

GISOPEN 2021

2021. AUGUSZTUS 25-27.

Szakmai jövőkép 25 év tapasztalattal



Kamera kalibrációs szoftver fejlesztése

Dr. habil. Jancsó Tamás



ÓBUDAI EGYETEM
ALBA REGIA MŰSZAKI KAR

Témakörök

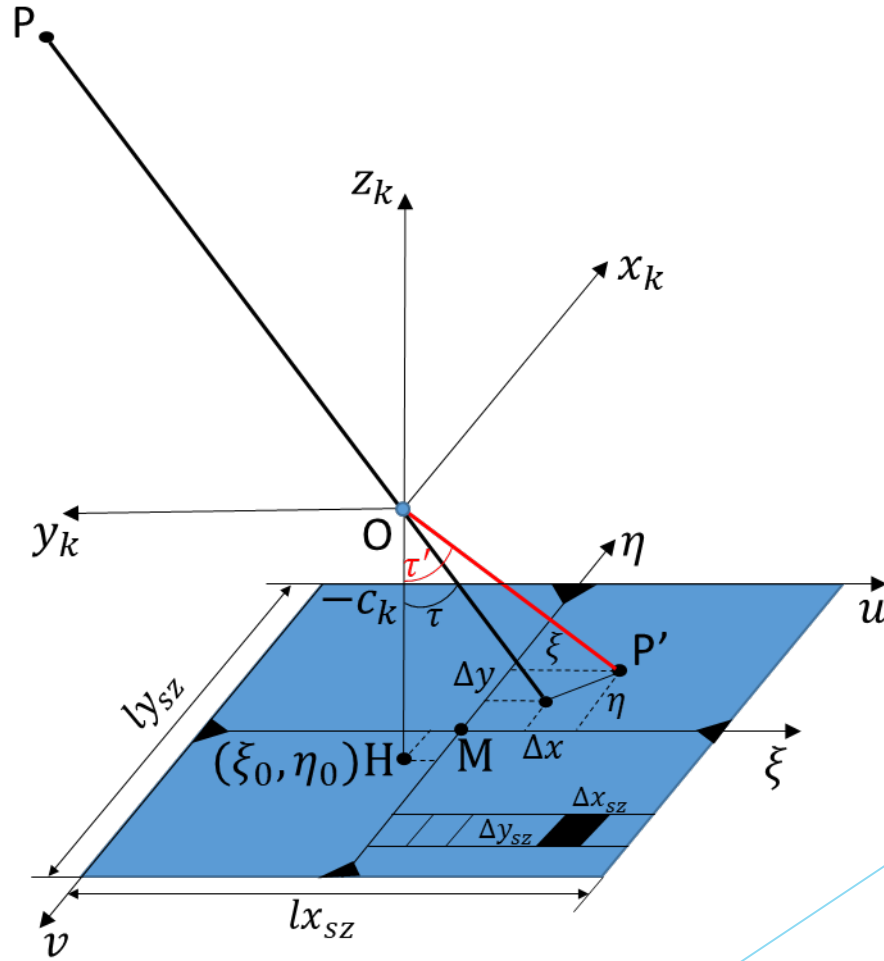
- ▶ Elméleti háttér
- ▶ Algoritmus
- ▶ Alkalmazási példa
- ▶ Tovább lépési lehetőségek
- ▶ Összefoglalás





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



Kamera kalibráció célja

- ▶ Kameraállandó értéke (c_k), a főpont képkoordinátái (ξ_0, η_0).
- ▶ Az ideális centrális vetítéstől eltérő hibák, mint összegzett $\Delta x, \Delta y$ képkoordináta korrekciók: objektív elrajzolási hibái (radiális (A_1, A_2, A_3), tangenciális (B_1, B_2)) és a képkoordináta-rendszer affin torzulása (C_1, C_2).

$$\Delta r_{rad} = A_1 \cdot r^3 + A_2 \cdot r^5 + A_3 \cdot r^7 \quad \longrightarrow \quad \Delta x_{rad} = (\xi - \xi_0) \frac{\Delta r_{rad}}{r} \quad \Delta y_{rad} = (\eta - \eta_0) \frac{\Delta r_{rad}}{r}$$

r a szimmetria-főponttól mért radiális távolságot jelöli: $r = \sqrt{(\xi - \xi_0)^2 + (\eta - \eta_0)^2}$

$$\Delta x_{tan} = B_1(r^2 + 2(\xi - \xi_0)^2) + 2B_2(\xi - \xi_0)(\eta - \eta_0)$$

$$\Delta y_{tan} = B_2(r^2 + 2(\eta - \eta_0)^2) + 2B_1(\xi - \xi_0)(\eta - \eta_0)$$

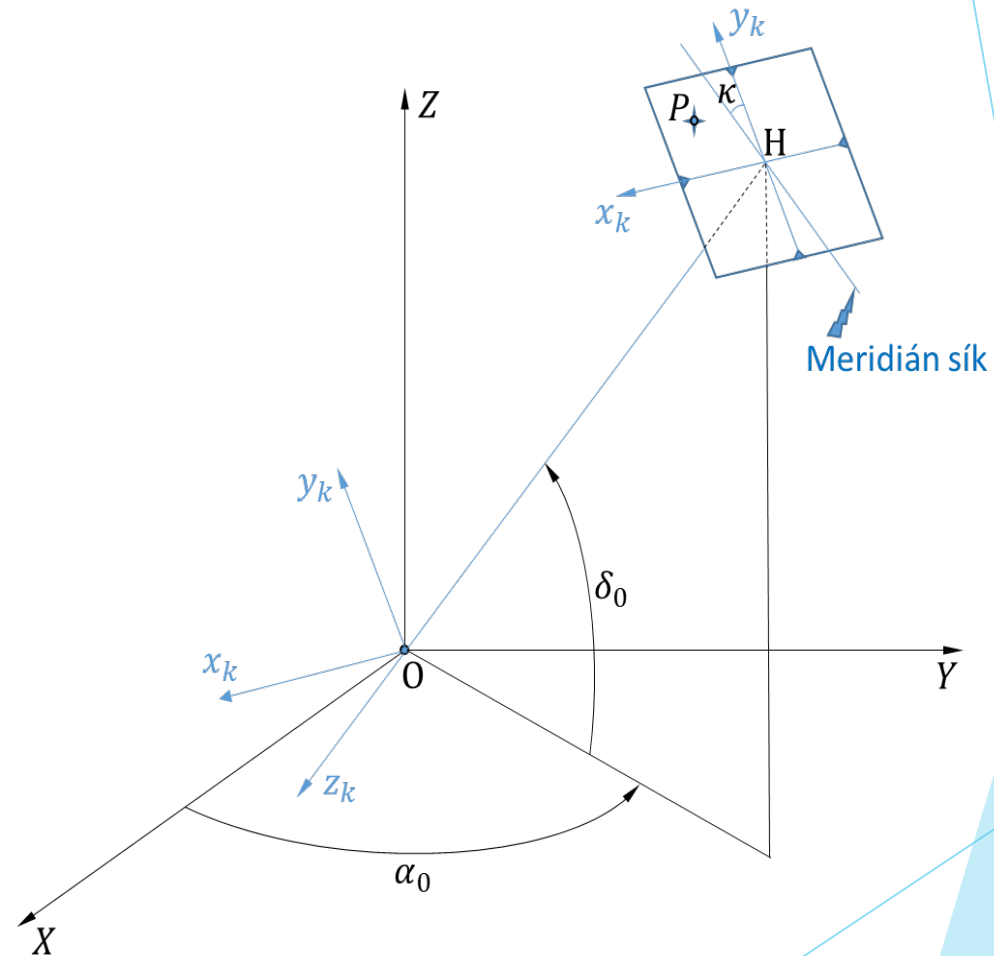
$$\Delta x_{aff} = C_1(\xi - \xi_0) + C_2(\eta - \eta_0)$$

$$\Delta y_{aff} = 0$$



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.





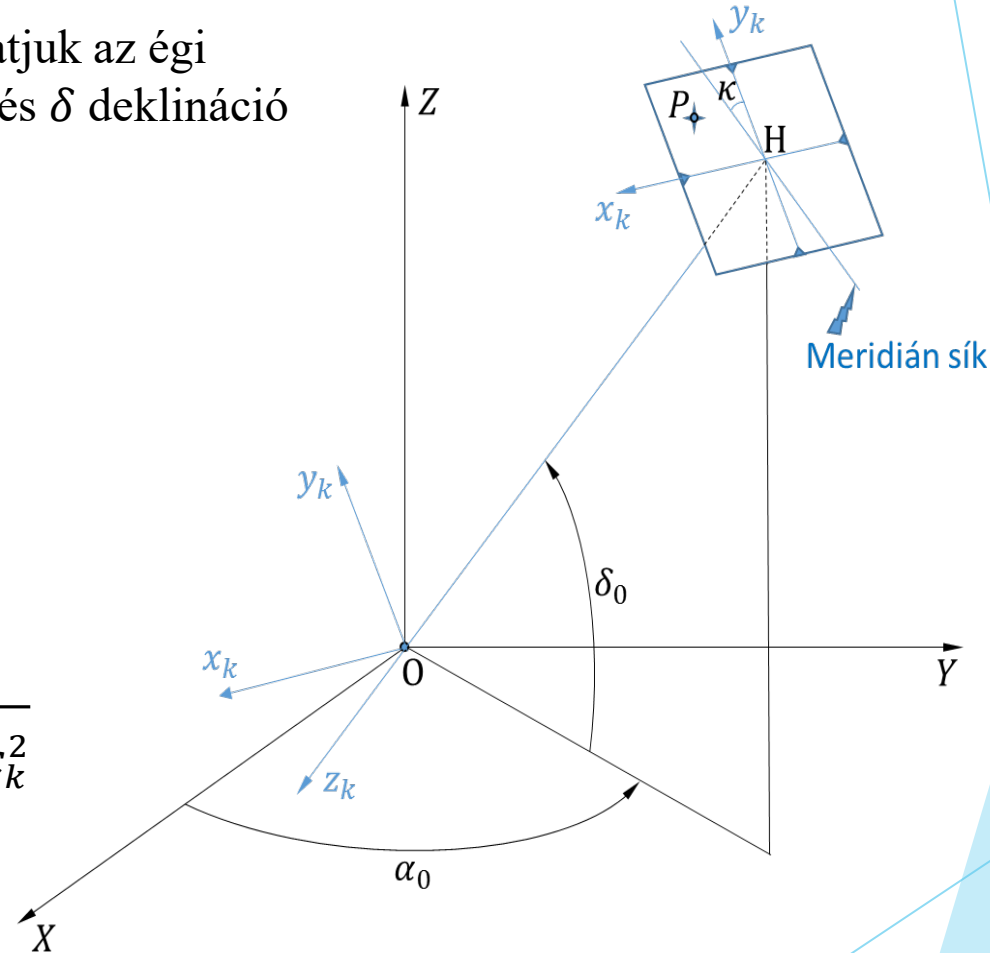
Kamera kalibráció csillagok alapján

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 képkoordináta-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 képkoordinátáit megmérjük és az egyenleteket minden mért csillagra felírjuk. A létrejött egyenletrendszerben a következők lesznek az ismeretlenek: $c_k, \xi_0, \eta_0, A_1, A_2, A_3, \alpha_0, \delta_0, \kappa$.

Kamera kalibráció csillagok alapján



Problémák:

- A kalibrációhoz legalább öt csillag mérésére van szükség. A valóságban ennél jóval több csillagot tudunk mérni, szelektálni.
- Célszerű zenit irányában fotózni, mert ott kisebb az atmoszférikus refrakció hatása.
- Nem sikerül az azonos csillagokat azonos fényerővel leképezni a felvételeken. Ekkor ugyanannak a csillagnak a képe a különböző felvételeken eltérő fényességű és látszólagos átmérőjű lehet a méréskor.
- Ki kell számítanunk α_0, δ_0 szögeket, ehhez szükségünk lesz a zenit távolságra, a földrajzi helyzetünkre és a pontos időpontra.
- Emellett a csillagok mért ξ, η képkoordinátáit az atmoszférikus refrakció hatása miatt is meg kell javítanunk.

Algoritmus



- Felvételek elkészítése
- Csillagok beazonosítása, égi koordináták meghatározása
- Csillagok képkoordinátáinak kimérése
- Kezdőértékek megadása
- Eps hibahatár beállítása
- Kiegyenlítés iterációval
- Hibaszűrés
- Jegyzőkönyv készítése

Felvételek elkészítése



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

Crop factor (CF)

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

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

Canon 1300D crop factor (CF):

Szenzor képátló = 26.82 mm

Crop factor (CF) = 1.61

Pl. Canon 1330D esetén:

$$500/18/1.61=17.2 \text{ mp}$$

$$500/55/1.61=5.6 \text{ mp}$$



Óbudai Egyetem

Alba Regia Műszaki Kar

Geoinformatikai Intézet



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

**KAMERA KALIBRÁCIÓ MEGOLDÁSA
ASZTROFOTÓ ALAPJÁN**

Alkalmazási
példa

Szerző: Bánó Boldizsár

Földmérő és földrendező mérnök szak

BSc 4. évf.

Konzulens: Dr. habil Jancsó Tamás

egyetemi docens

Székesfehérvár, 2019

Csillagok beazonosítása és kimérése



Amire szükség van:

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

Calibration

Center (RA, Dec): (296.030, 49.152)
Center (RA, hms): 19^h 44^m 07.214^s
Center (Dec, dms): +49° 09' 06.943"
Size: 67.3 x 44.9 deg
Radius: 40.454 deg
Pixel scale: 70.1 arcsec/pixel
Orientation: Up is 194 degrees E of N



Astrometry.net

NOTE: signins should be working again... but read about account migration. Not signed in | Sign In

Home

Explore

Upload

API

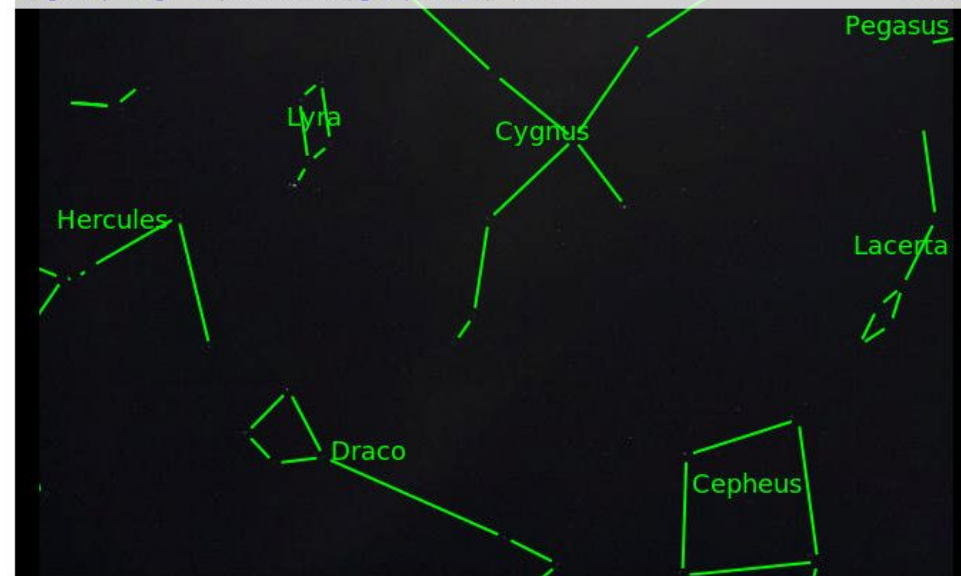
Support

Search

Images > IMG_2941_1.jpg

original | red-green | **annotated** | grid | SDSS | extraction

fullsize



Submitted by anonymous (1)
on 2021-08-21T21:20:28Z
as "IMG_2941_1.jpg" (Submission
4913754)
under Attribution 3.0 Unported

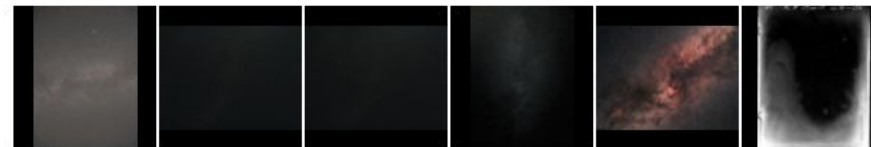
Job Status

Job 5616726:
Success

Calibration

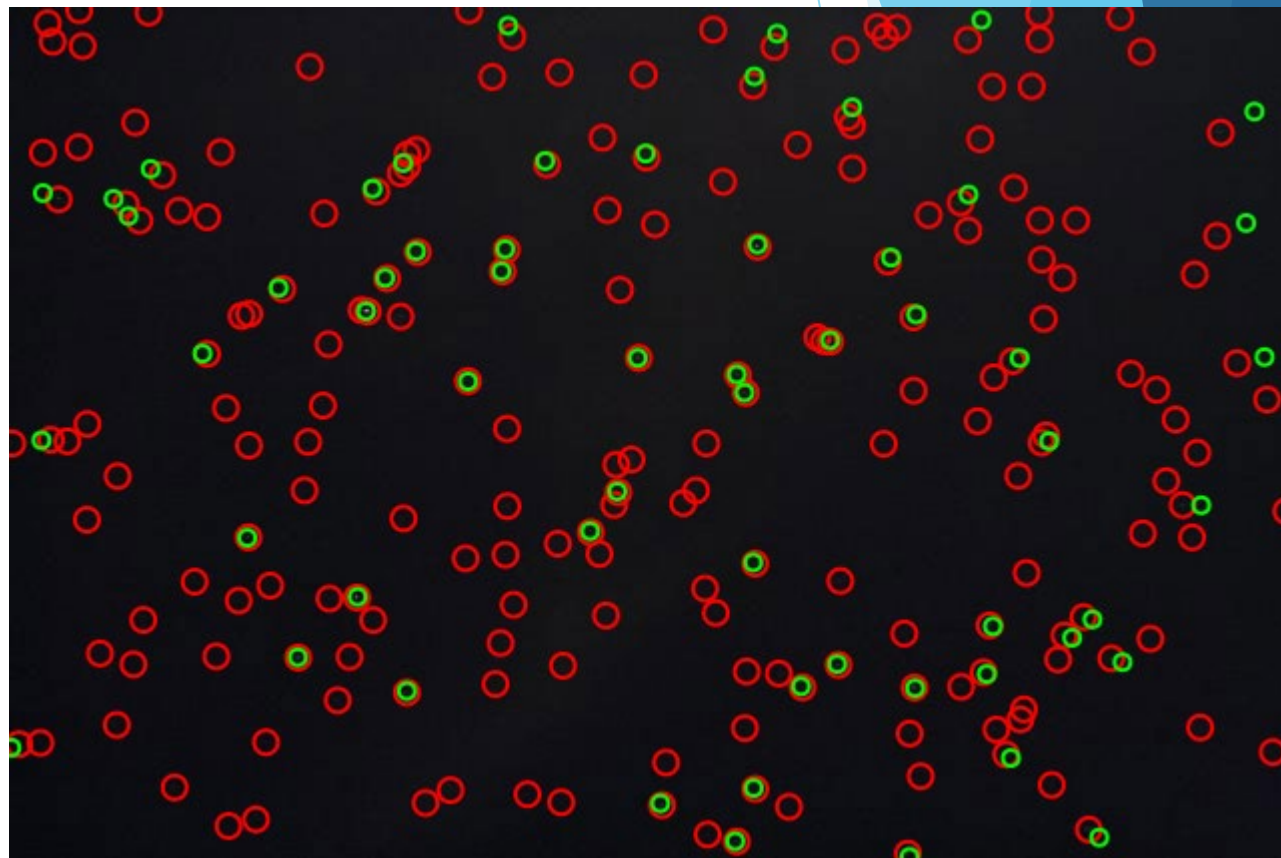
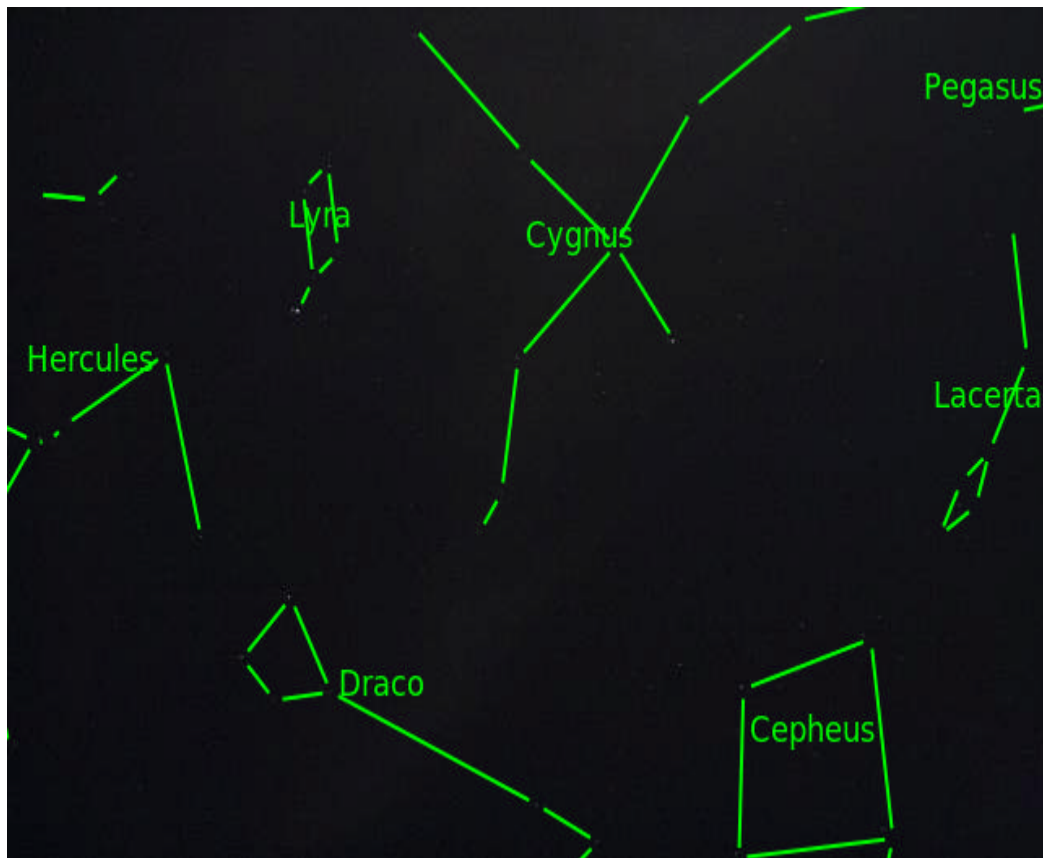
Center (RA, Dec): (296.030, 49.152)
Center (RA, hms): 19^h 44^m 07.214^s
Center (Dec, dms): +49° 09' 06.943"
Size: 67.3 x 44.9 deg
Radius: 40.454 deg
Pixel scale: 70.1 arcsec/pixel
Orientation: Up is 194 degrees E of N
WCS file: [wcs.fits](#)
New FITS image: [new-image.fits](#)
Reference stars nearby (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

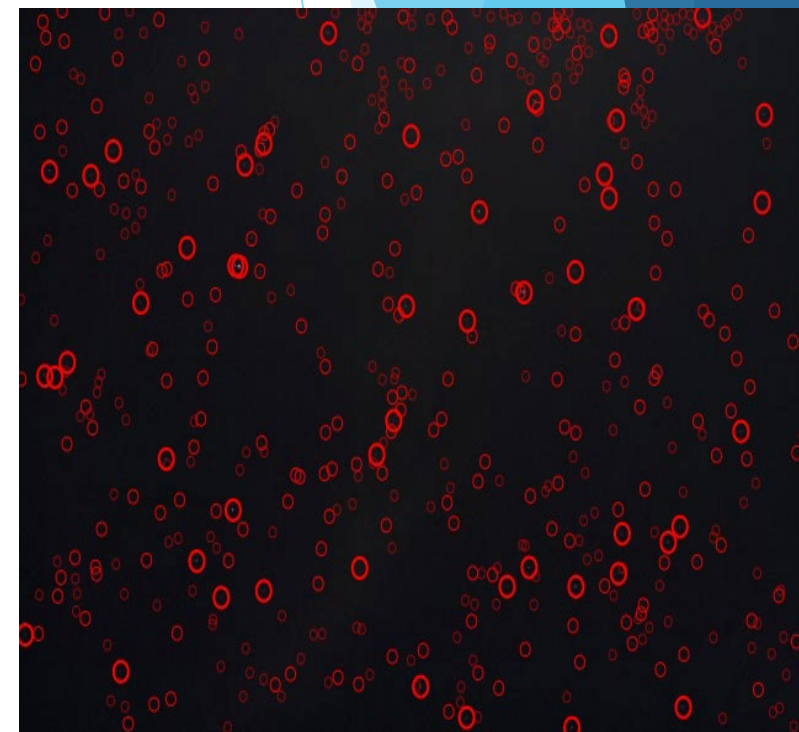
Csillagok beazonosítása és kimérése



Csillagok beazonosítása és kimérése



field_x 1D pixels	field_y 1D pixels	field_ra 1D degrees	field_dec 1D degrees
9.661523437500E+002	8.193925781250E+002	2.792034318207E+002	3.875702078729E+001
2.213715087891E+003	9.008958740234E+002	3.103301491390E+002	4.531041149577E+001
9.375358886719E+002	1.590997314453E+003	2.690778298308E+002	5.146398637645E+001
7.787445068359E+002	1.753016601563E+003	2.626357933955E+002	5.229712553324E+001
2.018228149414E+003	6.451683349609E+002	3.055588622403E+002	4.031669650990E+001
1.760095825195E+003	2.150908447266E+003	2.882261066962E+002	6.769949946645E+001
1.071694580078E+003	1.847205688477E+003	2.683522631158E+002	5.690089758569E+001
6.444465942383E+002	1.428732055664E+003	2.648793757200E+002	4.597124334392E+001
5.326808471680E+002	9.340615234375E+002	2.691023179889E+002	3.729226688023E+001
1.567821289063E+003	1.415001831055E+003	2.892572527497E+002	5.338076527301E+001
1.697256469727E+003	9.447250366211E+002	2.962795473128E+002	4.508547082745E+001
2.236198730469E+003	1.772739501953E+003	3.112349377304E+002	6.185044542162E+001
1.642081787109E+003	1.307047851563E+003	2.924421826498E+002	5.172792992130E+001
1.961939331055E+003	2.248955566406E+003	2.970604790314E+002	7.022468173019E+001
2.139333251953E+003	1.833410644531E+003	3.073586474222E+002	6.301089926355E+001
7.357160034180E+002	7.586202392578E+002	2.749684908317E+002	3.610338746366E+001
1.964924072266E+003	9.912628173828E+002	3.034489847645E+002	4.673724156305E+001
2.011442382813E+003	1.499673828125E+003	3.034152786304E+002	5.659298095720E+001
2.011761230469E+003	2.107296875000E+003	3.006880589936E+002	6.786791913822E+001
1.018409484863E+003	7.303034667969E+002	2.811739627764E+002	3.759236057567E+001
1.101295166016E+003	6.594848632813E+002	2.836012287458E+002	3.689827701616E+001
1.236688720703E+003	1.007277893066E+003	2.837683929452E+002	4.387002651434E+001
1.986130737305E+003	1.039050659180E+003	3.039229661759E+002	4.769230240238E+001
1.340957031250E+003	6.529299926758E+002	2.890949072786E+002	3.811756515814E+001
1.330076416016E+003	7.115855102539E+002	2.884345485957E+002	3.910745554749E+001
2.726622070313E+003	9.446505737305E+002	3.234792672100E+002	4.556638596853E+001





Bemeneti fájl összeállítása

- Kezdőértékek megadása
- Eps hibahatár beállítása

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

-
1. sor: Kötött 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: Psz $X_{mért}$ $Y_{mért}$ 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.



Példa

Kamera kalibráció

Canon EOS 350D 2021.08.21. 2941. kép


3456 2304 6.41



18.0 0 0 0 0 296.030 49.152 166.0 0.03

1	9.661523437500E+002	8.193925781250E+002	2.792034318207E+002	3.875702078729E+001
2	2.213715087891E+003	9.008958740234E+002	3.103301491390E+002	4.531041149577E+001
3	9.375358886719E+002	1.590997314453E+003	2.690778298308E+002	5.146398637645E+001
4	7.787445068359E+002	1.753016601563E+003	2.626357933955E+002	5.229712553324E+001
5	2.018228149414E+003	6.451683349609E+002	3.055588622403E+002	4.031669650990E+001
6	1.760095825195E+003	2.150908447266E+003	2.882261066962E+002	6.769949946645E+001
7	1.071694580078E+003	1.847205688477E+003	2.683522631158E+002	5.690089758569E+001
8	6.444465942383E+002	1.428732055664E+003	2.648793757200E+002	4.597124334392E+001
9	5.326808471680E+002	9.340615234375E+002	2.691023179889E+002	3.729226688023E+001
10	1.567821289063E+003	1.415001831055E+003	2.892572527497E+002	5.338076527301E+001
11	1.697256469727E+003	9.447250366211E+002	2.962795473128E+002	4.508547082745E+001
12	2.236198730469E+003	1.772739501953E+003	3.112349377304E+002	6.185044542162E+001
13	1.642081787109E+003	1.307047851563E+003	2.924421826498E+002	5.172792992130E+001
14	1.961939331055E+003	2.248955566406E+003	2.970604790314E+002	7.022468173019E+001
15	2.139333251953E+003	1.833410644531E+003	3.073586474222E+002	6.301089926355E+001
16	7.357160034180E+002	7.586202392578E+002	2.749684908317E+002	3.610338746366E+001
17	1.964924072266E+003	9.912628173828E+002	3.034489847645E+002	4.673724156305E+001
18	2.011442382813E+003	1.499673828125E+003	3.034152786304E+002	5.659298095720E+001
19	2.011761230469E+003	2.107296875000E+003	3.006880589936E+002	6.786791913822E+001
20	1.018409484863E+003	7.303034667969E+002	2.811739627764E+002	3.759236057567E+001
21	1.101295166016E+003	6.594848632813E+002	2.836012287458E+002	3.689827701616E+001
22	1.236688720703E+003	1.007277893066E+003	2.837683929452E+002	4.387002651434E+001
23	1.986130737305E+003	1.039050659180E+003	3.039229661759E+002	4.769230240238E+001
24	1.340957031250E+003	6.529299926758E+002	2.890949072786E+002	3.811756515814E+001
25	1.330076416016E+003	7.115855102539E+002	2.884345485957E+002	3.910745554749E+001
26	2.726622070313E+003	9.446505737305E+002	3.234792672100E+002	4.556638596853E+001



Alkalmazási példa





 Kamera kalibráció csillagok alapján

Bemeneti adatok:  

Eps érték:

Kalibráció eredménye:  

```
-----  
Iteráció:2  
Sigma0 [mm]:0.04974  
Eps a képkoordinátákra [mm]: 0.03  
Teljesült Eps feltételek száma:39/52  
-----  
Iteráció:3  
Sigma0 [mm]:0.01709  
Eps a képkoordinátákra [mm]: 0.03  
Teljesült Eps feltételek száma:51/52  
-----  
Iteráció:4  
Sigma0 [mm]:0.01313  
Eps a képkoordinátákra [mm]: 0.03  
Teljesült Eps feltételek száma:52/52  
-----  
Vége a kiegyenlítésnek.
```

Jegyzőkönyv



Kamera kalibráció csillagok alapján

Projekt neve: Canon EOS 350D 2021.08.21. 2941. kép

Dátum: 2021. augusztus 21., szombat

Kamera adatai

Szenzor szélessége [pixel]: 3456

Szenzor magassága [pixel]: 2304

Pixelméret [mikron]: 6.4100

Kamera kalibráció kezdőértékei

Ck [mm]: 18.0000

X0 [mm]: 0.0000

Y0 [mm]: 0.0000

A10 [deg]: 296.0300

De0 [deg]: 49.1520

Kap [deg]: 166.0000

K1 : 0.000000E+000

K2 : 0.000000E+000

K3 : 0.000000E+000



Psz	x_mert	y_mert	x_szam	y_szam	vx	vy	Wx	Wy	Errx	Erry
1	-4.8834	2.1320	-4.8953	2.1338	0.01341	-0.00246	1.09819	-0.19666		
2	3.1134	1.6096	3.1160	1.6099	-0.00843	-0.00176	-0.71024	-0.14236		
3	-5.0669	-2.8140	-5.0605	-2.8008	-0.01409	-0.01845	-1.23445	-1.51170		
4	-6.0847	-3.8525	-6.0739	-3.8417	-0.01137	-0.01287	-0.99211	-1.06615		
5	1.8604	3.2488	1.8681	3.2461	-0.01207	-0.00390	-0.99967	-0.32483		
6	0.2057	-6.4030	0.2171	-6.4146	-0.01031	0.01479	-0.83441	1.25359		
7	-4.2069	-4.4563	-4.1918	-4.4470	-0.02027	-0.01661	-1.70576	-1.41935		
8	-6.9456	-1.7739	-6.9495	-1.7637	0.00675	-0.01123	0.60206	-0.90590		
*9	-7.6620	1.3970	-7.6772	1.3910	0.02343	0.00240	4.24622	0.20045	*	
10	-1.0267	-1.6858	-1.0216	-1.6734	-0.00336	-0.01017	-0.26793	-0.85886		
11	-0.1971	1.3286	-0.1933	1.3377	-0.00313	-0.01114	-0.24870	-0.96495		
12	3.2576	-3.9789	3.2503	-3.9881	0.00503	0.01528	0.41253	1.28020		
13	-0.5507	-0.9939	-0.5465	-0.9816	-0.00303	-0.00998	-0.23833	-0.79968		
*14	1.4996	-7.0315	1.5033	-7.0497	-0.00556	0.03007	-0.45898	3.08318		*
15	2.6366	-4.3678	2.6326	-4.3759	0.00446	0.01182	0.36338	0.98617		
*16	-6.3605	2.5216	-6.3815	2.5159	0.03529	-0.00232	3.72159	-0.19814	*	
17	1.5187	1.0303	1.5224	1.0368	-0.00562	-0.00678	-0.46712	-0.55131		
18	1.8169	-2.2286	1.8168	-2.2239	0.00134	-0.00238	0.11046	-0.19585		
19	1.8189	-6.1235	1.8206	-6.1398	-0.00355	0.02587	-0.29119	2.27160		
20	-4.5485	2.7031	-4.5600	2.7022	0.01486	-0.00111	1.22006	-0.08969		
21	-4.0172	3.1570	-4.0267	3.1542	0.01348	-0.00017	1.10535	-0.01410		
22	-3.1493	0.9277	-3.1511	0.9379	0.00206	-0.00943	0.17400	-0.75167		
23	1.6546	0.7240	1.6578	0.7307	-0.00526	-0.00643	-0.44112	-0.51920		
24	-2.4809	3.1990	-2.4830	3.1980	0.00438	-0.00027	0.35352	-0.02203		
25	-2.5507	2.8231	-2.5528	2.8244	0.00389	-0.00154	0.31359	-0.12346		
*26	6.4012	1.3291	6.3830	1.3129	-0.02427	0.00892	-0.18331	0.79179	**	



Kiegyenlítés eredménye

Iterációk száma: 4

Eps határérték [mm]: 0.03

Teljesült Eps feltételek: 52/52

Sigma0 [mm]: 0.01313

Kiegyenlített paraméterek és (s) középphibáik

Ck [mm]:	18.8007	s:	0.08798 [mm]
X0 [mm]:	-0.4898	s:	0.07783 [mm]
Y0 [mm]:	-0.3402	s:	0.09274 [mm]
Al0 [deg]:	293.4281	s:	1503.6739 [sec]
De0 [deg]:	49.8754	s:	876.3623 [sec]
Kap [deg]:	166.9738	s:	1152.3152 [sec]
K1 :	3.142999E-004	s:	5.711508E-004
K2 :	-1.430007E-005	s:	2.186404E-005
K3 :	1.396146E-007	s:	2.459862E-007

Jegyzőkönyv

További fejlesztési lehetőségek



- Csillagok automatizált felismerése és bemérése saját programmal (Plate Solving).
- További paraméterek bevonása a számításba (B_1, B_2, C_1, C_2).
- Kiegyenlítés során a paraméterek közötti korreláció csökkentése (kétlépcsős kiegyenlítés).
- Eps érték automatikus meghatározása.

Összefoglalás

- ▶ Kamera kalibráció csillagok alapján könnyen megvalósítható. Nagy előny, hogy nem kell illesztőpontmezőt létesíteni.
- ▶ Több folyamat is automatizálható:
 - Csillagok beazonosítása,
 - Csillagok mérése a képen,
 - Hibás mérések kiszűrése.





KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!

DR. HABIL. JANCsó TAMÁS

E-MAIL: JANCso.TAMAS@AMK.UNI-OBUDA.HU