



## Opracowanie cyfrowej ortofotomapy terenów niedostępnych z wysokorozdzielczych danych satelitarnych

RAFAŁ DĄBROWSKI, MICHAŁ KĘDZIERSKI,  
MICHALINA WILIŃSKA

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji,  
Zakład Teledetekcji i Fotogrametrii, 00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2  
dabrowski@wat.edu.pl, mkedzierski@wat.edu.pl, mwilinska@wat.edu.pl

**Streszczenie.** Dynamiczny rozwój technologiczny satelitów obrazujących powierzchnię Ziemi doprowadził do powstania wysokorozdzielczych systemów satelitarnych — VHRS (z ang. *Very High Resolution Satellite*). Dane obrazowe pozyskiwane z ich systemów posiadają szerokie spektrum zastosowania w różnych dziedzinach gospodarki. Wiodącym produktem jest cyfrowa ortofotomapa. Istotnym problemem jest jej generowanie na tereny niedostępne. W tym ujęciu teren niedostępny to fragment powierzchni Ziemi, na którym nie ma możliwości pomiaru osnowy fotogrametrycznej, z powodu innego niż technologiczny. W celu rozwiązania powyższego problemu przeprowadzono badania, których wyniki oraz wnioski zawarte są w artykule.

**Słowa kluczowe:** fotogrametria, VHRS, orientacja zobrazowań, teren niedostępny, dryft satelity, ortoobraz

### 1. Wprowadzenie

W ciągu ostatnich kilku lat dostępność danych obrazowych, a szczególnie wysokorozdzielczych zobrazowań pozyskiwanych z pułapu satelitarnego, znacząco wzrosła. Spowodowało to zwiększone zainteresowanie wśród inwestorów co do ich używania jako materiału podstawowego w różnego rodzaju opracowaniach geodezyjno-kartograficznych oraz prowadzonych analizach przestrzennych. Jednakże głównym produktem kartograficznym wykonywanym na podstawie scen otrzymywanych z wysokorozdzielczych danych satelitarnych wciąż pozostaje cyfrowa ortofotomapa.

Proces technologiczny opracowania cyfrowej ortofotomapy zawiera w sobie także istotny etap pomiaru fotopunktów na zobrazowaniach w celu odtworzenia elementów orientacji zewnętrznej danych obrazowych. Problem pojawia się w przypadku konieczności opracowania ortoobrazów terenu niedostępnego. W tym ujęciu teren niedostępny to fragment powierzchni Ziemi, na którym nie ma możliwości pomiaru osnowy fotogrametrycznej z powodu innego niż technologiczny.

Sytuacja taka może wystąpić w przypadku opracowania ortofotomapy obszaru terenu nadgranicznego, terenu leżącego na obszarze innego państwa lub gdy najważniejszym czynnikiem determinującym wykonanie gotowego produktu jest czas.

W celu rozwiązania powyższego problemu przeprowadzono badania mające na celu otrzymanie, z odpowiednią dokładnością, ortoobrazu obszaru, położonego w znacznej odległości od punktów osnowy fotogrametrycznej. Wyniki oraz wnioski z przedmiotowych badań zawiera niniejszy artykuł.

## 2. Wysokorozdzielcze systemy satelitarne

Dynamiczny rozwój technologiczny satelitów obrazujących powierzchnię Ziemi doprowadził do powstania wysokorozdzielczych systemów satelitarnych — VHRS (z ang. *Very High Resolution Satellite*). Dane obrazowe pozyskiwane przez te systemy są ogólnie dostępne na zasadach komercyjnych.

Oprócz amerykańskiego Satelity Ikonos-2, który jako pierwszy dla celów komercyjnych wykonywał zobrazowania powierzchni Ziemi z rozdzielczością przestrzenną 1 m (tryb PAN), na rynku zaczęły się pojawiać kolejne systemy VHRS. Rok 2005 należał do indyjskiego satelity IRS-P5 (CartoSat-1), pozyskującego zobrazowania o rozdzielczości przestrzennej 2,5 m (tryb PAN).

Kolejne lata przynosiły nowe systemy, takie jak umieszczony na orbicie w roku 2007 satelita WorldView-1 czy wystrzelony w roku 2008 satelita GeoEye-1, który zapewnia najwyższą rozdzielczość przestrzenną obrazu wśród satelitów komercyjnych (0,41 m, tryb PAN). Ostatnim systemem VHRS jest satelita WorldView-2. Umieszczony na orbicie w roku 2009 satelita pozyskuje zobrazowania aż w 8 kanałach spektralnych, z rozdzielczością przestrzenną 0,46 m (tryb PAN).

Wysokorozdzielcze systemy, mimo, iż różnią się w szczegółach, posiadają wiele wspólnych cech o podstawowym znaczeniu dla ich użyteczności i odróżniających je od wcześniejszych rozwiązań:

- zbliżone parametry orbity (heliosynchroniczne, inklinacja 98°),
- jednakowa zasada działania systemu obrazującego (skaner elektrooptyczny, linijki PAN, linijki RGB),
- możliwość pozyskiwania zobrazowań w zakresie panchromatycznym jak również w wąskich kanałach spektralnych,

- możliwość wychylania układu optycznego w dużym przedziale kątowym wzdłuż i w poprzek toru lotu satelity,
- możliwość pozyskiwania stereo obrazów,
- wysoka rozdzielczość przestrzenna ( $GSD < 1$  m),
- rozdzielczość przestrzenna w trybie wielospektralnym jest gorsza czterokrotnie od rozdzielczości w trybie panchromatycznym,
- wysoka rozdzielczość radiometryczna (przeważnie 11 bitów).



Rys. 1. Satelita WorldView-2 (www.digitalglobe.com)

Zestawienie wykorzystywanych komercyjnie wysokorozdzielczych satelitów przedstawia tabela 1.

TABELA 1

Zestawienie wysokorozdzielczych komercyjnych systemów satelitarnych

Charakterystyka	Ikonos 2	QuickBird 2	WorldView-1	GeoEye-1	WorldView-2
Data umieszczenia na orbicie	18.10.1999 r.	24.09.2001 r.	18.09.2007 r.	06.09.2010	08.10.2009 r.
Przewidziany czas pracy	7-9 lat	7-9 lat	7 lat	10-15 lat	7 lat
Inklinacja orbity	98,1°	97,2°	97,2°	98,2°	98,6°
Liczba okrążeń Ziemi	14,7 w ciągu 24 h	15,4 w ciągu 24 h	15,2 w ciągu 24 h	14,6 w ciągu 24 h	14,4 w ciągu 24 h
Czas jednego okrążenia	98 min	93,5 min	94,6 min	98 min	100 min

cd. tabeli 1

Wysokość	681 km	450 km	496 km	680 km	770 km
Teleskop	Kodak Model 1000	Bell Aerospace BHRC 60	Bell Aerospace WorldView-60	ITT Corporation	–
Ogniskowa	10,2 m	8,78 m	–	13 m	–
Kąt widzenia	0,95°	2,12°	–	–	–
GSD: w nadirze przy wychyleniu	0,82 m w PAN 3,22 m w MS 26° 1,0 m PAN 4,0 m MS	0,61 m PAN 2,44 m MS 25° 0,72 m PAN 2,88 m MS	0,50 m PAN 25° 0,59 m w zakresie PAN	0,41 m PAN 1,65 m MSS	0,46 PAN 1,84 MS 20° 0,52 m 2,08 m MSS
Szerokość pasa zobrazowania w nadirze	11,3 km	16,5 km	17,6 km	15,2 km	16,4 km
Czas przejścia satelity przez równik	10:30	10:30	10:30	10:30	10:30
Rozdzielczość radiometryczna	11 bit	11 bit	11 bit	11 bit	11 bit
Zakresy spektralne	PAN, niebieski, zielony, czerwony, IR	PAN, niebieski, zielony, czerwony, IR	PAN	PAN, niebieski, zielony, czerwony, IR	8 kanałów: PAN, niebieski, zielony, czerwony, IR
Format cyfrowy obrazu	GeoTIFF, NITF	GeoTIFF, NITF	GeoTIFF, NITF	GeoTIFF, NITF	GeoTIFF, NITF

Konsorcja zarządzające poszczególnymi platformami przedstawiają w swoich ofertach handlowych nie tylko „surowe” zobrazowania, lecz także gotowe produkty.

Począwszy od zobrazowań skorygowanych geometrycznie i radiometrycznie poprzez numeryczne modele terenu, a na gotowych ortobrazach skończywszy.

Pozyskiwane z najnowszej generacji wysokorozdzielczych satelitów dane obrazowe posiadają szerokie spektrum zastosowania w różnych dziedzinach gospodarki. Jednym z procesów pozwalających na zwiększenie potencjału geodezyjno-kartograficznego danych obrazowych jest proces korekcji geometrycznej.

### 3. Korekcja geometryczna

W celu wykorzystania zobrazowań do opracowań fotogrametrycznych spełniony musi być warunek kolinearności (wzór 1) oraz komplanarności (stereogram). Wzory równań kolinearności są nieliniowe, stąd podlegają linearyzacji poprzez rozwinięcie ich w szereg Taylora. Praktycznie jednak warunek kolinearności nie

jest spełniony z powodu zniekształceń wiązki w momencie ekspozycji. Oznacza to, że modele matematyczny i fizyczny wiązki (realny) są różne.

$$\vec{ra} = \begin{bmatrix} x_a \\ y_a \\ -c_k \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A - Z_0 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

gdzie:  $\vec{ra}$  — wektor obrazowy;

$x_a, y_a$  — współrzędne punktu A na obrazie;

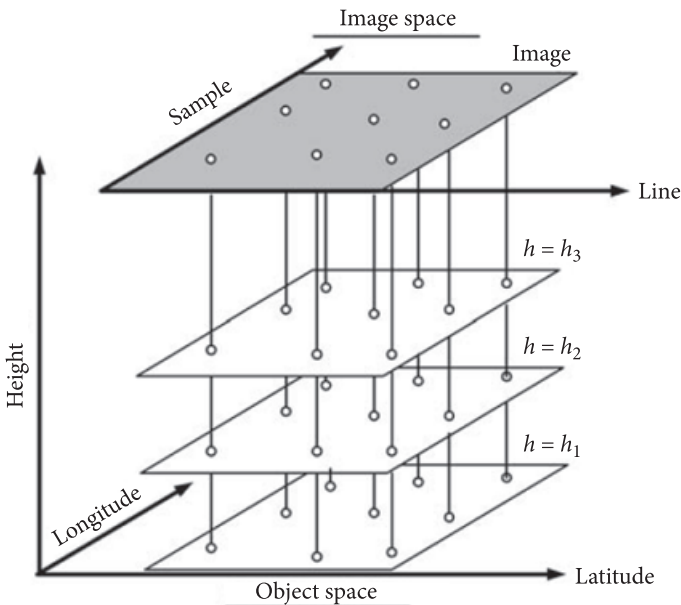
$c_k$  — odległość obrazowa kamery;

$X_A, Y_A, Z_A$  — współrzędne terenowe punktu A;

$X_0, Y_0, Z_0$  — współrzędne środka rzutów w układzie terenowym.

Dlatego należy wprowadzić poprawki do współrzędnych obrazowych punktów pomierzonych na zobrazowaniu. W celu uwzględnienia zniekształceń przeprowadza się korekcję współrzędnych obrazowych pomierzonych punktów, czyli tzw. *image refinement*.

Istotą korekcji geometrycznej jest określenie związku pomiędzy współrzędnymi terenowymi punktów ( $\phi, \lambda, h$ ) a współrzędnymi ich obrazów ( $l, s$ ) (rys. 2).



Rys. 2. Zależność pomiędzy współrzędnymi terenowymi a współ. obrazowymi (G. Dial Jr, et al., United States Patent nr 6,735,348 B2, May, 2004)

Można wyróżnić kilka metod korekcji geometrycznej:

- model wielomianowy typu 2D,
- model wielomianowy typu 3D,
- ilorazowy model wielomianowy,
- model parametryczny.

Na szczególną uwagę zasługuje ilorazowy model wielomianowy. Jest to model opisujący, w postaci wielomianów, relację pomiędzy współrzędnymi w terenie a ich odpowiednikami na obrazie (ang. *Rational Functional Polynomial* — RFP lub *Rational Polynomial Coefficients* — RPC).




Poszczególne wyrazy wielomianu nie mają prostej interpretacji fizycznej czy geometrycznej, związanej z parametrami kamery czy czynnikami zniekształcającymi obraz, dlatego mówi się, że jest to model „nieparametryczny”. Wartość współczynników wielomianów określa się w procesie wyrównawczym na podstawie fotopunktów.

$$\begin{aligned} L &= RPC_L(\varphi, \lambda, h) + C_{LO} + C_{LL} L + C_{LS} S + V_L \\ S &= RPC_S(\varphi, \lambda, h) + C_{SO} + C_{SL} L + C_{SS} S + V_S. \end{aligned} \quad (2)$$

Równanie 2 związane jest z orientacją poszczególnych zobrażeń, reprezentuje ono błędy powstałe podczas przypisywania współrzędnym terenowym ( $\phi, \lambda, h$ ) ich odpowiedników na zobrażowaniu ( $l, s$ ). Współrzędna w układzie zobrażowania (obrazu) obciążona jest błędem współczynników wielomianu ilorazowego —  $RPC_L(\phi, \lambda, h)$ ,  $RPC_R(\phi, \lambda, h)$ , błędem bias ( $C_{LO}, C_{SO}$ ), błędami wynikającymi z dryftu satelity ( $C_{LL}, C_{LS}, C_{SL}, C_{SS}$ ) oraz błędami szcztkowymi ( $V_S, V_L$ ).

TABELA 2

Zależność pomiędzy kształtem i długością (szeregu) zobrażeń, współczynnikami korekcji bias oraz współczynnikami odpowiadającymi za dryft satelity

Parametry	Pojedynczy obraz	Obraz > 40 km	Obraz > 40 km	Dokładność
				
$C_{LO}$	√	√	√	4 m
$C_{LS}$			√	0,05 m/km
$C_{LL}$		√		0,05 m/km
$C_{SO}$	√	√	√	4 m
$C_{SS}$			√	0,05 m/km
$C_{SL}$		√		0,05 m/km

Korekcja błędu systematycznego jest związana z dodaniem do procesu orientacji fotopunktów, co wymusza przeliczenie *RPC*. Jedną z możliwości wyeliminowania wpływu biasu jest dodatkowy pomiar fotopunktów na obrazowaniach już po przeprowadzeniu orientacji zewnętrznej na podstawie oryginalnych *RPC*. Możliwość wyznaczenia parametrów biasu jest bardzo użyteczna, jednak głównym celem jest eliminacja jego wpływu poprzez ingerencję w oryginalne współczynniki, a następnie generowanie *RPC* już wolnych od biasu. Błędy spowodowane dryftem dla szeregów krótszych niż 40 km nie mają znaczącego wpływu na wyrównanie. Jednakże dla szeregów dłuższych należy uwzględnić korektę dryftu podczas orientacji obrazowań. Wielkość błędu dryftu dla satelity QuickBird wynosi 0,05 m/km.

W tabeli przedstawiona jest zależność pomiędzy kształtem i długością (szeregu) obrazowań, współczynnikami korekcji bias oraz współczynnikami odpowiadającymi za dryft satelity.

#### 4. Metody orientacji obrazowań

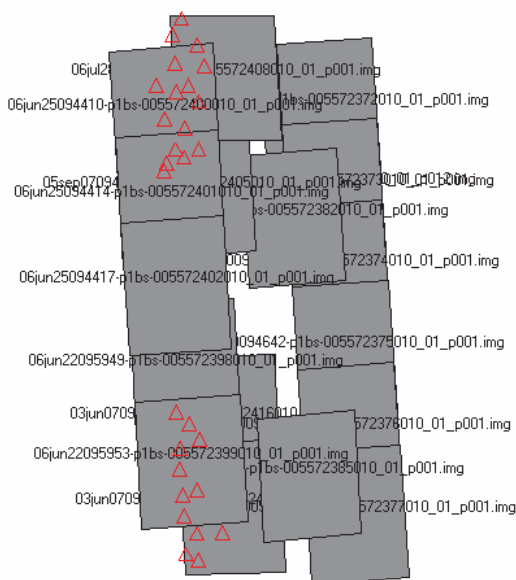
W celu rozwiązania problemu omówionego we wstępie przeprowadzono badania, w których wykorzystano:

- panchromatyczne obrazowania pochodzące z satelity QuickBird, o rozdzielczości przestrzennej 0,6 m i rozdzielczości radiometrycznej 11 bitów,
- ogólnodostępny numeryczny model terenu pochodzący z misji SRTM (z ang. *Shuttle Radar Topography Mission*),
- osnowę fotogrametryczną składającą się z 30 fotopunktów pomierzonych techniką GPS przez zespół pracowników z Zakładu Teledetekcji i Fotogrametrii WAT,
- oprogramowanie Erdas Imagine 9.2.

Na dokładność wynikowej ortofotomapy ma wpływ wiele czynników, np.: gęstość siatki NMT, błąd wyznaczenia NMT czy algorytm ortorektyfikacji. Jednakże bardzo istotnym aspektem jest proces, a szczegółowo mówiąc dokładność procesu orientacji obrazowań.

Dlatego też rozwiązanie problemu zależy w głównej mierze od zastosowanej metody orientacji użytych obrazowań. W pracach wykorzystano 3 metody:

- orientacja pojedynczego obrazowania w oparciu tylko o *RPC*,
- orientacja szeregu obrazowań przy pomocy *RPC* oraz osnowy fotogrametrycznej,
- orientacja szeregu metodą kolejnych przybliżeń wg koncepcji własnej.



Rys. 3. Fragment bloku zobrazowań wykorzystanych podczas badań

#### 4.1. Orientacja pojedynczego zobrazowania

Metoda opiera się na orientacji każdego zobrazowania w bloku przy wykorzystaniu dostępnych (dołączanych do zobrazowań) współczynników *RPC*. W celu określenia dokładności tej metody wygenerowano ortoobraz ze zobrazowania pokrywającego teren Polski, wykorzystując ogólnie dostępny numeryczny model terenu SRTM, z pikselem 0,6 m dwuliniową metodą interpolacji gęstości optycznej. Następnie w oparciu o dostępną osnowę porównano współrzędne punktów pozyskane pomiarem GPS ze współrzędnymi pomierzonymi na ortoobrazie.

Wartości błędów uzyskane na poszczególnych punktach osnowy, użytych jako kontrolne, przedstawione są w tabeli 3. Jak widać, wielkość błędu średniego wynosi 15,4 piksela, co w przeliczeniu daje około 10 m.

TABELA 3

Wartości błędów uzyskanych na punktach kontrolnych dla pierwszej metody

Nr punktu	$m_x$ [piksel]	$m_y$ [piksel]
22192	-16,828	1,611
22201	-14,044	1,248
22222	-15,136	2,310
22211	-15,541	2,747
22181	-16,133	2,864



cd. tabeli 3

22172	-11,298	2,065
22161	-16,765	3,419
$x, y$	-15,213	2,426
$m_{xy}$	15,405 (9,24 m)	



Rys. 4. Przykład rozmieszczenia fotopunktów na zobrazowaniu

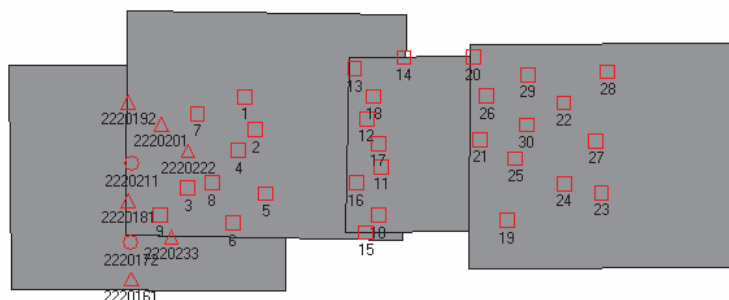
Do niewątpliwych zalet powyższej metody należy jej szybkość, a osiągnięta dokładność po współrzędnej  $X, Y$  kształtuje się na poziomie 10 m. Błąd współrzędnej  $Z$  determinowany jest w przez dokładność użytego w procesie ortorektyfikacji numerycznego modelu terenu.

#### 4.2. Orientacja szeregu zobrazowań przy pomocy RPC oraz osnowy fotogrametrycznej

Druga metoda polega na orientacji minimum jednego zobrazowania w bloku za pomocą współczynników ilorazu wielomianowego oraz osnowy fotogrametrycznej i orientacji pozostałych zobrazowań, wykorzystując punkty wiążące i pliki z RPC. Posługując się sformułowaniem analogicznym z geodezji, metoda opiera się o konstrukcję zwaną ciągiem poligonowym wiszącym.

Do badania wybrano 8 zdjęć z bloku i stworzono z nich dwa szeregi, różniące się pomiędzy sobą ilością fotopunktów. Pierwszy szereg posiada 6 a drugi 14 fotopunktów. Oba szeregi mają początek w Polsce, a kończą się na terenie Białorusi. Długość tych szeregów nie przekracza 40 km.

Przykład zasięgów poszczególnych zobrazowań oraz rozłożenia fotopunktów przedstawiony jest na rysunku. Trójkątami oznaczono fotopunkty, okręgami punkty kontrolne, a kwadratami punkty wiążące.



Rys. 5. Rozmieszczenie fotopunktów, punktów kontrolnych oraz punktów wiążących w badanym szeregu

W zadaniu wykorzystano, pomierzoną wcześniej metodą GPS, osnowę fotogrametryczną na terenie Polski. Punkty osnowy najczęściej zlokalizowane są na narożnikach ogrodzeń lub na skrzyżowaniach dróg.

Błędy uzyskane na poszczególnych punktach przedstawione są w tabeli 4. Całkowity błąd średni  $\sigma_o$  wyniósł niewiele ponad 1 piksel.

TABELA 4

Wielkości błędów otrzymanych w szeregach testowych dla drugiej metody

	Pierwszy szereg	Drugi szereg
$\sigma_o$ [piksel]	1,16	1,28
Błąd średni fotopunktów		
X [m]	2,42	1,22
Y [m]	0,67	0,48
Z [m]	10,30	3,06
x [piksel]	0,79	0,67
y [piksel]	1,55	0,94
Błąd średni punktów kontrolnych		
X [m]	2,43	0,95
Y [m]	0,53	0,36
Z [m]	7,83	2,71
x [piksel]	0,32	0,67
y [piksel]	1,63	0,97

Należy jednak pamiętać, iż przedstawione w tabeli wartości dotyczą jedynie procesu orientacji, a nie błędów położenia punktów na ortobrazie opracowanym na podstawie ostatniego zdjęcia.

Dlatego też w celu sprawdzenia poprawności metody na ortobrazie wygenerowanym z ostatniego w szeregu zobrazowania wykonano pomiar długości oraz szerokości pasa startowego lotniska Telma. Następnie porównano wynik z rzeczywistymi wymiarami.

TABELA 5

Różnica w wymiarach pasa startowego lotniska Telma

	Wymiary pasa startowego	Pomiar na ortobrazie	$\Delta$
Długość pasa [m]	2620,00	2617,51	2,49
Szerokość pasa [m]	42,00	42,88	-0,88

Uzyskane wartości błędów oraz pomiary kontrolne świadczą o dużej dokładności omawianej metody. Badanie pokazało również, iż szereg posiadający większą ilość fotopunktów charakteryzuje się mniejszymi błędami. Omawiana metoda wymaga pozyskania osnowy przynajmniej na jednym zobrazowaniu w bloku, co wiąże się z poniesieniem dodatkowych kosztów.

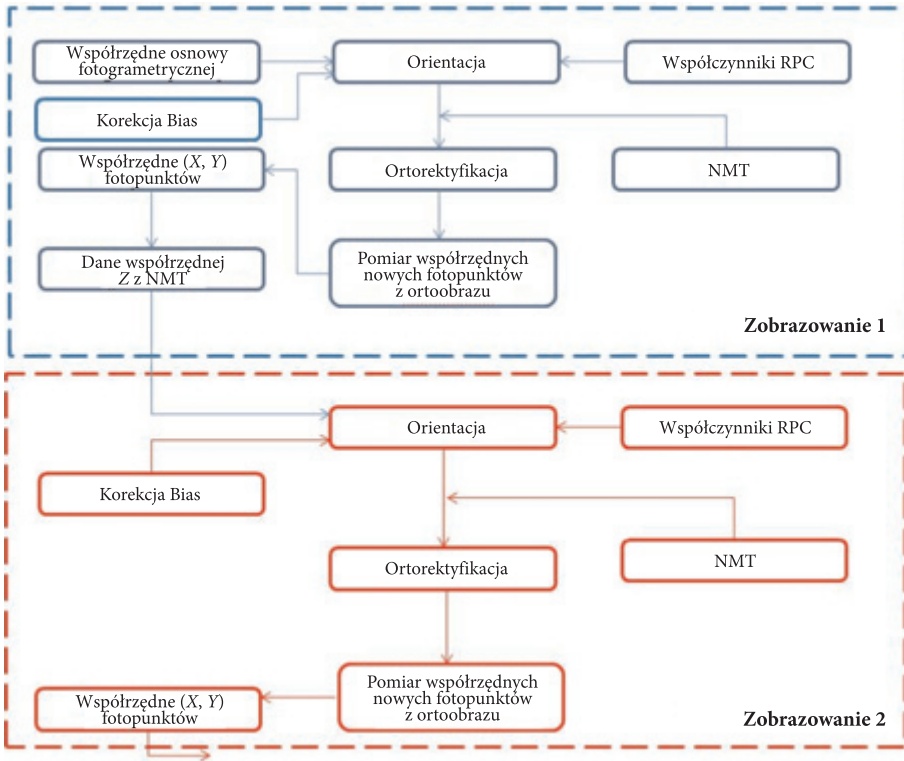
### 4.3. Orientacja szeregu metodą kolejnych przybliżeń wg koncepcji własnej

Trzecia metoda polega na orientacji pojedynczego zobrazowania z wykorzystaniem ilorazowego modelu wielomianowego oraz punktów osnowy fotogrametrycznej. Schemat ideowy metody przedstawiony jest na rysunku 6.

W celu wykonania orientacji metodą kolejnych przybliżeń należy wykonać orientację pojedynczego zobrazowania w oparciu o model wielomianowy oraz pomiar fotopunktów.

Kolejną czynnością jest wprowadzenie korekcji bias, a następnie wygenerowanie ortobrazu przy pomocy dostępnego numerycznego modelu terenu. Ortoobraz został wygenerowany z pikselem 0,6 m interpolacją biliniową. Następnie wykonuje się pomiar współrzędnych punktów (na wynikowym ortobrazie), które posłużą jako fotopunkty na kolejnym zobrazowaniu. Współrzędną  $Z$  dla „nowych” fotopunktów pozyskuje się z numerycznego modelu terenu, w tym przypadku z danych SRTM.

W celu sprawdzenia poprawności opisanej metody przeprowadzono badania na dwóch szeregach obrazów. Różnią się one pomiędzy sobą geometrią, jak również pokryciem pomiędzy kolejnymi zobrazowaniami. Należy także podkreślić, iż tylko zobrazowania skrajne w poszczególnych szeregach znajdowały się na terytorium naszego kraju.



Rys. 6. Schemat metody kolejnych przybliżeń

Kontrola poprawności wykonana została w oparciu o dostępną osnowę fotogrametryczną. Fotopunkty znajdujące się na końcu szeregu potraktowane zostały jako punkty kontrolne.

Pierwszy szereg pomiarowy (rys. 7, linia ciągła) składał się z 5 zobrazowań. Stosując opisywaną metodę, uzyskano błąd średni punktów kontrolnych na ostatnim ortoobrazie w szeregu, na poziomie  $m_x = \pm 3,76$  m oraz  $m_y = \pm 1,78$  m. Średni błąd procesu orientacji wyniósł 0,62 piksela.

Punkty wybierane jako punkty osnowy na kolejnych zobrazowaniach były wybierane na ogólnie znanych zasadach wyboru fotopunktów naturalnych. W trakcie badań ustalono również, iż optimum stanowi 10 równomiernie rozłożonych „nowych fotopunktów”.

Drugi szereg wykonany był w kształcie odwróconej litery c i składał się z 11 zobrazowań. Stosując opisywaną metodę, uzyskano błąd średni punktów kontrolnych na ostatnim ortoobrazie w szeregu, na poziomie  $m_x = 3,14$  m oraz  $m_y = 3,12$  m. Średni błąd procesu orientacji wyniósł 0,60 piksela.



Rys. 7. Kształt szeregów pomiarowych

Największe błędy położenia punktów powstawały w miejscu, gdzie szereg zmieniał swój „kierunek”. Dlatego też w przypadku wykorzystywania tej metody w pracach fotogrametrycznych należy unikać takiego kształtu szeregu.

TABELA 6

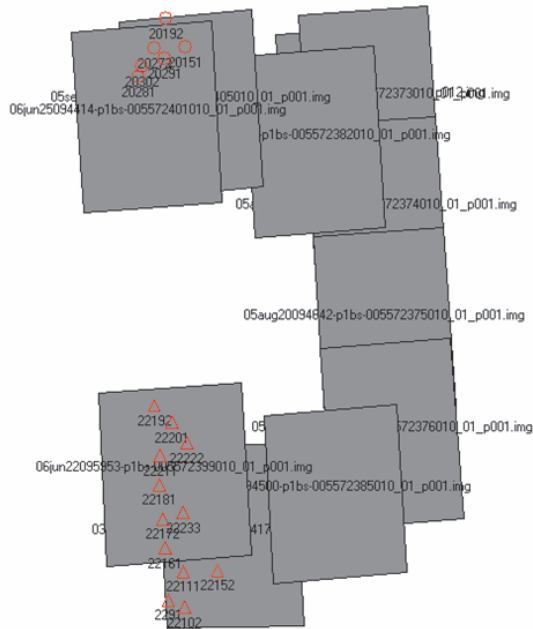
Błędy średnie otrzymane w orientacji szeregu numer 1

$\sigma_o$ [piksel]	0,62
Błąd średni fotopunktów x [piksel] y [piksel]	0,59 0,64
Błąd średni punktów kontrolnych x [piksel] y [piksel]	5,26 (3,16 m) 2,96 (1,78 m)

TABELA 7

Błędy średnie otrzymane w orientacji szeregu numer 2

$\sigma_o$ [piksel]	0,60
Błąd średni fotopunktów x [piksel] y [piksel]	0,46 0,79
Błąd średni punktów kontrolnych x [piksel] y [piksel]	5,19 (3,14 m) 5,21 (3,12 m)



Rys. 8. Kształt szeregu numeru nr 2

Należy pamiętać, iż ze względu na długość badanych szeregów (powyżej 40 km) należy uwzględnić korekcję dryftu satelity.

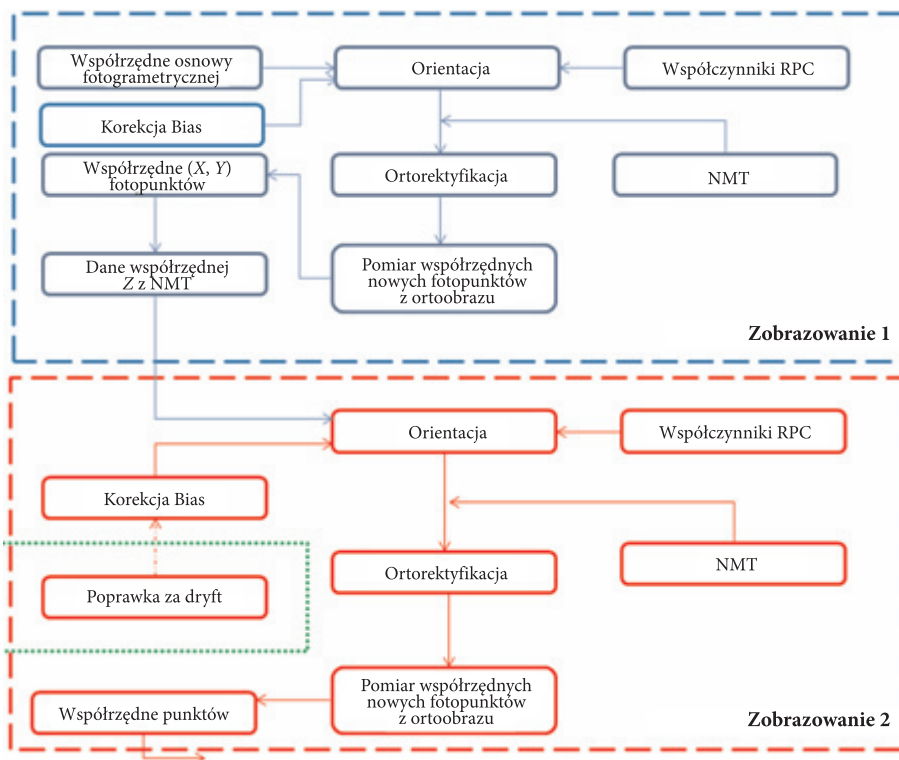
Jednakże w środowisku oprogramowania LPS (dokładnie Leica Photogrammetry Suite 9.2.) nie istnieje możliwość uwzględnienia tego zjawiska. Dlatego podjęto próbę wprowadzenia korekcji za dryft poprzez zwiększenie wartości odchylenia standardowego w korekcji Bias odpowiednio w kierunku linii i sample, odwrotnie niż zakładany kierunek bloku.

Przykładowo dla szeregu 1 o kształcie pionowym zgodnie ze wzorem 2 należałoby uwzględnić poprawkę  $C_{LL}$  i  $C_{SS}$  (Line) jednak w celu „usztynienia” szeregu po osi  $Y$  zmieniony został parametr Sample.

Ideowy schemat metody uzupełniony o korekcję za dryft przedstawiony jest na rysunku 9.

Po wprowadzeniu poprawki za dryft średnie błędy położenia punktów kontrolnych dla badanych szeregów zostały przedstawione w tabelach 8a i 8b.

Porównanie wielkości błędów w pierwszym i drugim szeregu bez uwzględnienia oraz z uwzględnieniem korekcji dryftu przedstawiono w tabeli 9.



Rys. 9. Schemat metody kolejnych przybliżeń, z uwzględnieniem korekcji dryftu

TABELA 8

Błędy otrzymane po uwzględnieniu korekcji za dryft dla pierwszego (a) oraz drugiego szeregu (b)

a)

$\sigma_0$ [piksel]	0,44
Błąd średni fotopunktów	
$x$ [piksel]	0,30
$y$ [piksel]	0,79
Błąd średni punktów kontrolnych	
$x$ [piksel]	4,21 (2,6 m)
$y$ [piksel]	4,96 (2,9 m)

b)

$\sigma_0$ [piksel]	0,45
Błąd średni fotopunktów	
$x$ [piksel]	0,48
$y$ [piksel]	0,64
Błąd średni punktów kontrolnych	
$x$ [piksel]	3,83 (2,29 m)
$y$ [piksel]	2,96 (1,78 m)

TABELA 9

Porównanie wielkości błędów w szeregach bez korekcji oraz z korekcją dryftu

Błąd średni punktów kontrolnych	Pierwszy szereg		Drugi szereg	
	bez korekcji dryftu	z uwzględnieniem korekcji	bez korekcji dryftu	z uwzględnieniem korekcji
X [m]	3,16	2,29	3,14	2,60
Y [m]	1,78	1,78	3,12	2,90

Jak widać wielkości błędów zmniejszyły się o 20-30%, co jest znaczącą poprawą dokładności.

## 5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania miały na celu rozwiązanie problemu związanego z otrzymaniem ortoobrazu obszaru położonego w znacznej odległości od punktów osnowy fotogrametrycznej. Przedstawione w artykule metody orientacji obrazowań pozwalają na osiągnięcie błędów położenia punktu (na wynikowym ortoobrazie) od 10 m dla metody pierwszej aż do 2-3 m dla metody kolejnych przybliżeń.

Metoda kolejnych przybliżeń pomimo najlepszych wyników posiada również słabe strony. Jest bardzo czasochłonna oraz preferuje szeregi w „jednym” kierunku, pionowe lub poziome bez zmiany kierunku.

Niezwykle istotną kwestią przy opracowaniu szeregów obrazowań o długości powyżej 40 km jest korekcja dryftu. W badanych szeregach uwzględnienie tej poprawki spowodowało spadek wielkości błędu położenia punktu o około 30%.

Artykuł wpłynął do redakcji 5.07.2010 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w listopadzie 2010 r.

### LITERATURA

- [1] G. DIAL JR, et al., United States Patent nr 6,735,348 B2, May, 2004.
- [2] J. GRODECKI, G. DIAL, *Block adjustment of highresolution satellite images described by rational functions*, PERS, 69, 1, 2003, 59-68.
- [3] C. S. FRASER, G. DIAL, J. GRODECKI, *Sensor Orientation via RPCs*, ISPRS J. Photogramm. & Rem. Sens., 60, 2006, 182-194.
- [4] H. B. HANLEY, T. YAMAKAWA, C. S. FRASER, *Sensor Orientation for high-resolution satellite imagery*.
- [5] C. S. FRASER, H. B. HANLEY, *Bias-Compensated RPCs for Sensor Orientation of High-Resolution Satellite Imagery*, PERS, 71, 8, 2005, 909-915.



R. DĄBROWSKI, M. KĘDZIERSKI, M. WILIŃSKA

**The use of high resolution satellite data in generating a digital orthoimage of an inaccessible area**

**Abstract.** The dynamic technological development of satellites imaging the Earth's surface prompted an appearance of Very High Resolution Satellite (VHRS). Imagery data acquired from such satellites have very wide range of applications in different branches of economic activity. The most popular product is digital orthoimage. However, its generating for inaccessible area is a very essential problem. An inaccessible area means an area of the Earth's surface where it is impossible, from the reason other than technological, to measure reference points. To solve this problem, a series of research were conducted. Their results and conclusions are presented in this paper.

**Keywords:** photogrammetry, VHRS, inaccessible area, sensor orientation, satellite drift, orthoimage

