Prawdziwa ortofotomapa

- klasyczna a prawdziwa ortofotomapa
- minimalizacja przesunięć obiektów wystających i martwych pól na klasycznej ortofotomapie
- wpływ rodzaju modelu na wynik ortorektyfikacji budynków
- strategie opracowania true ortho
- wady true ortho
- orto ze zdjęć ukośnych

Klasyczna i prawdziwa (*true*) ortofotomapa

Ortofotomapa klasyczna – mapa fotograficzna na której obrazy obiektów tworzących powierzchnię terenu są zrektyfikowane do położenia ortogonalnego (tereny odkryte, drogi, wody)

True ortho (... orthophoto, ...orthophotomap) - prawdziwa ortofotomapa - jest to mapa fotograficzna na której obrazy obiektów leżących na terenie jak i wystających ponad teren są zrektyfikowane do położenia ortogonalnego.

Klasyczna ortofotomapa jest wystarczająca dla terenów niezurbanizowanych lub w obszarach o niskiej zabudowie. W miastach, zwłaszcza w dużych skalach, wiele obszarów jest zakrytych przez „leżące" budynki

Prawdziwa ortofotomapa jest pozbawiona tych wad ale jej opracowanie jest bardziej pracochłonne a przez to droższe.

Rozwiązaniem kompromisowym jest wykonywanie klasycznej ortofotomapy ale z minimalizacją przesunięć radialnych obiektów wystających ponad teren.

Minimalizacja przesunięć obiektów wystających na klasycznej ortofotomapie

- wykonanie lotu z większej wysokości
- zastosowanie stożka kamery o dłuższej ogniskowej,
- zwiększenie pokrycia podłużnego i poprzecznego i do opracowania stosowanie tylko centralnych fragmentów zdjęć.

c=300 mm, W= 1500 m

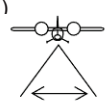
c=150 mm, W= 750 m

Morten Nielsen, 2004: True orthophoto generation

Kamery cyfrowe z wymiennymi obiektywami

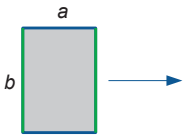
UltraCam Eagle Mark 3 (od 2017)

Pixel = 4um
Matryca 450 Mpix
f = 80, 100, 120 , 210 mm



PAN image size	26,460 x 17,004 pixels
PAN physical pixel size	4.0 µm
Color capability (multi-spectral)	4 channels - R, G, B & NIR
Color image size	8,820 x 5,668 pixels
Color physical pixel size	4.0 µm
Pansharpen ratio	1 : 3
Imaging sensor	CCD
Shutter (longlife central leaf)	1/1000 to 1/64
Forward-motion compensation (FMC)	TDI controlled
Maximum FMC capacity	50 pixels
Frame rate (minimum inter-image interval)	1 frame per 1.5 seconds
Dynamic range	> 72 db
Analog-to-digital-conversion at	14 bits

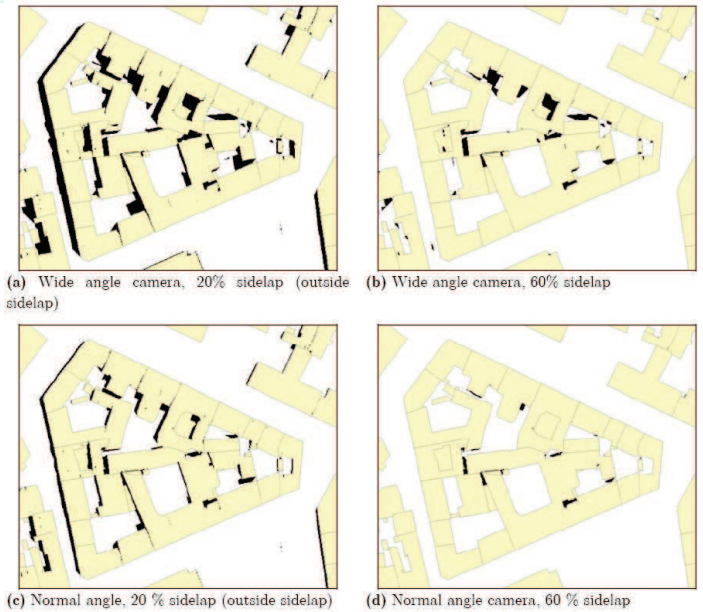
a=17004*0.004 mm=68.0 mm
b=26460*0.004 mm=105.8 mm



http://www.vexcel-imaging.com/wp-content/uploads/2018/06/1708_UC_Eagle_M3_en.pdf

Minimalizacja martwych pól – zwiększenie pokrycia poprzecznego i podłużnego

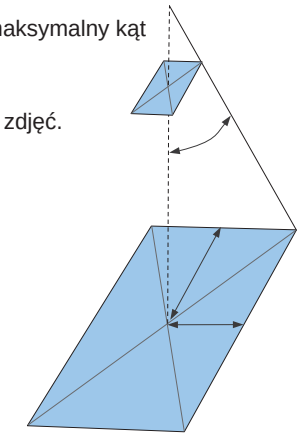
Pola martwe w zależności od c, W i pokrycia poprzecznego



Klasyczne orto dla miast

Warunek maksymalnego kąta kładu obiektów wystających: maksymalny kąt pionowy do narożnika obszaru wchodzącego do orto ≤ 20°

Na tej podstawie oblicza się pokrycie podłużne i poprzeczne zdjęć.



Trzeba uwzględnić parametry wybranej/dostępnej kamery: ogniskowa, piksel matrycy, kadr zdjęcia

Na podstawie w/w danych obliczyć wysokość W nad terenem.

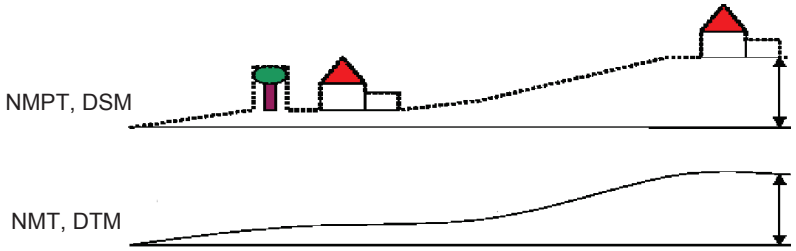
Prostokątny kształt kadru powoduje, że na wielkość kąta α decydujący wpływ ma pokrycie poprzeczne.

Zakłada się podłużne p=60%, co determinuje bazę podłużną.

Trzeba wyliczyć bazę poprzeczną tak aby był spełniony warunek dla kąta α.

Baza poprzeczna determinuje pokrycie poprzeczne.

Wpływ rodzaju modelu na wynik ortorektyfikacji

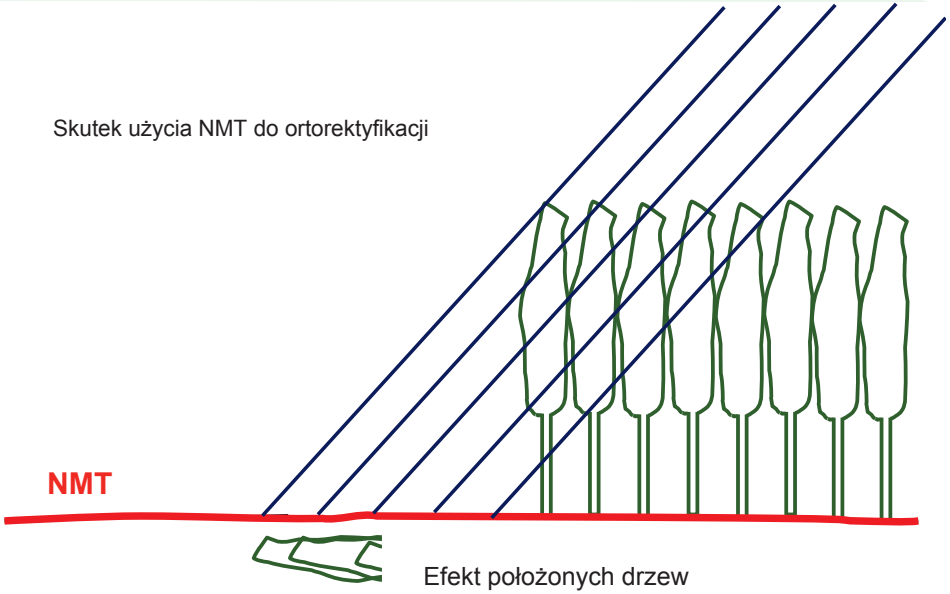


Jeśli użyjemy klasycznej metody opracowania ortofotmapy ale z modelem DSM (zamiast DTM) to w miejscach niewidocznych (zasłoniętych) powstają artefakty .

Przykłady na slajdach 8-16 dotyczą sytuacji gdy oprogramowanie nie analizuje z którego zdjęcia należy przetworzyć określony fragment terenu.

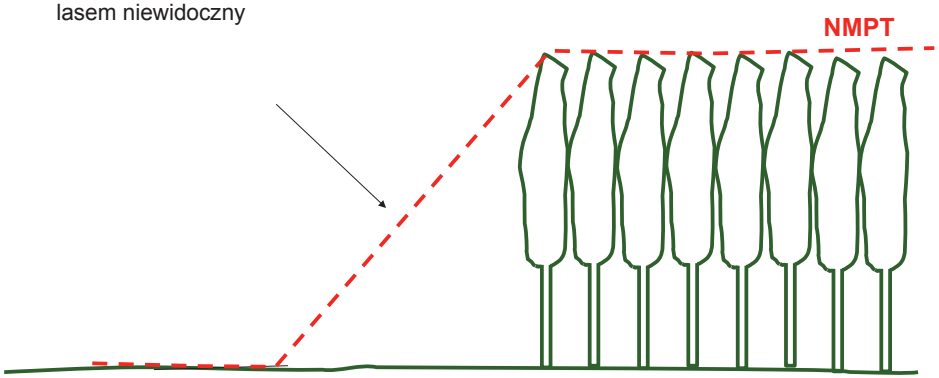
Wpływ rodzaju modelu na wynik ortorektyfikacji

Skutek użycia NMT do ortorektyfikacji



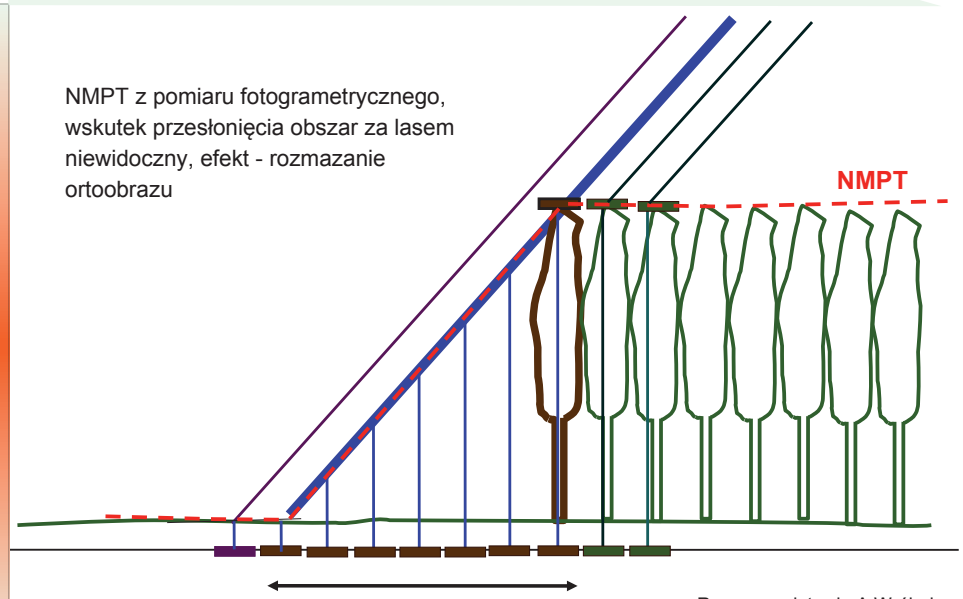
Wpływ rodzaju modelu na wynik ortorektyfikacji

NMPT z pomiaru fotogrametrycznego, wskutek przesłonięcia obszar za lasem niewidoczny



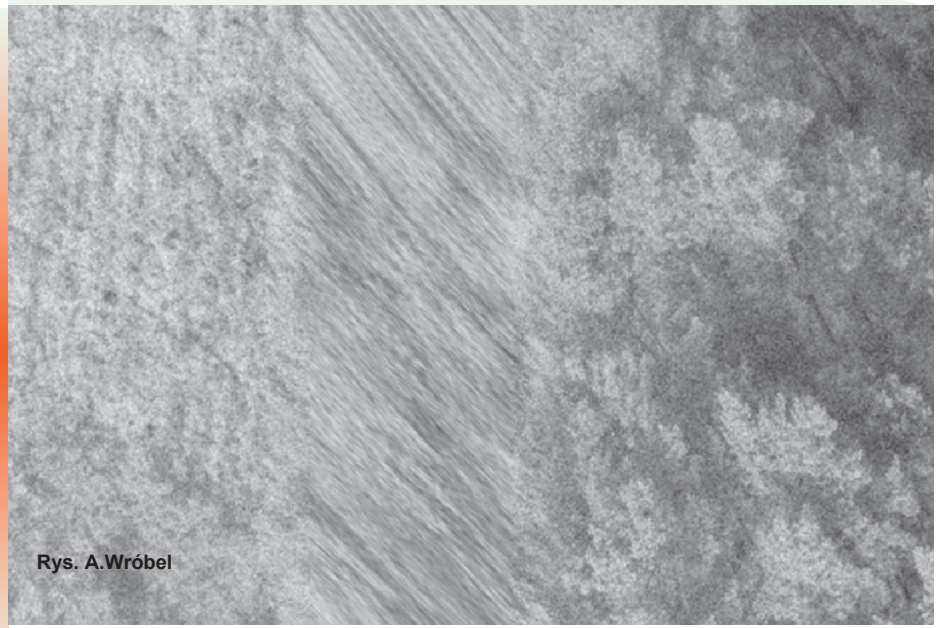
Wpływ rodzaju modelu na wynik ortorektyfikacji

NMPT z pomiaru fotogrametrycznego, wskutek przesłonięcia obszar za lasem niewidoczny, efekt - rozmazanie ortoobrazu



Rys. na podstawie A.Wróbel

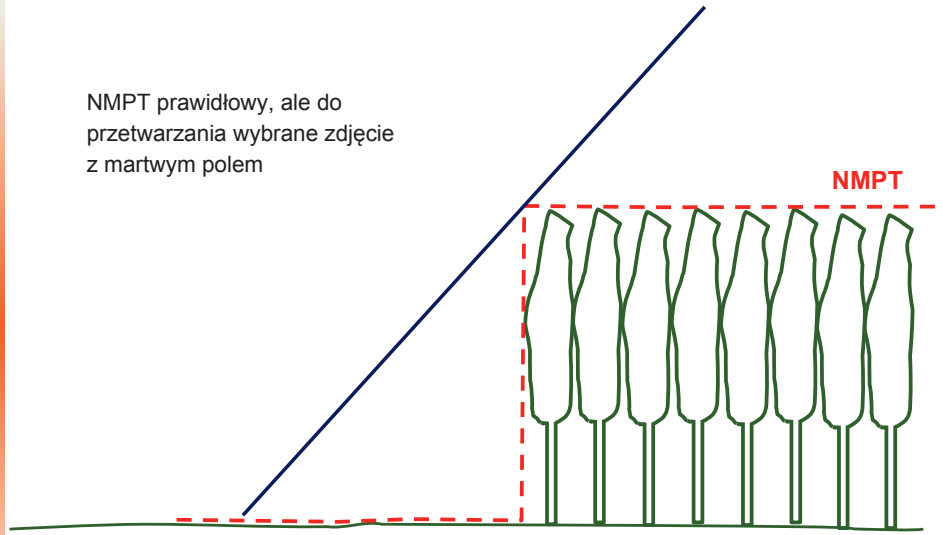
Wpływ rodzaju modelu – „NMPT foto” - rozmazanie



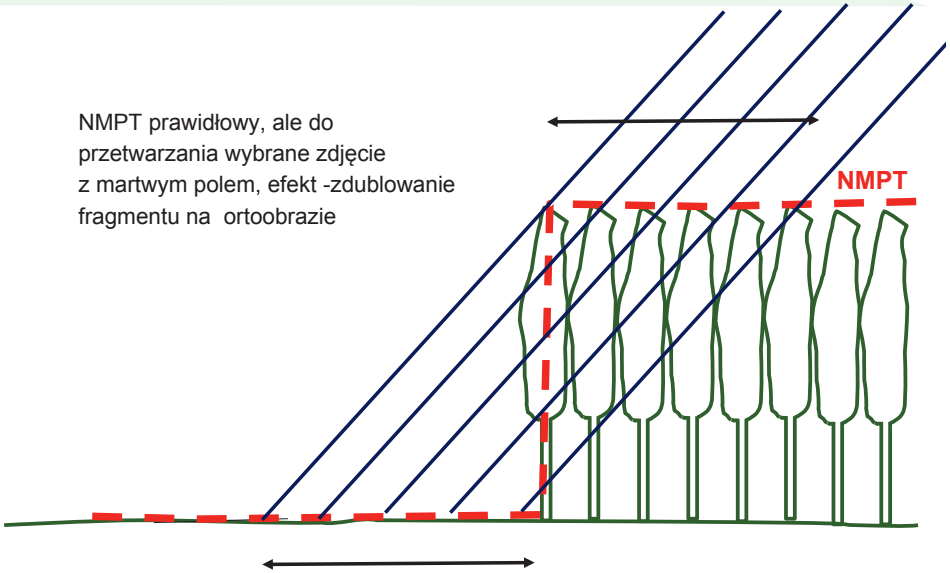
Rys. A.Wróbel

Wpływ rodzaju modelu na wynik ortorektyfikacji

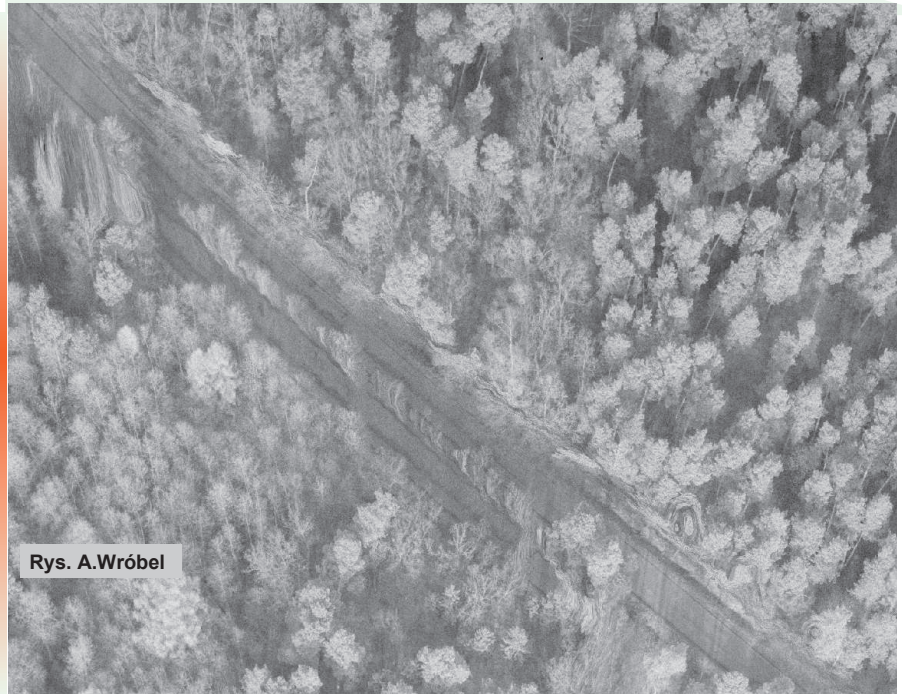
NMPT prawidłowy, ale do przetwarzania wybrane zdjęcie z martwym polem



Wpływ rodzaju modelu na wynik ortorektyfikacji

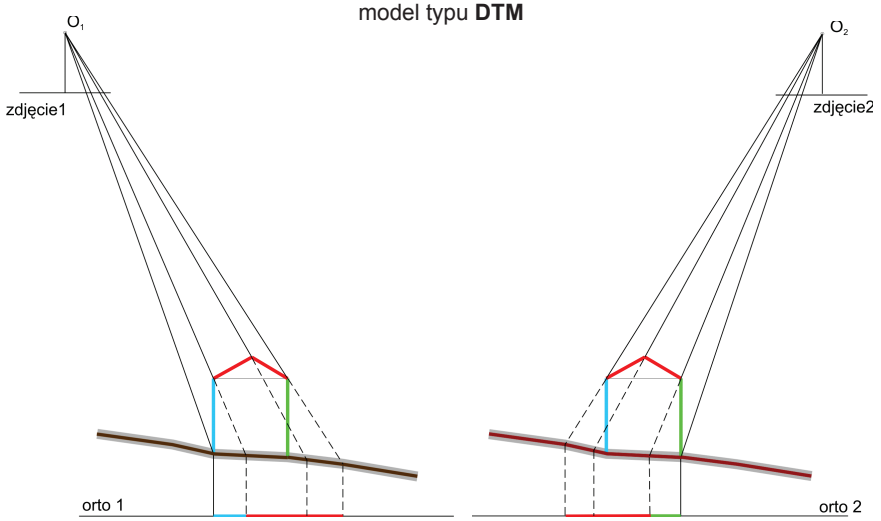


Wpływ rodzaju modelu – NMPT - zdublowanie



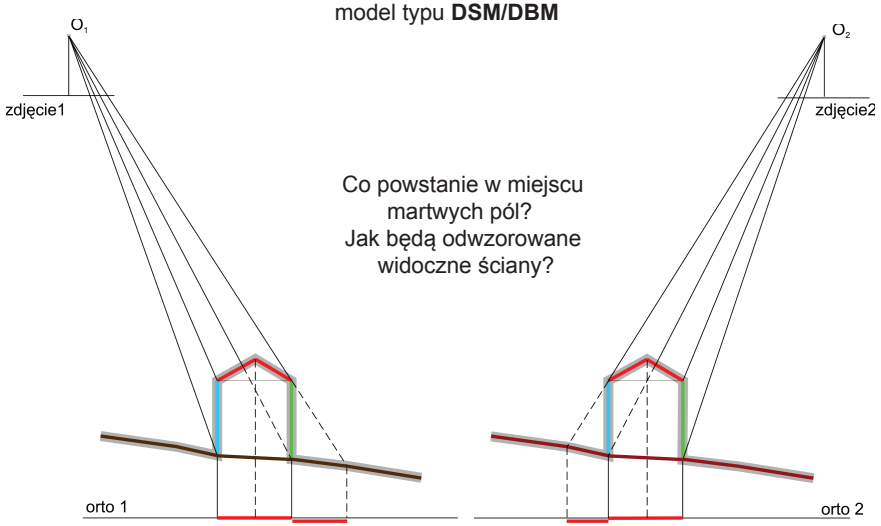
Wpływ rodzaju modelu na wynik ortorektyfikacji budynków

Klasyczna ortorektyfikacja
model typu **DTM**



Wpływ rodzaju modelu na wynik ortorektyfikacji budynków

Klasyczna ortorektyfikacja
model typu **DSM/DBM**



Ortorektyfikacja prawdziwa (true)

Zastąpienie modelu typu NMT przez NMPT nie rozwiązuje problemu uzyskania true ortho - w miejscach przesłoniętych powstają artefakty.

Trzeba zidentyfikować miejsca które nie odfotografowały się na danym zdjęciu (ortobrazie) i znaleźć zdjęcie na którym miejsce jest widoczne. Następstwem jest uzupełnienia małych fragmentów z innych ortoobrazów.

Takie postępowanie wymaga:
- DSM o b. wysokiej rozdzielczości powstałego z gęstej chmury punktów.
  lub
- modelu wektorowego obiektów wystających

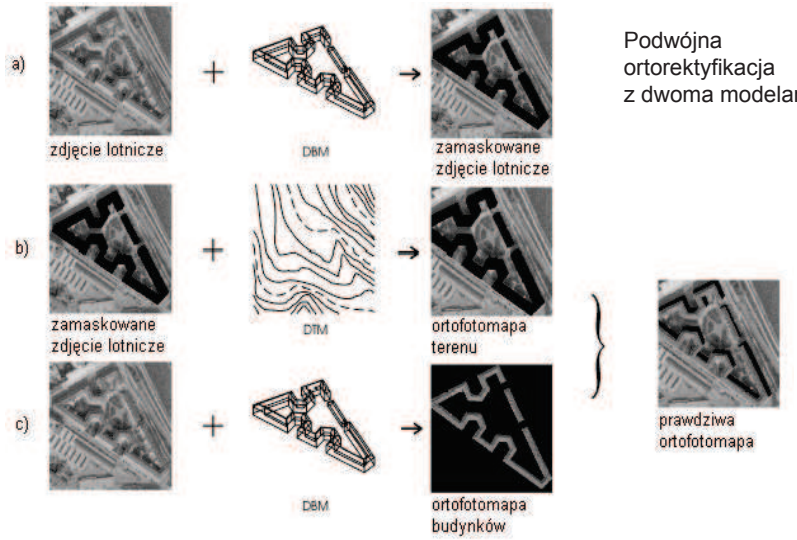
Uproszczona metoda opracowania true orto

Podwójna ortorektyfikacja z dwoma modelami

- pierwsza ortorektyfikacja - same budynki, model DBM (wektorowy, zawierający tylko budynki), obszary poza budynkami nie są przetwarzane, wszystkie piksele zdjęcia które brały udział w procesie tworzą maskę dla drugiej ortorektyfikacji (maska-obraz roboczy o rozmiarach zdjęcia, zawiera piksele wykorzystane na tym etapie)
- druga ortorektyfikacja - model DTM, piksele zdjęcia leżące wewnątrz są wyłączone z przetwarzania („za budynkami" powstaje martwe pole)
- nałożenie obu ortobrazów

Metoda może być stosowana dla terenów o rzadkiej, pojedynczej, niewysokiej zabudowie (budynki nie przesłaniają się wzajemnie)

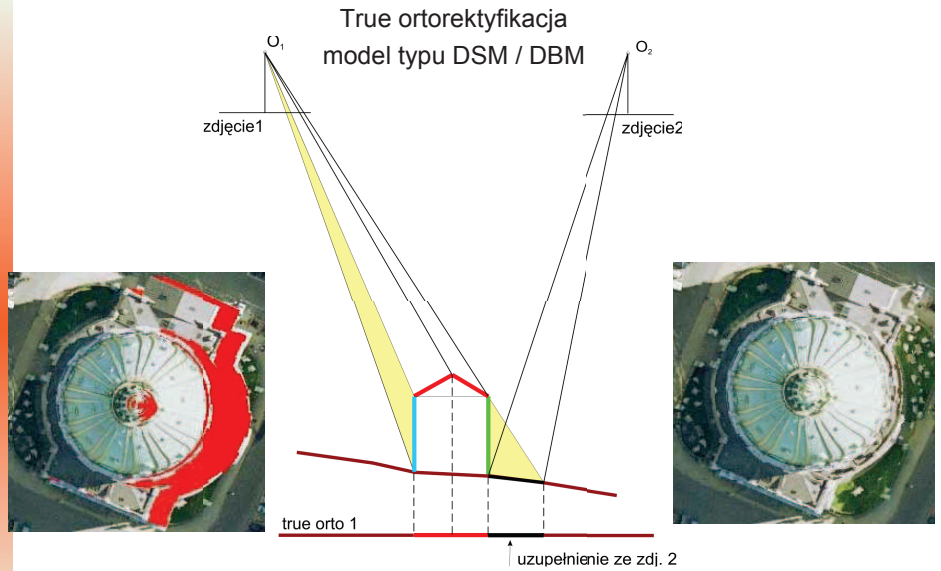
Podwójna ortorektyfikacja z dwoma modelami



Podwójna ortorektyfikacja z dwoma modelami

na podstawie Amhar i inni,1998.

Zaawansowane metody opracowania true orto



Zaawansowane opracowanie true ortho wymaga :

- wykrywania martwych pól na ortobrazach
- wypełniania tych pól teksturą z innego ortoobrazu (innych ortoobrazów)

Wykrywanie martwych pól metodą Z-bufora

a. **Z-bufor prosty**, model DSM lub wektorowy (DBM)

b. **Z-bufor złożony**, model wektorowy (DBM)

Z-bufor to tablica pikseli o wymiarach identycznych jak zdjęcie, w której wartościami pikseli są odległości środka rzutów do punktów DSM wzdłuż promieni rzutowania;

Na początku procesu wszystkie piksele mają jedną wartość inicjalną (np. 100000), która, jeśli się nie zmieni w trakcie generowania to będzie oznaczała martwe pole

a. Z-bufor prosty

- Ortorektyfikacja (wstecz) poprzedzona jest wygenerowaniem Z-bufora na podstawie DSM i EOZ,
- dla każdego piksela obrazu wynikowego o wsp. X,Y + Z (z DSM) są obliczane (z krokiem PX):

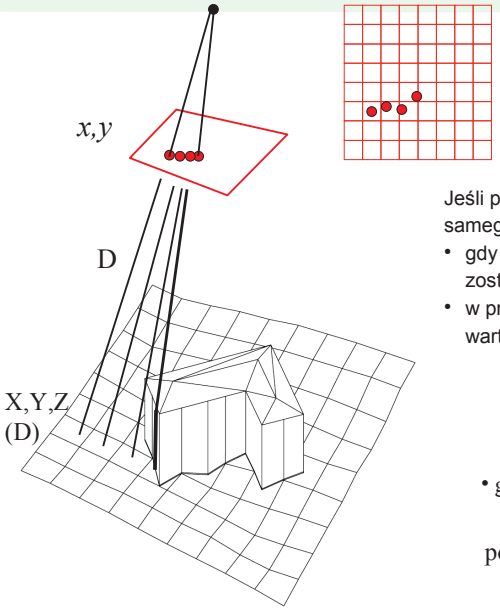
odległość do środka rzutów zdjęcia: $D_i = \sqrt{(X_i - X_O)^2 + (Y_i - Y_O)^2 + (Z_i - Z_O)^2}$

wsp. x,y na zdjęciu:

$$x_i = -c\frac{r_{11}(X_i - X_O) + r_{21}(Y_i - Y_O) + r_{31}(Z_i - Z_O)}{r_{13}(X_i - X_O) + r_{23}(Y_i - Y_O) + r_{33}(Z_i - Z_O)}$$

$$y_i = -c\frac{r_{12}(X_i - X_O) + r_{22}(Y_i - Y_O) + r_{32}(Z_i - Z_O)}{r_{13}(X_i - X_O) + r_{23}(Y_i - Y_O) + r_{33}(Z_i - Z_O)}$$

a. Z-bufor prosty



Na drodze resamplingu on-line (metodą najbliższego sąsiada) tablica Z-bufor jest wypełniana wartościami D, obliczanymi dla każdego piksela

Jeśli po raz drugi nastąpi próba wpisania D do tego samego piksela to:

- gdy nowe D jest mniejsze od już wpisanego – zostanie wpisane mniejsze
- w przeciwnym wypadku pozostanie poprzednia wartość

ortorektyfikacja:

(X,Y,Z) → (x,y) → (r,c)

- gdy D > Z(r,c) – pole martwe
- gdy D = Z(r,c) – pobranie jasności

powstaje maska martwego pola

b. Z-bufor złożony (ZI-bufor)

Metoda wymaga wektorowego modelu budynków (DBM)

- Ortorektyfikacja (wstecz) poprzedzona jest wygenerowaniem Z-bufora liczonego na podstawie DTM, DBM, EOZ
- dla każdego węzła DBM o wsp. X,Y,Z oraz dla siatki DTM (X,Y + Z) są obliczane:

odległość do środka rzutów zdjęcia: $D_i = \sqrt{(X_i - X_O)^2 + (Y_i - Y_O)^2 + (Z_i - Z_O)^2}$

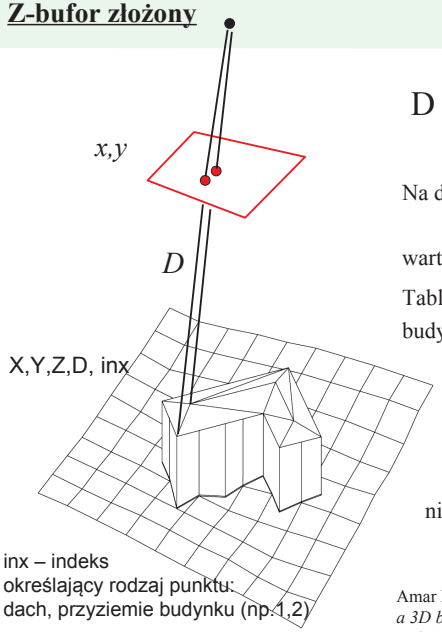
wsp. x,y na zdjęciu:

$$x_i = -c\frac{r_{11}(X_i - X_O) + r_{21}(Y_i - Y_O) + r_{31}(Z_i - Z_O)}{r_{13}(X_i - X_O) + r_{23}(Y_i - Y_O) + r_{33}(Z_i - Z_O)}$$

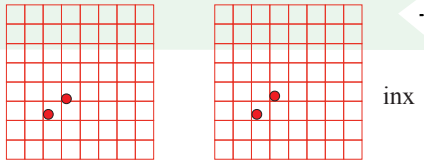
$$y_i = -c\frac{r_{12}(X_i - X_O) + r_{22}(Y_i - Y_O) + r_{32}(Z_i - Z_O)}{r_{13}(X_i - X_O) + r_{23}(Y_i - Y_O) + r_{33}(Z_i - Z_O)}$$

oraz są przechowywane indeksy odróżniające punkty (piksele) z DBM i DTM

b. Z-bufor złożony



inx – indeks określający rodzaj punktu: dach, przyziemie budynku (np.1,2)



Na drodze resamplingu powstają dwie tablice:
Z-bufor i tablica indeksów
wartości pikseli → D wartości pikseli → inx

Tablice wpierw wypełnione są „wyspowo" (tam gdzie są budynki), potem uzupełnione o punkty terenu (siatka)

ortorektyfikacja:
(X,Y,Z) → (x,y) → (r,c)
gdy D > Z(r,c) – pole martwe
gdy D = Z(r,c) – pobranie jasności
nie ma interpolacji pomiędzy pixelami należącymi do obiektów różnego typu – decyduje inx

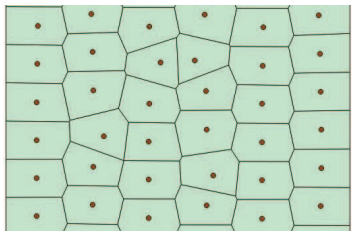
Amar F, Jansa J., Rias C. 1998: *The generation of true orthophotos using a 3D building model in conjunction with a conventional DTM*. ISPRS, Vol. 32, Part 4 "GIS-Between Visions and Applications", Stuttgart

Strategia opracowania true orto z wykorzystaniem Z-bufora prostego

- gęstość DSM powinna być na poziomie piksela tworzonej ortofotomapy
- rozciągnięcie poligonów Woronoj-a na siatce punktów złożonych ze środków rzutów (2D); poligon ogranicza powierzchnię ortoobrazu do części środkowej); boki poligonów są liniami łączenia
- wygenerowanie wszystkich ortoobrazów w granicach poligonu Woronoj-a, każdy ortoobraz ma zaznaczone martwe pola (wartości 255)
- uzupełnienie martwych pól ortoobrazu „i":
  a) sprawdzenie na których ortoobrazach sąsiednich martwe pole jest pokryte treścią
  b) jeśli jest na więcej niż jednym – pobranie treści (tekstury) z tego które leży pod mniejszym kątem względem osi kamery
  c) jeśli martwe pole nie jest pokryte w całości na żadnym z sąsiednich ortoobrazów wówczas jest uzupełniane kawałkami z kilku ortoobrazów
  d) jeśli mimo tego nie da się znaleźć tekstury – pozostanie biała plama chyba że zezwoli się na „zalewanie tych dziur poprzez interpolację
- Sklejenie ortoobrazów po arbitralnych liniach mozaikowania (punkt wyjścia poligony Woronoj-a

Wykorzystanie diagramu Woronoja

Zasada mozaikowania:
- udział ortoobrazu w mozaice wyznacza podział obszaru wg diagramu Woronoja, (tesselacji Dirichleta)
- boki poligonów są liniami mozaikowania



dla danego zbioru n punktów, dzieli się płaszczyznę na n obszarów, w taki sposób, że każdy punkt w dowolnym obszarze znajduje się bliżej określonego punktu ze zbioru n punktów, niż od pozostałych n − 1 punktów

Wady true orto (z punktu widzenia wysokiej fotogrametrii)

- wysokie koszty opracowania, główny powodem jest koszt wygenerowania gęstej chmury punktów (gdy DSM) lub modelu wektorowego (DBM)
- przy krawędziach budynków, od strony zewnętrznej, powstają artefakty (dotyczy ortorektyfikacji na DSM)
- w terenach wiejskich nie wnosi znaczących korzyści w stosunku do klasycznej ortofotomapy
- w terenach miejskich o gęstej zabudowie bardziej przydatne są modele wektorowe 3D opracowane na podstawie ALS

Model wysokościowy dla ortorektyfikacji

NMT / DTM

Zalety
- know how
- niski koszt NMT w tym możliwość wykorzystania NMT z ALS
- jakość bliska zdjęciom
- zachowanie prostoliniowych krawędzi budynków

Wady
- pracochłonny etap trasowania linii mozaikowania,
- przesunięcia radialne obiektów wystających, łamanie perspektywy
- przesłonięcia za budynkami

NMPT / DSM

Zalety
- powstaje quasi true orto
- wysoki stopień automatyzacji

Wady
- wysoki koszt NMPT
- artefakty na krawędziach budynków

DTM + DBM

Zalety
- powstaje true orto dla budynków

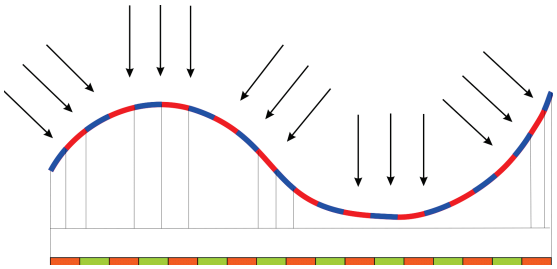
Wady
- wysoki koszt DBM – wektoryzacja stereo lub z ALS

Tomasz Nowak,
praca magisterska,
AGH, GiFT, 2006

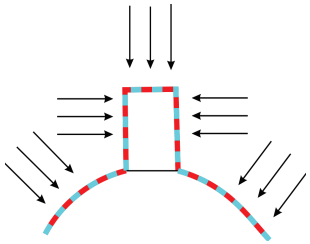
Prawdziwa ortofotomapa opracowana przy pomocy Terra Solid

Z teoretycznego punktu widzenia dla potrzeb modeli 3D z teksturą fotograficzną potrzebna jest seria rzutów ortogonalnych na płaszczyzny styczne do powierzchni (promienie wzdłuż normalnych do powierzchni).

Kierunki normalne do powierzchni



W przypadku modeli z budynkami należałoby stosować dodatkowo zdjęcia poziome.



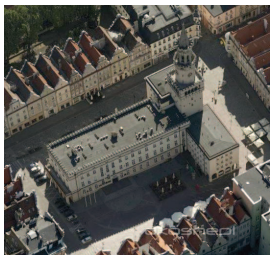
W praktyce wykonuje się zdjęcia pionowe i ukośne pod kątem 45°

Zdjęcia ukośne

Pictometry - technologia rozwijana od 2000 r. polegająca na:
- wykonywaniu zdjęć lotniczych w pięciu kierunkach: nadir + cztery wychylenia boczne,
- opracowaniu modelu 3D z teksturą fotograficzną.

Celem jest głównie atrakcyjny model 3D, dokładność na drugim miejscu (rzędu 2-3 m)

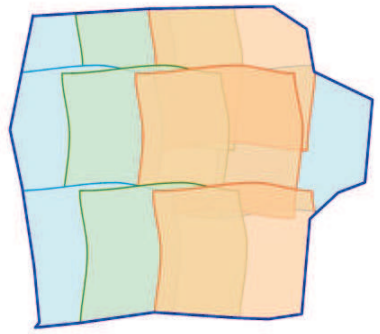
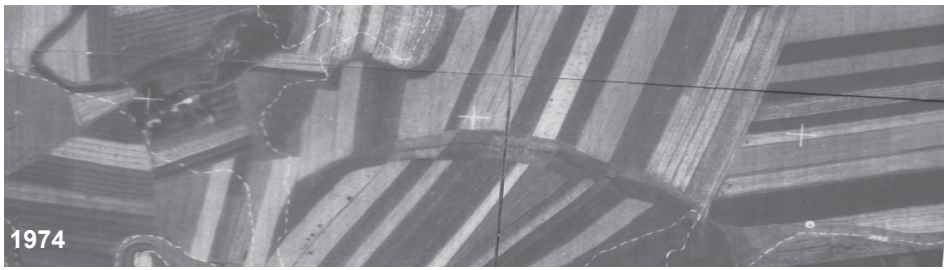
Rozwiązanie alternatywne
- wykonywanie (zamiast modelu 3D) ortomozajek, osobno ze zdjęć pionowych i ukośnych z 4 kierunków



Ortomozajki x5

Ortomozajka

Ortomozaika to połączone orto-obrazy z dowolnym kadrowaniem, wynikającym ze specyfiki projektu, np:
opracowanie pełnego obszaru administracyjnego (gmina, dzielnica)
opracowanie obszaru mapy dla celów projektowych



Prawdopodobnie pierwsza ortofotomapa wykonana w Polsce (1972)