

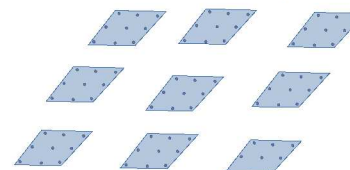
Matching w fotogrametrii

systematyka

Matching (dopasowanie) - technika automatycznego wyszukiwania punktów homologicznych pomiędzy zdjęciami

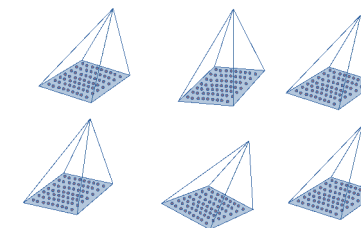
Matching stosowany jest w 2 przypadkach

Przed aerotriangulacją
EOZ nieznane lub przybliżone



Powstaje rzadka chmura punktów złożona z tie points
Sparse cloud

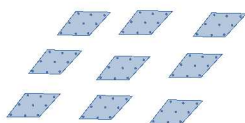
Po aerotriangulacji
EOZ znane



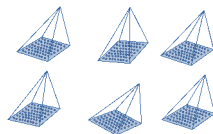
Powstaje gęsta chmura punktów złożona z punktów opisujących teren
Dense cloud

Matching stosowany jest w 2 przypadkach

Rzadkie dopasowanie



Gęste dopasowanie



ABM – dopasowanie jasności oknami

FBM – dopasowanie cechami

Feature Base Matching

Metoda: **SIFT** - Scale-Invariant

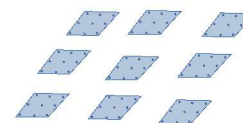
Features Transform

SGM – „prawie”globalne dopasowanie jasności

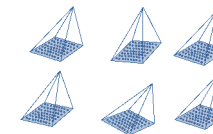
Semi Global Matching

Matching stosowany jest w 2 przypadkach

Rzadkie dopasowanie



Gęste dopasowanie



ABM – dopasowanie jasności oknami

FBM – dopasowanie cechami

Feature Base Matching

Metoda: **SIFT** - Scale-Invariant

Features Transform

SGM – „prawie”globalne dopasowanie jasności

Semi Global Matching

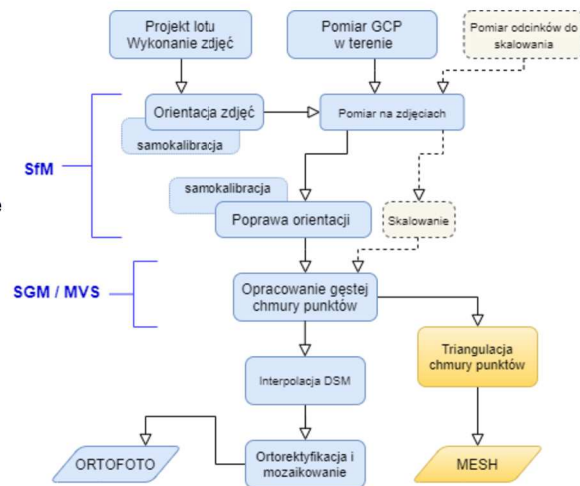
Matching stosowany jest w 2 przypadkach

Sparse matching

- przed aerotriangulacją
EOZ nieznane lub przybliżone

Dense matching

- po aerotriangulacji
EOZ znane



Matching ABM, FBM

ABM – dopasowanie obszarami (oknami)

- zasada ogólna: porównywanie jasności pomiędzy zdjęciami (intensity-based)
- realizacja: ruchome okno (założenie: w ramach okna stała paralaksa p.)
- kryterium dopasowania: korelacja krzyżowa lub MNK (LSM)

FBM – dopasowanie cechami

- zasada ogólna: porównywanie cech (wtórnych) zdjęcia
- etapy:
 - detekcja punktów kluczowych (charakterystycznych) na każdym zdjęciu
 - selekcja par pomiędzy zdjęciami – wg wybranej miary podobieństwa
 - filtracja błędów
- cechy – dwie metody
 - FBM_1 - proste elementy geometryczne: punkty, narożniki, krawędzie (operatory Moravec, Förstner) - Interest Point Detectors
 - FBM_2 - punkty kluczowe wykryte operatorem DoG w sekwencji skalowej, przypisanie pkt-om wektora cech liczonych z gradientu otoczenia - Feature Descriptors

Matching wg Feature Descriptors FBM_2

SIFT - Scale-Invariant Features Transform

MOPS - Multi-Scale Oriented Patches

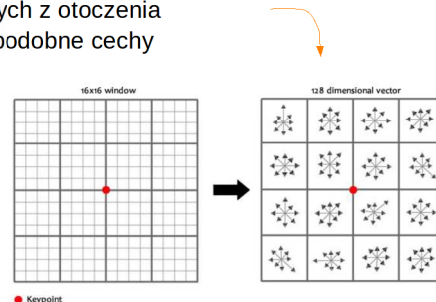
SURF,

Lowe, D. G., Distinctive image features from scale-invariant keypoints, International Journal of Computer Vision 60(2), (2004).

Brown, M., Szeliski, R., and Winder, S., Multi-image matching using multi-scale oriented patches," in [CVPR '05: Proceedings of the 2005 IEEE CVPR'05 - Volume 1, (2005).

SIFT

- (1) przetworzenie zdjęć: piramidy obrazowe, filtracja Gaussa, operacja DoG; zdjęcie jest reprezentowane przez serię obrazów pochodnych
- (2) wyszukanie pikseli mają duży kontrast w stosunku do otoczenia dla całej serii obrazów pochodnych
- (3) przypisywanie punktom kluczowym 128 cech liczonych z otoczenia
- (4) znajdowanie na obu zdjęciach punktów które mają podobne cechy
- (5) filtracja błędnych par - RANSAC



SIFT

- (1) przetworzenie zdjęć: piramidy obrazowe, filtracja Gaussa, operacja DoG; zdjęcie jest reprezentowane przez serię obrazów pochodnych

Każdy obraz jest filtrowany i pomniejszany, powstają tzw oktawy

$$L(x, y, \sigma) = I(x, y) * G(x, y, \sigma)$$

gdzie:

- L – nowy rozmyty obraz,
- I – obraz wejściowy,
- G – operator Gaussa $G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$ ze współczynnikiem skali (rozmycia) σ .

Pomniejszenia w sekwencji 1/2, każda seria w skala 1, 1;2, 1:4 to oktawa
Oktawa – filtracja ze zmiennym sigma (gauss) , ta sama skala geometryczna, w oktawie powstają warstwy

SIFT

(1) przetworzenie zdjęć: piramidy obrazowe, filtracja Gaussa, operacja DoG; zdjęcie jest reprezentowane przez serię obrazów pochodnych

Każdy obraz jest filtrowany i pomniejszany, powstają tzw oktawy

$$L(x, y, \sigma) = I(x, y) * G(x, y, \sigma)$$

gdzie:

- L – nowy rozmyty obraz,
- I – obraz wejściowy,
- G – operator Gaussa $G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$ ze współczynnikiem skali (rozmycia) σ .

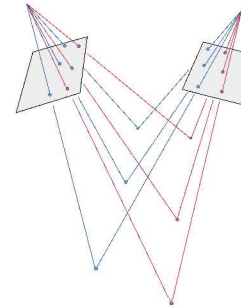
Pomniejszenia w sekwencji 1/2, powstaje ciąg skal: 1, 1;2, 1:4

Dla każdej skali jest wykonywana filtracja DoG ze zmiennym sigma (tzw. warstwy)

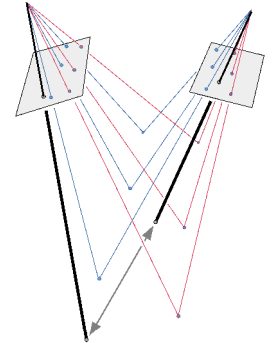
Zbiór obrazów ma strukturę: skala (tzw. oktawa) - warstwy

(5) filtracja błędnych par - RANSAC

- spośród J KeyPoints losowanych jest J_1 (kilka % z J , dużo więcej niż 5)
- na podstawie J_1 liczona jest orientacja wzajemna
- dla pozostałych $(J - J_1)$ liczone jest wcięcie w przód i badana paralaksa poprzeczna q
- jeśli przeważają punkty dla których $q > \text{próg}$ (outliers) to znaczy, że zbiór J_1 nie był złożony z dobrych pkt (inliers); trzeba losować od nowa
- gdy spośród $(J - J_n)$ liczba pkt dla których $q > \text{próg}$ jest mniejsza niż określony % całości to punkty stają się outliers (są usuwane)



Orientacja wzajemna z J_1



Jeden z pkt $(J - J_1)$
 $q > \text{próg}$

Matching SGM

ABM i FBM działają tylko w bliskim otoczeniu piksela – są to metody lokalne

Ideą metody globalnej jest analiza całego obrazu, czyli okno przeszukiwania jest równe obrazowi

W praktyce realizacja globalna jest zbyt złożona obliczeniowo.

SGM – Semi Global Matching

Metoda która ogranicza wyszukiwanie do pewnego (dużego) okna, jest ono wielokierunkowe, okno zmienia się dynamicznie

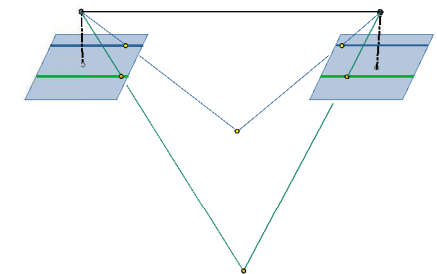
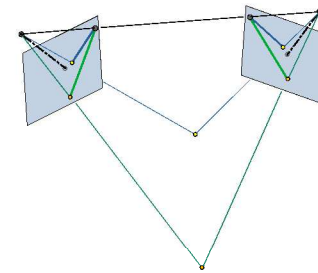
Zdjęcia nie mogą mieć paralaksy poprzecznej (stereo znormalizowane)

Etapy SGM

1. obliczenie funkcji kosztu,
2. skumulowanie kosztu (obliczenie funkcji skumulowanego kosztu),
3. obliczenie dysparycji i optymalizacja,
4. poprawienie wyniku.

Stereogram znormalizowany
osie zdjęć równoległe i prostopadłe do bazy

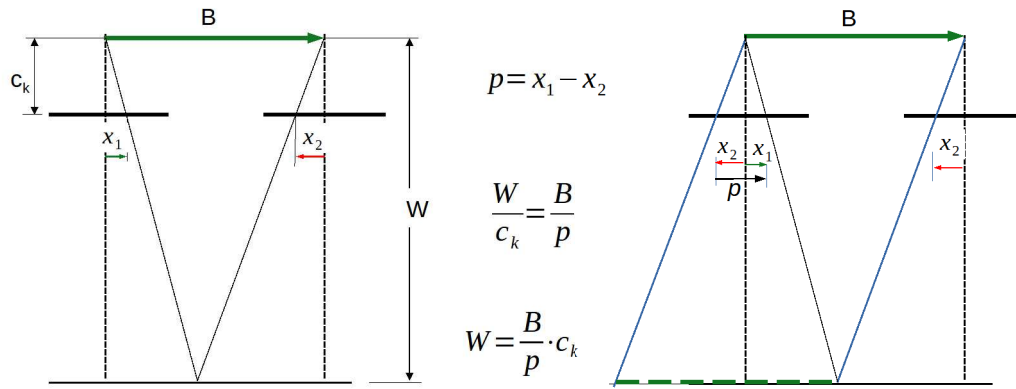
Stereogram wg EOZ zdjęć



Dla obliczenia konieczne ustalenie położenia bazy, np.

$$\Omega = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \quad K = \arctan\left(\frac{B_y}{B_x}\right) \quad \Phi = \arctan\left(\frac{B_z}{\sqrt{(B_x^2 + B_y^2)}}\right)$$

Paralaksa (podłużna)
na zdjęciach ściśle pionowych



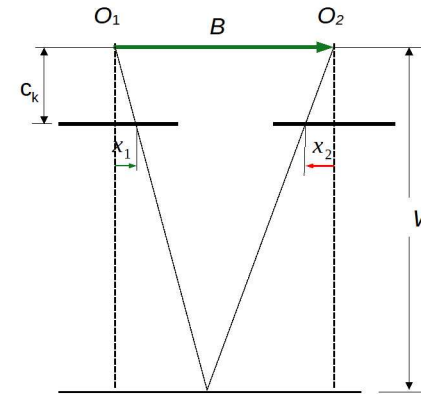
$$p = x_1 - x_2$$

$$\frac{W}{c_k} = \frac{B}{p}$$

$$W = \frac{B}{p} \cdot c_k$$

Odległość do obiektu (wysokość)
jest funkcją paralaksy (podłużnej)
W robotyce $W \rightarrow$ głębokość (depth)

Paralaksa / dysparycja



$$p = x_1 - x_2$$

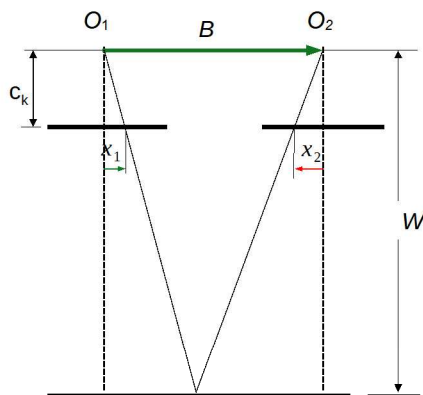
$$\frac{W}{c} = \frac{B}{p}$$

$$p = B \frac{c}{W}$$

Znając / zakładając W_{min}, W_{max}

oblicza się: P_{min}, P_{max}

Paralaksa / dysparycja



$$p = x_1 - x_2$$

$$x_2 = x_1 - p$$

Mamy punkt x_1 , szukamy x_2
 x_1 i x_2 leżą na linii epipolarnej,
położenie różni się o p

szukamy przy jakim p różnice jasności
(R,G,B) dają minimum funkcji kosztu

droga iteracyjna
przeszukiwanie od p_{min} do p_{max}

Hirschmuller H., 2008, *Stereo Processing by Semiglobal Matching and Mutual Information*, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 30, Iss. 2, p. 328-341.

SGM

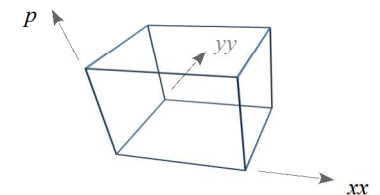
1. obliczenie funkcji kosztu

$$C(x, y, p) = |G_1(x, y) - G_2(x - p, y)| \quad \text{squared intensity differences (SD)}$$

$$C(x, y, p) = (G_1(x, y) - G_2(x - p, y))^2 \quad \text{absolute intensity differences (AD)}$$

dla piksela (x, y) liczony jest koszt C dla paralaks: $\langle p_{min}, p_{max} \rangle$

powstaje tablica 3d, zawiera C w funkcji: x, y, p



SGM

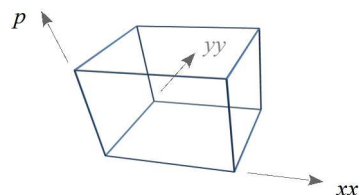
2. skumulowanie kosztu

tablica kosztu 3D jest przeszukiwana w celu znalezienia C_{min}

pikselowi x, y przypisuje się p
powstaje mapa paralaks (dysparycji)

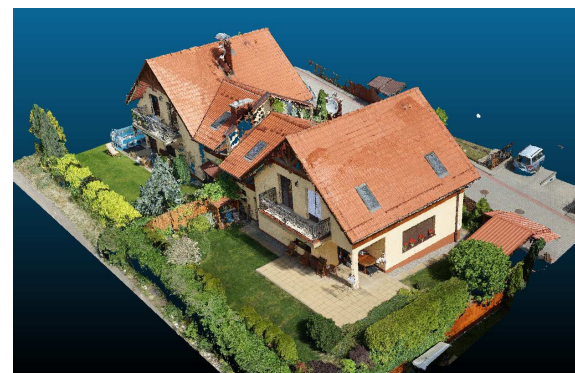
w/w postępowanie jest b. uproszczone
w bardziej zaawansowanych:

- kumulacja obejmuje piksele sąsiednie (sumowanie-kumulacja!)
- łagodzony jest wpływ zmian radiometrii (np. filtr Gaussa)



Gęsta chmura punktów

- 1) tworzenie map głębokości dla wszystkich par zdjęć
- 2) łączenie map w jedną chmurę (opcjonalnie filtracja odstających punktów)



Punkt chmury:

X, Y, Z

R, G, B

n_x, n_y, n_z

*liczba promieni wcinających punkt (wcięcie w przód)
badanie zgodności przecięcia promieni*

jakość (confidence)

Metody matchingu – pola zastosowań

Metoda	Rzadka chmura	Gęsta chmura	Zdjęcia dowolne	Zdjęcia „pionowe”	Stereo po normalizacji
ABM	tak	tak	nie	tak	tak
FBM_1	tak	nie	tak	tak	nie
FBM_2	tak	nie	tak	tak	nie
SGM	nie	tak	nie	nie	tak

Niska fotogrametria:

- SIFT dla potrzeb detekcji tie pts do aero – rzadka chmura
- SGM – gęsta chmura po aero