



Podstawy ortorektyfikacji

- podstawowe definicje
- strategie ortorektyfikacji
- powtórne próbkowanie
- etapy procesu technologicznego
- praktyczna realizacja ortorektyfikacji

Kpyka

CFL-2 podst. ortorektyfikacji

1

Podstawowe definicje



Ortorektyfikacja to proces przetwarzania obrazów źródłowych (fotogrametrycznych zdjęć lotniczych, obrazów satelitarnych) którego celem jest uzyskanie hipotetycznego obrazu terenu jaki powstałby przy rzutowaniu ortogonalnym na elipsoidę odniesienia a następnie odwzorowaniu na płaszczyźnie i przedstawieniu w układzie współrzędnych płaskich prostokątnych

potocznie: zamiana rzutu środkowego na ortogonalny

Ortorektyfikacja polega na usunięciu zniekształceń obrazów źródłowych w stosunku do obrazu docelowego przedstawionego w rzucie ortogonalnym, których podstawowymi przyczynami są:

- model geometrii obrazu
- rzeźba terenu

Kpyka

CFL-2 podst. ortorektyfikacji

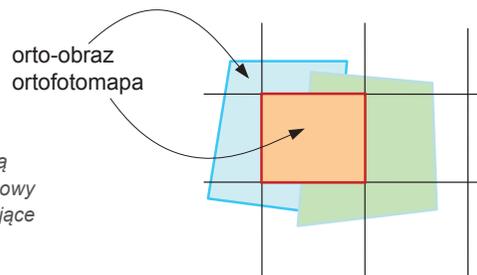
2

Podstawowe definicje



Orto-obraz to wynik ortorektyfikacji przeprowadzonej dla pojedynczego zdjęcia (obrazu); dawniej *ortofotografia*

Ortofotomapa jest mapą opracowaną na podstawie orto-obrazu lub orto-obrazów, spełnia następujące kryteria: wykonana jest w określonym odwzorowaniu kartograficznym, gwarantuje odpowiednią dla skali dokładność sytuacyjną dobrze identyfikowanych elementów treści, zachowuje ustalony krój arkuszowy,



dawniej: posiada siatkę kartograficzną i kilometrową, ramkę, opis pozaramkowy oraz opcjonalnie elementy uzupełniające w tym warstwie (nieaktualne)

Ortofotogram ...

Ortofotoplan ...

Ortomozajka ...

Kpyka

CFL-2 podst. ortorektyfikacji

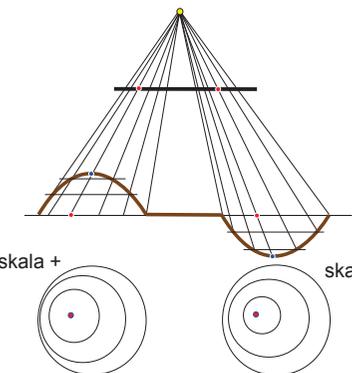
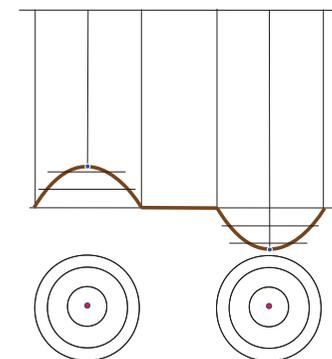
3

Model geometrii zdjęcia jako przyczyna zniekształceń kartometrycznych



Rzut ortogonalny

Rzut środkowy - przesunięcia radialne (na zewnątrz i do wewnątrz zdjęcia), zmiana skali



Model geometrii ortofotomapy

Model geometrii zdjęcia (typowa kamera kadrowa)

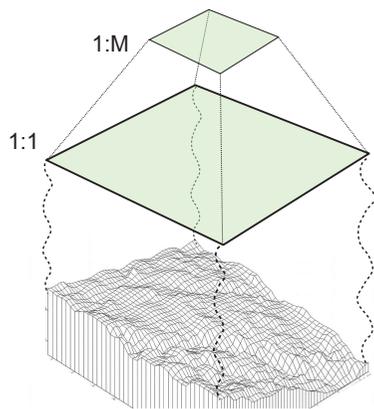
Kpyka

CFL-2 podst. ortorektyfikacji

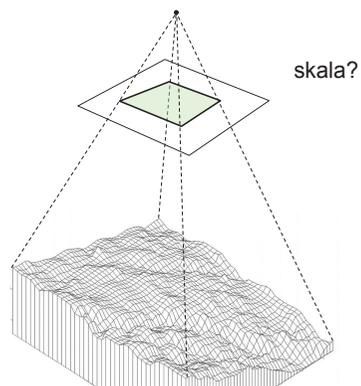
4



Rzut ortogonalny
w takim rzucie powstają mapy?



Rzut środkowy
w takim rzucie powstają zdjęcia (kamera kadrowa)



Mapy powstają w odwzorowaniach które wprowadzają zniekształcenia



Podstawowe definicje

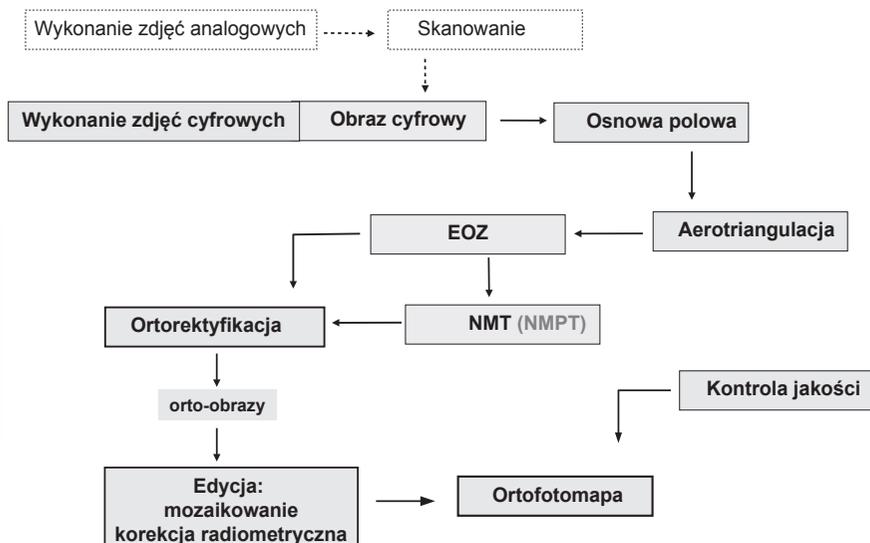
Ortofotomapa powstaje w określonym odwzorowaniu kartograficznym, zatem: ortorektyfikacja polega na usunięciu zniekształceń obrazów źródłowych w stosunku do obrazu docelowego przedstawionego w odwzorowaniu kartograficznym (a nie w rzucie ortogonalnym)

Jeśli przed ortorektyfikacją została wykonana aerotriangulacja w określonym układzie współrzędnych płaskich prostokątnych (a tak jest najczęściej), wówczas ortorektyfikacja pośrednio usuwa też inne zniekształcenia (de facto jest to wprowadzenie sztucznych deformacji „kartograficznych”, wyjątek - refrakcja):

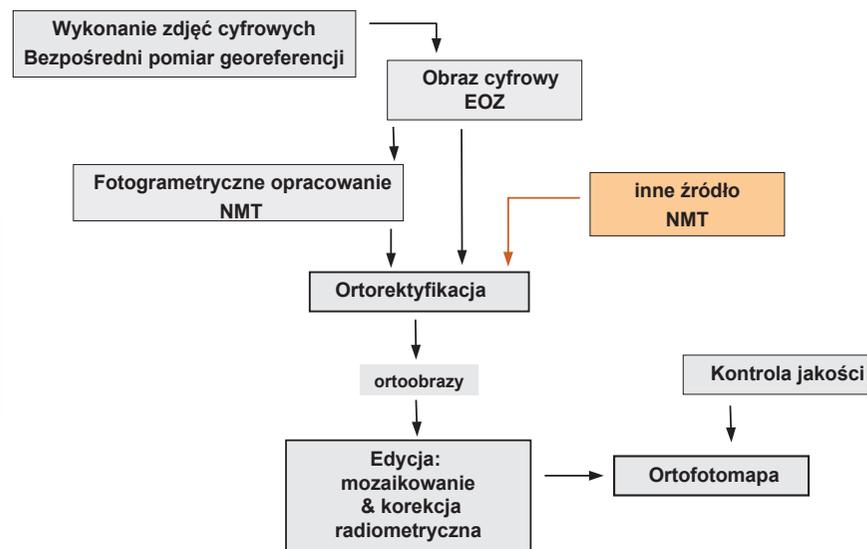
- kulistości Ziemi
- poprawek odwzorowawczych
- refrakcji atmosferycznej



Ortofotomapa - etapy klasycznego procesu technologicznego



Ortofotomapa – etapy nowoczesnego procesu technologicznego



Modele geometryczne ortorektifikacji



Model ortorektifikacji jest dostosowany do modelu geometrii obrazu

parametryczny / ścisły („lotniczy”) – jest oparty na geometrycznej rekonstrukcji wiązek promieni przestrzennych formujących obraz źródłowy, promienie formujące obraz źródłowy są rzutowane na powierzchnię 3D reprezentującą odwzorowany na obrazie obszar, co pozwala - w miejscu przecięcia z powierzchnią („terenem”) - zmienić ich bieg na ortogonalny do powierzchni odniesienia („płaszczyzny”)

Stosowany jest głównie dla obrazów formowanych w rzucie środkowym

nieparametryczny („satelitarny”) – przetworzenie obraz źródłowy- obraz wynikowy jest opisane funkcją matematyczną (ilorazy wielomianowe), która ma charakter abstrakcyjny (brak jednoznacznego odniesienia do geometrii formowania obrazu)

Stosowany jest głównie dla obrazów formowanych w rzucie środkowo-równoległym

O modelach – osobny wykład w sem.1

Kpyka

CFL-2 podst. ortorektifikacji

9

Terminologia



Ortofotomapa cyfrowa jest to plik rastrowy (lub zbiór plików) w którym są zapisane: treść obrazowa i georeferencje, opcjonalnie towarzyszy jej plik z metadanymi

Georeferencje to zbiór informacji definiujących położenie orto-obrazu / ortofotomapy w przyjętym układzie współrzędnych.

Podział georeferencji z punktu widzenia zakresu informacji :

- uproszczone – jest tylko znane położenie rastra w układzie współrzędnych
- pełne – jw. ale dodatkowo podane są wszystkie parametry układu wsp. co pozwala transformować z tego układu do innego układu wsp.

Podział georeferencji z punktu widzenia sposobu zapisu :

- w pliku niosącym część obrazową ortofotomapy (GeoTIFF, pełne)
- w osobnym pliku dokumentacyjnym (np. tfw, niepełne)

Kpyka

CFL-2 podst. ortorektifikacji

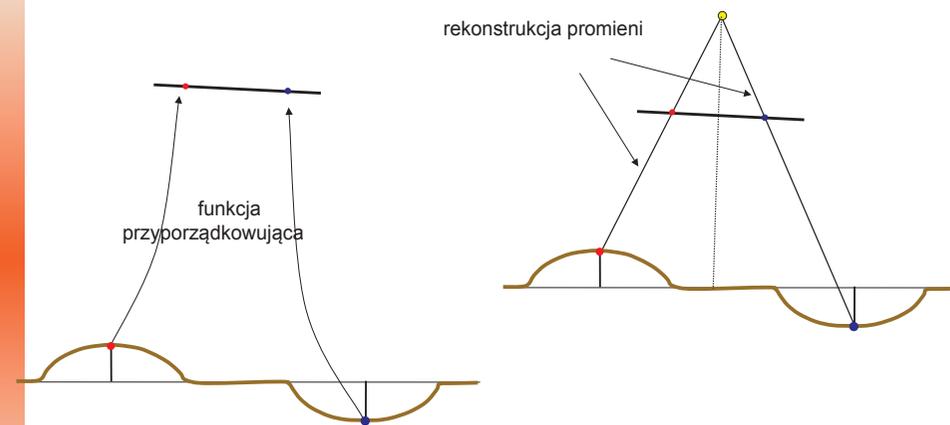
11

Modele geometryczne ortorektifikacji



parametryczny

rekonstrukcja promieni



nieparametryczny

Kpyka

CFL-2 podst. ortorektifikacji

10

Dane do ortorektifikacji



Do przeprowadzenia ortorektifikacji parametrycznej są potrzebne:

- źródłowe obrazy cyfrowe (najczęściej zeskanowane zdjęcia lub zdjęcia zarejestrowane cyfrowo),
- dane z kalibracji kamery fotogrametrycznej (lub quasi-fotogrametrycznej, sensora),
- elementy orientacji zewnętrznej zdjęć (obrazów) lub osnowa fotogrametryczna pozwalająca na określenie tych elementów,
- numeryczny model rzeźby terenu (lub pokrycia terenu),

Do przeprowadzenia ortorektifikacji nieparametrycznej są potrzebne:

- obrazy satelitarne
- jawna postać funkcji przetworzenia obraz - orto w postaci zbioru współczynników ilorazu wielomianowego (RPC)
- numeryczny model rzeźby terenu (lub pokrycia terenu),

(w obu przypadkach) dla potrzeb kontroli dokładności – punkty lub elementy kontrolne.

Kpyka

CFL-2 podst. ortorektifikacji

12

Terminologia

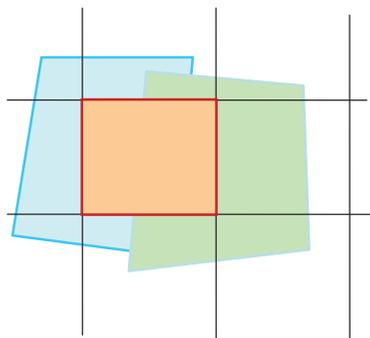


powtórne próbkowanie (ang. resampling), polega na interpolacji jasności pikseli wynikowych na podstawie jasności pikseli źródłowych

mozaikowanie - łączenie ortoobrazów, uzyskanych z ortorektifikacji sąsiednich obrazów źródłowych, w większe fragmenty, najczęściej w celu wypełnienia powierzchni wyznaczonej przez arkuszowy podział map przy określonej skali.

piksel pierwotny (źródłowy)...

piksel wynikowy ...



Kpyka

CFL-2 podst. ortorektifikacji

13

Strategie ortorektifikacji



Założenie;
znane EOZ i NMT

Wstecz: od mapy do zdjęcia
piksele tworzonego
ortoobrazu są rzutowane na
zdjęcie i znajdujący jest
piksel zdjęcia odpowiadający
pikselowi orto

wstecz w przód

W przód: od zdjęcia do mapy
piksele zdjęcia są rzutowane
do właściwej pozycji na
mapie

$H = f(X, Y)$

$H = ?$

(X, Y) ortobraz 1:1 teren

Kpyka

CFL-2 podst. ortorektifikacji

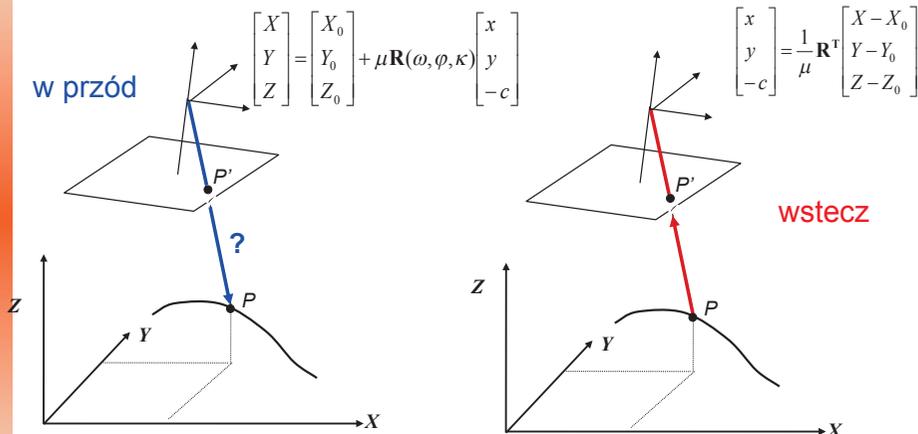
14

Strategie ortorektifikacji



a) przecięcie promienia wyprowadzonego
ze zdjęcia z terenem

b) przecięcie promienia wyprowadzonego
od terenu ze zdjęciem



Kpyka

CFL-2 podst. ortorektifikacji

15

Strategie ortorektifikacji

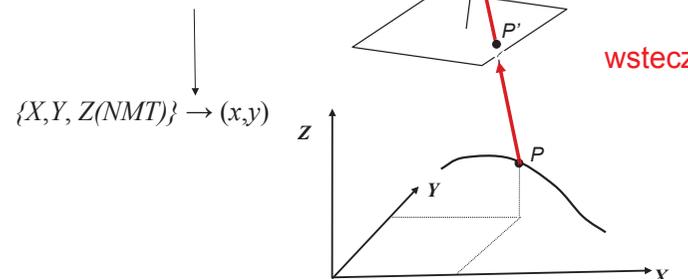


b) przecięcie promienia wyprowadzonego
od terenu ze zdjęciem

$$x = -c \frac{a_{11}(X - X_0) + a_{21}(Y - Y_0) + a_{31}(Z - Z_0)}{a_{13}(X - X_0) + a_{23}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)}$$

$$y = -c \frac{a_{12}(X - X_0) + a_{22}(Y - Y_0) + a_{32}(Z - Z_0)}{a_{13}(X - X_0) + a_{23}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)}$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ -c \end{bmatrix} = \frac{1}{\mu} \mathbf{R}^T \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix}$$

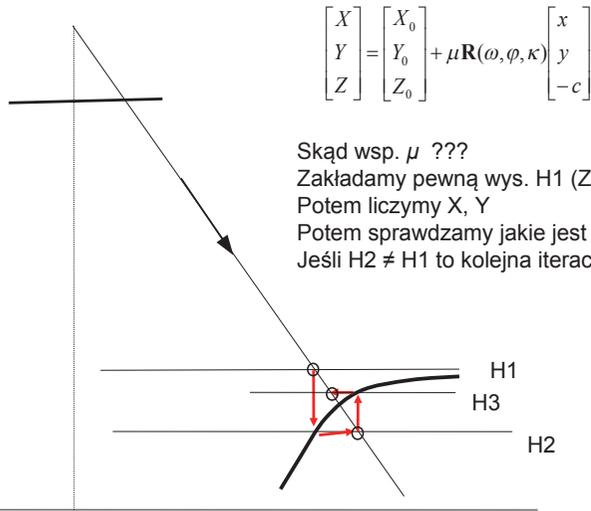


Kpyka

CFL-2 podst. ortorektifikacji

16

Problem strategii w przód
 – wyznaczenie przecięcia promienia z NMT



$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + \mu \mathbf{R}(\omega, \varphi, \kappa) \begin{bmatrix} x \\ y \\ -c \end{bmatrix}$$

Skąd wsp. μ ???
 Zakładamy pewną wys. H1 (Z) i z równania „Z” liczymy μ
 Potem liczymy X, Y
 Potem sprawdzamy jakie jest H dla X,Y \rightarrow H2
 Jeśli H2 \neq H1 to kolejna iteracja

rzut środkowo-równoległy



RFM Rational Function Model
 RPC Rational Polynomial Coefficients

$$c_r = \frac{\sum_{i=1}^{20} W_i^1(X, Y, Z)}{\sum_{i=1}^{20} W_i^2(X, Y, Z)}$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{20} W_i^3(X, Y, Z)}{\sum_{i=1}^{20} W_i^4(X, Y, Z)}$$

$$c_r = \frac{\sum_{i=1}^{20} W_i^1(E, N, H)}{\sum_{i=1}^{20} W_i^2(E, N, H)}$$

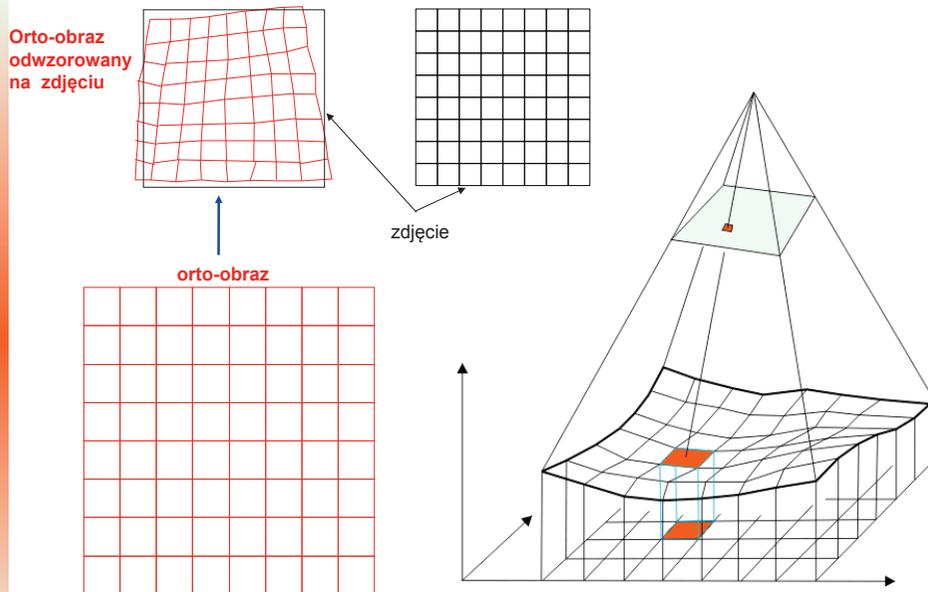
$$r = \frac{\sum_{i=1}^{20} W_i^3(E, N, H)}{\sum_{i=1}^{20} W_i^4(E, N, H)}$$

$$c_r = \frac{\sum_{i=1}^{20} W_i^1(\varphi, \lambda, H)}{\sum_{i=1}^{20} W_i^2(\varphi, \lambda, H)}$$

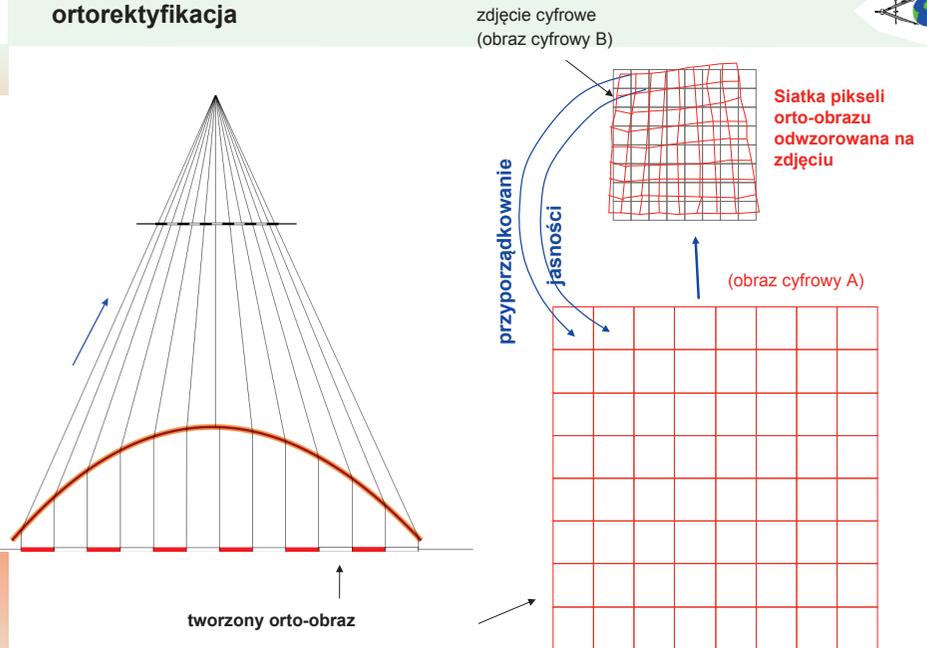
$$r = \frac{\sum_{i=1}^{20} W_i^3(\varphi, \lambda, H)}{\sum_{i=1}^{20} W_i^4(\varphi, \lambda, H)}$$

wstecz

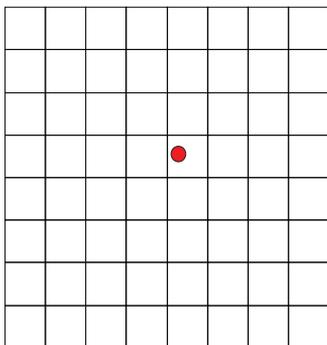
Powtórne próbkowanie



ortorektifikacja

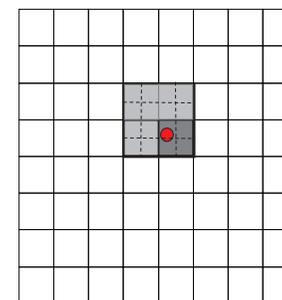
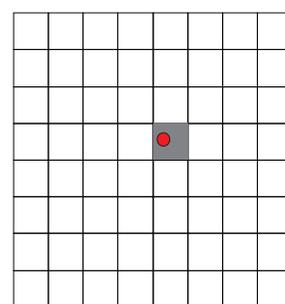


Metody powtórznego próbkowania



1. najbliższego sąsiada – pobierana jest jasność tego piksela który leży najbliżej obliczonej pozycji x,y (X,Y)
2. Interpolacyjne – interpolacja jasności z określonego otoczenia obliczonej pozycji x,y (X,Y)
 - interpolacja dwuliniowa (biliniowa, bilinear)
 - interpolacja dwukubiczna (bikubiczna, cubic convolution)
 - interpolacja dwukubiczna z wyostrzeniem
 - ...

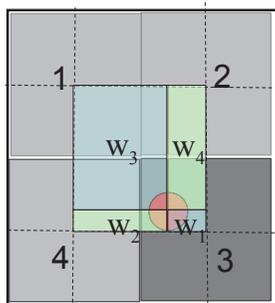
• położenie x,y na tle siatki pikseli obrazu źródłowego uzyskane metodą wstecz



1. najbliższego sąsiada – pobierana jest jasność tego piksela który leży najbliżej obliczonej pozycji x,y (X,Y)

2. Interpolacyjne – interpolacja jasności z określonego otoczenia obliczonej pozycji x,y
Interpolacja dwuliniowa (biliniowa , bilinear)
Do interpolacji są brane cztery piksele obrazu, których środki otaczają pozycję (x,y)

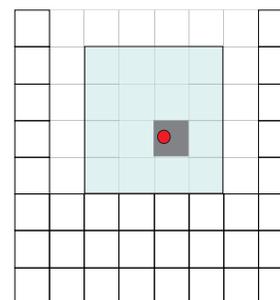
Metody powtórznego próbkowania



2. Interpolacyjne – interpolacja jasności z określonego otoczenia obliczonej pozycji x,y
Interpolacja dwuliniowa (biliniowa , bilinear)
Wagi są równe powierzchniom leżącym naprzeciw środków pikseli 1- 4, powstałym z podziału kwadratu 1234 w stosunku do pozycji (x,y)

$$g = \frac{\sum_1^4 w_i g_i}{\sum_1^4 w_i}$$

Metodę dwuliniową można interpretować jako rozpięcie hiperboloidy parabolicznej nad środkami czterech pikseli obrazu których trzecią współrzędną tworzą ich jasności; projekcja pozycji (x,y) na tą powierzchnię daje poszukiwaną jasność.



2. Interpolacyjne – interpolacja jasności z określonego otoczenia obliczonej pozycji x,y
interpolacja dwukubiczna (bikubiczna, splot sześcienny, cubic convolution)

W interpolacji uczestniczy 16 pikseli położonych najbliżej pozycji (x,y)

$$g = \sum_1^{16} w_i g_i \quad w_i = f_3(d)$$

gdzie d – odległość (x,y) - środek piksela i

Łączenie (mozaikowanie) ortofotobrazów

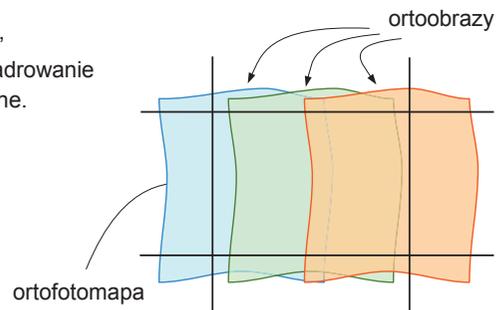


Ortofotomapa jest wykonana w przyjętym kroju arkuszowym (w określonym układzie współrzędnych płaskich prostokątnych).

Mozaikowanie to łączenie orto-obrazów w większe agregaty obszarowe, umożliwiające kadrowanie obszaru zgodnego z arkuszowym podziałem map w określonej skali.

Obejmuje etapy:

- wyznaczenie linii łączenia,
- sklejenie orto-obrazów, kadrowanie
- wyrównanie radiometryczne.

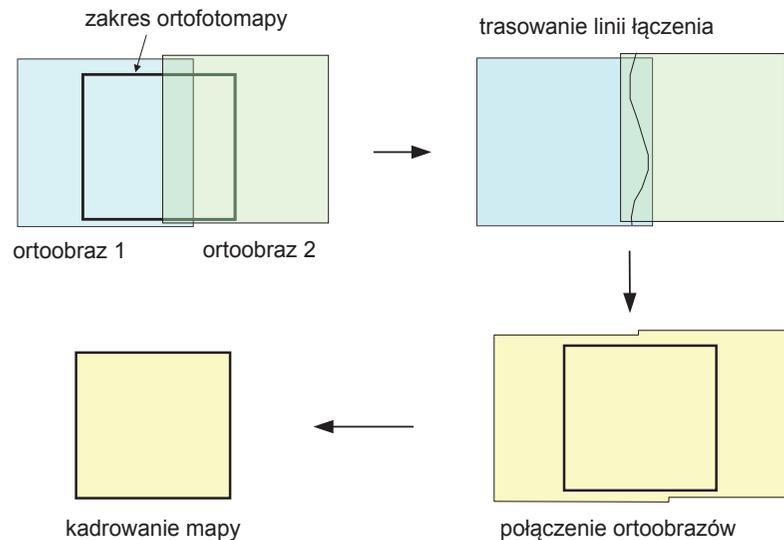


Kpyka

CFL-2 podst. ortorektyfikacji

25

Przebieg mozaikowania



Kpyka

CFL-2 podst. ortorektyfikacji

26

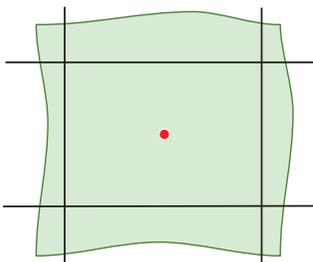
Mozaikowanie ortofotobrazów



NIE jest konieczne gdy:

ortofotobraz pokrywa cały obszar opracowywanego arkusza,

aby to osiągnąć zdjęcia wykonuje się jako tzw. celowane: środek rzutów nad środkiem arkusza



Kpyka

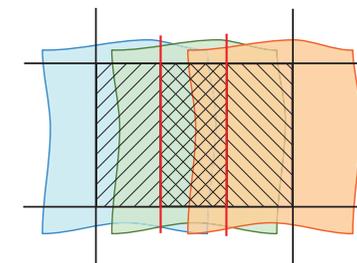
CFL-2 podst. ortorektyfikacji

27

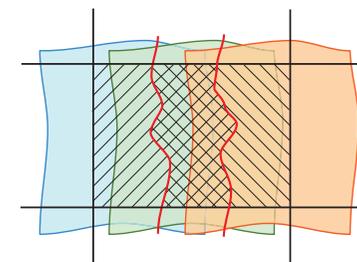
Mozaikowanie orto-obrazów



Nominalnie linia mozaikowania powinna przebiegać symetrycznie przez obszary pokrycia orto-obrazów



W praktyce linia musi omijać wszystkie miejsca w których istnieje niespójność treści orto-obrazów wskutek nieskorygowanego położenia obiektów wystających nad terenem



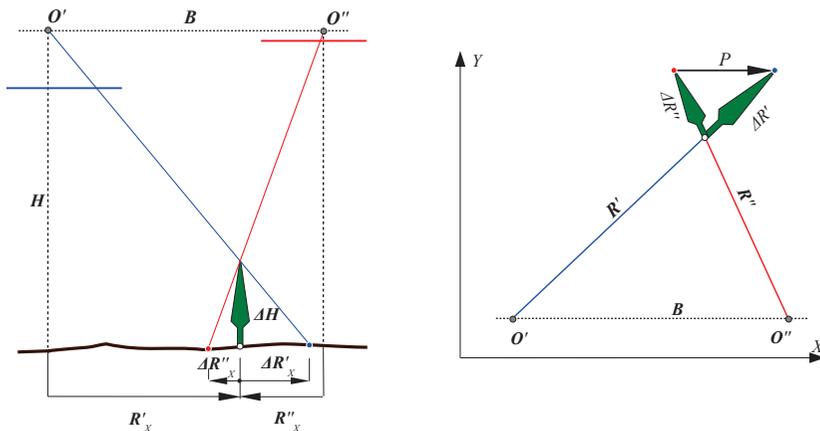
Kpyka

CFL-2 podst. ortorektyfikacji

28

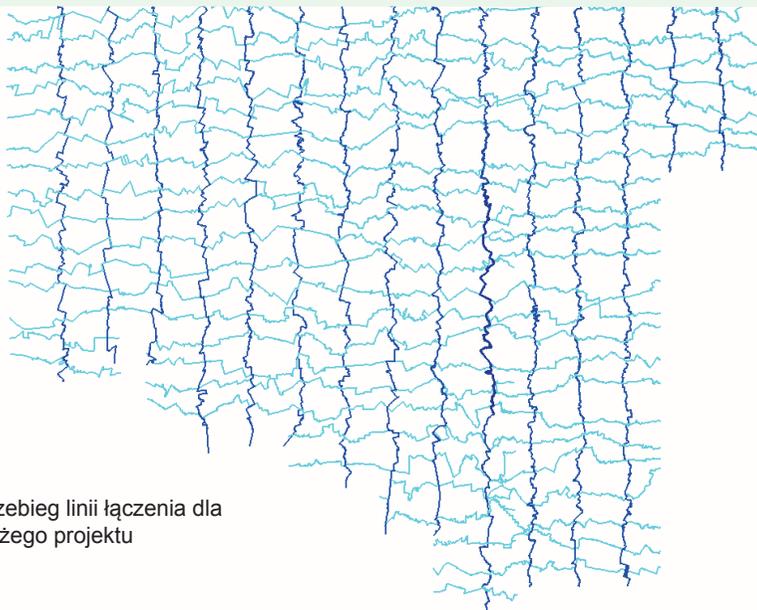


Wskutek nieskorygowanego położenia obiektów „wysokich” występuje paralaksa podłużna pomiędzy ortoobrazami. Linia mozaikowania nie może przecinać miejsc z paralaksą (przesunięciem obrazów tożsamych obiektów)



Linia mozaikowania - powinna

- biec po powierzchni terenu omijając obiekty wysokie (budynki, drzewa) oraz cienie
- łączyć obszary o podobnej charakterystyce radiometrycznej
- w miarę możliwości linie powinny biec środkiem dróg, ścieżek
- składać się z wielu krótkich odcinków tworzących zygzak (długie linie proste szybciej zauważa człowiek)
- z punktu widzenia estetyki dobrym wyborem linii łączenia są granice konturów terenowych, w tym użytków gruntowych (ale pogarsza to ostrość tych elementów)
- jeśli jest wiele możliwości wyboru linii to należy preferować obszary o mniejszych przesunięciach radialnych, mniejszych cieniach, ...



przebieg linii łączenia dla dużego projektu

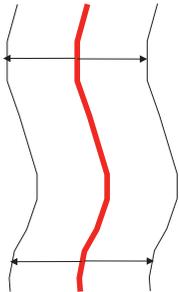


Strategie mozaikowania w aspekcie radiometrycznym

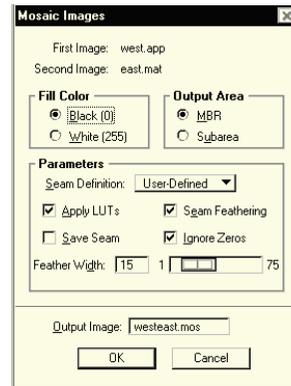
1. jedno ze zdjęć wchodzących do mozaikowania przyjmuje się jako zdjęcie bazowe – to które jest poprawne radiometrycznie, tzn. jednolite kolorystycznie, bez winietowania i dużych różnic jasności w różnych częściach zdjęcia,
2. łączenie orto-obrazów z co drugiego zdjęcia można stosować w przypadku kiedy pozwala na to jakość radiometryczna i geometryczna oraz treść zdjęć
3. Jeśli orto-obrazy są zbliżone radiometrycznie (barwa, kontrast) to wyrównanie radiometryczne ogranicza się do strefy buforowej wzdłuż linii łączenia
4. Jeśli orto-obrazy różnią się radiometrycznie wówczas korekcji podlegają całe orto-obrazy



Dopasowanie radiometryczne na linii łączenia (*seam feathering*)



strefa dopasowania radiometrycznego łączonych obrazów



Matematyczny model korekcji radiometrycznej orto-obrazów

$$f'(x, y) = a f(x, y)^\gamma + b$$

gdzie:

$f(x, y)$ – jasność piksela (x, y) przed korekcją (odpowiednio dla kanału R,G,B),

$f'(x, y)$ – jasność piksela (x, y) po korekcji (odpowiednio dla kanału R,G,B),

a, b – współczynniki modelu wyznaczone na podstawie pikseli referencyjnych,

γ – przyjęty a priori wykładnik potęgi

Piksel referencyjny – piksel w którym określono jasność R,G,B na obu orto-obrazach



Linia mozaikowania na tle nakładających się orto-obrazów