

UAS kamera kalibrációja földi tesztmező és csillagok alapján

Dr. habil. Jancsó Tamás
Varga Attila



Óbudai Egyetem, Alba Regia Műszaki Kar, Geoinformatikai Intézet

E-mail: jancso.tamas@amk.uni-obuda.hu, vargaa@stud.uni-obuda.hu

FÉNY - TÉR - KÉP Konferencia

Tihany, 2022. március 24-25.



Témakörök

- Feladat ismertetése
- Teszt terület
- Légi felmérés adatai
- Kamera kalibráció kétféle módon
- Eredmények összefoglalása, konklúziók



Feladat

- Belső tájékozási elemek meghatározása

Kamera modell paraméterei		
Paraméterek	Jelölés	Alternatív jelölés
Kamera állandó [pixel] vagy [mm]	f	c_k
Főpont koordinátái [pixel] vagy [mm]	c_x, c_y	ξ_0, η_0
Radiális elrajzolás	K_1, K_2, K_3	A_1, A_2, A_3
Tangenciális elrajzolás	P_1, P_2	B_1, B_2
Affin torzulás	B_1, B_2	S_x, S_y
Szenzor mérete [pixel] vagy [mm]	w, h	l_x, l_y
Pixel mérete [mm] vagy [μm]	p_x, p_y	Δ_x, Δ_y

- Kamera kalibrálása laboratóriumban goniométerrel vagy kollimátorral

- Önkalibrálás laboratóriumban illesztőpontok 3D tesztmezőivel

- Terepi önkalibrálás a illesztőpontok 3D tesztmezőivel a légi háromszögelés során

- Kamera kalibrálása csillagok alapján

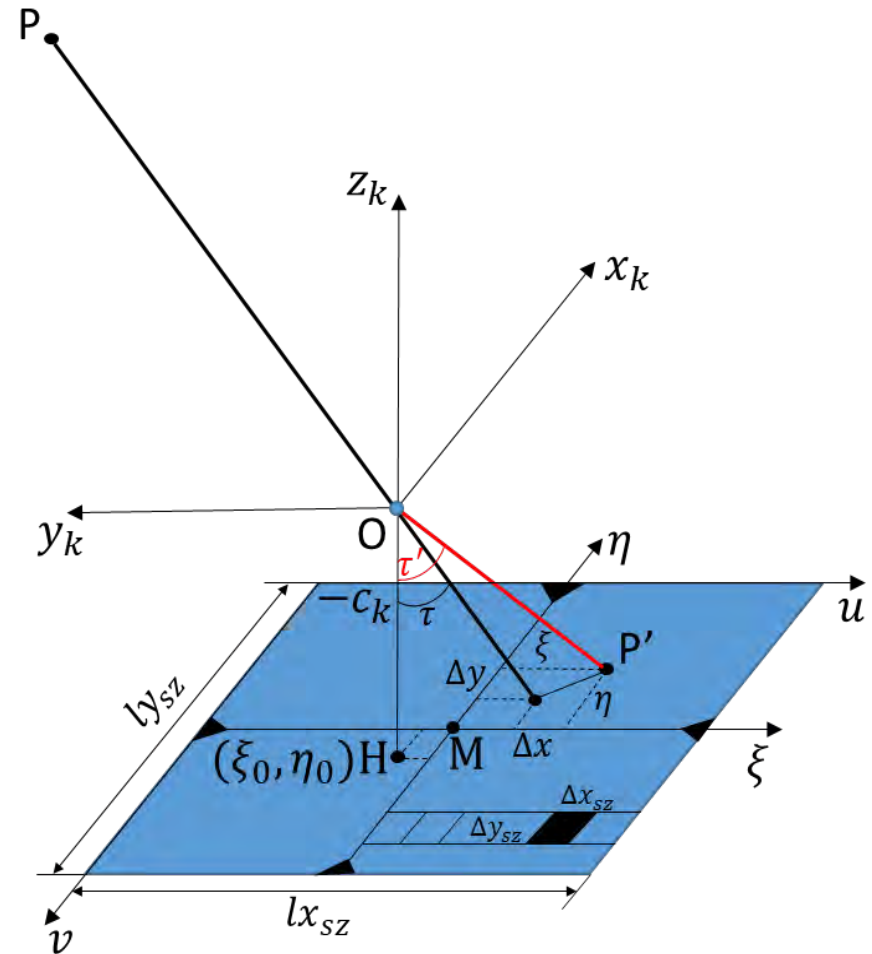
- Kamera kalibrálása laboratóriumban 2D mintákkal (pl. sakktábla)



Kamera kalibráció célja



- Belső tájékozási elemek meghatározása. Ezzel a kamera modelljét alkotjuk meg és a geometriailag helyes képalkotó sugárnyalábot állíthatjuk vissza.



Close Range Photogrammetry, Professor Dr. Thomas Luhmann, Dr. Stuart Robson, Dr. Stephen Kyle, Professor Ian Harley. Whittles Publishing Dunbeath, Caithness KW6 6EG, Scotland, UK 2011. ISBN for CD 978-184995-057-2, Print edition 978-1870325-50-9

DJI Mavic Pro – műszaki adatok



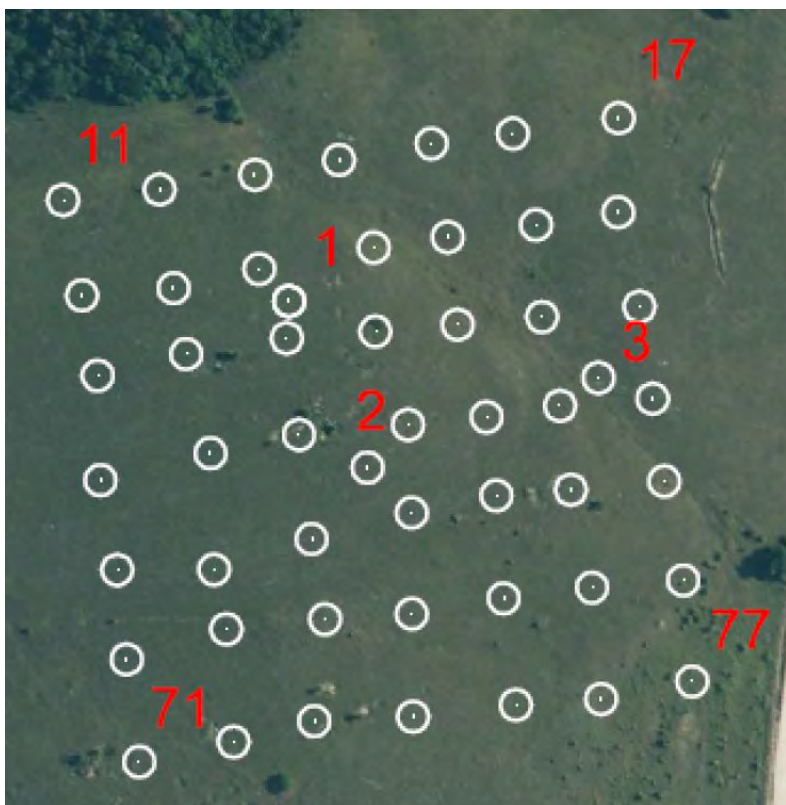
- Súly: 734 gramm
- Műholdas pozicionáló rendszer
GPS/GLONASS
- Maximális repülési idő 27 perc
(szélcsendben 25km/h-s sebességnél)
- 1/2.3" CMOS Effektiv pixelek: 12.35
Megapixels (Teljes pixelek: 12.71 M),
pixelméret: 1.57 mikron
- Objektiv: 78.8° FOV, 28 mm (35 mm
formátumnak megfelelően) f/2.2 Torzítás
<1.5% Fókusz 0.5 m - ∞
- ISO táv: 100 - 3200 (videó), 100 - 1600
(fotó)
- Maximális Kép méret 4000×3000



Teszt terület



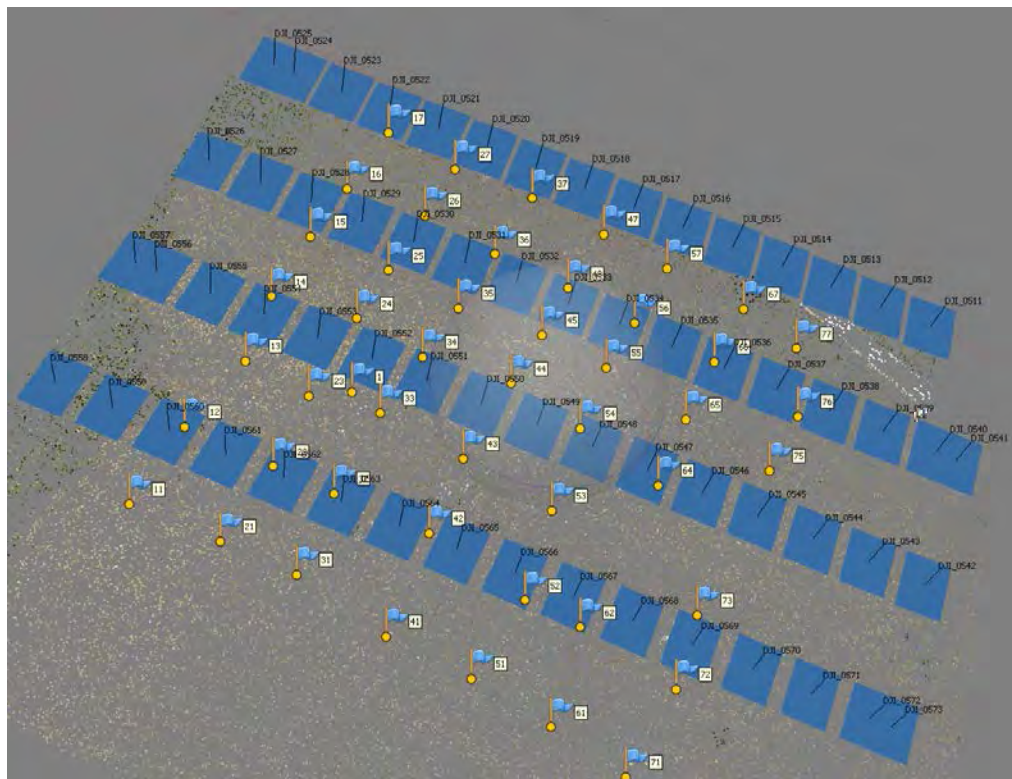
- Székesfehérvártól nem messze Csór és Iszkaszentgyörgy mellett.
- A 200x200 méteres terület.
- A pontjelek mérete 50x50 cm.



Felvételezés

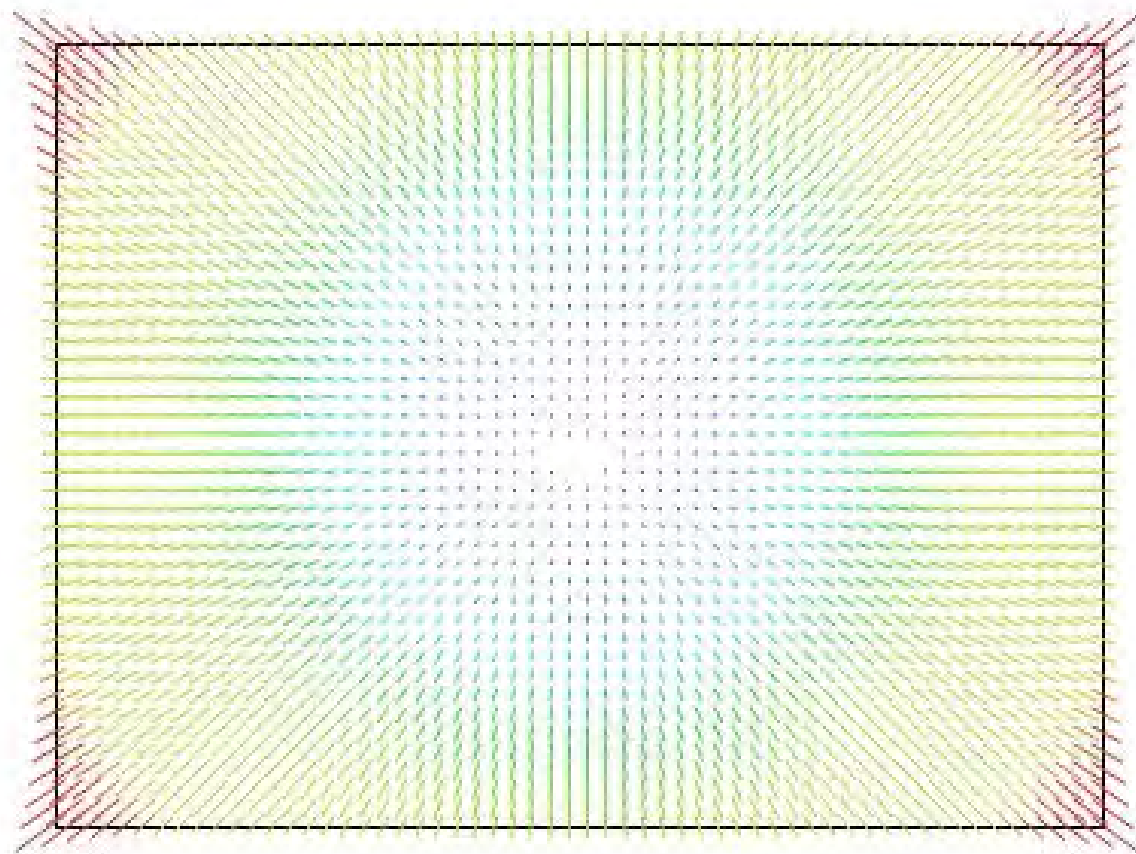


- A felmérés egy DJI Mavic Pro UAV-val történt. Itt az volt a cél, hogy közepes magasságú és nagy átfedéssel rendelkező képek készüljenek. A repülési magasság a talaj felett átlagosan 114 m volt, a tömb pedig 63 képből állt, négy sávba rendezve. Ez az UAV 12 megapixeles kamerával rendelkezik és 4,73 mm névleges fókusszal bír.



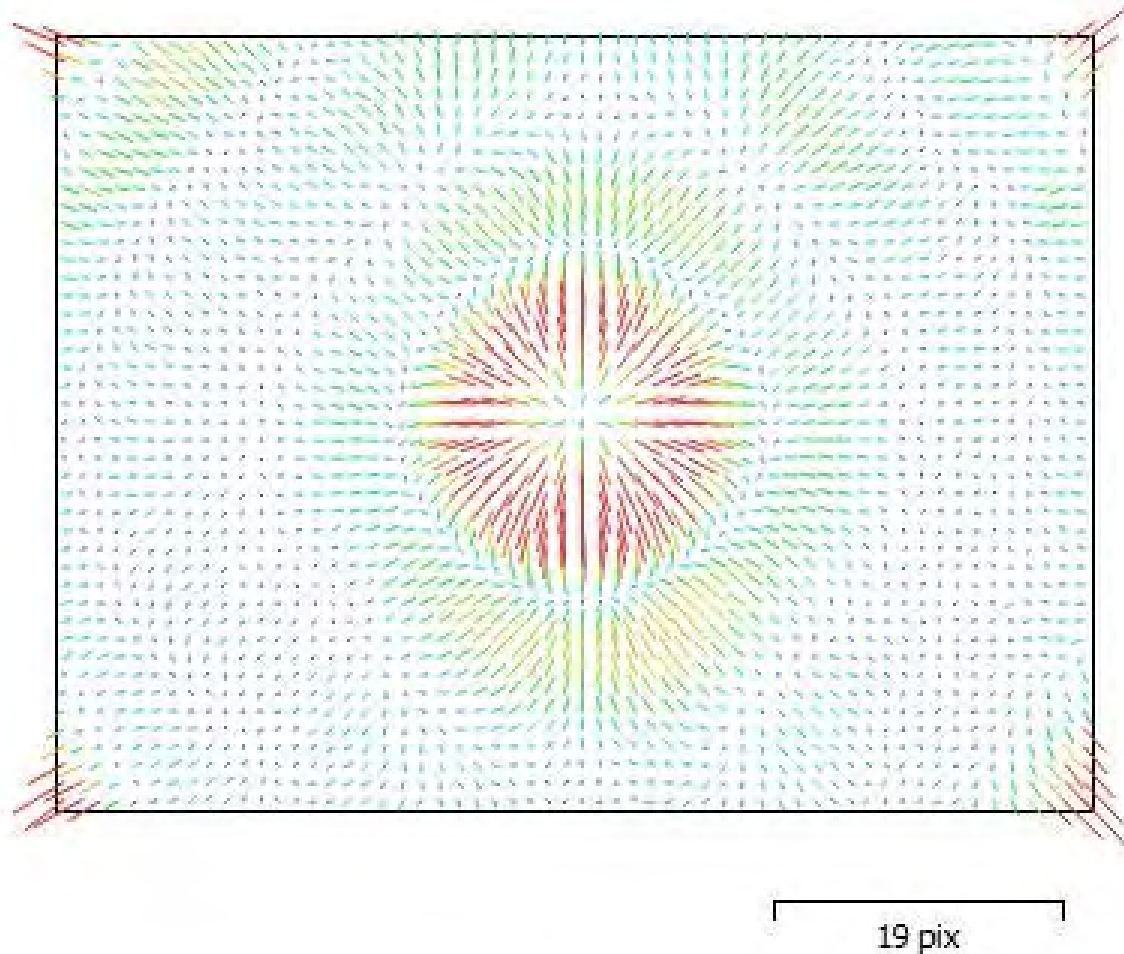
Felmérés paraméterei	
UAV típusa	DJI Mavic Pro
Névleges fókusz [mm]	4.73
Kamera felbontása [pixel]	4000x3000
Pixel mérete [μm]	1.57
Repülési magasság [m]	114
Terepi felbontás [cm]	3.7
Képek száma	63
Illesztőpontok száma	50

Kamera kalibráció eredményei

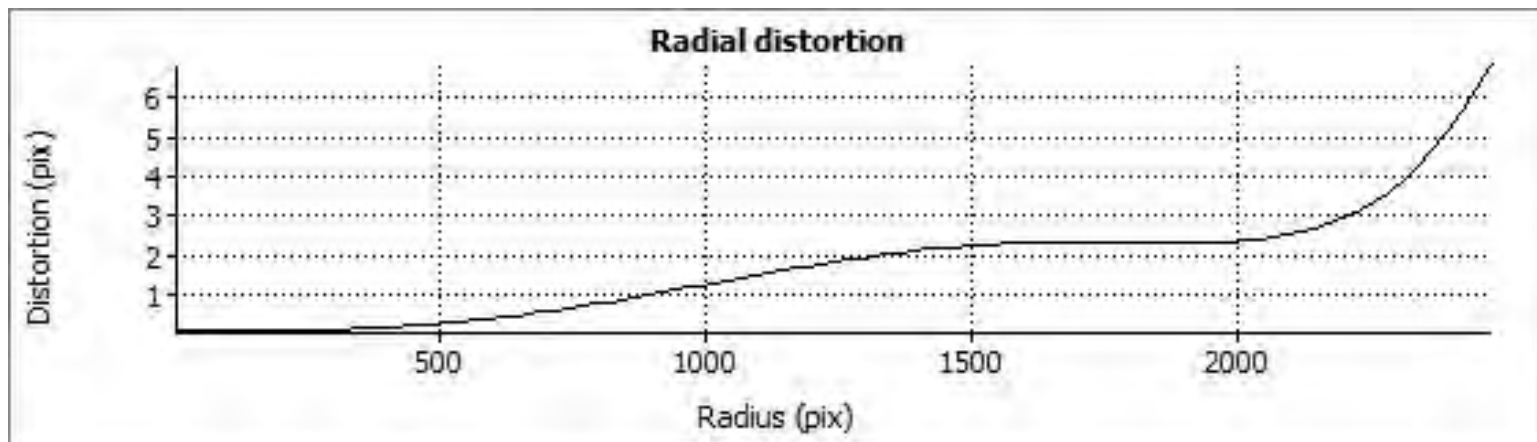


32 pix

Kamera kalibráció eredményei



Kamera kalibráció eredményei

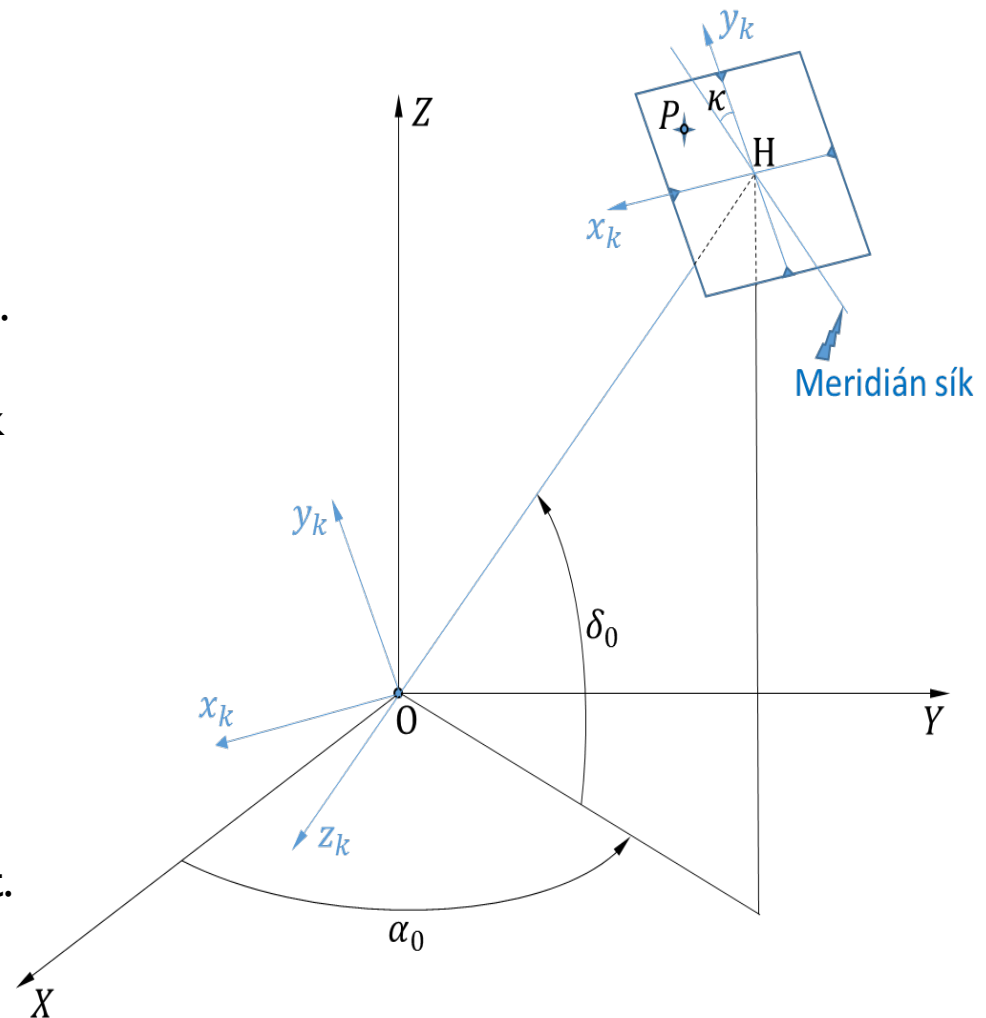


	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3
F	3052.2	1.80004	1.00	0.01	0.14	-0.00	-0.28	0.38
Cx	11.0045	0.728472		1.00	-0.02	0.02	0.01	-0.02
Cy	7.31664	0.802837			1.00	-0.01	-0.03	0.04
K1	0.0164124	0.000137499				1.00	-0.83	0.76
K2	-0.0573264	0.000461294					1.00	-0.98
K3	0.0588983	0.000517985						1.00

Kamera kalibráció csillagok alapján



- A csillagok helyettesíthetik a terepi illesztőpontokat a kamera kalibráció során. Ehhez egyrészt ismernünk kell a képek helyzetét egy égi koordináta-rendszerhez képest. Másrészt a felvételeken nagy pontossággal meg kell mérnünk a lefényképezett csillagok, mint pontok képkoordinátáit (ξ, η). A kamera belső adatait (c_k, ξ_0, η_0) és $\Delta x, \Delta y$ képkoordináta-korrekciókat is felhasználva, fel tudjuk írni a kapcsolatot az égi és a képkoordináta-rendszer között.



Kamera kalibráció csillagok alapján

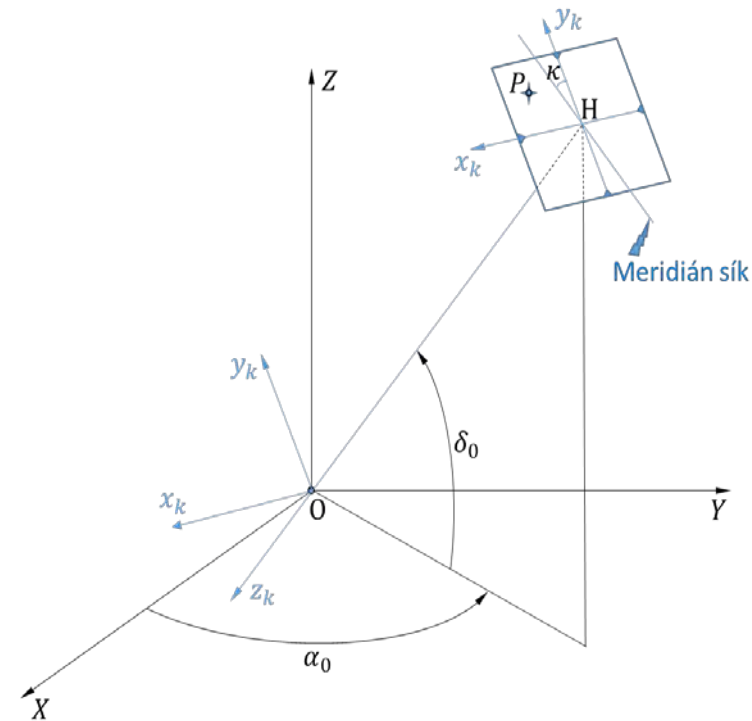


A P ponttal jelölt csillag koordinátáit megadhatjuk az égi koordináta-rendszerben, ahol α rektaszcenzió és δ deklináció szögek a csillag égi helyzetét jelölik:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = K \cdot \begin{bmatrix} \cos\alpha \cdot \cos\delta \\ \sin\alpha \cdot \cos\delta \\ \sin\delta \end{bmatrix} = K \cdot \begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix}$$

Ahol K a képpontra mutató vektor hossza:

$$K = \sqrt{(\xi - \xi_0 - \Delta x)^2 + (\eta - \eta_0 - \Delta y)^2 + c_k^2}$$



Kamera kalibráció csillagok alapján



A képkordináta-rendszert térben elforgatva az égi koordináta-rendszerbe, felírhatjuk a kapcsolatot a két rendszer között:

$$\mathbf{R} \begin{bmatrix} \xi - \xi_0 - \Delta x \\ \eta - \eta_0 - \Delta y \\ -c_k \end{bmatrix} = K \cdot \begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \sin\alpha_0 \cos\kappa - \cos\alpha_0 \sin\delta_0 \sin\kappa & -\sin\alpha_0 \sin\kappa - \cos\alpha_0 \sin\delta_0 \cos\kappa & -\cos\alpha_0 \cos\delta_0 \\ -\cos\alpha_0 \cos\kappa - \sin\alpha_0 \sin\delta_0 \sin\kappa & \cos\alpha_0 \sin\kappa - \sin\alpha_0 \sin\delta_0 \cos\kappa & -\sin\alpha_0 \cos\delta_0 \\ \cos\delta_0 \sin\kappa & \cos\delta_0 \cos\kappa & -\sin\delta_0 \end{bmatrix}$$

Kamera kalibráció csillagok alapján



A képkordináta-rendszert térben elforgatva az égi koordináta-rendszerbe, felírhatjuk a kapcsolatot a két rendszer között:

$$\begin{aligned}(\xi - \xi_0)(1 - A_1 r^2 - A_2 r^4 - A_3 r^6) &= -c_k \frac{r_{11}U + r_{21}V + r_{31}W}{r_{13}U + r_{23}V + r_{33}W} \\(\eta - \eta_0)(1 - A_1 r^2 - A_2 r^4 - A_3 r^6) &= -c_k \frac{r_{12}U + r_{22}V + r_{32}W}{r_{13}U + r_{23}V + r_{33}W}\end{aligned}$$

A felvételen leképződött csillagok ξ, η képkordinátáit megmérjük és az egyenleteket minden mért csillagra felírjuk. A létrejött egyenletrendszerben a következők lesznek az ismeretlenek: $c_k, \xi_0, \eta_0, A_1, A_2, A_3, \alpha_0, \delta_0, \kappa$.



Felvételek elkészítése

- Törekedjünk a zenit közelében fotózni
- A kamera beállítása: ISO, blende beállítása
- Expozíciós idő kiszámítása: $500/f/CF$

Pl. DJI Mavic Pro esetén max. záridő mp-ben = $500/4.73/(43.27/7.81) = 19.1 \text{ mp}$, ahol 4.73 a fókusz, 7.81 a szenzor képátlója, 43.27 pedig egy full frame szenzor képátlója, így a Crop Factor értéke $CF=5.54$.

Crop factor (CF)

A 35 mm-es film képátlóját (43.27 mm) osztjuk a szenzor képátlójával.

$$\text{Crop factor (CF)} = \frac{43.27 \text{ mm}}{\text{szenzor képátlója mm-ben}}$$



Csillagok beazonosítása és kimérése



Amire szükség van:

- Közelítően:
 $\alpha_0, \delta_0, \kappa$
- Pontosan
minden csillagra:
 $\xi, \eta, \alpha, \delta$

Calibration

Center (RA, Dec): (82.290, -7.162)
 Center (RA, hms): 05^h 29^m 09.489^s
 Center (Dec, dms): -07° 09' 42.016"
 Size: 74.3 x 41.8 deg
 Radius: 42.605 deg
 Pixel scale: 66.8 arcsec/pixel
 Orientation: Up is 327 degrees E of N

Row	field_x 1D pixels	field_y 1D pixels	field_ra 1D degrees	field_dec 1D degrees
1	2.141974365234E+003	2.543046569824E+002	8.881421339509E+001	7.444530210423E+000
2	2.131202880859E+003	1.278247192383E+003	7.866289232684E+001	-8.197355040706E+000
3	3.398508300781E+003	3.935708312988E+002	6.898454176828E+001	1.650499467716E+001
4	1.720612792969E+003	1.103872802734E+003	8.689402425068E+001	-9.645270285204E+000
5	2.097333007813E+003	8.070656738281E+002	8.403474894651E+001	-1.238098501619E+000
6	2.803251708984E+003	2.067324707031E+003	6.077694768019E+001	-1.277822549445E+001
7	2.048490905762E+002	1.399578735352E+003	1.071002218583E+002	-2.639540195538E+001
8	1.967822631836E+003	1.024677490234E+003	8.383111676697E+001	-5.922700730537E+000
9	3.588532470703E+003	2.035232055664E+003	5.158283769039E+001	-4.525353683119E+000
10	2.272369079590E+002	2.298547973633E+002	1.153204085900E+002	-9.561878370249E+000
11	3.471572021484E+003	4.784233398438E+002	6.717485825112E+001	1.591254286042E+001
12	2.454957519531E+003	5.367350463867E+002	8.128671136872E+001	6.371762751338E+000
13	1.984206787109E+003	1.002437194824E+003	8.380316895607E+001	-5.409970001199E+000
14	9.494121093750E+002	7.083091735840E+000	1.079639648196E+002	-5.147834471050E-001
15	3.599951416016E+003	2.973065185547E+002	6.716963104381E+001	1.918447406103E+001
16	2.024145141602E+003	8.071333007813E+002	8.516550663266E+001	-1.976252892093E+000
17	1.314513671875E+003	6.821255493164E+002	9.722890300180E+001	-7.018041906167E+000



Submission 5585428

Submitter: [anonymous \(1\)](#)
 Date Submitted: *2022-03-14T08:32:39Z*
 Filename: DJI_0059.JPG

Upload Settings

Parity: try both simultaneously
 Scale Units: width of the field (in degrees)
 Scale Type: bounds
 Scale Lower Bound: 0.1
 Scale Upper Bound: 180.0
 Downsample Factor: 2



[Go to results page](#)

Job 6286214:

Success

[Source extraction image \(fullsize\)](#)

[Log file tail \[-\]](#)

(full)

```
B =          0          0  1.1297e-05
          0  1.2011e-05
      5.1224e-07
AP =      -0.1314  0.00044331  9.7557e-07
      0.00069414 -7.1798e-06
      -1.1318e-05
BP =      -0.093484  0.00059637 -1.1164e-05
      0.00025318 -1.1856e-05
      -4.8097e-07
```

$\sqrt{\det(CD)} = 66.84$ [arcsec]

Found tag-along columns from field: FLUX BACKGROUND

Field 1: solved with index index-4114.fits.

Field 1: tried 281414 quads, matched 723961 codes.

Spent 65.6004 s user, 1.37177 s system, 66.9721 s total, 67.0678 s wall time.

Writing 259 rows (of 637 field and 1407 index objects) to correspondence file.

cx<=dx constraints: 0

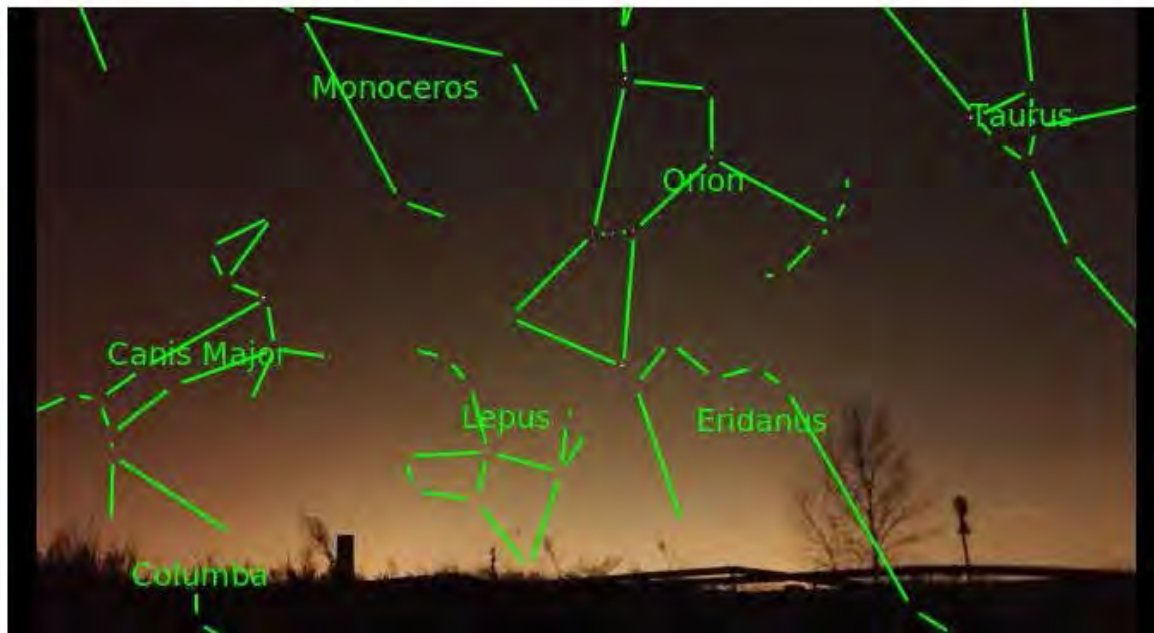
meanx constraints: 1334247

RA,Dec constraints: 0

AB scale constraints: 0

Spent 67.0777 seconds on this field.

Images > DJI_0059.JPG



Submitted by anonymous (1)
on 2022-03-14T08:32:39Z
as "DJI_0059.JPG" (Submission
5585428)
under Attribution 3.0 Unported

Job Status

Job 6286214:
Success

Calibration

Center (RA, Dec): (82.290, -7.162)
Center (RA, hms): 05^h 29^m 09.489^s
Center (Dec, dms): -07° 09' 42.016"
Size: 74.3 x 41.8 deg
Radius: 42.605 deg
Pixel scale: 66.8 arcsec/pixel
Orientation: Up is 327 degrees E of N
WCS file: [wcs.fits](#)
New FITS image: [new-image.fits](#)
Reference stars nearby (RA,Dec table): [rdls.fits](#)
Stars detected in your images (x,y table): [axy.fits](#)
Correspondences between image and reference stars (table): [corr.fits](#)
Legacy Surveys sky browser: [browse the sky](#)
KMZ (Google Sky): [image.kmz](#)
World Wide Telescope: [view in WorldWideTelescope](#)

Nearby Images (View All)



Comments

No comments.

Please Sign In to post comments.

Csillagok keresése



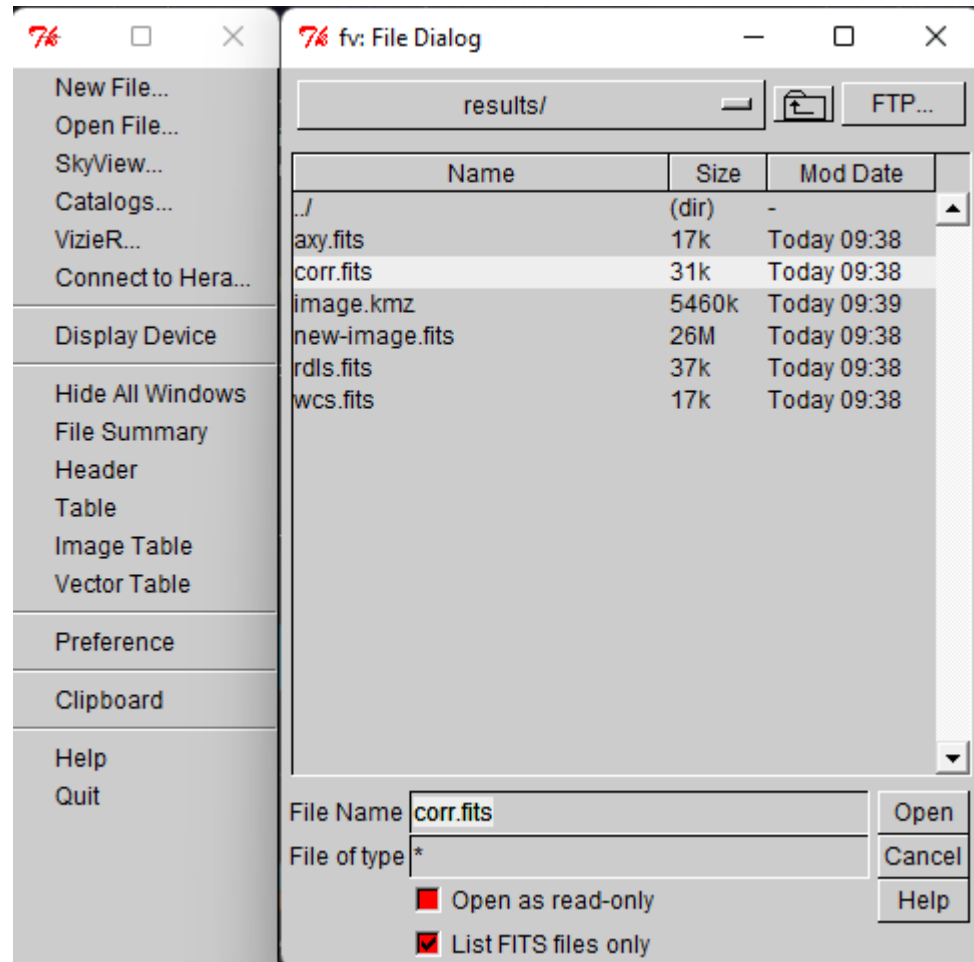
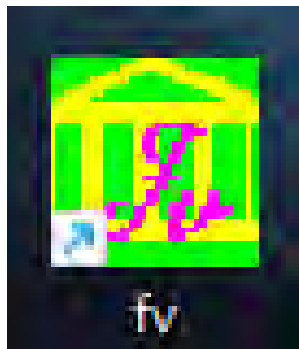
Csillagokképek beazonosítása



Koordináták kiolvasása



- CORR.FITS fájl letöltése
- CORR.FITS fájl beolvasása



Koordináták kiolvasása



76 fv: Summary of corr.fits in C:/TEMP/star_drone/results/

File Edit Tools Help

Index	Extension	Type	Dimension	View				
0	Primary	Image	0	Header	Image	Table		
1	NoName	Binary	13 cols X 259 rows	Header	Hist	Plot	All	Select

76 fv: Binary Table of corr.fits[1] in C:/TEMP/star_drone/results/

File Edit Tools Help

Select	field_x	field_y	field_ra	field_dec	index_x	index_y
All	1D	1D	1D	1D	1D	1D
Invert	pixels	pixels	degrees	degrees	pixels	pixels
	Modify	Modify	Modify	Modify	Modify	Modify
1	2.141974365234E+003	2.543046569824E+002	8.881421339509E+001	7.444530210423E+000	2.141463321182E+003	2.564194671481E+002
2	2.131202880859E+003	1.278247192383E+003	7.866289232684E+001	-8.197355040706E+000	2.132486129797E+003	1.279394299660E+003
3	3.398508300781E+003	3.935708312988E+002	6.898454176828E+001	1.650499467716E+001	3.399270310761E+003	3.934587631629E+002
4	1.720612792969E+003	1.103872802734E+003	8.689402425068E+001	-9.645270285204E+000	1.717642654119E+003	1.103581241245E+003
5	2.097333007813E+003	8.070656738281E+002	8.403474894651E+001	-1.238098501619E+000	2.097472706323E+003	8.046851635519E+002
6	2.803251708984E+003	2.067324707031E+003	6.077694768019E+001	-1.277822549445E+000	2.788114922061E+003	2.056341561774E+003
7	2.048490905762E+002	1.399578735352E+003	1.071002218583E+002	-2.639540195538E+000	2.051518189101E+002	1.399095069602E+003
8	1.967822631836E+003	1.024677490234E+003	8.383111676697E+001	-5.922700730537E+000	1.966893742366E+003	1.023222672084E+003
9	3.588532470703E+003	2.035232055664E+003	5.158283769039E+001	-4.525353683119E+000	3.597941462981E+003	2.051429689002E+003
10	2.272369079590E+002	2.298547973633E+002	1.153204085900E+002	-9.561878370249E+000	2.289948164029E+002	2.303505532618E+002
11	3.471572021484E+003	4.784233398438E+002	6.717485825112E+001	1.591254286042E+001	3.470817584601E+003	4.810504083805E+002
12	2.454957519531E+003	5.367350463867E+002	8.128671136872E+001	6.371762751338E+000	2.454484777505E+003	5.376521414118E+002
13	1.984206787109E+003	1.002437194824E+003	8.380316895607E+001	-5.409970001199E+000	1.984025937939E+003	1.000978075934E+003
14	9.494121093750E+002	7.083091735840E+000	1.079639648196E+002	-5.147834471050E+000	9.495187646376E+002	6.274223086363E+000
15	3.599951416016E+003	2.973065185547E+002	6.716963104381E+001	1.918447406103E+001	3.600930948006E+003	2.980455215781E+002
16	2.024145141602E+003	8.071333007813E+002	8.516550663266E+001	-1.976252892093E+000	2.023873090063E+003	8.047114385859E+002
17	1.314513671875E+003	6.821255493164E+002	9.722890300180E+001	-7.018041906167E+000	1.314579613916E+003	6.832711350522E+002
18	6.094305419922E+002	8.508284912109E+002	1.059377633356E+002	-1.562726324182E+000	6.089366084855E+002	8.508092447923E+002
19	3.580492431641E+003	5.574182739258E+002	6.497323017329E+001	1.564602701583E+001	3.581421267953E+003	5.593577669118E+002
20	2.725500000000E+003	2.005500000000E+003	6.242760379921E+001	-1.274483366209E+000	2.731864865767E+003	1.996783722570E+003

Go to:

Edit cell:

Koordináták



Row	field_x 1D pixels	field_y 1D pixels	field_ra 1D degrees	field_dec 1D degrees
1	2.141974365234E+003	2.543046569824E+002	8.881421339509E+001	7.444530210423E+000
2	2.131202880859E+003	1.278247192383E+003	7.866289232684E+001	-8.197355040706E+000
3	3.398508300781E+003	3.935708312988E+002	6.898454176828E+001	1.650499467716E+001
4	1.720612792969E+003	1.103872802734E+003	8.689402425068E+001	-9.645270285204E+000
5	2.097333007813E+003	8.070656738281E+002	8.403474894651E+001	-1.238098501619E+000
6	2.803251708984E+003	2.067324707031E+003	6.077694768019E+001	-1.277822549445E+001
7	2.048490905762E+002	1.399578735352E+003	1.071002218583E+002	-2.639540195538E+001
8	1.967822631836E+003	1.024677490234E+003	8.383111676697E+001	-5.922700730537E+000
9	3.588532470703E+003	2.035232055664E+003	5.158283769039E+001	-4.525353683119E+000
10	2.272369079590E+002	2.298547973633E+002	1.153204085900E+002	-9.561878370249E+000
11	3.471572021484E+003	4.784233398438E+002	6.717485825112E+001	1.591254286042E+001
12	2.454957519531E+003	5.367350463867E+002	8.128671136872E+001	6.371762751338E+000
13	1.984206787109E+003	1.002437194824E+003	8.380316895607E+001	-5.409970001199E+000
14	9.494121093750E+002	7.083091735840E+000	1.079639648196E+002	-5.147834471050E-001
15	3.599951416016E+003	2.973065185547E+002	6.716963104381E+001	1.918447406103E+001
16	2.024145141602E+003	8.071333007813E+002	8.516550663266E+001	-1.976252892093E+000
17	1.314513671875E+003	6.821255493164E+002	9.722890300180E+001	-7.018041906167E+000
18	6.094305419922E+002	8.508284912109E+002	1.059377633356E+002	-1.562726324182E+001
19	3.580492431641E+003	5.574182739258E+002	6.497323017329E+001	1.564602701583E+001
20	2.725500000000E+003	2.005500000000E+003	6.242760379921E+001	-1.274483366209E+001
21	2.171240966797E+003	7.971165161133E+002	8.299532846784E+001	-3.418001095517E-001
22	3.015919433594E+003	1.992587402344E+003	5.873206156091E+001	-9.544192728853E+000
23	8.463453979492E+002	7.376009521484E+002	1.035547429965E+002	-1.203178132067E+001
24	1.505327026367E+003	7.516118164063E+002	9.370415786666E+001	-6.267379195376E+000
25	3.772284423828E+003	1.384469604492E+002	6.637364008287E+001	2.227422912441E+001
26	1.042202880859E+003	2.006319213867E+003	8.842328227723E+001	-2.933887020833E+001
27	2.888685302734E+003	7.728908081055E+002	7.245888945206E+001	6.971265350890E+000
28	1.719276977539E+003	1.634321289063E+002	9.596502612354E+001	4.604076887792E+000
29	6.702048950195E+002	9.763900146484E+002	1.040429159986E+002	-1.704375369679E+001
30	3.729740722656E+003	8.720673217773E+002	6.015506017307E+001	1.248313775445E+001
31	2.287943847656E+003	2.002036254883E+003	6.867686314299E+001	-1.734540372917E+001
32	2.192696533203E+003	9.479075927734E+002	8.112757656709E+001	-2.447991919180E+000
33	1.356373413086E+003	6.993734741211E+001	1.019775115834E+002	2.405721795986E+000
34	9.767468872070E+002	9.489993286133E+002	9.982609642548E+001	-1.414806722971E+001
35	3.784056152344E+003	1.018543624878E+002	6.655985264805E+001	2.279014368060E+001
36	2.027179931641E+003	8.519539794922E+002	8.466594587134E+001	-2.638023713678E+000
37	1.998303344727E+003	9.762175292969E+002	8.385149160703E+001	-4.858794412708E+000

Bemeneti fájl összeállítása



- Kezdőértékek megadása
- Eps hibahatár beállítása

A bemeneti fájl soronként a következő adatok kell, hogy tartalmazza:

-
1. sor: Köötött szöveg, melyet pontosan kell beírni: Kamera kalibráció
 2. sor: A projekt leírása, a kalibrációt végző személy neve vagy bármi egyéb szöveg
 3. sor: A szenzor szélessége és magassága pixelben, valamint egy pixel mérete mikronban
 4. sor: Kezdőértékek: C_k X_0 Y_0 mm-ben. A_1 A_2 A_3 . α_0 Δ_0 κ deg-ben. Eps mm-ben.
 5. és minden további sor: P_{sz} $X_{mért}$ $Y_{mért}$ koordináta pixelben, RA , DE értékek deg-ben.

Eps érték beállítása



Az Eps határérték megadása nagyban befolyásolja a kiegyenlítés sikerét. Ennek értékét akkor választjuk meg reálisan, ha ismerjük a képkoordináták mérési pontosságát. Ismerve a pixel méretét mikronban, megadhatjuk az Eps értéket a következő képlettel:

$$Eps = \frac{D_{pixel} \cdot M_{pixel}}{100}$$

D_{pixel} : pixel mérete mikronban,

M_{pixel} : becsült mérési pontosság pixelben kifejezve, ennek értéke 0.1-0.5 között változik jellemzően.

Ha a kiegyenlítés ezzel az Eps értékkel lefut, akkor érdemes a kiegyenlítést megismételni ennél kisebb értékkel is.

Bemeneti fájl (0059.STR)



Kamera kalibráció

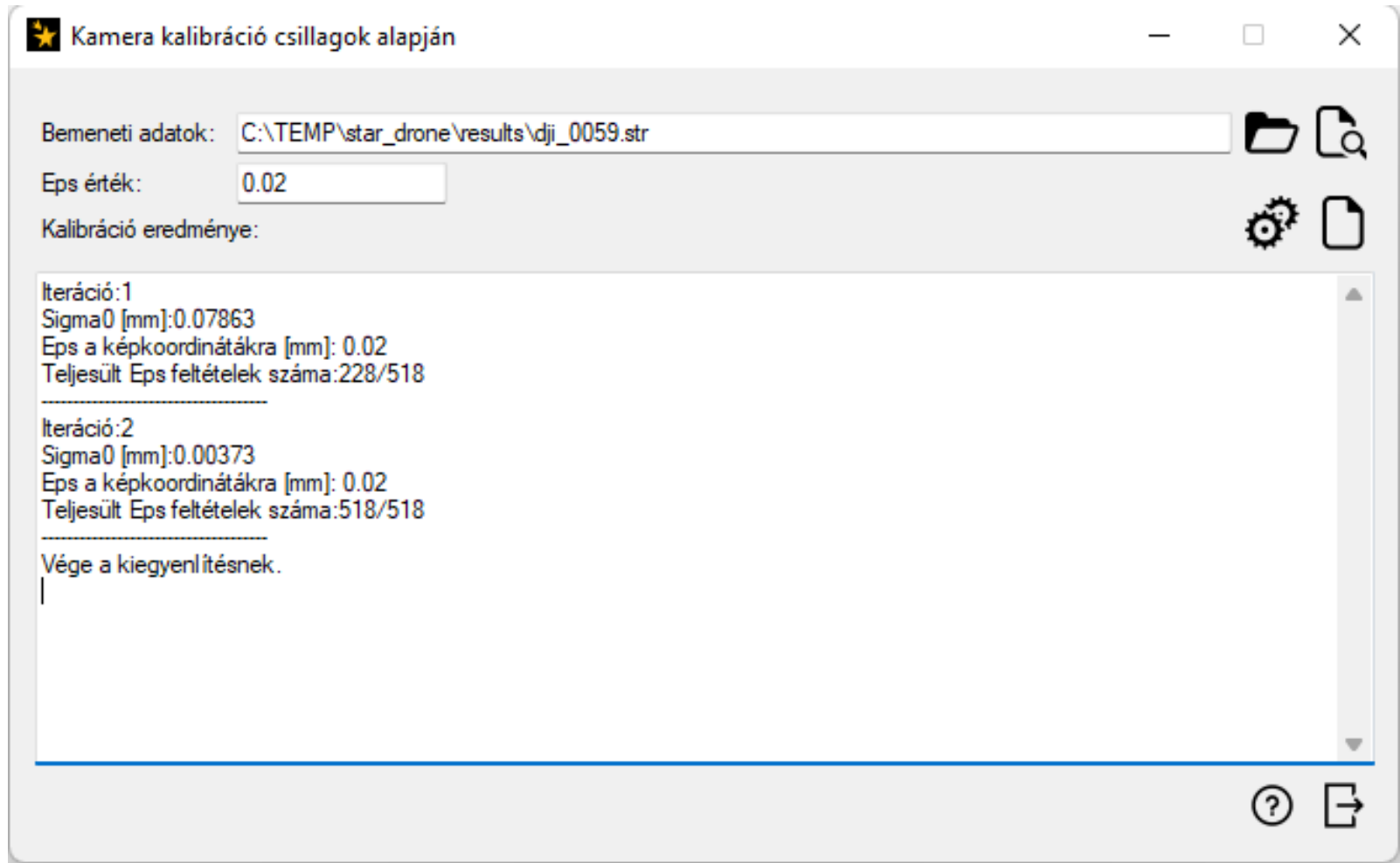
DJI MAVic Pro 2022.02.10. 0059. kép

4000 2250 1.57424

4.73 0 0 0 0 82.290 -7.162 33.0 0.05

1	2.141974365234E+003	2.543046569824E+002	8.881421339509E+001	7.444530210423E+000
2	2.131202880859E+003	1.278247192383E+003	7.866289232684E+001	-8.197355040706E+000
3	3.398508300781E+003	3.935708312988E+002	6.898454176828E+001	1.650499467716E+001
4	1.720612792969E+003	1.103872802734E+003	8.689402425068E+001	-9.645270285204E+000
5	2.097333007813E+003	8.070656738281E+002	8.403474894651E+001	-1.238098501619E+000
6	2.803251708984E+003	2.067324707031E+003	6.077694768019E+001	-1.277822549445E+001
7	2.048490905762E+002	1.399578735352E+003	1.071002218583E+002	-2.639540195538E+001
8	1.967822631836E+003	1.024677490234E+003	8.383111676697E+001	-5.922700730537E+000
9	3.588532470703E+003	2.035232055664E+003	5.158283769039E+001	-4.525353683119E+000
10	2.272369079590E+002	2.298547973633E+002	1.153204085900E+002	-9.561878370249E+000
11	3.471572021484E+003	4.784233398438E+002	6.717485825112E+001	1.591254286042E+001
12	2.454957519531E+003	5.367350463867E+002	8.128671136872E+001	6.371762751338E+000
13	1.984206787109E+003	1.002437194824E+003	8.380316895607E+001	-5.409970001199E+000
14	9.494121093750E+002	7.083091735840E+000	1.079639648196E+002	-5.147834471050E-001
15	3.599951416016E+003	2.973065185547E+002	6.716963104381E+001	1.918447406103E+001
16	2.024145141602E+003	8.071333007813E+002	8.516550663266E+001	-1.976252892093E+000
17	1.314513671875E+003	6.821255493164E+002	9.722890300180E+001	-7.018041906167E+000
18	6.094305419922E+002	8.508284912109E+002	1.059377633356E+002	-1.562726324182E+001
19	3.580492431641E+003	5.574182739258E+002	6.497323017329E+001	1.564602701583E+001
20	2.725500000000E+003	2.005500000000E+003	6.242760379921E+001	-1.274483366209E+001
21	2.171240966797E+003	7.971165161133E+002	8.299532846784E+001	-3.418001095517E-001
22	3.015919433594E+003	1.992587402344E+003	5.873206156091E+001	-9.544192728853E+000
23	8.463453979492E+002	7.376009521484E+002	1.035547429965E+002	-1.203178132067E+001
24	1.505327026367E+003	7.516118164063E+002	9.370415786666E+001	-6.267379195376E+000
25	3.772284423828E+003	1.384469604492E+002	6.637364008287E+001	2.227422912441E+001

Kalibráció futtatása



Jegyzőkönyv (I)



Kamera kalibráció csillagok alapján

Projekt neve: DJI MAVic Pro 2022.02.10. 0059. kép

Dátum: 2022. március 14., hétfő

Kamera adatai

Szenzor szélessége [pixel]: 4000

Szenzor magassága [pixel]: 2250

Pixelméret [mikron]: 1.5742

Kamera kalibráció kezdőértékei

Ck [mm]: 4.7300

X0 [mm]: 0.0000

Y0 [mm]: 0.0000

Al0 [deg]: 82.2900

De0 [deg]: -7.1620

Kap [deg]: 33.0000

K1 : 0.000000E+000

K2 : 0.000000E+000

K3 : 0.000000E+000

Csillagok száma: 259

Jegyzőkönyv (2)



Csillagok mért és kiegyenlített koordinátái, ellentmondások

Psz	x_mert	y_mert	x_szam	y_szam	vx	vy	wx	wy
1	0.2235	1.3707	0.2226	1.3729	0.00138	-0.00114	0.37301	-0.30709
2	0.2065	-0.2412	0.2067	-0.2396	0.00017	-0.00158	0.04530	-0.42567
3	2.2016	1.1514	2.1994	1.1557	0.00392	-0.00358	1.06620	-0.96595
4	-0.4398	0.0333	-0.4371	0.0353	-0.00275	-0.00170	-0.74346	-0.45668
5	0.1532	0.5005	0.1534	0.5032	0.00015	-0.00208	0.04076	-0.56047
6	1.2645	-1.4834	1.2604	-1.4916	0.00484	0.00734	1.30901	1.98308
7	-2.8260	-0.4323	-2.8233	-0.4357	-0.00446	0.00386	-1.21560	1.04306
8	-0.0507	0.1579	-0.0495	0.1603	-0.00097	-0.00201	-0.26135	-0.53981
9	2.5007	-1.4329	2.4947	-1.4432	0.00768	0.00927	2.10884	2.51716
10	-2.7908	1.4092	-2.7904	1.4091	-0.00166	0.00164	-0.45448	0.44478
11	2.3166	1.0179	2.3143	1.0220	0.00403	-0.00353	1.09397	-0.95281
12	0.7162	0.9261	0.7145	0.9290	0.00251	-0.00215	0.67757	-0.57951
13	-0.0249	0.1929	-0.0238	0.1954	-0.00084	-0.00203	-0.22485	-0.54677
14	-1.6539	1.7599	-1.6543	1.7609	-0.00009	0.00053	-0.02428	0.14286
15	2.5187	1.3030	2.5167	1.3073	0.00392	-0.00360	1.07353	-0.97512
16	0.0380	0.5004	0.0386	0.5030	-0.00035	-0.00202	-0.09323	-0.54439
17	-1.0791	0.6972	-1.0757	0.6994	-0.00381	-0.00130	-1.02930	-0.34999

...

256	1.8706	-0.1096	1.8667	-0.1085	0.00527	-0.00120	1.42185	-0.32319
257	2.7559	-0.2621	2.7519	-0.2630	0.00587	0.00063	1.59750	0.16922
258	2.6818	-0.2165	2.6780	-0.2171	0.00568	0.00028	1.54188	0.07538
259	2.4263	-0.1568	2.4226	-0.1566	0.00542	-0.00037	1.46722	-0.09882

Jegyzőkönyv (3)



Kiegyenlítés eredménye

Iterációk száma: 2

Eps határérték [mm]: 0.02

Teljesült Eps feltételek: 518/518

Sigma0 [mm]: 0.00373

Kiegyenlített paraméterek és (s) középphibáik

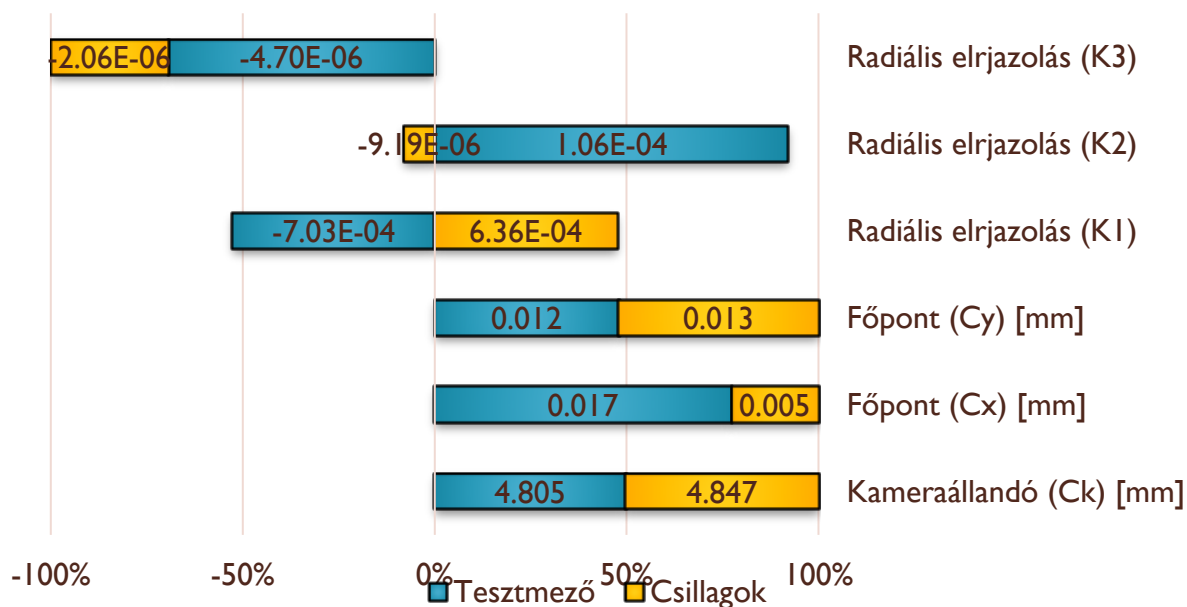
Ck [mm]:	4.8472	s:	0.00391 [mm]
X0 [mm]:	0.0053	s:	0.00191 [mm]
Y0 [mm]:	0.0128	s:	0.00348 [mm]
Al0 [deg]:	82.3236	s:	102.2595 [sec]
De0 [deg]:	-7.0307	s:	123.6259 [sec]
Kap [deg]:	33.3111	s:	26.8252 [sec]
K1 :	6.355567E-004	s:	4.894772E-004
K2 :	-9.191144E-006	s:	8.774935E-005
K3 :	-2.060497E-006	s:	4.742352E-006

Eredmények összehasonlítása



Paraméterek	Tesztmező	Csillagok
Kameraállandó (Ck) [mm]	4.805	4.847
Főpont (Cx) [mm]	0.017	0.005
Főpont (Cy) [mm]	0.012	0.013
Radiális elrjazolás (K1)	-7.03E-04	6.36E-04
Radiális elrjazolás (K2)	1.06E-04	-9.19E-06
Radiális elrjazolás (K3)	-4.70E-06	-2.06E-06

Belső adatok

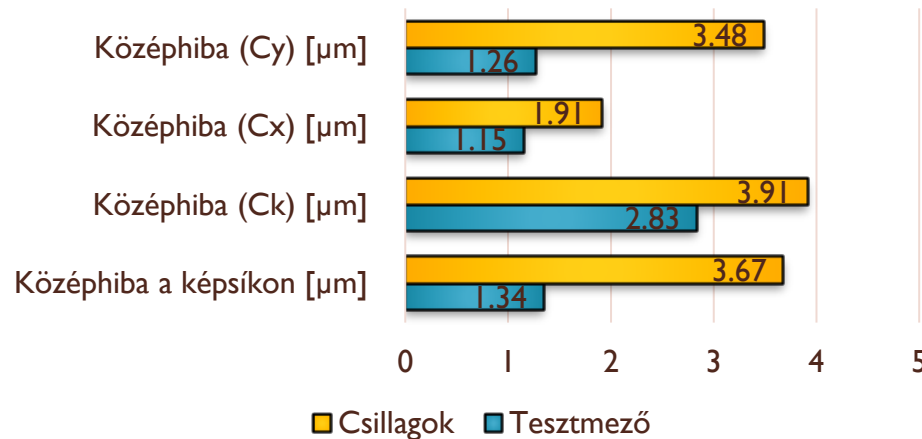


Eredmények összehasonlítása



Középhibák	Tesztmező	Csillagok
M(X) középhiba [cm]	2.7	
M(Y) középhiba [cm]	2.7	
M(Z) középhiba [cm]	3	
M(XY) középhiba [cm]	3.8	
M(XYZ) középhiba [cm]	4.9	
Középhiba a képsíkon [μm]	1.34	3.67
Középhiba (Ck) [μm]	2.83	3.91
Középhiba (Cx) [μm]	1.15	1.91
Középhiba (Cy) [μm]	1.26	3.48

Középhibák



Összegzés



- Kamera kalibráció terepi tesztmező alapján pontosabb eredményt ad, viszont a megvalósítás költségesebb és hosszabb időt vesz igénybe.
- Kamera kalibráció csillagok alapján könnyen megvalósítható. Nagy előny, hogy nem kell illesztőpontmezőt létesíteni, ezért nem merülnek fel költségek.
- Több folyamat is automatizálható:
 - Csillagok beazonosítása,
 - Csillagok mérése a képen,
 - Hibás mérések kiszűrése.



KÖSZÖNJÜK A FIGYELMET!

