



Podstawy ortorektyfikacji

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

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:

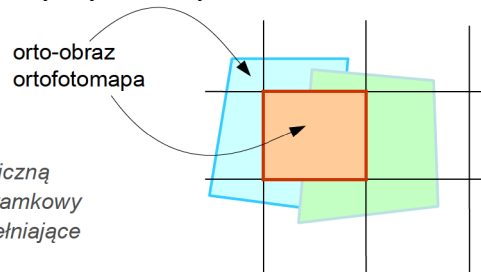
- model geometrii obrazu
- rzeźba terenu

Podstawowe definicje



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

Ortofotomapa jest mapą opracowaną na podstawie ortoobrazu lub ortoobrazów, 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 ...

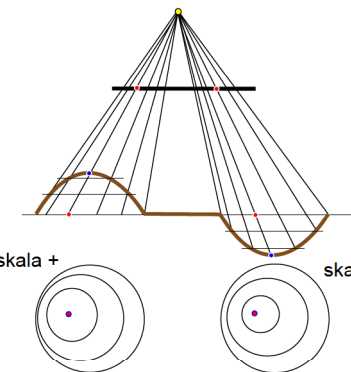
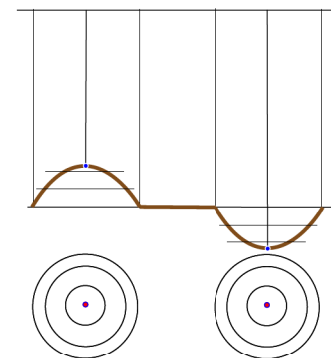
Ortofotoplan ...

Model geometrii zdjęcia jako przyczyna zniekształceń kartometrycznych



Rzut ortogonalny

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



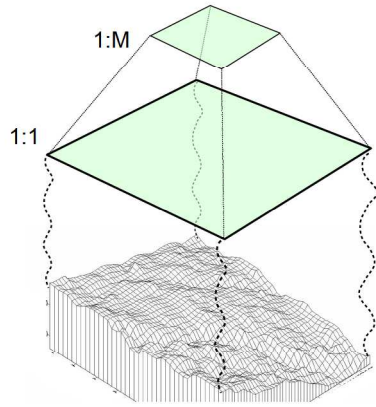
Model geometrii ortofotomapy

Model geometrii zdjęcia (typowa kamera kadrowa)



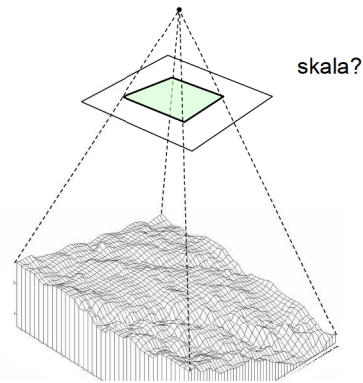
Rzut ortogonalny

w takim rzucie powstają mapy?



Rzut środkowy

w takim rzucie powstają zdjęcia (kamera kadrowa)



Mapy powstają w odwzorowaniach które wprowadzają zniekształcenia

Podstawowe definicje

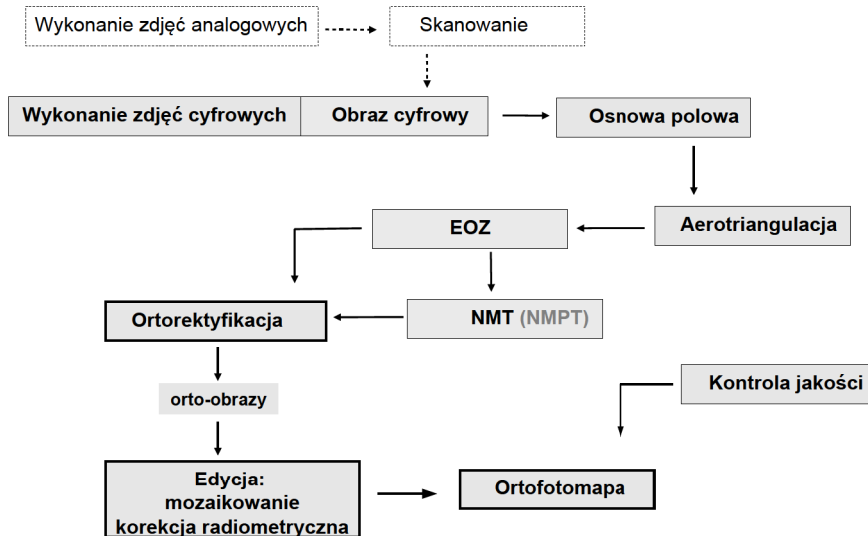


Ortofotomapa powstaje w określonym odwzorowaniu kartograficznym, zatem: ortorektyfikacja polega na usunięciu zniekształceń obrazów źródłowych w stosunku do obrazu docelowego przedstawionego w odwzorowaniu kartograficznym (a nie w rzucie ortogonalnym)

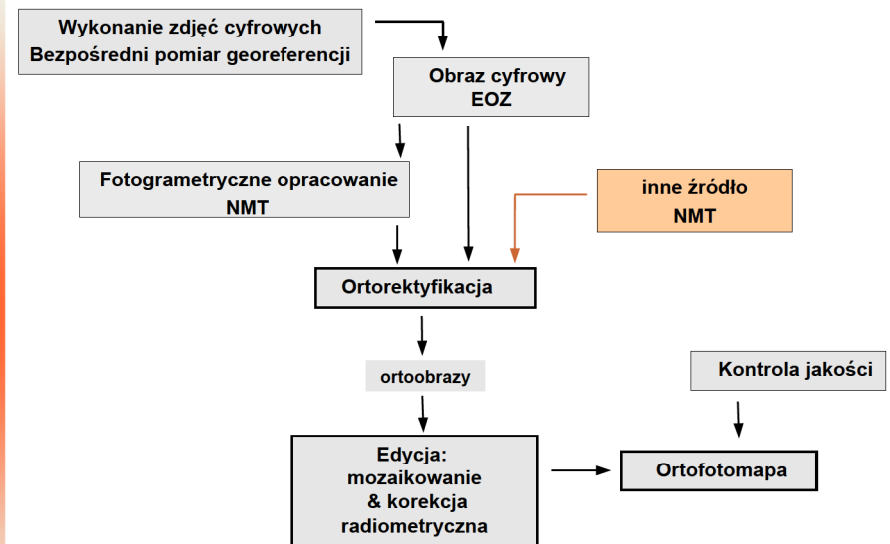
Jeśli przed ortorektyfikacją została wykonana aerotriangulacja w określonym układzie współrzędnych płaskich prostokątnych (a tak jest najczęściej), wówczas ortorektyfikacja pośrednio usuwa też inne zniekształcenia (de facto jest to wprowadzenie sztucznych deformacji „kartograficznych”, wyjątek - refrakcja):

- kulistości Ziemi
- poprawek odwzorowawczych
- refrakcji atmosferycznej

Ortofotomapa - etapy klasycznego procesu technologicznego



Ortofotomapa – etapy nowoczesnego procesu technologicznego



Modele geometryczne ortorektyfikacji



Model ortorektyfikacji 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)

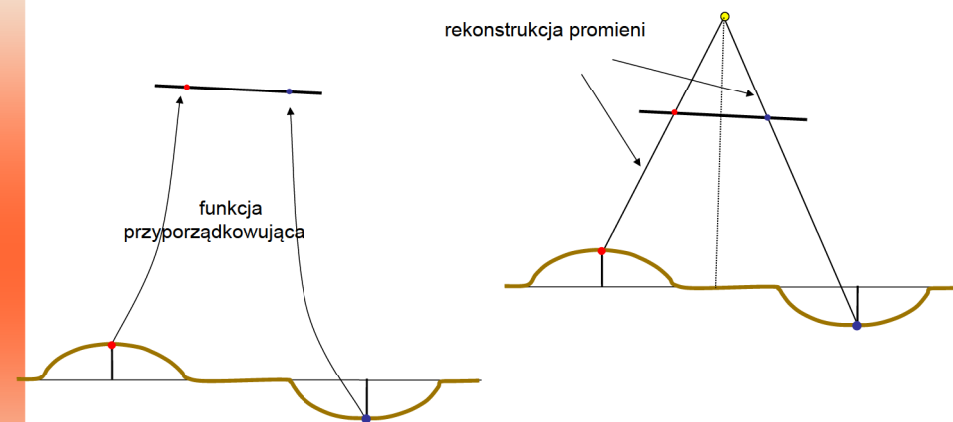
Stosowany jest głównie dla obrazów formowanych w rzucie środkowo-równoległym

O modelach – osobny wykład w sem.1

Modele geometryczne ortorektyfikacji



parametryczny



nieparametryczny

Dane do ortorektyfikacji



Do przeprowadzenia ortorektyfikacji 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 ortorektyfikacji 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.

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)

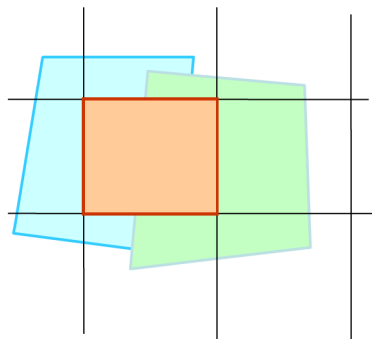
Terminologia

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

mozaikowanie - łączenie ortoobrazów, uzyskanych z ortorektyfikacji 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 podstawy orto

13

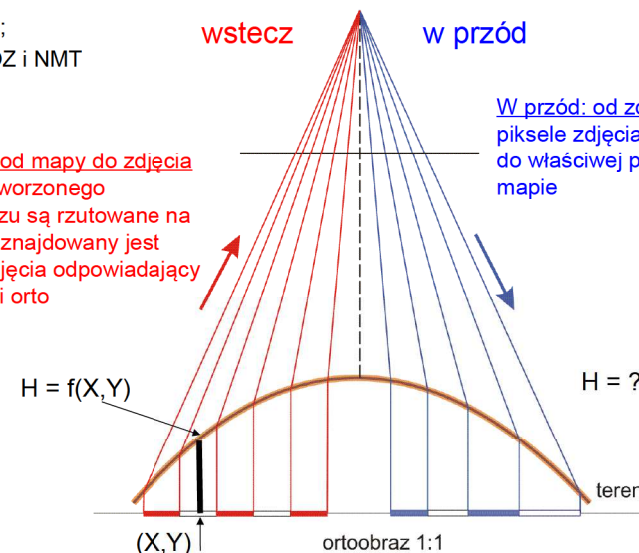
Strategie ortorektyfikacji

Założenie;
znane EOZ i NMT

wstecz w przód

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

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



Kpyka

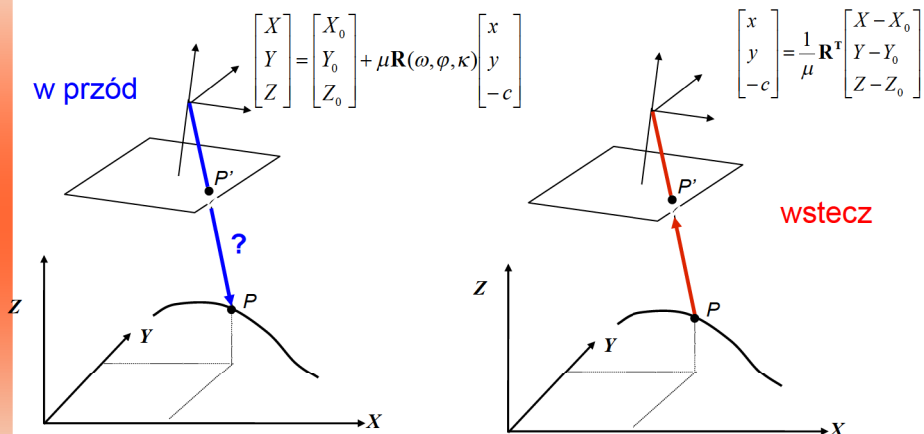
CFL-2 podstawy orto

14

Strategie ortorektyfikacji

a) przecięcie promienia wyprowadzonego ze zdjęcia z terenem

b) przecięcie promienia wyprowadzonego od terenu ze zdjęciem



Kpyka

CFL-2 podstawy orto

15

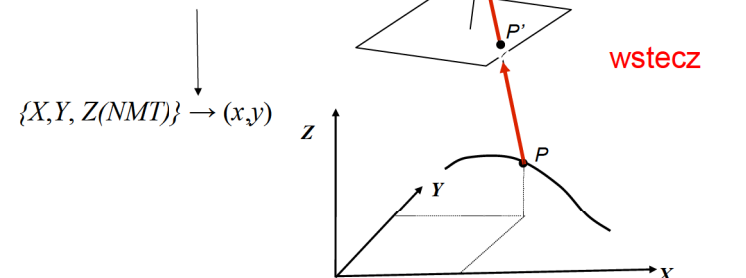
Strategie ortorektyfikacji

b) przecięcie promienia wyprowadzonego od terenu ze zdjęciem

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

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

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



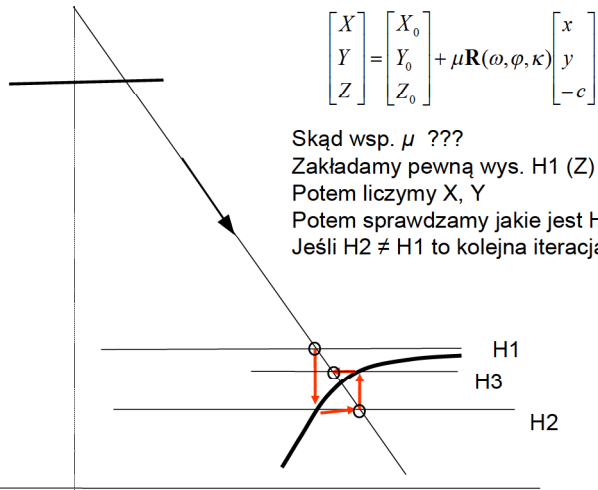
Kpyka

CFL-2 podstawy orto

16



Problem strategii w przód – wyznaczenie przecięcia promienia z NMT



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

Kpyka

CFL-2 podstawy orto

17



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

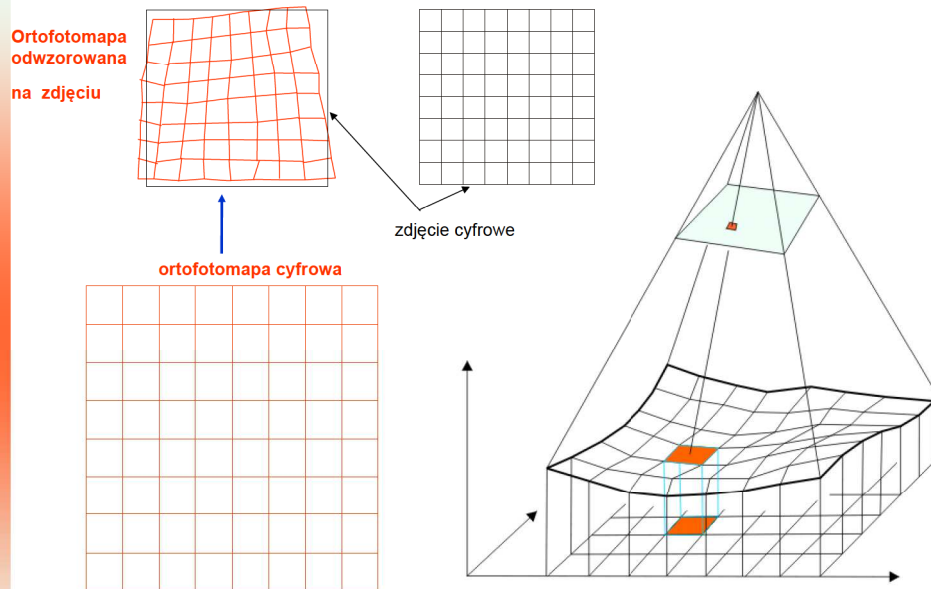
Kpyka

CFL-2 podstawy orto

18



Powtórne próbkowanie jako element ortorektyfikacji



Kpyka

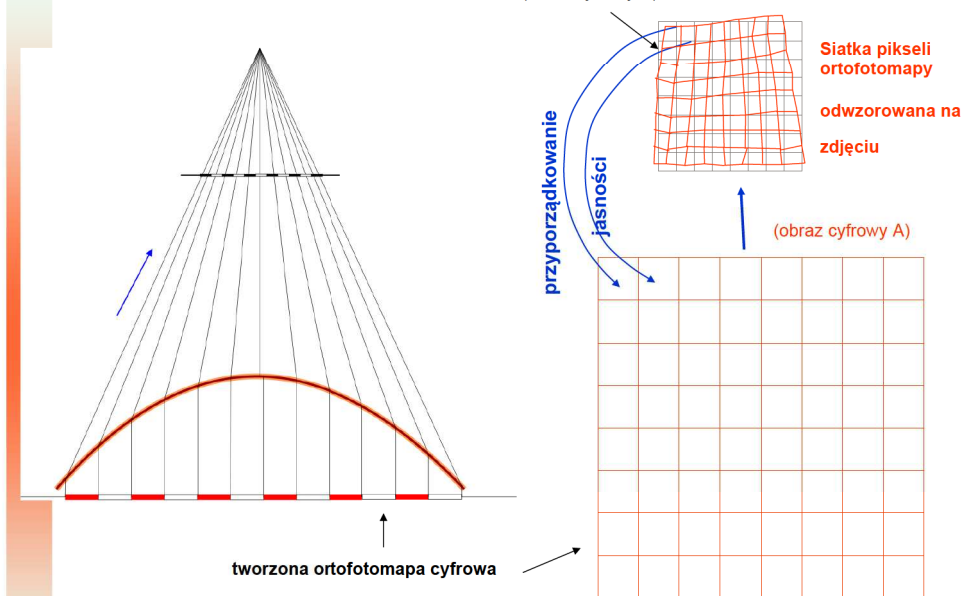
CFL-2 podstawy orto

19



ortorektyfikacja

zdjęcie cyfrowe
(obraz cyfrowy B)

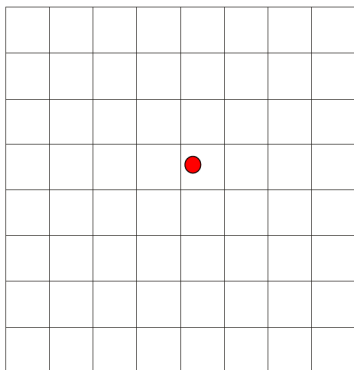


Kpyka

CFL-2 podstawy orto

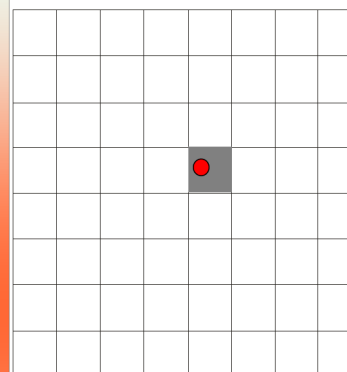
20

Metody powtórznego próbkowania

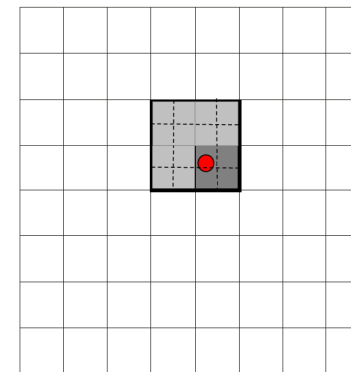


1. najbliższego sąsiada – pobierana jest jasność tego piksela który leży najbliżej obliczonej pozycji x,y (X,Y)
2. Interpolacyjne – interpolacja jasności z określonego otoczenia obliczonej pozycji x,y (X,Y)
 - interpolacja dwuliniowa (biliniowa, bilinear)
 - interpolacja dwukubiczna (bikubiczna, cubic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

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

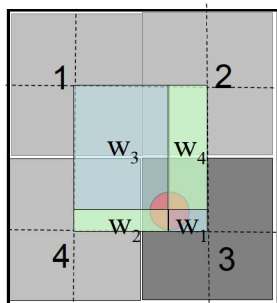


1. najbliższego sąsiada – pobierana jest jasność tego piksela który leży najbliżej obliczonej pozycji x,y (X,Y)



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)

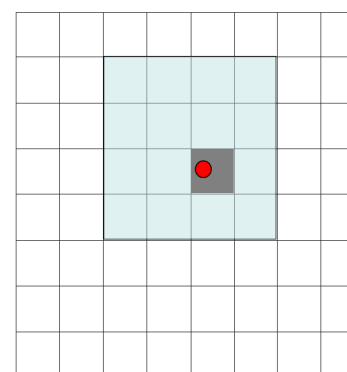
Metody powtórznego próbkowania



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)

$$g = \frac{\sum_{i=1}^4 w_i g_i}{\sum_{i=1}^4 w_i}$$

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)

$$g = \sum_{i=1}^{16} w_i g_i \quad w_i = f_3(d)$$

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

Łączenie (mozaikowanie) ortofotobrazów

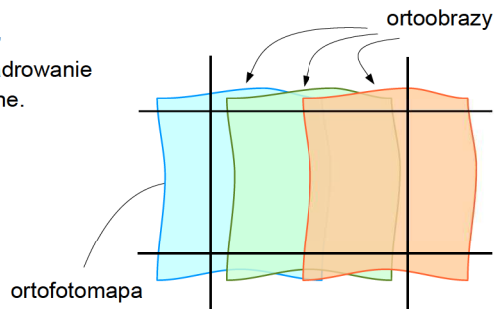


Ortofotomapa jest wykonana w przyjętym kroju arkuszowym (w określonym układzie współrzędnych płaskich prostokątnych).

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,
- sklejanie orto-obrazów, kadrowanie
- wyrównanie radiometryczne.

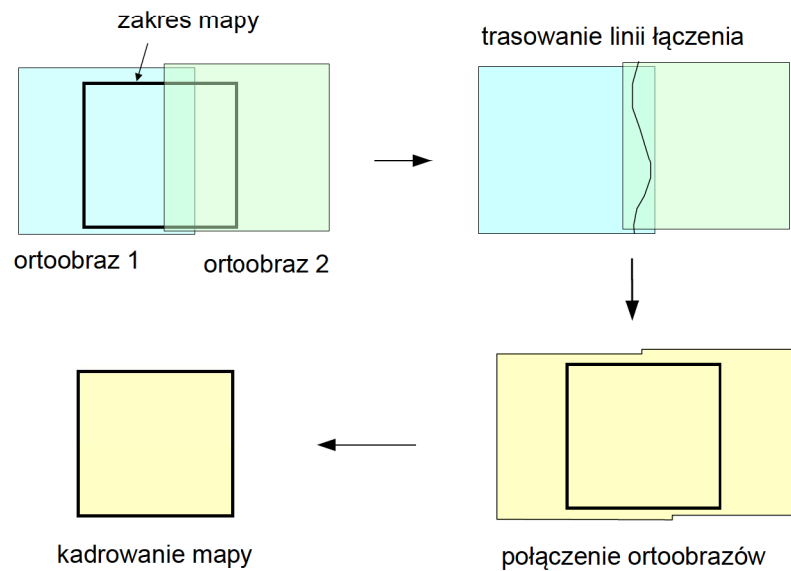


Kpyka

CFL-2 podstawy orto

25

Przebieg mozaikowania



Kpyka

CFL-2 podstawy orto

26

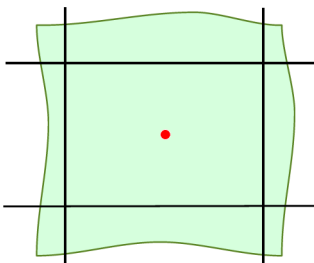
Mozaikowanie ortofobrazów



NIE jest konieczne gdy:

ortofobraz pokrywa cały obszar opracowywanego arkusza,

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



Kpyka

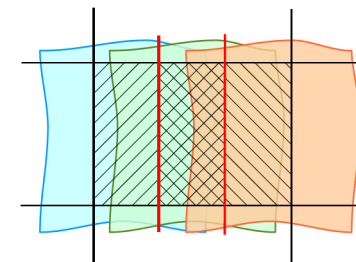
CFL-2 podstawy orto

27

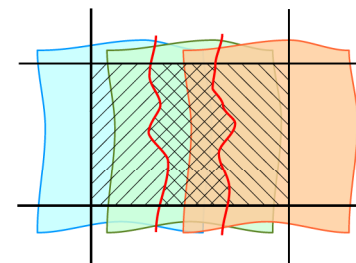
Mozaikowanie orto-obrazów



Nominalnie linia mozaikowania powinna przebiegać symetrycznie przez obszary pokrycia ortofobrazów



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



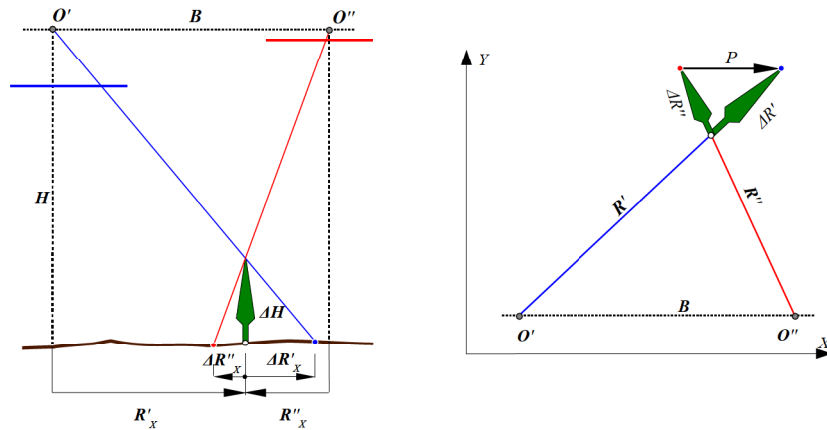
Kpyka

CFL-2 podstawy orto

28

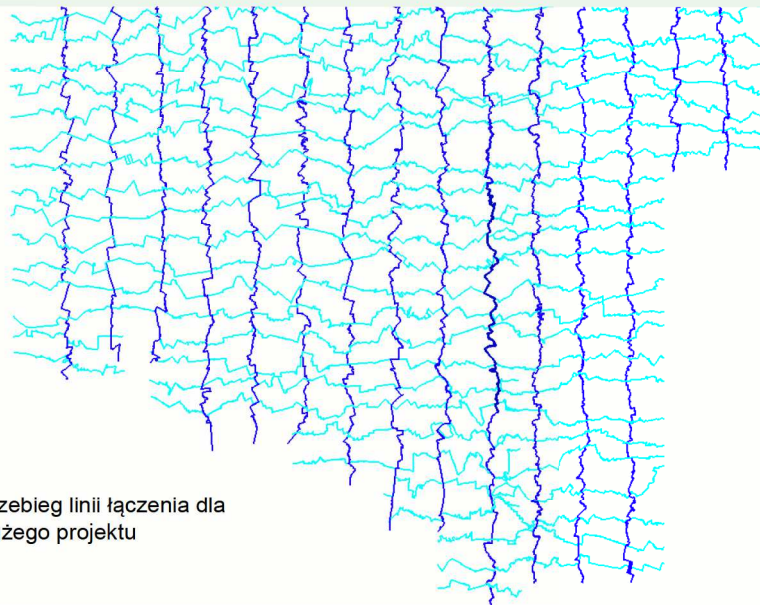


Wskutek nieskorygowanego położenia obiektów „wysokich” występuje paralaksa podłużna pomiędzy ortoobrazami. Linia mozaikowania nie może przecinać miejsc z paralaksą (przesunięciem obrazów tożsamych obiektów)



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

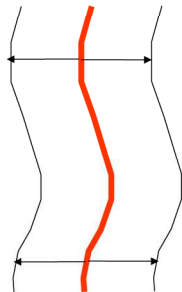


Strategie mozaikowania w aspekcie radiometrycznym

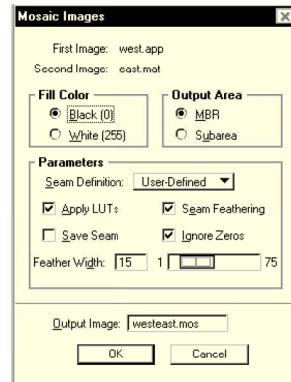
1. jedno ze zdjęć wchodzących do mozaikowania przyjmuje się jako zdjęcie bazowe – to które jest poprawne radiometrycznie, tzn. jednolite kolorystycznie, bez winietowania i dużych różnic jasności w różnych częściach zdjęcia,
2. łączenie ortoobrazów z co drugiego zdjęcia można stosować w przypadku kiedy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



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 ortobrazach



Linia mozaikowania na tle nakładających się ortobrazów



1916 Horn – patent na przetwarzanie różniczkowe

1933 Ferber – pierwszy ortofotoskop

1953 Bean – konstrukcja ortofotoskopu o walorach produkcyjnych

≈ 1990 – koniec ortofotomapy analogowej, początek cyfrowej

1992 USGS – Standards for Digital Orthophotos. First Release

≈ 2000 – pierwsze portale internetowe serwujące orto

≈ 2003 – początek cyklicznego programu wykonywania orto w Polsce

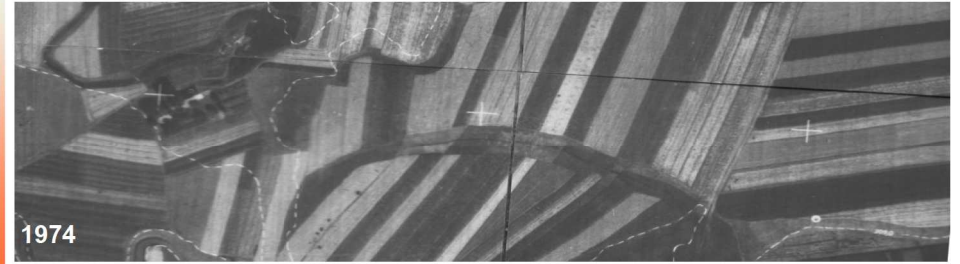
...użytkownik nie rozróżnia orto od zdjęcia...

...ortofotomapa ↑, mapa topograficzna ↓ ...



Prawdopodobnie pierwsza
ortofotomapa wykonana
w Polsce (1972)

AKADEMIA GOSPODARSTWA ROLNICZEGO I LEŚNICTWA
WYDZIAŁ GOSPODARSTWA ROLNICZEGO I LEŚNICTWA
KATEDRA FOTOGRAFII I FOTOGRAFII
ORTOFOTOMAPA
1:2000
KRYKA
CZĘŚĆ 1 (KRYKA)



1974



2010

Kryka

CFL-2 podstawy orto