

Różnice pomiędzy klasyczną
fotogrametrią opartą na kamerach
pomiarowych a fotką z UAV
„wysoka” vs „niska”
fotogrametria

Bezzałogowy statek powietrzny (BSP, „dron”) – statek powietrzny, który nie wymaga do lotu załogi obecnej na pokładzie, pilotowany zdalnie lub wykonujący lot autonomicznie.

UAV - Unmanned Aerial Vehicle

UAS - Unmanned Aerial System

RPAS - Remotely Piloted Aircraft System (oficjalna nazwa w UE)

Wiele typów, klasyfikacja wg: wagi, masy startowej (MTOM), ładowności, zasięgu, pułapu, rodzaju napędu, nawigacji, ...

Wg napędu:

- ◆ MR - Wielowirnikowiec (Multi Rotor), „kopter”
- ◆ H - Śmigłowiec (Helicopter)
- ◆ A - Samolot lub szybowiec (Aircraft), „płatowiec”
- ◆ AS - Sterowiec, Balon (Airship, Balloon)



Istotne kryteria masy startowej dla BSP wg polskich przepisów:

- ✓ do 600 g – najmniejsze ograniczenia użytkowania
- ✓ do 2 kg + FVP (operator ma podgląd widoku kamery)
- ✓ do 25 kg – nie obowiązują wszystkie rygory Prawa lotniczego

Inne kategorie SP

Ultralekki samolot

posiada nieruchome powierzchnie nośne, sterowany aerodynamicznie w trzech stopniach swobody przez wychylanie powierzchni sterowych, wyposażony w co najmniej jeden zespół napędowy zapewniający samodzielny start i lot wznoszący, posiadający MTOM nie większą niż 300 kg – dla samolotu lądowego jednomiejscowego a 450 kg – dla samolotu lądowego dwumiejscowego

Wiatrakowiec ultralekki – wiropląt, który w locie siłę nośną uzyskuje z autorotacyjnego systemu wirnika, jest wyposażony w co najmniej jeden zespół napędowy zapewniający samodzielny start i lot wznoszący, posiadający nie więcej niż 2 miejsca dla załogi i którego MTOM nie przekracza 560 kg dla wiatrakowców jedno- i dwumiejscowych;

Śmigłowiec ultralekki – wiropląt, których siłę nośną uzyskuje się z systemu wirnika nośnego napędzanego co najmniej jednym zespołem napędowym i którego MTOM nie przekracza: a) 300 kg – dla śmigłowców jednomiejscowych lądowych, b) 330 kg – dla śmigłowców jednomiejscowych startujących z wody

Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 26 marca 2013 r. w sprawie wyłączenia zastosowania niektórych przepisów ustawy – Prawo lotnicze do niektórych rodzajów statków powietrznych oraz określenia warunków i wymagań dotyczących używania tych statków

Klasyfikacja UAV w oparciu o różne kryteria

Klasa	Kategoria	Max. waga [kg]	Zasięg [km]	Max. wysokość lotu [m]	Wytrzymałość [h]
Micro/Mini UAV	Micro (MAV)	0.10	<10	250	1
	Mini	<30	<10	150-300	<2
Taktyczne UAV	Bliskiego zasięgu (Close range – CR)	150	10-30	3 000	2-4
	Krótkiego zasięgu (Short range – SR)	200	30-70	3 000	3-6
	Średniego zasięgu (Medium range – MR)	150-500	70-200	3 000 -5 000	6-10
	Dalekiego zasięgu (Long range – LR)	-	200-500	5 000	6-13
Strategiczne UAV	Wytrzymałościowe (Endurance – EN)	500-1500	>500	5 000 -8000	12-24
	Średniego pułapu, o dużej wytrzymałości (Medium altitude, long endurance – MALE)	1000-1500	>500	5 000 -8000	24-48
	Duży pułap, duża wytrzymałość (High altitude, long endurance – HALE)	2500-12500	>2000	15 000 -20 000	24-48
UAV do zadań specjalnych	Śmiercionośne (Lethal – LET)	250	300	3 000 -4 000	3-4
	Wabiki (Decoys – DEC)	250	0-500	50-5 000	<4
	Stratosferyczne (Stratospheric – STRATO)	do ustalenia	>2000	20 000 -30 000	>48
	Egzo – stratosferyczne (Exo-stratospheric – EXO)	do ustalenia	do ustalenia	>30 000	do ustalenia

Bento M. F., *Unmanned Aerial Vehicles: An Overview*.
Inside GNSS, January/February 2008, p. 54-61
opr. polskie Ewelina Żak - praca mgr 2019

Kamery dla niskiego pułapu

	Kamery sportowe (< 100 g)	Kamery producentów (< 150 g)	Kompakty (200 – 500 g)	Lustrzanki / bezlusterkowce (400 – 800 g)	Kamery przemysłowe (200 – 800 g)
Samolot <5kg	+	+	+	+/-	+/-
Samolot <25kg	+	+	+	+	+
Kopter <5kg	+	+	-	-	-
Kopter <25kg	+	+	+	+	+



E. Pastucha
Studium podyplomowe BSL

Przykłady kamer w UAS

	DJI Phantom III	Sensefly SODA	Sony a6000	Sony RX1R II	PhaseOne iXM-100
Rozdzielczość	12 MP	20 MP	24 MP	42 MP	100 MP
Wielkość matrycy	1/2,3"	1"	APS-C	Full Frame	Medium format
Wielkość detektora	1,5 µm	2,4 µm	3,9 µm	4,5 µm	3,8 µm
System ogniskowania	Brak	Brak	elektroniczny/ mechaniczny (zależy od obiektywu)	Elektroniczny	Mechaniczny
Mocowanie obiektywu	Brak	Brak	TAK	TAK	TAK
Efekt rolling shutter	Bardzo duży	Brak	Niewielki (7ms)	Brak	Brak

E. Pastucha
Studium podyplomowe BSL

BSP przepisy

Zasady korzystania z polskiej przestrzeni powietrznej są określone w ustawie z 3 lipca 2002 r. Prawo lotnicze oraz w przepisach wykonawczych do ustawy.

1 lipca 2019 r. weszło w życie rozporządzenie delegowane Komisji (UE) 2019/945 z dnia 12.03.2019 r. w sprawie bezzałogowych systemów powietrznych oraz operatorów bezzałogowych systemów powietrznych z państw trzecich.

reguluje projektowanie, produkcję oraz wprowadzanie na rynek wewnętrzny UE BSP wykonujących operacje w kategorii otwartej

Kategoria otwarta
(ang. open)
BSP wykonujące operacje o najniższym stopniu ryzyka

Kategoria szczególna
(ang. specific)
BSP eksploatowana w operacjach o podwyższonym ryzyku

Kategoria certyfikowana
(ang. certified)
operacje o stopniu ryzyka porównywalnym do lotnictwa załogowego

<http://www.ulc.gov.pl/pl/drony>

<https://droneradar.eu/mapa#aktualna>

<https://www.flihtadar24.com/>

(PROJEKT) ROZPORZĄDZENIE WYKONAWCZE KOMISJI (UE) .../...z dnia XXX r. w sprawie przepisów i procedur dotyczących eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych

operator bezzałogowego systemu powietrznego oznacza dowolną osobę prawną lub fizyczną eksploatującą lub zamierzającą eksploatować co najmniej jeden bezzałogowy system powietrzny;

operacja w zasięgu widoczności wzrokowej („VLOS”) oznacza rodzaj operacji z użyciem BSP, w której pilot bezzałogowego statku powietrznego jest w stanie utrzymywać stały kontakt wzrokowy nieuzbrojonym okiem ze statkiem powietrznym, co umożliwia temu pilotowi kontrolowanie toru lotu wspomnianego statku względem innych statków powietrznych, osób i przeszkód w celu uniknięcia kolizji;

operacja poza zasięgiem widoczności wzrokowej („BVLOS”) oznacza rodzaj operacji z użyciem BSP, która nie jest wykonywana w zasięgu widoczności wzrokowej

operacja autonomiczna oznacza operację, w trakcie której bezzałogowy statek powietrzny wykonuje operacje bez możliwości podjęcia interwencji przez pilota bezzałogowego statku powietrznego;

W planie uznanie modeli < 250 g za niegroźne dla człowieka w razie kolizji (jest 600 g)

Strefy powietrzne

- ATZ – strefa ruchu lotniczego, stanowiąca przestrzeń nad cywilnymi lotniskami niekontrolowanymi i przylegającym terenem niezbędnym do wykonywania startów, lądowań oraz zadań szkoleniowych,
- CTR – strefa kontrolowana lotnisk, stanowiąca przestrzeń lotnisk kontrolowanych wraz z terenem niezbędnym do wykonywania manewru podejścia do lądowania, startu i nabrania wysokości,
- D – strefa niebezpieczna, wyznaczana między innymi nad takimi obiektami jak magazyny materiałów wybuchowych,
- MATZ – strefa ruchu lotniskowego lotniska wojskowego, odpowiednik strefy ATZ dla niekontrolowanych lotnisk wojskowych,
- MTCR – strefa kontrolowana lotniska wojskowego, odpowiednik strefy CTR dla kontrolowanych lotnisk wojskowych,
- P – strefa zakazana,
- R – strefa o ograniczonym ruchu lotniczym, wyznaczana między innymi dla obszaru parków narodowych czy miast powyżej 100 tys. mieszkańców.

Wg rozporządzenia Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z 26 marca 2013 r. w sprawie wyłączenia zastosowania niektórych przepisów ustawy – Prawo lotnicze do niektórych rodzajów statków powietrznych oraz określenia warunków i wymagań dotyczących używania tych statków

Wysoka vs niska fotogrametria

Stabilne kamery fotogrametryczne
lub średnioformatowe

Pokrycie podłużne $\geq 60\%$,
poprzeczne $> 25\%$

Pomiar EO – GPS/INS

Najczęstsze wykorzystanie –
opracowanie orto wg NMT

Lekkie, niestabilne aparaty

Pokrycie podłużne i poprzeczne $> 60\%$

Pomiar EO fakultatywny

Wykorzystanie
opracowanie gęstej chmury punktów,
modele mesh
opracowanie orto wg NMPT

Aerotriangulacja w wysokiej - niskiej fotogrametrii

IO znane z kalibracji (stabilne kamery
fotogrametryczne)

Detekcja tie points - metody ABM,
FBM – ok. 50-100 pkt na zdjęcie

RO obliczenie – w oparciu o macierz
obrotu małych kątów

Dla RO wystarczy 6 tie points

Pomiar EO – DGPS, INS, modelowanie
błędów shift i drift

Stabilne wyniki aero, na CHP ok 1 pix
Bogata statystyka, w tym wsp.
redundancji

IO wyznaczone przez samokalibrację
podczas aero (niestabilne aparaty)

Detekcja tie points - metoda SIFT – > 1000
pkt na zdjęcie

RO obliczenie – z wykorzystaniem macierzy
fundamentalnej

Dla RO wystarczy 8 tie points ale duża liczba
tie jest potrzebna dla samokalibracji

Pomiar EO – GPS nawigacyjny, INS/MEMS
lub RTK; brak modelowania błędów

Mniej stabilne wyniki, na CHP ok 2 pix
Skromna statystyka
UAV z RTK skokowy wzrost stabilności
wyników

Produkty wysokiej - niskiej fotogrametrii

Dominuje ortofotomapa wg NMT/orto
Pomiary stereo do mdcp
Modele 3D obiektowe

NMT/orto z projektu foto lub z ALS,

Orto: linie mozaikowania automatycznie
ale konieczna manualna korekta

Orto: budynki, drzewa z przesunięciem
radialnym

Ortomozajka wg NMPT
Modele 3D typu mesh
Gęsta chmura punktów

NMPT i 3D mesh powstają z gęstej
chmury punktów

Linie mozaikowania automatycznie
(poligony Woronoi-a)

Orto: budynki bez przesunięcia radialnego,
krawędzie często rozmazane

Wysoka vs niska fotogrametria

Plusy UAV

- ✔ większa niezależność od zachmurzenia (można pod chmurami)
- ✔ naloty opłacalne dla małych obszarów
- ✔ niższe koszty stałe (sprzęt, paliwo, serwisowanie, wynajem miejsca na lotnisku)

Minusy UAV

- ✔ duża podatność na wiatr
- ✔ loty z dużym pokryciem (P i Q: > 60%)
- ✔ ograniczona powierzchnia obrazowania, kilka km² na dzień (dotyczy płatowców, koptery - b. małe obszary)
- ✔ niemetryczne kamery, konieczna samokalibracja
- ✔ niska jakość radiometryczna (winietowanie, często nieosunięte aberracje chromatyczne)
- ✔ silnie zmienne kąty obrazowania tych samych obiektów

Structure from Motion

SfM jest metodą rekonstrukcji powierzchni obiektu/sceny na podstawie serii zdjęć o innych perspektywach, dostosowaną do UAV, w której:

- ✔ uporządkowanie zdjęć nie jest znane (jedyne warunki: muszą się wzajemnie nakładać)
- ✔ IO kamery (w tym dystorsja) nie są znane
- ✔ fotopunkty są fakultatywne (bez ftp model nie ma skali ani położenia w przestrzeni)

Zadania wykonywane przez SfM:

- ✔ uzgodnienie IO (z dystorsją) i EO
- ✔ określenie wsp. 3D tie points czyli rzadka chmura punktów (konieczne dla IO i EO)
- ✔ generowanie gęstej chmury punktów (rekonstrukcja powierzchni)

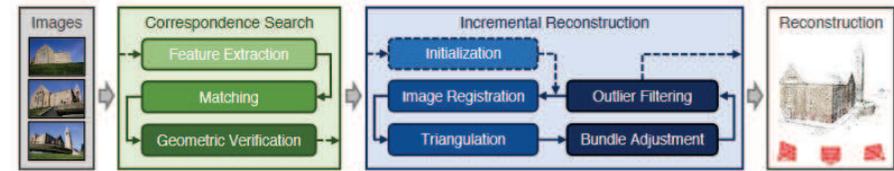
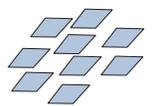


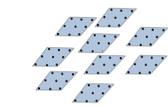
Fig. Johannes L. Schonberger, Jan-Michael Frahm: Structure-from-Motion Revisited

Etapy SfM/aero

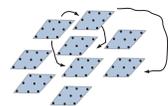
- 1) Detekcja key points osobno na wszystkich zdjęciach
- 2) Selekcja par zdjęć
- 3) Orientacja wzajemne kolejnych par > formowanie sieci zdjęć
- 4) Wyrównanie metodą wiązki



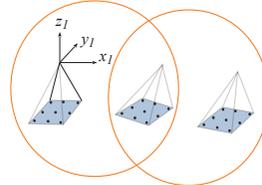
0) Zbiór zdjęć o nieznanym uporządkowaniu



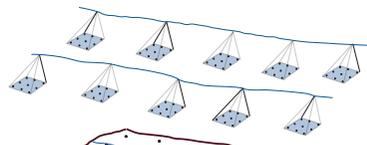
1) Detekcja key points



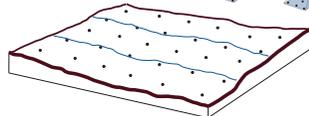
2) Selekcja par



3) formowanie sieci poprzez RO w układzie lokalnym



4) Wyrównanie - Bundle Adjustment w układzie lokalnym



4a) Pomiar fotopunktów na zdjęciach
4b) Wyrównanie - Bundle Adjustment w układzie sparametryzowanym

Etapy SfM/aero

- 1) Detekcja keypoints osobno na wszystkich zdjęciach
- 2) Selekcja par zdjęć
- 3) Orientacja wzajemne kolejnych par > formowanie bloku zdjęć
- 4) Wyrównanie metodą wiązki

Ad 1)

Keypoints (pkt-y charakterystyczne) to potencjalne punkty wiążące (tie points).

Liczba key points > tie points

Detekcja key points metodą SIFT (Scale-Invariant Feature Transform), obejmuje filtrację Gauss-a, piramidy obrazowe, gradient

Każdy wykryty punkt jest opisany przez 128 elementowy wektor cech

David G. Lowe, Distinctive Image Features from Scale-invariant Keypoints, Int. Journal of Computer Vision, 60 (2004),

Ad 2)

Zdjęcia parowane są wg podobieństwa Keypoints, czyli sprawdzane jest ile podobnych punktów jest pomiędzy zdjęciami (Correspondence Search).

Etapy SfM/aero

- 1) Detekcja keypoints osobno na wszystkich zdjęciach
- 2) Selekcja par zdjęć
- 3) Orientacja wzajemne kolejnych par > formowanie bloku zdjęć
- 4) Wyrównanie metodą wiązki

Ad 3)

RO wykonywane jest przez obliczenie macierzy fundamentalnej

Część Keypoints jest błędnych co zakłóca obliczenia

Do usuwania błędnych KP stosowane jest postępowanie RANSAC

Poza macierzą fundamentalną liczone są parametry IO (w tym dystorsja – dlatego te points muszą być rozłożone gęsto na powierzchni zdjęcia)

Ad 4)

Klasyczne wyrównanie bloku metodą niezależnych wiązek

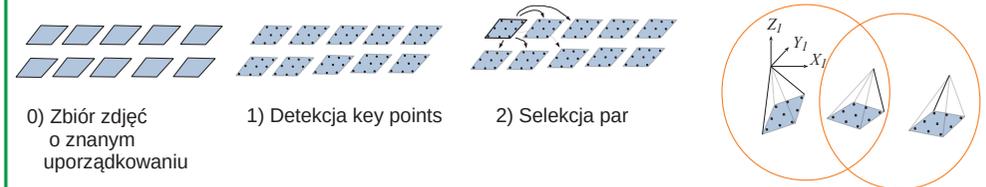
Semestr 1: Po rozwinięciu w szereg liczone są przyrosty do przybliżonych wartości niewiadomych

$dX_0, dY_0, dZ_0, d\omega, d\varphi, d\kappa, dX, dY, dZ$ + dc, dx_0, dy_0 i wsp. dystorsji radialnej/tang.,
afinizm obrazu, + rolling shutter dla aparatów z migawką szczelinową

<https://fotoblogia.pl/10890,rolling-shutter-dla-opornych>

Etapy SfM/aero – wariant z pomierzonymi EO

- 1) Detekcja key points osobno na wszystkich zdjęciach
- 2) Selekcja par zdjęć – pary są wskazane dzięki EO
- 3) Orientacja wzajemne kolejnych par > formowanie bloku zdjęć
- 4) Wyrównanie metodą wiązki

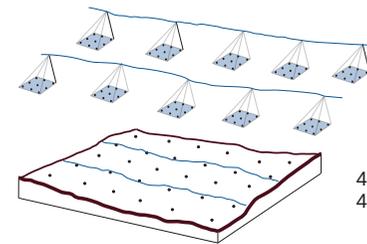


0) Zbiór zdjęć o znanym uporządkowaniu

1) Detekcja key points

2) Selekcja par

3) formowanie sieci poprzez RO w układzie sparametryzowanym



4) Wyrównanie - Bundle Adjustment w układzie sparametryzowanym

4a) Pomiar fotopunktów na zdjęciach
4b) Wyrównanie - Bundle Adjustment w układzie sparametryzowanym

SfM/ Model Reconstruction

Po wyznaczeniu IO i EO następuje gęsty matching

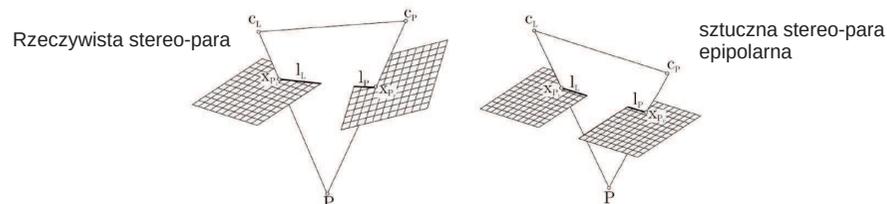
Zwykle wykonywany dla kolejnych par zdjęć

Zdjęcia są przetwarzane do postaci epipolarnej co ułatwia szukanie korespondencji wzdłuż linii równoległej do bazy stereo-pary

Najczęściej stosuje się metodę Semi Global Matching

Hirschmüller H.; Accurate and Efficient Stereo Processing by Semi-Global Matching and Mutual Information, CVPR'05, Vol. 2, p. 807-814, 2005

Metody matchingu SIFT i SGM będą omówione w 2. części wykładów



Oprogramowanie SfM

Komercyjne

Agisoft Photoscan/Metashape

Pix4D

ContextCapture

Drone Deploy

....

Open source

VisualSfM

<http://ccwu.me/vsfm/>

MicMac

<http://micmac.eng.ensg.eu/index.php/Accueil>

OpenDroneMap

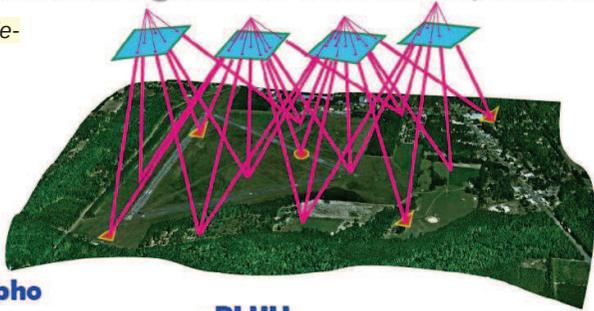
<https://github.com/OpenDroneMap/OpenDroneMap>

Colmap

<https://colmap.github.io/>

Aerial Triangulation - Bundle Adjustment

Oprogramowanie-
wysoka fotka



- Trimble Inpho
- Aerosys
- Leica LPS
- SocetSet GXP
- Vexcel UltraMap

- BLUH
- BINGO
- Intergraph ISAT
- RACURS Photomod

- Albany
- JFK
- PC Giant
- KLT Atlas
- ERDAS



Maurice Elliot, CP, GISP, MIEEE
Photogrammetry Supervisor
Florida Department of
Transportation
Surveying & Mapping Office