

WIELOSENSOROWA TRIANGULACJA SATELITARNA

THE MULTISENSOR SATELLITE TRIANGULATION

Ireneusz Ewiak

Instytut Geodezji i Kartografii w Warszawie

SŁOWA KLUCZOWE: fotogrametria satelitarna, korekcja geometryczna, wysokorozdzielcze obrazy satelitarne, dokładność

STRESZCZENIE: Podczas budowy numerycznych modeli terenu (NMT) na podstawie danych lotniczego skanowania laserowego (chmur punktów) dąży się do usunięcia punktów, które dotyczą odbić od obiektów znajdujących się na powierzchni – budynków i budowli oraz roślinności. Istnieją jednakże dziedziny gospodarki oraz nauki, które są zainteresowane uzyskaniem danych, możliwie wiernie opisujących budowę pokrywy roślinnej. Dlatego też wydaje się, że doskonalenie metodyki budowy numerycznego modelu pokrycia terenu wymaga bardziej wnikliwego podejścia, niż tylko ustalenie którejdy przebiega górna granica (powierzchnia) opisująca kształt obiektu. Ze względu na przestrzenną zmienność pokrycia terenu, nie można przyjmować jednorodnych reguł przetwarzania danych dla całego obszaru, dla którego wykonano skanowanie laserowe. Istotnym jest dokonanie dokładnego rozpoznania przestrzennej dystrybucji różnych obiektów na badanym terenie oraz opracowanie charakterystyk opisujących sposób odwzorowania tych obiektów w danych skanowania laserowego. Informacje te pozwolą na zastosowanie zmiennych przestrzennie reguł przetwarzania chmur punktów skanowania laserowego – zarówno przy generowaniu NMT, jak i powierzchni opisujących budowę roślinności. W pracy przedstawiono wstępne wyniki badań nad przestrzenną dystrybucją chmury punktów skanowania laserowego różnych elementów krajobrazu, w dwóch fazach sezonu wegetacyjnego – wczesną wiosną oraz latem, z uwzględnieniem podziału rejestrowanych impulsów na pierwsze i ostanie echo. Dystrybucję przestrzenną chmur punktów pokazano w formie graficznej. Uzyskane wyniki skłaniają do podjęcia dyskusji nad niektórymi dotychczas wyrażanymi opiniami.

1. WPROWADZENIE

Satelitarne dane źródłowe wykorzystywane w krajowych opracowaniach fotogrametrycznych stanowią zazwyczaj pojedyncze sceny lub pasy obrazowe pozyskane przy udziale tego samego systemu obrazowania satelitarnego. Do nich głównie odnoszone są badania metodyczne. Łączenie pojedynczych scen lub pasów obrazowych w większe bloki pozwala wydatnie ograniczyć liczbę punktów osnowy fotogrametrycznej, która w głównej mierze determinuje koszty opracowania fotogrametrycznego. Jakkolwiek, łączenie ze sobą jednorodnych zobrazowań satelitarnych nie powinno sprawiać większych problemów, to możliwość zastąpienia tych danych aktualnymi obrazami z różnych systemów satelitarnych jest tematem rozważań naukowych.

Z uwagi na znaczącą rolę wysokorozdzielczych zobrażeń satelitarnych w opracowaniach fotogrametrycznych dominują tendencje zmierzające do zastąpienia aerotriangulacji tradycyjnych bloków zdjęć lotniczych opracowaniem geometrycznym bloków wysokorozdzielczych zobrażeń satelitarnych. Zaproponowany temat badań uwzględnia metodykę orientacji przestrzennej satelitarnych bloków obrazowych o różnym stopniu złożoności (rozmiar i kształt bloku) oraz różnym charakterze danych źródłowych (łączenie w jednym bloku danych z różnych sensorów satelitarnych).

Z chwilą uzyskania przez wysokorozdzielcze zobrazenia satelitarne roli podstawowego źródła danych fotogrametrycznych rozwiązany zostanie problem łączenia różnych danych obrazowych w procesie aerotriangulacji oraz ortorektyfikacji, włączając w ten proces tradycyjne zdjęcia lotnicze oraz obrazy z wielkoformatowych kamer cyfrowych. Aktualizacja satelitarnych map obrazowych przebiegać będzie w ramach wspólnego dla różnych danych źródłowych projektu realizacyjnego.

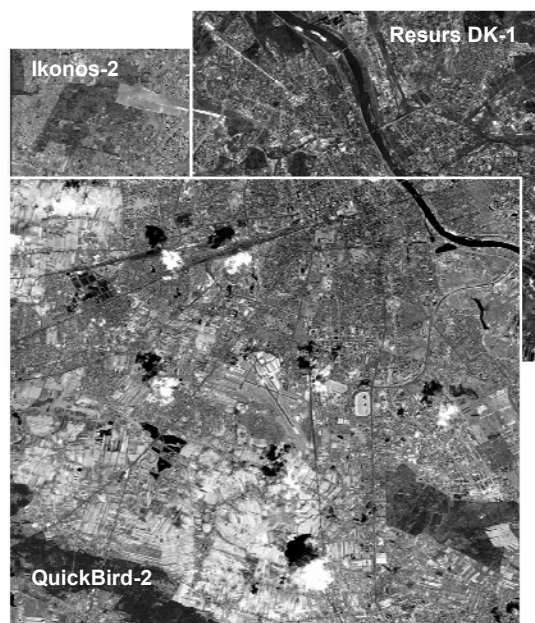
2. CEL I ZAKRES OPRACOWANIA

Celem głównym badań było opracowanie metody integracji wysokorozdzielczych danych satelitarnych w procesie pozyskiwania ciągłych obszarowo i aktualnych ortoobrazów satelitarnych jako materiału pomiarowego do zadań strategicznych, wymagających szybkiej reakcji odpowiednich służb, a także jako materiału do zadań planistycznych. Realizacja celu głównego wiązała się bezpośrednio z opracowaniem technologii aerotriangulacji satelitarnej opartej na wykorzystaniu wielosensorowej informacji obrazowej, przygotowaniem wytycznych technicznych dla przyszłych jej użytkowników oraz oceną możliwości wykorzystania opracowanej metodyki w odniesieniu do różnych metod rejestracji informacji obrazowej.

Badania metodyczne zostały ograniczone do 3 panchromatycznych satelitarnych scen testowych pokrywających różne rejony Warszawy. Scena testowa Ikonos-2 o wymiarach 11x11 km obejmująca obszar zachodniej i północno-zachodniej części Warszawy została pozyskana w maju 2004 roku przy wychyleniu sensora od nadiru o 9.9°. Scenę Ikonos-2 pozyskano na poziomie przetworzenia „Standard” z rozdzielczością radiometryczną 11 bitów oraz rozdzielczością geometryczną 1 m. Scena testowa QuickBird o wymiarach 16x16 km, która pokrywała obszar południowej części Warszawy, pozyskana została w maju 2003 roku przy wychyleniu sensora od nadiru o 15.6°. Scena ta przetworzona została do poziomu Basic 1B z zachowaniem rozdzielczości radiometrycznej na poziomie 11bitów oraz rozdzielczości geometrycznej 0.7 m. Scena testowa Resurs-DK o wymiarach 12x12 km pokrywająca obszar centralnej części Warszawy pozyskana została w wrześniu 2006 roku, przy wychyleniu sensora od nadiru o 16.4°. Scena ta została pozyskana na poziomie przetworzenia Basic z rozdzielczością radiometryczną 10 bitów oraz rozdzielczością geometryczną 1 m. Poziom zachmurzenia w obrębie badanych scen nie przekraczał 0.6%.

Scena satelitarna Ikonos pokrywała scenę QuickBird w 27%, zaś pokrycie sceny Ikonos sceną satelitarną QuickBird wynosiło 54%. W przypadku scen Ikonos oraz Resurs-DK wzajemne pokrycie wynosiło odpowiednio 42% oraz 50%, zaś w przypadku scen

QuickBird oraz Resurs-DK odpowiednio 44% oraz 39%. Schemat rozmieszczenia scen satelitarnych w bloku przedstawiony został poniżej (rys. 1).



Rys. 1. Rozmieszczenie scen VHRS w bloku satelitarnym

Na obszarze bloku badanych scen zaprojektowano i pomierzono punkty osnowy fotogrametrycznej pełniące wymiennie role fotopunktów i punktów kontrolnych, których liczba i rozmieszczenie były funkcją przyjętej metodyki opracowania bloku.

W toku realizacji zadań wyznaczone zostały elementy orientacji zewnętrznej poszczególnych scen testowych wchodzących w skład bloku satelitarnego z uwzględnieniem różnych modeli ich korekcji geometrycznej. Niezależnie wykonana została orientacja wzajemna scen bloku satelitarnego uwzględniająca metodykę pomiaru punktów wiążących, ich rozmieszczenia w pasach wspólnego pokrycia oraz stopnia ich zagęszczenia. Ze względu na niewielki stopień pokrycia badanych scen wyznaczone elementy orientacji wzajemnej miały charakter przybliżony i pełniły rolę elementu ograniczającego liczbę punktów osnowy fotogrametrycznej w bloku scen. Wobec niekorzystnych stosunków bazowych (B/H) dla poszczególnych modeli stereoskopowych scen opracowanie wysokościowe bloku satelitarnego nie miało uzasadnienia.

Wobec zastosowanej w badaniach metody pomiaru punktów wiążących oraz konieczności zachowania jednorodnej skali opracowania, sceny satelitarne Ikonos oraz Resurs-DK przepróbkowano do rozdzielczości 0.7 m.

3. ORIENTACJA BLOKU SATELITARNEGO NA PODSTAWIE KOREKCJI GEOMETRYCZNEJ POSZCZEGÓLNYCH OBRAZÓW VHRS

W wyniku realizacji prac badawczych opracowano dwie metody wykonania wielosensorowej korekcji geometrycznej bloku obrazów VHRS. Pierwsza z nich dotyczyła budowy skorygowanego geometrycznie bloku satelitarnego na podstawie wyznaczenia elementów orientacji zewnętrznej poszczególnych scen. W metodzie tej wykorzystano cztery warianty korekcji geometrycznej. W pierwszym z nich (wariant A) elementy orientacji zewnętrznej scen testowych wyznaczone zostały na podstawie ścisłego matematycznego modelu sensora bazującego na parametrach orbitalnych satelity. W wariancie drugim (wariant B) wykorzystano wyłącznie współczynniki funkcji wymiernej (RPC) generowane dla poszczególnych matryc obrazowych, zaś w wariancie trzecim (wariant C) wykonano pomiar punktów osnowy w celu skorygowania katalogowych współczynników RPC. W wariancie ostatnim (wariant D) do wyznaczania elementów orientacji zewnętrznej scen testowych posłużyły współczynniki RPC, których źródłem był reprezentatywny zestaw punktów homologicznych.

W poniższych zestawieniach tabelarycznych przedstawione zostały wyniki korekcji geometrycznej poszczególnych scen testowych z uwzględnieniem konfiguracji fotopunktów oraz punktów kontrolnych. Miarą dokładności korekcji geometrycznej były błędy średnie liczone na podstawie poprawek do współrzędnych punktów kontrolnych.

Tabela 1. Wyniki korekcji geometrycznej zobrazowania Ikonos-2

Nr wariantu	Liczba fotopunktów/punktów kontrolnych	Błędy średnie RMSE na punktach kontrolnych w metrach	
		m_x	m_y
A	9/22	0.38	0.29
B	0/31	0.37	0.42
C	5/26	0.39	0.39
D	12/19	0.41	0.42

Tabela 2. Wyniki korekcji geometrycznej zobrazowania QuickBird-2

Nr wariantu	Liczba fotopunktów/punktów kontrolnych	Błędy średnie RMSE na punktach kontrolnych w metrach	
		m_x	m_y
A	9/24	0.31	0.35
B	0/24	10.86	6.88
C	7/24	0.78	1.01
D	11/24	0.31	0.30

Punkty kontrolne zostały zaprojektowane wyłącznie w pasach wspólnego pokrycia scen. Na podstawie analizy uzyskanych rezultatów stwierdzono, że dokładność korekcji geometrycznej analizowanego bloku satelitarnego wynosi $m_x = 0.4$ m oraz $m_y = 0.4$ m, przy założeniu, że każda scena wchodząca w skład tego bloku została skorygowana niezależnie, co oznacza również że dla każdej z nich pomierzono inną liczbę fotopunktów oraz zastosowano inną metodę korekcji geometrycznej. Przyjęto również, że dokładność korekcji geometrycznej bloku satelitarnego określa najgorszy rezultat z grupy trzech najlepszych wyników uzyskanych w ramach orientacji poszczególnych scen.

Tabela 3. Wyniki korekcji geometrycznej zobrazenia Resurs-DK

Nr wariantu	Liczba fotopunktów/punktów kontrolnych	Błędy średnie RMSE na punktach kontrolnych w metrach	
		m_x	m_y
A	8/20	0.46	0.48
B	0/28	12.54	16.23
C	10/18	0.73	0.72
D	18/10	0.45	0.45

Metoda korekcji geometrycznej bazująca na ścisłym modelu matematycznym zastosowana do wszystkich scen zapewnia dokładność orientacji bloku satelitarnego na poziomie $m_x = 0.46$ m oraz $m_y = 0.48$ m przy włączeniu do pomiaru średnio 9 fotopunktów/scenę. Ze względu na błędnie współczynniki RPC (Rational Polynomial Coefficients) dystrybuowane wraz z obrazami QuickBird oraz Resurs-DK, ich wykorzystanie w procesie orientacji bloku scen nie miało uzasadnienia. Potwierdzają to wyniki korekcji uzyskane dla tego wariantu kształtujące się na poziomie $m_x = 12$ m oraz $m_y = 16$ m. W przypadku, gdy każdą ze scen bloku satelitarnego skorygowano geometrycznie w oparciu o zestaw współczynników RPC wsparty pomiarem fotopunktów dokładność orientacji tego bloku wzrosła do poziomu $m_x = 0.8$ m oraz $m_y = 1.0$ m. Wykonując dla każdej sceny w bloku korekcję geometryczną bazującą na niezależnym wyznaczeniu współczynników RPC uzyskano dokładność orientacji tego bloku na poziomie $m_x = m_y = 0.4$ m, przy czym ten wariant korekcji wymagał pomiaru największej liczby punktów dopasowania, która wynosiła średnio 14 fotopunktów/scenę.

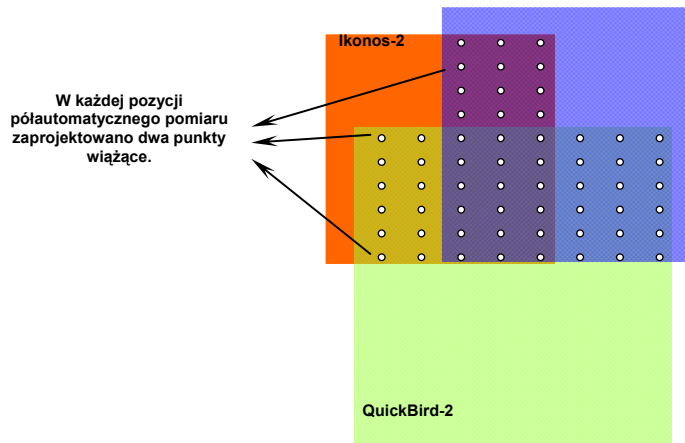
4. ORIENTACJA BLOKU SATELITARNEGO OKREŚLONA ORIENTACJĄ WZAJEMNĄ SCEN VHRS

W metodzie drugiej budowa skorygowanego geometrycznie bloku satelitarnego była poprzedzona orientacją wzajemną poszczególnych scen wchodzących w jego skład. Metodą orientacji wzajemnej uwzględniała:

- wybór jednoznacznie identyfikowalnych szczegółów sytuacyjnych w półautomatycznej metodzie pomiarów punktów wiążących,
- analizę parametrów autokorelacyjnego pomiaru na obrazach scen tworzących blok satelitarny,

- optymalizację konfiguracji punktów wiążących w pomiarach automatycznych,
- ocenę dokładności orientacji wzajemnej zobrażeń VHRS.

W procesie orientacji wzajemnej scen testowych w każdej pozycji wiązania fotogrametrycznego pomierzono dwa punkty wiążące. Pomiar realizowano półautomatyczną techniką korelacji obrazów FBM (Feature Base Matching) w środowisku oprogramowania Match-AT. Schemat rozmieszczenia punktów wiążących w analizowanym bloku satelitarnym przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat rozmieszczenia punktów wiążących w bloku satelitarnym

Przyjęto założenie, że punkty osnowy fotogrametrycznej powinny być szczegółami sytuacyjnym jednoznacznie identyfikowanymi w terenie i na obrazach. Za jednoznacznie identyfikowane szczegóły terenowe na testowych scenach satelitarnych przyjęto narożniki kontrastowych liniowych i powierzchniowych konturów w postaci płyt betonowych, parkingów oraz skrzyżowań dróg. Przykładowe obszary wyboru punktów wiążących zaprezentowane zostały poniżej (rys. 3).



Rys. 3. Obszary wyboru punktów wiążących dla techniki korelacyjnej FBM na obrazach od lewej: Ikonos-2, Resurs-DK, QuickBird-2

W obszarze wzajemnego pokrycia scen Ikonos-2 oraz QuickBird-2, jak również scen Ikonos-2 oraz Resurs-DK pomierzono od 12 do 60 punktów wiążących. W obszarze pokrycia scen QuickBird-2 oraz Resurs-DK pomierzono od 12 do 72 punktów wiążących, przy czym we wspólnym pasie pokrycia wszystkich scen liczba pomierzonych punktów wynosiła 36.

Uwzględniając konfigurację wiązań w bloku satelitarnym stwierdzono, że zastosowana metodyka pomiaru pozwala uzyskać rezultaty orientacji wzajemnej scen na poziomie 0.3 piksela obrazu źródłowego. Jednakże w tym przypadku ograniczeniem dla uzyskania takiego rezultatu orientacji jest zbyt duża liczba wymaganych punktów osnowy fotogrametrycznej. Należy mieć na uwadze również fakt, że zbyt mała liczba tych punktów w fotogrametrycznym bloku scen fałszuje elementy orientacji wzajemnej, co potwierdzają wyniki zamieszczone w pierwszym wierszu tabeli 4. Wyniki prezentowane w tej tabeli potwierdzają również, że dokładność orientacji wzajemnej wzrasta przy zwiększeniu liczby wiązań w pasie wspólnego pokrycia wszystkich scen. W praktyce należy przyjąć, że orientacja wzajemna scen pochodzących z różnych systemów obrazowania satelitarnego nie powinna być gorsza niż $\frac{1}{2}$ piksela obrazu źródłowego, przy liczbie wiązań w bloku od 20 do 40. Szczegółowe rezultaty orientacji wzajemnej zestawione zostały w tabeli 4.

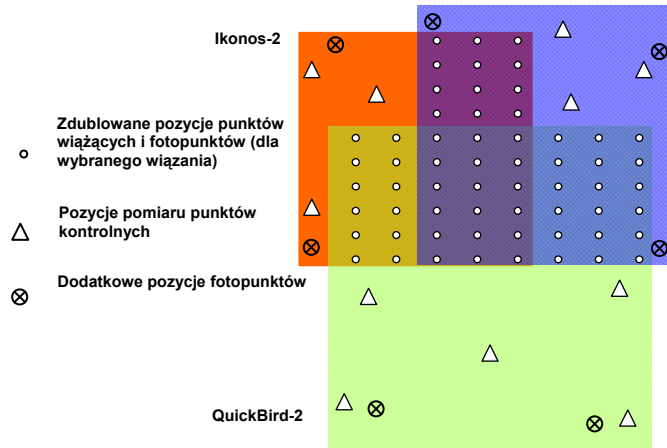
Tabela 4. Wyniki orientacji wzajemnej scen VHRS tworzących blok satelitarny

Ilość wiązań podwójnych	Ilość wiązań potrójnych	Błąd średni pomiaru punktu wiążącego [piksele]	
		m_x	m_y
12	8	0.3	0.2
24	16	0.5	0.5
36	24	0.4	0.5
60	28	0.4	0.5
84	36	0.3	0.3

Orientacja bezwzględna bloku satelitarnego oparta na rezultatach orientacji wzajemnej scen tworzących ten blok uwzględniała:

- określenie wpływu rozmieszczenia fotopunktów w pasach pokrycia scen satelitarnych na dokładność geometryczną bloku;
- wyznaczenie współczynników RPC bloku satelitarnego na podstawie pomiarów fotopunktów w zdublowanych pozycjach punktów wiążących;
- określenie zakresu pomiaru fotopunktów w obszarach bloku poza strefą pokrycia podłużnego i poprzecznego scen satelitarnych;
- określenie wpływu korekcji geometrycznej wybranych scen bloku satelitarnego na dokładność jego orientacji bezwzględnej;
- określenie stopnia wykorzystania katalogowych współczynników RPC dla źródłowych matryc obrazowych w procesie korekcji geometrycznej bloku scen.

W przypadku rozmieszczenia fotopunktów w pozycjach dublujących punkty wiążące (rys. 4.) dokładność wyznaczenia współczynników RPC bloku satelitarnego była funkcją liczby pomierzonych fotopunktów.



Rys. 4. Projekt rozmieszczenia fotopunktów i punktów kontrolnych w bloku scen satelitarnych VHRS

Przy pomiarze 6 fotopunktów w pozycjach dublujących pozycje punktów wiążących dokładność orientacji bezwzględnej bloku satelitarnego wynosiła 0.9 m dla obu współrzędnych. Zwiększenie liczby fotopunktów do 20 pozwoliło uzyskać dokładność orientacji bezwzględnej bloku satelitarnego na poziomie 0.4 m dla obu współrzędnych.

W celu zwiększenia dokładności orientacji bezwzględnej bloku satelitarnego zaprojektowano dodatkowe fotopunkty w pozycjach nie dublujących pozycji punktów wiążących (rys. 4). Stwierdzono, że pomiar 7 tego rodzaju fotopunktów oraz 6 fotopunktów w pozycjach wiązań scen daje rezultat orientacji bezwzględnej zbliżony do tego, jaki uzyskuje się przy pomiarze 20 fotopunktów dublujących pozycje punktów wiążących (tabela 5).

Tabela 5. Dokładność wyznaczania współczynników RPC w procesie orientacji bezwzględnej bloku scen VHRS.

Liczba fotopunktów (dodatkowych)	Liczba punktów kontrolnych	Błąd średni wyznaczenia współrzędnych punktów kontrolnych w metrach	
		m_x	m_y
6 (7)	20	0.9 (0.4)	0.9 (0.4)
12 (7)	20	0.8 (0.4)	0.7 (0.4)
15 (7)	20	0.7 (0.4)	0.6 (0.4)
18 (7)	20	0.5 (0.3)	0.6 (0.4)
20 (7)	20	0.4 (0.4)	0.4 (0.3)

Wykorzystując katalogowe współczynniki RPC dostarczane przez dystrybutora danych satelitarnych można ograniczyć pomiar fotopunktów zarówno w pozycjach dublowanych przez punkty wiążące jak również na skrajach opracowywanego bloku. Przy pomiarze 10 fotopunktów zaprojektowanych w pozycjach punktów wiążących oraz 3 fotopunktów na skraju bloku można uzyskać dokładność jego orientacji bezwzględnej na poziomie $m_x = 0.5$ m oraz $m_y = 0.4$ m.

5. SPOSTRZEŻENIA

W procesie korekcji geometrycznej bloku scen VHRS, bazującym na niezależnej orientacji poszczególnych scen, dla uzyskania rezultatu na poziomie $\frac{1}{2}$ piksela obrazu źródłowego należy pomierzyć przynajmniej 25 fotopunktów.

W procesie korekcji geometrycznej bloku scen VHRS opartym na orientacji wzajemnej poszczególnych scen w celu uzyskania rezultatu na poziomie $\frac{1}{2}$ piksela obrazu źródłowego należy w pasach wspólnego pokrycia scen pomierzyć przynajmniej 6 fotopunktów w pozycjach dublujących punkty wiążące oraz 7 fotopunktów na skrajach bloku. W procesie korekcji geometrycznej bloku wysokorozdzielczych scen satelitarnych w celu uzyskania rezultatu na poziomie $\frac{1}{2}$ piksela obrazu źródłowego wystarczy w pasach wspólnego pokrycia scen pomierzyć 10 fotopunktów, przy założeniu, że na skrajach bloku zaprojektowane i pomierzone zostaną dodatkowe 3 fotopunkty oraz dla każdej sceny znane będą katalogowe współczynniki RPC.

Liczba wymaganych fotopunktów w procesie korekcji geometrycznej bloku scen satelitarnych zmniejsza się w stosunku do liczby fotopunktów pomierzonych w procesie korekcji geometrycznej poszczególnych scen, przy czym zmiany te są funkcją wielkości pokrycia podłużnego i poprzecznego scen źródłowych oraz kształtu bloku.

6. WNIOSKI

Wielosensorowa orientacja bloku satelitarnego (wielosensorowa triangulacja satelitarna) może z powodzeniem zastąpić aerotriangulację średnioskalowego bloku zdjęć lotniczych. Z ekonomicznego punktu widzenia, w procesie wielosensorowej triangulacji satelitarnej, zasadnym jest ograniczenie terenowego pomiaru punktów osnowy fotogrametrycznej i zastąpienie go wiązaniami zaprojektowanymi pomiędzy poszczególnymi scenami budującymi blok.

Istnieje możliwość stworzenia zintegrowanego systemu aktualizacji map obrazowych oraz map wektorowych zasilanego wieloźródłową informacją obrazową. Jednakże, wykorzystanie technologii wielosensorowej triangulacji satelitarnej do generowania map obrazowych pociąga za sobą konieczność rozwiązania problemu mozaikowania monochromatycznych i barwnych ortoobrazów satelitarnych.

Budowa poprawnego geometrycznie bloku scen satelitarnych wymaga zastosowania odpowiednich technik pomiaru korelacyjnego. Ze względu na różny charakter zniekształceń geometrycznych zobrazowań wchodzących w skład bloku satelitarnego każdemu punktowi osnowy fotogrametrycznej powinna być indywidualnie nadana waga obserwacji.

Korekcja geometryczna scen w jednym bloku satelitarnym pozwala wydatnie zmniejszyć liczbę wymaganych fotopunktów, niezależnie od zastosowanej metody korekcji. Łączenie w bloki obrazowe wieloczasowych danych z różnych systemów obrazowania umożliwia stworzenie uniwersalnego narzędzia do aktualizacji map oraz planowania przestrzennego

7. LITERATURA

Dial G., Grodecki J., 2004. Satellite Image Block Adjustment Simulations with Physical and RPC Camera Models. *Proceedings of ASPRS 2004 Conference*, Denver, Colorado.

Ewiak I., 2008. Determine of utilization range of Resurs DK-1 satellite data in the face of Ikonos system. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII, Part B4, pp. 1269-1274.

Ewiak I., 2007. Określenie zakresu wykorzystania danych satelitarnych Resurs-DK w opracowaniach fotogrametrycznych. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 17a, s. 199-208.

Grodecki J., Dial G., 2003. Block adjustment of high-resolution satellite images described by rational polynomials. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 69, pp. 59-68.

THE MULTISENSOR SATELLITE TRIANGULATION

KEY WORDS: satellite photogrammetry, geometrical correction, VHRS, accuracy

SUMMARY: The article presents methodology of spatial orientation of the VHRS image block with the spatial resolution of $GSD \leq 1m$, obtained by means of various sensors. The main objective of the methodical study was to determine the possibility of integration of scenes originating from different satellite systems (Ikonos-2, QuickBird-2 and Resurs-DK-1) in the process of the block geometrical correction (multisensor satellite triangulation). Two methods of the multisensor satellite triangulation were proposed. In the first of them, elements of external orientation of particular scenes determined independently in four methodical variants were used to construct a geometrically corrected satellite block. It was affirmed that the method allowed to obtain the accuracy of the satellite block triangulation on the levels of $RMSEX = 0.4 m$ and $RMSEY = 0.4 m$, respectively. It was also affirmed that in the geometrical correction of each scene it was necessary to use the mathematical sensor model, supported by the measurement of the smallest number of control points. In the second method, the construction of a geometrically corrected satellite block was preceded by the relative orientation of individual scenes that the model was composed of. Taking into account the configuration of tie points it was determined that the applied method of measurement enabled obtaining the results of relative orientation on the level of 0.3 pixels of the source scene. It was also affirmed that using the RPC catalogue coefficients provided by the distributor of the satellite data it was possible to reduce the measurement of control points in positions doubled by tie points as well on the edges of the block. By nominal selection of control points designed in tie point positions and on the edge of block, it is possible to obtain the accuracy correction of the VHRS block on the levels of $RMSEX = 0.5 m$ and $RMSEY = 0.4 m$, respectively.

Dr inż. Ireneusz Ewiak
e-mail: rene@igik.edu.pl
tel. +22 3291986