

Wysokorozdzielcze obrazowanie satelitarne - VHRS



Very High Resolution Satellite oznacza system obrazowania satelitarne o rozdzielczości porównywalnej z rozdzielczością małoskalowych zdjęć lotniczych, GSD < 1 m

Obraz jest rejestrowany poprzez skanowanie liniowe (skaner elektrooptyczny, rzut środkowo-równoległy)

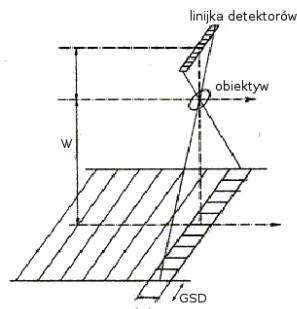
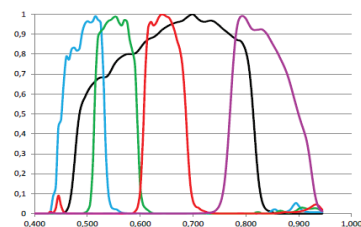
Orbity satelitów heliosynchroniczne, okołobiegunowe

W czasie przelotu są rejestrowane chwilowe elementy orientacji zewnętrznej (GPS/INS)

Rozdzielczość radiometryczna ≥ 11 bitów

Układ optyczny wychylany w przód, wstecz i na boki

Kanały spektralne (co najmniej) B,G,R,NIR,PAN



Push-broom sensor, along track scanner

Kpyka CFL I/7

VHRS

1

Systemy satelitarne VHRS 1. generacji



Company	Space Imaging		Digital Globe		Orbimage		Imagesat
System	Ikonos II launch 9/99		QuickBird 2 launch 11/01		OrbView-3 launch 6/03		EROS A1 launch 12/00
Modus	Pan 11 bit	multispectral 11 bit	pan 11 bit	multispectral 11 bit	pan 11 bit	multispectral 11 bit	pan 11 bit
Geometric resolution	1 m	4 m	0.61 m	2.44 m	1 m	4 m	1.8 m (hypersampling 1 m)
Spectral resolution (nm)	525-929	445-516 (b) 506-595 (g) 632-698 (r) 767-853 (nir)	450-900	450-520 (b) 520-600 (g) 630-690 (r) 760-900 (nir)	450-900	450-520 (b) 520-600 (g) 630-690 (r) 760-900 (nir)	500-900
Scale for applications			1 : 5 000 – 1 : 25 000				
Swath width	11 km		16.5 km		8 km		13.5 km
Image scene size	11 x 11 km ²		16.5 x 16.5 km ² strip: 16.5 x 165 km ²		8 x 8 km ²		13.5 x 13.5 km ² vector scene: 13.5 x 40 km ²
Orbit height	681 km		450 km		470 km		480 km
Inclination	98.1 sun synchronous		97.2 sun synchronous		97 sun synchronous		97.3 sun synchronous

Kpyka CFL I/7

VHRS

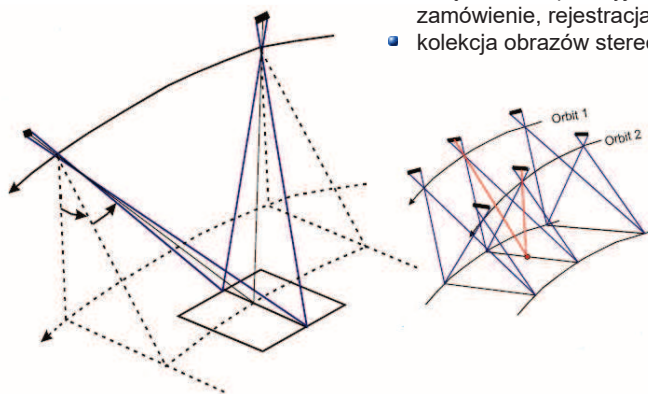
2

Rejestracja z wychyleniem układu optycznego



Układ optyczny wychylany w przód, wstecz i na boki

- zwiększenie operacyjności (obrazy na zamówienie, rejestracja obszarów bez chmur)
- kolekcja obrazów stereo



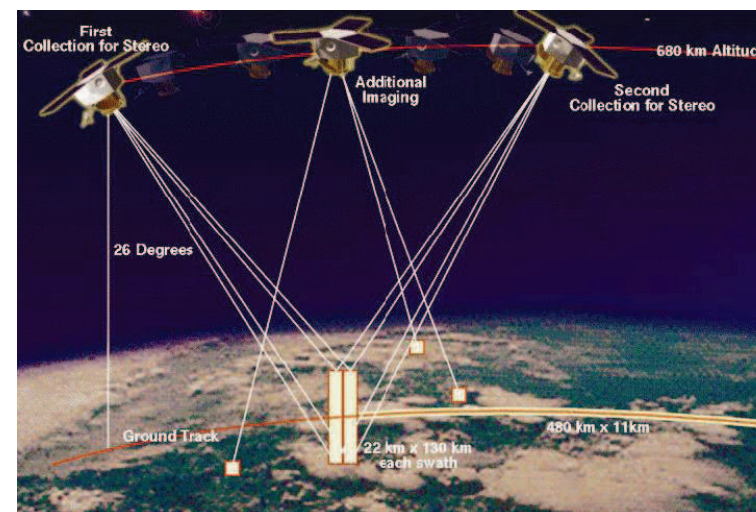
Zaletą stereo z jednej orbity są te same warunki meteorologiczne, to samo oświetlenie i stan wegetacji

Kpyka CFL I/7

VHRS

3

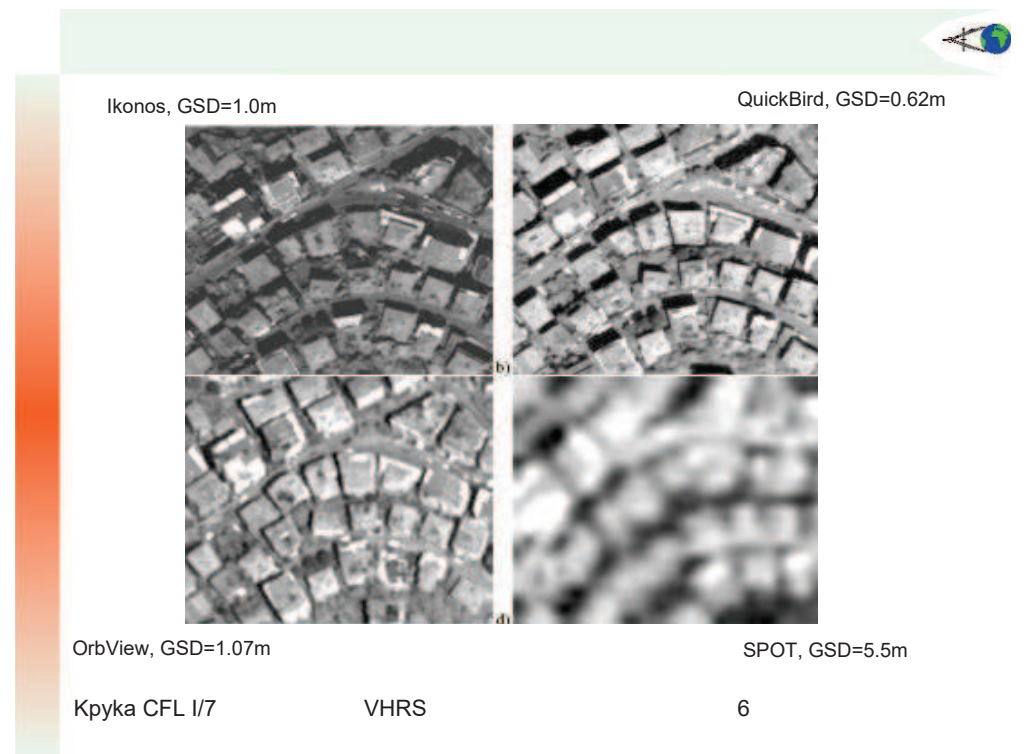
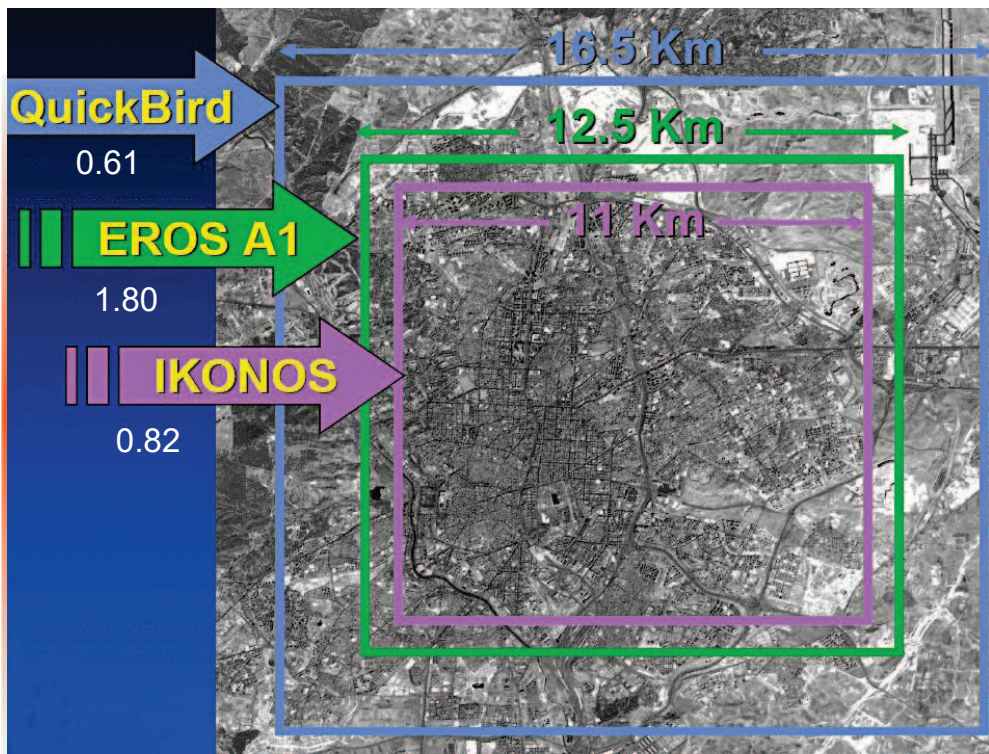
Potrójna rejestracja wzdłuż orbity



Kpyka CFL I/7

VHRS

4

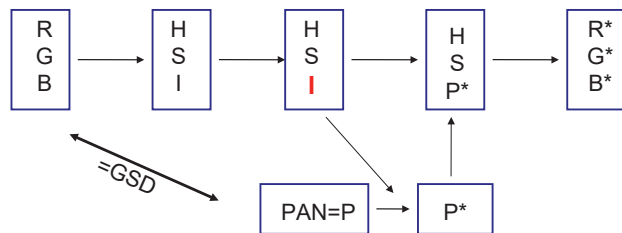


Wyostczenie obrazów VHRS

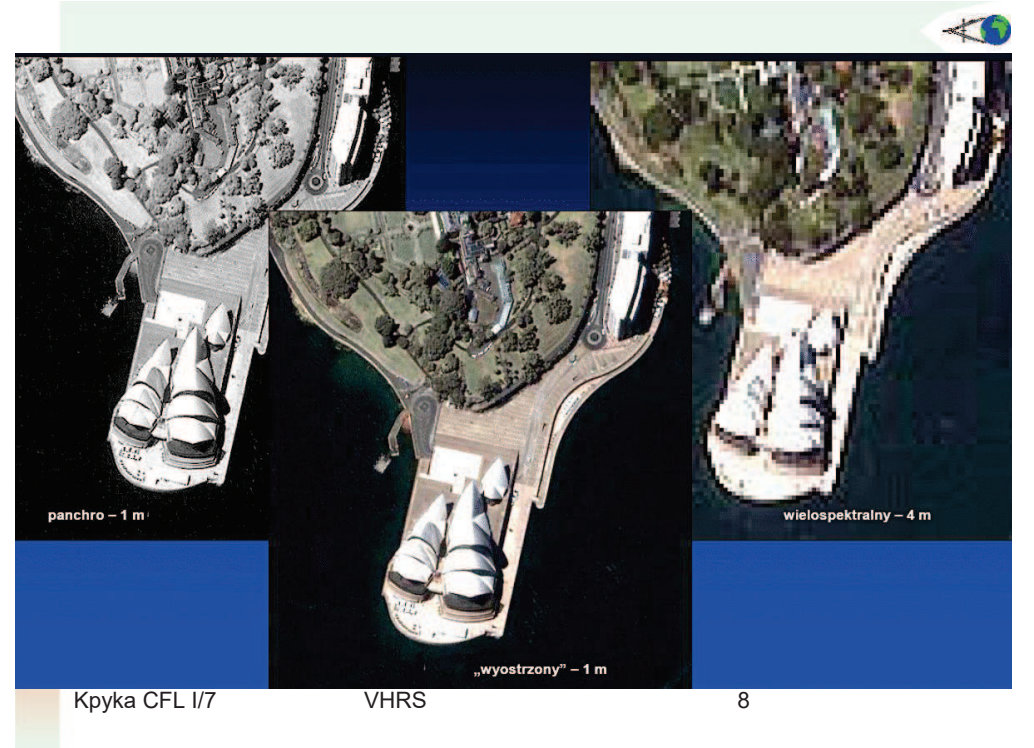
Fuzja, inaczej integracja obrazów o różnej rozdzielczości (merging, pansharpening)

Najprostsza metoda polega na:

- przepróbkowaniu kanałów RGB do rozdzielczości PAN
- konwersji modelu RGB na HSI
- zastąpieniu składowej intensywności I obrazem PAN
- konwersji HSI do RGB



Fuzja jest szczegółowo omówiona w ramach przedmiotu Teledetekcja środowiska.



VHRS 2. generacji



Systemy satelitarne f-my DigitalGlobe

Spectral Characteristics [nm]

	Coastal	Blue	Green	Yellow	Red	Red Edge	Near- IR1	Near- IR2	Pan (B&W)
Quick Bird		430- 545	466- 620		590- 710		715- 918		405- 1053
World View-2	396- 458	442- 515	506- 586	584- 632	624- 694	699- 749	765- 901	856- 1043	447- 808

Product Options	Pixel Resolution*	Image Bands
Panchromatic	50 cm, 65 cm, 2 m	Panchromatic
Multispectral (4-band)	2.0 m, 2.62 m	Blue, Green, Red, NIR1
Multispectral (8-band)	2.0 m	Coastal, Blue, Green, Yellow, Red, Red Edge, NIR1, NIR2

Kpyka CFL I/7

VHRS

9

VHRS 2. generacji



Systemy satelitarne f-my GeoEye

IKONOS Imaging & Collection Specifications	Imagery		Satellite		
		<i>Panchromatic</i>	<i>Multispectral</i>		
	Spatial Resolution	.82 meter	3.2 meters	Swath Width	11.3 km
	Positional Accuracy	15 meter CE90 (specification) 9 meter CE90 (measured)		Off-Nadir Imaging	Up to 60 degrees
Collection Capacity	240,000 sq km/day (Pan + MS)		Dynamic Range	11 bits per pixel	
			Mission Life	12+ years	
			Revisit Time	Approximately 3 days	
			Orbital Altitude	681 km	
			Nodal Crossing	10:30 am	

GeoEye-1 Imaging & Collection Specifications	Imagery		Satellite		
		<i>Panchromatic</i>	<i>Multispectral</i>		
	Spatial Resolution	.41 meter	1.65 meters	Swath Width	15.2 km
	Positional Accuracy	5 meter CE90 (specification) 3 meter CE90 (measured)		Off-Nadir Imaging	Up to 60 degrees
Collection Capacity	350,000 sq km/day (Pan + MS)		Dynamic Range	11 bits per pixel	
			Mission Life	Expected > 10 years	
			Revisit Time	Less than 3 days	
			Orbital Altitude	681 km	
			Nodal Crossing	10:30 am	

Imagery sold to commercial customers will be resampled to .50-meter resolution based on GeoEye's operating license with NOAA

Kpyka CFL I/7

VHRS

10

VHRS – DigitalGlobe



DigitalGlobe wchłonął GeoEye

Collection Systems	November 2016 WorldView-4	August 2014 WorldView-3	October 2009 WorldView-2	September 2007 WorldView-1	September 2008 GeoEye-1	September 1999 IKONOS *	October 2001 QuickBird **
Resolution	31 cm	31 cm	46 cm	50 cm	41 cm	82 cm	61 cm
Swath Width	13.1 km	13.2 km	16.4 km	17.6 km	15.2 km	11.3 km	8 km
Average Revisit	1 day	1 day	1.1 days	1.7 days	2.6 days	3 days	2.5 days
Spectral Bands	Pan + 4MS	Pan + 8MS + 8 SVR + CAVIS	Pan + 8MS	Pan	Pan + 4MS	Pan + 8MS	Pan + 4MS
Accuracy***	4 m	3.5 m	3.5 m	4 m	5 m	3.5 m	23 m

* out of mission since 31.3.2015

** out of mission since 27.1.2015

*** CE90, specification at nadir on flat terrain

Źródło <http://www.euspaceimaging.com/satellites>

<http://www.euspaceimaging.com/>

Kpyka CFL I/7

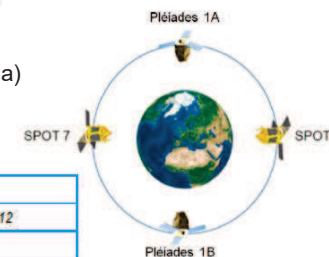
VHRS

11

VHRS 2.generacji



Pleiades – pierwszy europejski VHRS (AIRBUS, Francja)



Number of Satellites	2 -- Pleiades 1A and Pleiades 1B
Launch	Pleiades 1A: 16 th December 2012; Pleiades 1B: Q4 2012
Altitude	694km
Type	Sun-synchronous, 10:30 AM descending node
Period	96.79 minutes
Inclination	98.2°
Cycle	26 days
Optical System	The telescope is a Korsch type combination with 65cm aperture diameter, focal length of 12.905m, f/20, TMA optics
Spectral Bands	Pan: 0.47-0.83 μm; Blue = 0.43-0.55 μm, Green = 0.50-0.62 μm, Red = 0.59-0.71 μm, Near Infrared = 0.74-0.94 μm (NIR)
Detectors	Panchromatic array assembly: 5 x 6000 (30,000 cross-track) pixels Multispectral array assembly: 5 x 1500 (7500 in cross-track) pixels Each pixel having a size of 13 μm in Panchromatic

<https://www.intelligence-airbusds.com/pleiades/>

Kpyka CFL I/7

VHRS

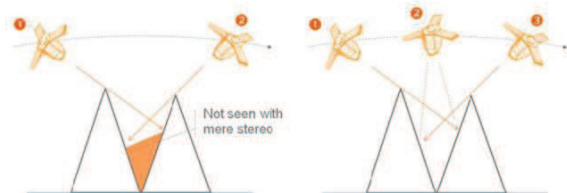
12

VHRS 2.generacji



Pléiades

Ground Sampling Distance (nadir)	Panchromatic: 0.7m; Multispectral: 2.8m
Product Resolution	Panchromatic: 0.5m; Multispectral: 2.0m
Swath Width	20km at nadir
Dynamic Range at Acquisition	12 bits per pixel
NIIRS Class	6
Viewing Angle	Standard: +/- 30°; Maximum: +/- 47°
Revisit Frequency, using Both Pléiades 1A & 1B	<ul style="list-style-type: none"> with +/- 30° viewing angle, 1.3 days and better above 40° latitude, 1.7 days at equator; with +/- 45° viewing angle, daily revisit of any point on the globe
Pointing Agility	Roll of 60° within 25 seconds; Pitch of 60° within 25 seconds; 200km in 11 seconds including stabilization time
Acquisition Capability	450 segments/day (up to 600) – relying on the two main receiving stations, Toulouse (France) and Kiruna
Location Accuracy at Nadir	Performance (Oct. 2012): 8.5m CE90 with refined attitude data



Kpyka CFL I/7

VHRS

13

<http://www.astrium-geo.com/> Petropavlovsk, Russia, 05/05/2013



VHRS 3.generacji?



VHRS: DigitalGlobe, AIRBUS są przedsiębiorstwami publiczno-prywatnymi kontrolowanymi przez rząd USA i Francji.

Pierwszym (?) VHRS w pełni prywatnym jest SkySat (PLANET)

Podstawowe dane:

Pixel w nadirze 0,7 m

Kanały: 4+1

B: 450-515 nm, G: 515-595 nm, R: 605-695 nm, NIR: 740-900 nm, Pan: 450 - 900 nm

Dodatkowo rejestruje obraz video

potencjalne obrazowanie 2x dziennie tego samego obszaru (konstelacja satelitów)

<https://www.planet.com/products/planet-imagery/>

Obraz SkySat

Jaki był kierunek lotu a jaki kierunek skanowania?
Dlaczego jadące samochody są rozmazane?



Kpyka CFL I/7

VHRS

15

Kpyka CFL I/7

VHRS

16



- *primary* - obrazy surowe do pełnej rektyfikacji geometrycznej i radiometrycznej
- *georectified/basic* – przybliżone wpasowanie geograficznie (błąd położenia CE90 = +/-15 m),
- *ortho ready* – obraz ma przybliżone wpasowanie geo, posiada współczynniki RPC (model RFM), co pozwala na ortorektyfikację po stronie użytkownika
- *orthorectified* – przetworzone z wykorzystaniem NMT,
- *stereo* - stereogram obrazów pozyskanych w pojedynczym przelocie satelity.

Digital Globe – standardy obrazów
https://dg-cms-uploads-production.s3.amazonaws.com/uploads/document/file/21/Standard_Imagery_DS_10-7-16.pdf

Obrazy do przetwarzania:
https://dg-cms-uploads-production.s3.amazonaws.com/uploads/document/file/83/DG_SystemReady_DS_2-2019_forweb.pdf

Oferta usług, np. gotowe orto dla miast lub państw
https://dg-cms-uploads-production.s3.amazonaws.com/uploads/legal_document/file/34/GlobaIBasemap-DS-GBM-PROD.pdf

CE horizontal Circular Error przy określonym poziomie ufności
 CE90 → 90% błędów jest mniejszych od podanej wielkości

Image accuracy specifications		
QuickBird™		23 m CE90
GeoEye-1	?	5.0 m CE90
WorldView-1, WorldView-2™, WorldView-3		5.0 m CE90

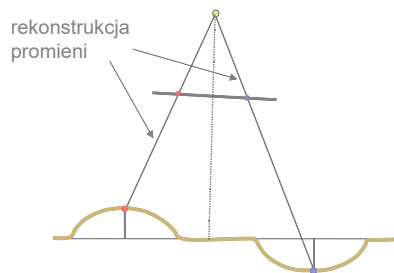
Processing	Standard	Ortho Ready Standard
Applied corrections	Radiometric, sensor, and geometric corrections Mapped to a cartographic projection	
Geometric corrections	Projected to a plane using map projection and datum, coarse DEM applied to normalize for topographic relief	Projected to a plane using map projection and datum, projected to a constant base elevation to allow for orthorectification

Modele geometrii dla VHRS

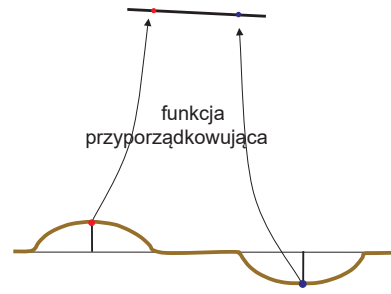


Podczas lotu są wykonywane są pomiary GPS/INS - każda linijka obrazu posiada swoje EOZ.
 Producent stosuje model ścisły, przy jego pomocy tworzy model wielomianowy RFM
 Użytkownik dostaje model nieparametryczny RFM (dawniej były udostępniane też dane dla modelu ścisłego, obecnie - nie)

Parametryczny / ścisły / fizyczny
 zdjęcia lotnicze



Nieparametryczny / wielomianowy
 obrazy satelitarne



Obraz z modelem RFM



https://dg-cms-uploads-production.s3.amazonaws.com/uploads/document/file/106/ISD_External.pdf

6.4 Rational Polynomial Coefficients

This section describes the content of the PVL-format RPC00B file and the corresponding part of the XML file. It contains the coefficients for Rapid Positioning Capability, also called Rational Polynomial Coefficients (RPC). This is a mathematical mapping from object space coordinates to image space coordinates. This mapping includes non-ideal imaging effects, such as lens distortion, light aberration, and atmospheric refraction.

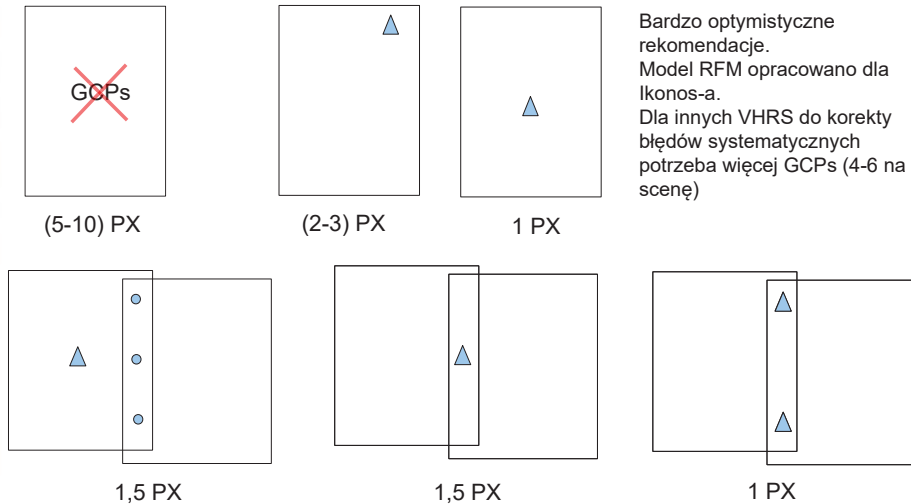
RPC00Bs express the normalized column and row values in an image, (c_n, r_n) , as a ratio of polynomials of the normalized geodetic latitude, longitude, and height, (P, L, H) . Normalized values are used instead of actual values in order to minimize numerical errors in the calculation. The scales and offset of each parameter are selected so that all normalized values fall in the range $[-1, 1]$. The normalization used is as follows:

- $P = (\text{Latitude} - \text{LAT_OFF}) / \text{LAT_SCALE}$
- $L = (\text{Longitude} - \text{LONG_OFF}) / \text{LONG_SCALE}$
- $H = (\text{Height} - \text{HEIGHT_OFF}) / \text{HEIGHT_SCALE}$
- $r_n = (\text{ROW} - \text{LINE_OFF}) / \text{LINE_SCALE}$
- $c_n = (\text{Column} - \text{SAMP_OFF}) / \text{SAMP_SCALE}$

Each polynomial is up to third order in (P, L, H) , having as many as 20 terms. The rational functions are:

$$r_n = \frac{\sum_{i=1}^{20} \text{LINE_NUM_COEF}_i \cdot p_i(P, L, H)}{\sum_{i=1}^{20} \text{LINE_DEN_COEF}_i \cdot p_i(P, L, H)} \quad \text{and} \quad c_n = \frac{\sum_{i=1}^{20} \text{SAMP_NUM_COEF}_i \cdot p_i(P, L, H)}{\sum_{i=1}^{20} \text{SAMP_DEN_COEF}_i \cdot p_i(P, L, H)}$$

LINE_NUM_COEF, LINE_DEN_COEF, SAMP_NUM_COEF, and SAMP_DEN_COEF are 20-term vectors of coefficients that are given in the RPC00B file. $p(P, L, H)$ is a 20-term vector with the following terms:



Bardzo optymistyczne rekomendacje. Model RFM opracowano dla Ikonos-a. Dla innych VHRS do korekty błędów systematycznych potrzeba więcej GCPs (4-6 na scenę)

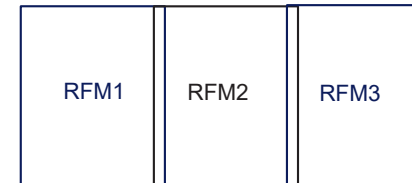
Grodecki, Dial, 2003, Block Adjustment of High-resolution Satellite Images described by rational Polynomials: . PERS 69(1), 59-68
Lutes, Grodecki, 2004, Error propagation in Ikonos mapping blocks, PERS, 70(8) 947-955



Globalny i częściowy model RFM (Global/Partial)

Model RFM jest tym dokładniejszy, im mniejszy jest obraz (krótsza rejestracja wzdłuż orbity).

Zaleca się (Plejados) aby dla obrazów rejestrowanych dłużej niż 4 sek stosować inne modele dla kolejnych fragmentów



Typical sensor and platform configurations with main operational parameters.

Applicability and operation aspects	Data acquisition platforms		
	Satellite (spaceborne)	Airborne	UAS
Maneuverability	No/limited	Moderate	High
Observation space	Worldwide	Regional	Local
Sensor diversity	MS/HSI/SAR	MS/HSI/LiDAR/SAR	MS (LiDAR/HSI)
Environment	Outdoors	Outdoors	Outdoors/indoors
Scale (inverse sensor range)	Small	Small/medium	Medium/large
Ground coverage	Large (10 km)	Medium (1 km)	Small (100 m)
FOV	Narrow	Wide	Wide/super wide
Repeat rate	Day	Hours	Minutes
Spatial resolution (GSD)	0.30-300 m	5-25 cm	1-5 cm
Spatial accuracy	1-3 m	5-10 cm	1-25 cm
Deployability	Difficult	Complex	Easy
Observability	Vertical/oblique	Vertical/oblique	Vertical/oblique/360°
Operational risk	Moderate	High	Low
Cost	\$\$\$\$\$	\$\$\$	\$

MS: Multispectral, HSI: Hyperspectral Image, LiDAR: Light Detection And Ranging, SAR: Synthetic Aperture Radar.

Toth, C., Józków, G., 2016. Remote sensing platforms and sensors: A survey. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 115, 22-36.



Main remote sensing satellite systems.

Name	Funding, operator	Launch	Country	Constellation	Sensor	GSD range (m)	Swath width (km)	Revisit time (day)
Ikonos-2	Commercial	1999	USA	Single	PAN	0.8 x 0.8	11.3	3
QuickBird-2	Commercial	2001	USA	Single	4 MS	3.2 x 3.2		
					PAN	0.7 x 0.7	16.8-18	1-3.5
					4 MS	2.6 x 2.6		
RapidEye*	Commercial	2008	Germany	Five	5 MS	6.5 x 6.5	77	1-5.5
Pleiades 1	Commercial, government and private partnership	2011	France	Dual	PAN	0.5 x 0.5	20	1
					4 MS	2 x 2		
SPOT 6	Commercial	2012	France	Dual	PAN	1.5 x 1.5	60	1-5
SPOT 7	Commercial	2014			4 MS	6 x 6		
Landsat-8	Government	2013	USA	Single	PAN	15 x 15	185	16
					11 MS	30 x 30		
SkySat	Commercial	2013	USA	2 (2014)	PAN	1.1 x 1.1	2 x 1	0.5 (2015)
					video			
WorldView-3	Commercial, government and private partnership	2014	USA	Single	PAN	0.9 x 0.9	8	0.12 (2017)
					4 MS	2 x 2		
					PAN	0.3 x 0.3	13.1	1-4.5
					8 MS	1.2 x 1.2		
					8 MS	3.7 x 3.7		
					(SWIR)			
Planet Labs	Commercial	2014	USA	Flock of sats (100+)	12 MS	30 x 30		
					PAN	3 x 3	Unknown	Unknown
					3 MS	5 x 5		
DMC-3	Commercial	2015	UK	Triple	PAN	1 x 1	23	1
					4 MS	4 x 4		
Sentinel-2	Government	2015	EU	Dual	13 MS	10 x 10	290	10
						20 x 20		

Toth, C., Józków, G., 2016. Remote sensing platforms and sensors: A survey. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 115, 22-36.