46,2 61,1	13 12	1,9 3,0	3,4 5,4	1,9 3,0
6	KOSMOS 75	328 329 330	37 41 26	15,8 15,8 15,8	15,0 15,0 15,0	517,6 466,1 383,7	2349,5 1329,7 1069,1	14 11 14	19,8 19,8 17,2	41,0 36,5 34,0	20,5 19,8 17,2
7	MSS	20 224 20 424 20 324	17 13 14	40,0 40,0 40,0	60,0 60,0 60,0	1217,4 993,2 763,8	2058,4 1620,1 1417,1	7 3 4	47,1 90,1 48,6	47,8 95,8 59,5	46,0 89,7 48,5

Recenzował: prof.dr hab. inż. Wojciech Bychawski
Przyjęto do opublikowania w dniu 10 czerwca 1991 r.

JAN ZIOBRO

ADJUSTMENT OF SATELLITE IMAGES TO THE CARTOGRAPHIC PROJECTION

S u m m a r y

Polynomial method of adjusting scanner satellite images to the cartographic projection system was presented in the article. This method is used in order to increase number of framework photopoints, necessary for digital image processing and for evaluation of accuracy of information derived from satellite images.

Algorithm of adjustment takes into account mean errors of photopoint coordinates in the cartographic system. That algorithm verifies iteratively, on the basis of statistical tests, significance of the determined polynomial coefficients.

Results of adjustment of 17 satellite images, acquired with the use of different sensors, were presented in the article.

Translation: Zbigniew Bochenek

ЯН ЗИОБРО

ПРИВЯЗКА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ К КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ
ПРОЕКЦИИ

Резюме

Представлен многочленный метод привязки сканерных космических снимков к системе картографической проекции с целью сгущения основы опорных точек для цифрового преобразования снимков и для оценки точности локализации информации, полученной со снимков.

Алгоритм привязки учитывает средние квадратические ошибки координат опорных пунктов в картографической системе. Алгоритм итерационным способом проверяет достоверность определенных коэффициентов многочлена на основе статистических тестов.

Представлены результаты привязки 17 космических снимков, полученных аппаратами разных типов.

Перевод: Róża Tołstikowa