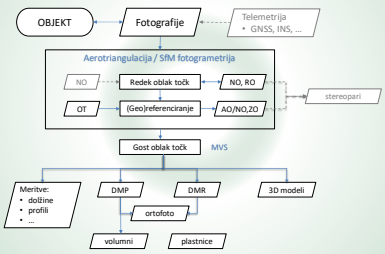
KOREKTNA UPORABA LETALNIKOV V GEODEZIJI

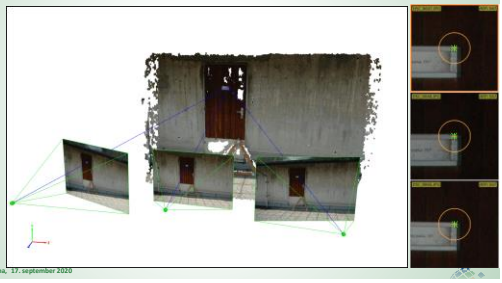
DEJAN GRIGILLO, DUŠAN PETROVIČ, KLEMEN KOZMUS TRAJKOVSKI,
TILEN URBANČIČ, MOJCA KOSMATIN FRAS

48. Geodetski dan, Ljubljana, 17. september 2020

POSTOPEK OBDELAVE PODATKOV

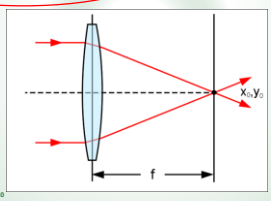


OSNOVE FOTOGRAMETRIJE



NOTRANJA ORIENTACIJA (NO)

Goriščna razdalja f	Glavna točka x_0	Glavna točka y_0	R1	R2	R3	T1	T2
2710.982 [pixel] 32.445 [mm]	1470.452 [pixel] 17.598 [mm]	990.355 [pixel] 11.853 [mm]	-0.131	0.168	0.068	-0.001	-0.001



NOTRANJA ORIENTACIJA (NO)

Goriščna razdalja f	Glavna točka x_0	Glavna točka y_0	R1	R2	R3	T1	T2
2710.982 [pixel] 32.445 [mm]	1470.452 [pixel] 17.598 [mm]	990.355 [pixel] 11.853 [mm]	-0.131	0.168	0.068	-0.001	-0.001

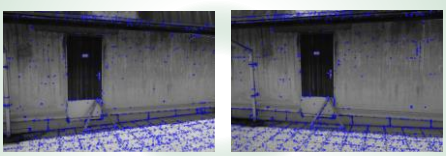
ZUNANJA ORIENTACIJA (ZO)

Fotografija	X	Y	Z	ω	φ	κ
DSC_0066.JPG	100.402491	99.214564	104.811007	-5.846455	-16.240410	-0.963486
DSC_0067.JPG	102.799511	99.234437	104.712007	-6.671823	12.990721	1.378824

Izračun orientacij v SfM: Iskanje značilk

značilke

Izračun orientacij v SfM: Slikovno ujemanje

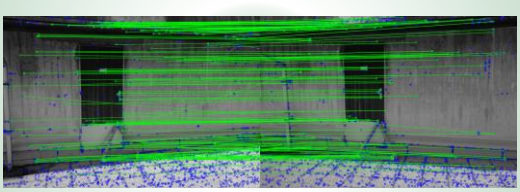


71	120	24	6	1	2	8	44	41	…
0	0	0	0	0	0	0	0	0	…
16	6	25	77	6	1	6	76	54	…
0	0	0	0	0	0	0	0	3	…
4	0	0	18	67	2	0	2	11	…
6	12	8	4	16	112	64	30	64	…
22	65	125	36	22	3	3	10	58	…
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋱

28	33	5	0	0	21	90	54	136	…
3	0	0	1	25	26	4	5	26	…
46	22	54	63	23	9	16	29	43	…
0	0	0	0	0	1	0	0	6	…
92	134	5	4	100	33	0	0	55	…
118	9	1	2	44	53	9	6	4	…
0	0	0	0	0	0	0	0	8	…
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋱

deskriptorji

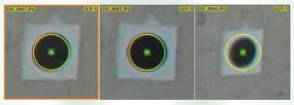
Izračun orientacij v SfM: Slikovno ujemanje



⇒ Istočasna določitev notranje in zunanje orientacije fotografij ter izračun redkega oblaka točk v poljubnem koordinatnem sistemu.

SfM: Redek oblak točk

Meritev oslonilnih točk (OT)



Po meritvi OT istočasni:

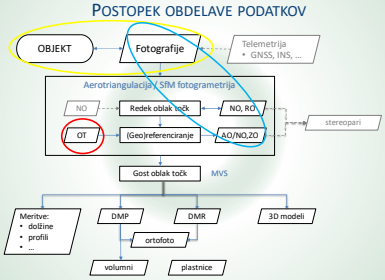
⇒ preračun notranje orientacije fotografij

⇒ preračun zunanje orientacije in redkega oblaka točk v referenčni koordinatni sistem

(manj primerna možnost: transformacija relativno orientiranega modela v referenčni koordinatni sistem)

MVS: Gost oblak točk

POSTOPEK OBDELAVE PODATKOV



NAČRTOVANJE LETA

MISIJA

- višina leta ↔ prostorska ločljivost fotografij (GSD)
- vzdolžni/prečni preklop
- nadirne/poševne fotografije
- prečni pasovi (?)

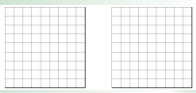
OSLONILNE/KONTROLNE TOČKE

- število
- razpored
- signalizacija
- izmera!

TEŽAVA 1: FOTOAPARATI

Pogosto na UAV:	Merski fotoaparati:
➢ nizkocenovni „potrošniški“ fotoaparati ➢ nestabilna notranja orientacija ➢ pomični zaklop	➢ dimenzije fotoaparata (goriščna razdalja, ...) natančno poznane ali jih lahko določimo s kalibracijo ➢ parametri NO so zanesljivi in stabilni (spremembe pritiska, temperature, tresenje UAV ne vplivajo na mehanizem fotoaparata), ponovljivi rezultati kalibracije ➢ kakovostna optika, manjša distorzija ➢ globalni zaklop

POMIČNI ZAKLOP



Pomični zaklop Globalni zaklop

(https://en.wikipedia.org/wiki/Rolling_shutter)

(foto: T. Urbas)

TEŽAVA 2: SAMOKALIBRACIJA ZA IZRAČUN NO

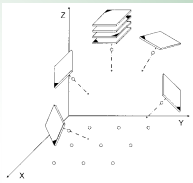
Za kalibracijo se uporabijo fotografije objekta

Parametri NO se določijo istočasno z meritvami objekta v blokovni izravnavi snopov/postopku SfM

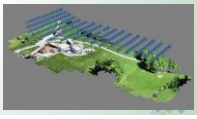
⇒ maksimizira natančnost rekonstrukcije objekta

Pogoj za uspešen izračun parametrov NO so konvergentne fotografije

⇒ težko zagotovljivo pri aeroposnetkih



(Luhmann et al., 2014)



TEŽAVE PRI SAMOKALIBRACIJI

Koreliranost parametrov NO

⇒ parametri niso določeni neodvisno

Pre-parametrizacija izračuna NO

Kalibracija ustreza le točno določenemu modelu ⇒ ni prenosljiva na ostale projekte

Korelacija se pogosto pojavi tudi med (Luhmann et al., 2014):

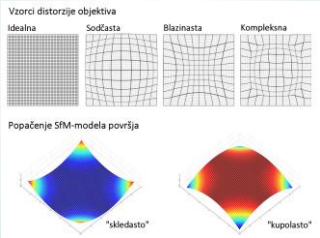
- goriščno razdaljo
- glavno točko
- zunanjo orientacijo

	f	c_x	c_y	b1	b2	k1	k2	k3	k4	p1	p2
f	1.00	-0.26	0.48	0.05	-0.08	0.07	-0.15	0.20	-0.24	-0.07	0.05
c_x		1.00	-0.11	-0.03	0.05	-0.02	0.04	-0.06	0.06	0.54	0.01
c_y			1.00	0.03	-0.02	0.04	-0.08	0.10	-0.12	0.01	0.46
b1				1.00	0.01	0.01	-0.02	0.02	-0.03	0.00	-0.00
b2					1.00	-0.00	0.01	-0.01	0.02	0.01	0.00
k1						1.00	-0.97	0.92	-0.86	-0.02	0.01
k2							1.00	-0.99	0.95	0.02	-0.01
k3								1.00	-0.99	-0.02	0.01
k4									1.00	0.02	-0.01
p1										1.00	0.05
p2											1.00

Primeri korelacije med NO in ZO:

- f in Z (predvsem raven teren, nadirne fotografije)
- c_x, c_y in X, Y

Posledice neustreznega modeliranja distorzije objektiva na rezultate SfM



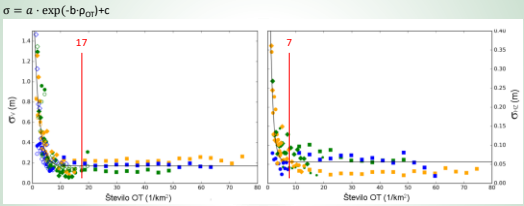
(Carbonneau in Dietrich, 2017)

Rešitev težav

USTREZNA UPORABA OSLONILNIH TOČK

Gostota oslonilnih točk

$\sigma = a \cdot \exp(-b \cdot \rho_{OT}) + c$

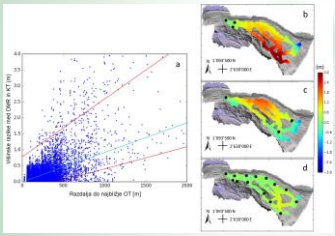


	3 OT / km²	12 OT / km²
σ_v	0,58 m	0,19 m

	3 OT / km²	12 OT / km²
σ_{hz}	0,13 m	0,06 m

(Gindraux et al., 2017)

ODDALJENOST DO NAJBLIŽJE OT



Za vsakih 100 m oddaljenosti do najbližje OT višinsko odstopanje naraste za ~10 cm

Obsežno in enakomerno razporejene OT!

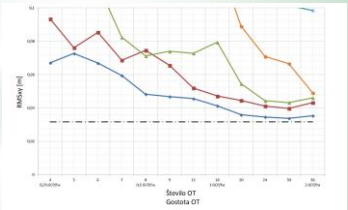
(v obliki trikotniške mreže, ki minimizira razdaljo do najbližje OT)

(Gindraux et al., 2017)

Razporeditev OT:

- robna
- centralna
- kotna
- strateška
- naključna

RAZPOREDITEV OT: RAVNINSKA TOČNOST



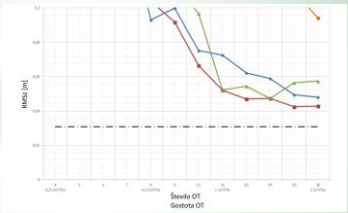
OT na robovih območja izboljšajo ravninsko točnost oblaka točk.

(Martínez-Carricondo et al., 2018)

Razporeditev OT:

- robna
- centralna
- kotna
- strateška
- naključna

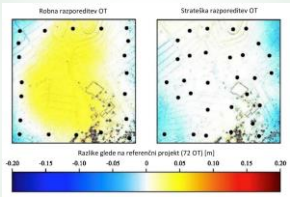
RAZPOREDITEV OT: VIŠINSKA TOČNOST



OT v sredini območja izboljšajo višinsko točnost oblaka točk.

(Martínez-Carricondo et al., 2018)

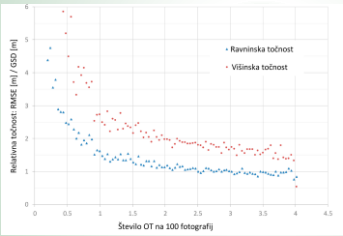
Vpliv razporeditve OT na višinsko točnost oblaka točk



Učinek „kupole“ se pojavi na veliki oddaljenosti od OT.

(Martínez-Carricondo et al., 2018)

Točnost glede na prostorsko ločljivost fotografij (GSD) in število oslonilnih točk



Ravninska točnost:

±GSD pri 2.5-3 OT na 100 fotografij

z več OT ravninska točnost konvergira proti 2/3 GSD

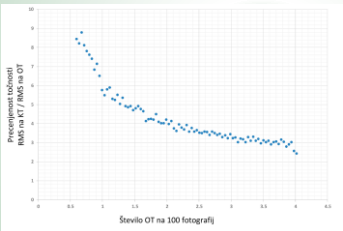
Višinska točnost:

±1,5 x GSD pri 4 OT na 100 fotografij

Tudi pri uporabi več OT točnost ne narašča več.

(Sanz-Ablanedo et al., 2018)

Pomen uporabe kontrolnih točk (KT) za oceno točnosti izdelkov

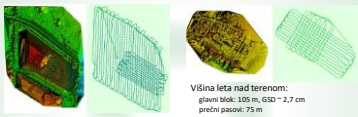


Ocena točnosti izdelkov le na podlagi OT je precenjena.

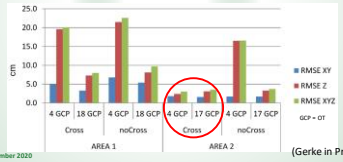
Za korektno oceno točnosti oblaka točk morajo biti tudi KT enakomerno razporejene po celotnem območju.

(Sanz-Ablanedo et al., 2018)

UPORABA PREČNIH PASOV NA RAZLIČNIH VIŠINAH



Višina leta nad terenom:
glavni blok: 105 m, GSD ~ 2,7 cm
prečni pasovi: 75 m



(Gerke in Przybilla, 2016)

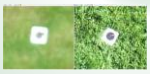
PRIMER OBDELAVE – ŠTEVILO IN RAZPOREDITEV OT

Območje: 300 x 120 m, cca 20 m višinske razlike
37 OT / KT

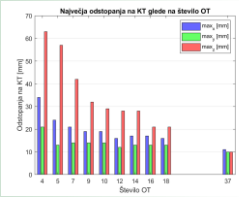
DJI Phantom 4 Pro
Senzor: 1" CMOS (13,2 mm x 8,8 mm)
5472 x 3648 pix
Gorišča razdalja 8.8 mm

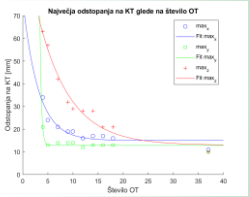
Višina leta nad terenom 35 m, GSD ~ 1 cm
Vzdolžni / prečni preklop: 85 % / 75 %

Ekspozicija in zaslonka: ~~samodejno~~ !!! :



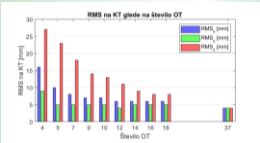
NAJVEČJA ODSTOPANJA KT GLEDE NA ŠTEVILO UPORABLJENIH OT

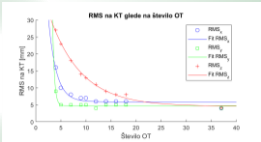




$\sigma = a \cdot \exp(-b \cdot \rho_{OT}) + c$

Točnost na KT glede na število uporabljenih OT





$\sigma = a \cdot \exp(-b \cdot p_{OT}) + c$

Razporeditev OT

4 OT na vogalih:

max_{XYZ}: 64 mm (34 mm, 21 mm, 63 mm)

RMS_{XYZ}: 33 mm

: $odst_{XYZ}$ > 40 mm (~ 4xGSD)

Razporeditev OT

4 OT na vogalih:

max_{XYZ}: 64 mm (34 mm, 21 mm, 63 mm)

RMS_{XYZ}: 33 mm

: $odst_{XYZ}$ > 40 mm

5 OT (neenakomerno):

max_{XYZ}: 73 mm (28 mm, 19 mm, 73 mm)

RMS_{XYZ}: 46 mm

: $odst_{XYZ}$ > 40 mm (~ 4xGSD)

RAZPOREDITEV OT

4 OT na vogalih:
max_{XYZ}: 64 mm (34 mm, 21 mm, 63 mm)
RMS_{XYZ}: 33 mm
: $odst_{XYZ}$ > 40 mm

5 OT (neenakomerno):
max_{XYZ}: 73 mm (28 mm, 19 mm, 73 mm)
RMS_{XYZ}: 46 mm
: $odst_{XYZ}$ > 40 mm

5 OT (enakomerno):
max_{XYZ}: 57 mm (24 mm, 13 mm, 57 mm)
RMS_{XYZ}: 25 mm
: $odst_{XYZ}$ > 30 mm (~ 3xGSD)

ZAKLJUČKI

Ustrezno število in razporeditev OT in KT

Preklop: 80% / 60%-70% (vzdolžni / prečni)

Prečni leti na različni višini: manjša koreliranost parametrov orientacije, točnejša določitev višin

Vsaj delni prečni preleti v primeru ravnega terena; uporaba poševnih fotografij

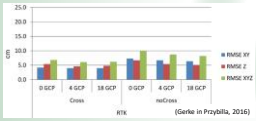
Načrtovana točnost izdelkov

⇒ višina leta nad terenom

⇒ prostorska ločljivost fotografij

TRENDI

‚onboard' RTK-GNSS
+ minimalno število OT (1 ???)

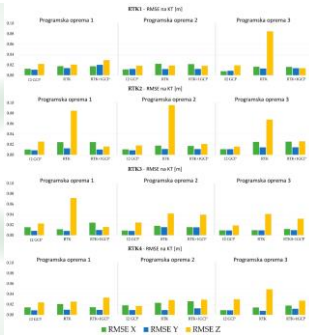


(Gerke in Przybilla, 2016)

‚onboard' RTK-GNSS / INS
+ merski fotoaparat
⇒ brez OT ???

(https://industrial.phaseone.com/iXM_Camera_Series.aspx)

RTK: POGOJI, PROGRAMSKA OPREMA



Več testov (RTK 1, 2, 3 in 4) pri različnih vremenskih pogojih (veter) in razporeditvi satelitov

Prostorska ločljivost fotografij ~2,3 cm

(Benassi et al., 2017)

LITERATURA

Benassi, F., Dall'Asta, E., Diotri, F., Forlani, G., Morra di Cella, U., Roncella, R., Santise, M. Testing Accuracy and Repeatability of UAV Blocks Oriented with GNSS-Supported Aerial Triangulation. *Remote Sens.* **2017**, *9*, 172.

Brown, D. Close-range camera calibration. Photogrammetric Engineering, **1971**, 37(8), 855–866.

Carbonneau, P. E., and Dietrich, J. T. Cost-effective non-metric photogrammetry from consumer-grade sUAS: implications for direct georeferencing of structure from motion photogrammetry. *Earth Surf. Process. Landforms*, **2017**, 42: 473– 486.

Gerke, M., Przybilla, H.-J. Accuracy analysis of photogrammetric UAV image blocks: Influence of onboard RTK-GNSS and cross flight patterns. Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformation, **2016**, 1, 17-30.

Gindraux, S., Boesch, R., Farinotti, D. Accuracy Assessment of Digital Surface Models from Unmanned Aerial Vehicles' Imagery on Glaciers. *Remote Sens.*, **2017**, *9*, 186.

Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., Boehm, J. 2014. Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging. Berlin/Boston: De Gruyter.

Martínez-Carricondo, P., Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F., Mesas-Carrascosa, F.-J., García-Ferrer, A., Pérez-Porras, F.-J. Assessment of UAV-photogrammetric mapping accuracy based on variation of ground control points. Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinformation, **2018**, 72, 1-10.

Sanz-Ablanedo, E., Chandler, J.H., Rodríguez-Pérez, J.R., Ordóñez, C. Accuracy of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and SfM Photogrammetry Survey as a Function of the Number and Location of Ground Control Points Used. *Remote Sens.*, **2018**, *10*, 1606.

GEODetski Dan48

VPRAŠANJA / QUESTIONS