

AUTOMATIZÁLT MOZGÁSVIZSGÁLAT ROBOT MÉRŐÁLLOMÁSSAL ÉS FÉNYKÉPEKKEL

Siki Zoltán

2022.09.16.

EMT Földmérő Találkozó



BUDAPESTI MŰSZAKI
ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
Építőmérnöki Kar - építőmérnöki képzés 1782 óta

Általános és Felsőgeodézia Tanszék



MŰSZAKI TÉRINFORMATIKA
EGYESÜLET

Vázlat

- Mozcásvizsgálat robot mérőállomásokkal
- Mozcásvizsgálat digitális képekből
- Pontosság vizsgálat
- A nyílt forráskód „ereje”



BUDAPESTI MŰSZAKI
ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

Építőmérnöki Kar - építőmérnöki képzés 1782 óta

Általános és Felsőgeodézia Tanszék



MŰSZAKI TÉRINFORMATIKA
EGYESÜLET

Mozgásvizsgálatok



Előzmények:

- 2008 Paksi Atomerőmű lokalizációs torony
- 2012 Python nyelvre váltás
- 2015 Első kamerás alkalmazás
- Hidak, felüljárók statikus próbaterhelése
- Hidak felüljárók dinamikus próbaterhelése



Ulyxes



- Három az egyben
kutatás és fejlesztés (kávé)
ipari alkalmazások (cukor)
oktatás (tej)
- <https://github.com/zsiki/ulyxes>
- <http://www.agt.bme.hu/ulyxes>



Contributors 7



Languages



● Python 67.5%	● Tcl 15.2%
● C++ 13.0%	● PHP 2.1%
● Makefile 0.6%	● Clarion 0.6%
● Other 1.0%	

Statikus próbaterhelések



Monitoring



BUDAPESTI MŰSZAKI
ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
Építőmérnöki Kar - építőmérnöki képzés 1782 óta
Általános és Felsőgeodézia Tanszék

Minta rendszer

Idő grafikonok

Állapot grafikonok

Pontszám	11	12	13	14	15	21	22	23	24	25	
Időpont	21:25:38	21:25:38	21:25:38	21:25:38	21:25:38	21:25:38	21:25:38	21:25:38	21:25:38	21:25:38	
Y vált.[m]	0.0278	0.7500	0.1380	0.1907	0.7290	0.0804	-0.5227	-0.1131	-0.0279	-0.0794	
X vált.[m]	-0.0132	0.2642	-0.3245	-0.2399	0.2961	0.5290	-0.1304	0.0448	0.2294	0.2428	
Mag. vált.[m]	0.2483	0.1800	0.6021	0.8641	-0.0838	0.0313	0.6114	0.0719	-0.1687	0.5531	
Kelet											Nyugat

Reszponzív felület

Monitoring



Minta rendszer

(C) BME AFGT



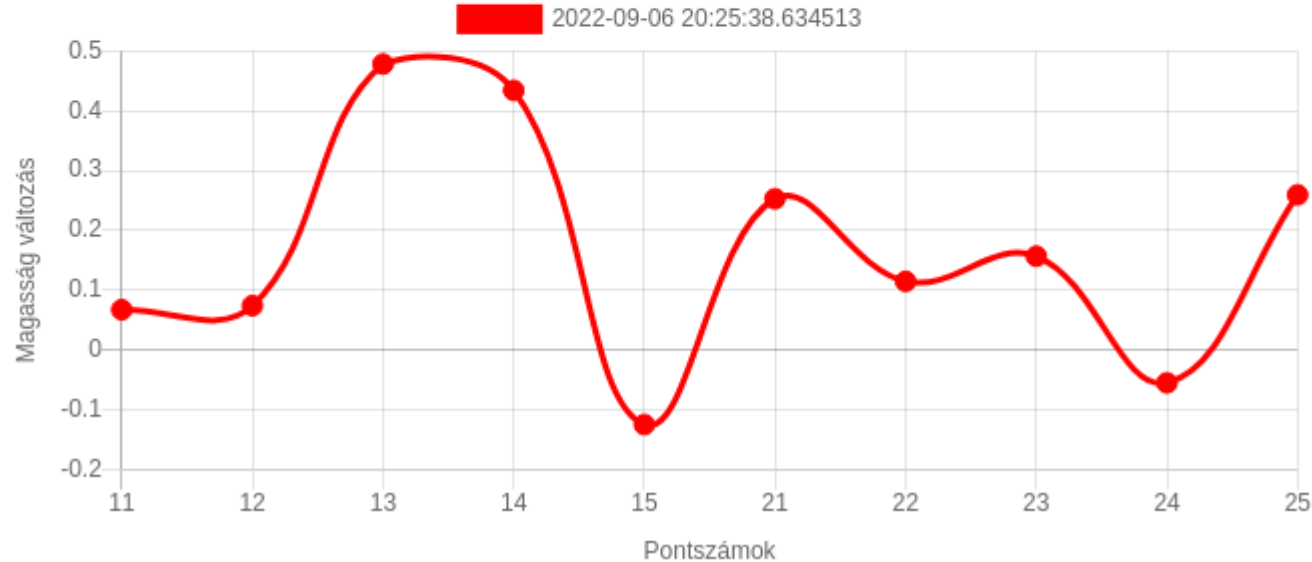
BUDAPESTI MŰSZAKI
ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
Építészeti Kar - építészeti képzés 1782 óta
Általános és Felsőoktatási Tanszék

Pillanatnyi adatok

Idő grafikonok

Időpont: 2022-09-06 20:25:38.634513 ▾ << >> Magasság Y X

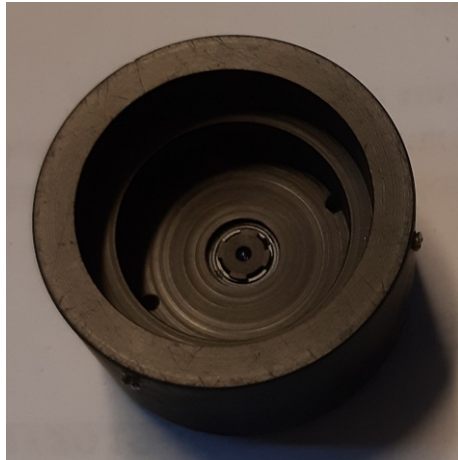
Magasság változások 2022-09-06 20:25:38.634513



Mozgásvizsgálat digitális képekből



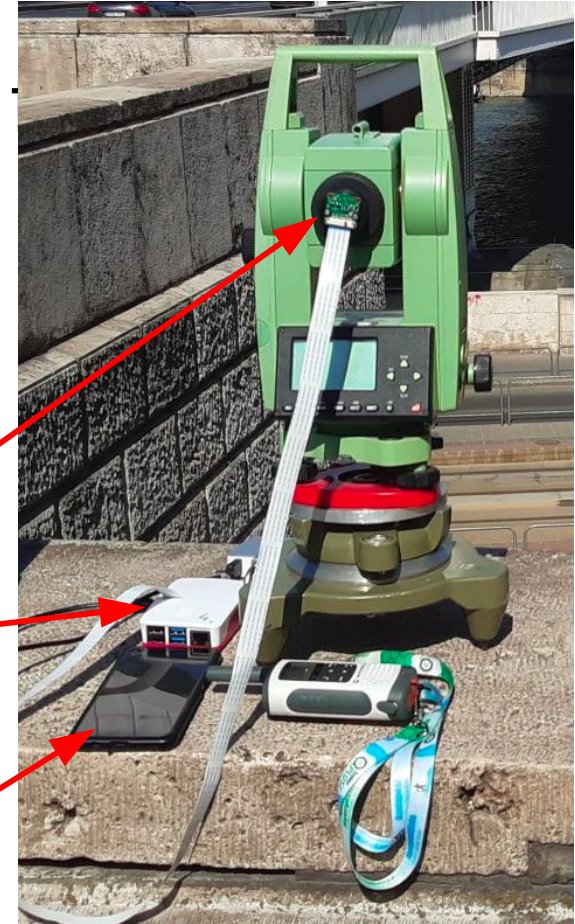
- Gyors mozgások követése (10-30)
- Költséghatékony
- Geodéziai távcső közbeiktatása



Raspberry Pi
kamera modul 8 MP

Raspberry Pi 4

Mobiltelefon
(WiFi)



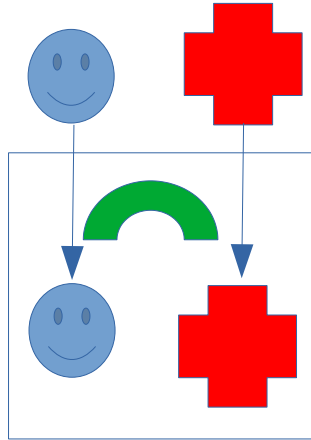
Mintakeresési módszerek



Mintaillesztés (template matching)

+

Mindig van találat
Egyszerű algoritmus
Nem kell speciális jelet feltenni



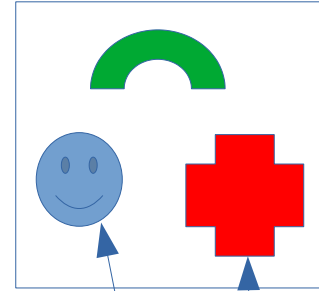
-

Hamis találat esélye nagyobb
Csak minimális elfordulás
Csak minimális méret változás

Alakfelismerés (pattern recognition)

+

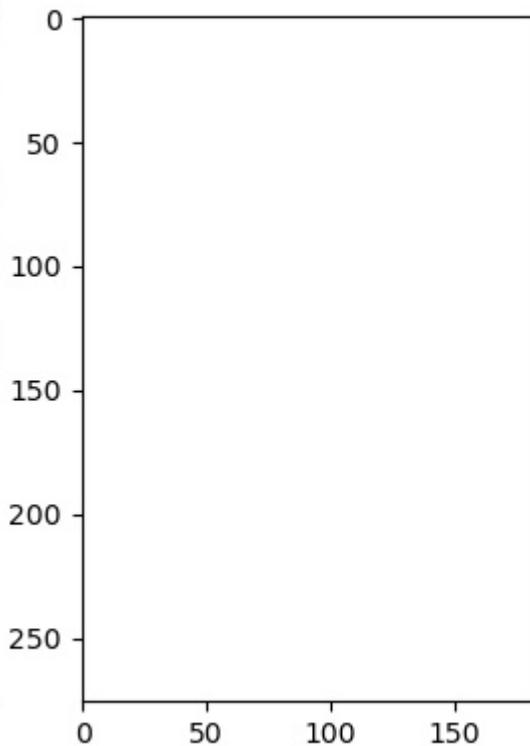
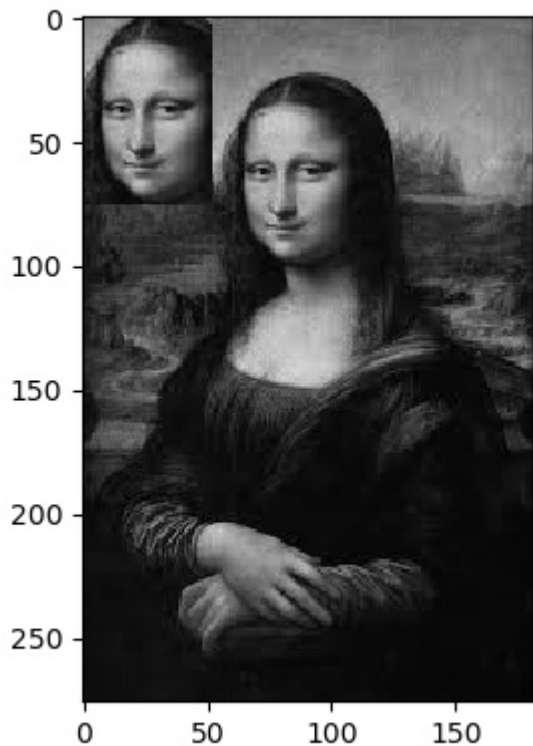
Minta elfordulhat
Minta mérete megváltozhat
Írány becsülhető (3D)



-

Fényviszonyokra érzékenyebb
Speciális jelet kell elhelyezni

Mintaillesztés (template matching)



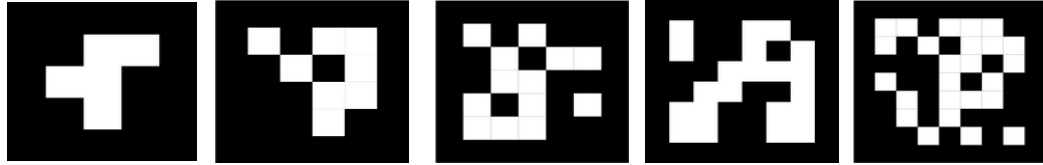
$$R(x, y) = \sum_{x', y'} (T(x', y') - I(x + x', y + y'))^2 \quad \min$$

$$R(x, y) = \frac{\sum_{x', y'} (T(x', y') - I(x + x', y + y'))^2}{\sqrt{\sum_{x', y'} T(x', y')^2 \cdot \sum_{x', y'} I(x + x', y + y')^2}} \quad \min$$

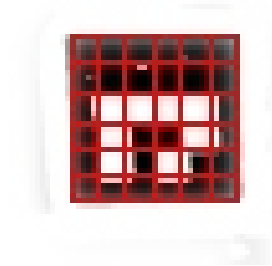
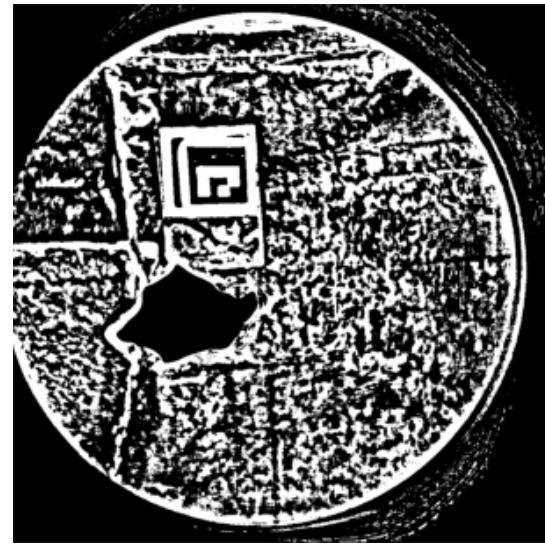
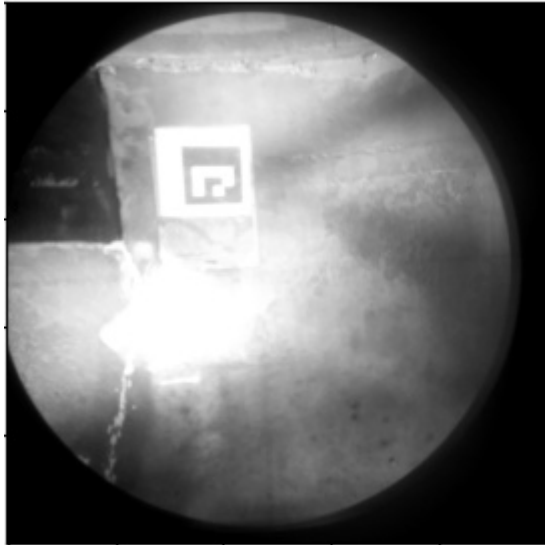
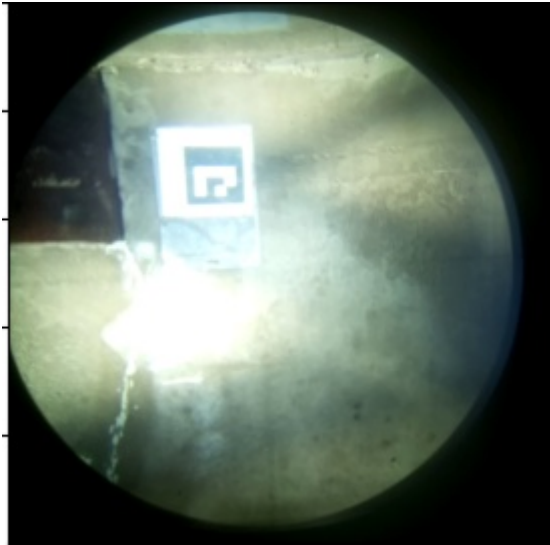
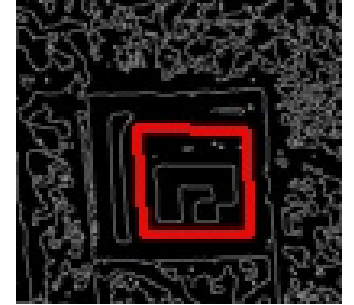
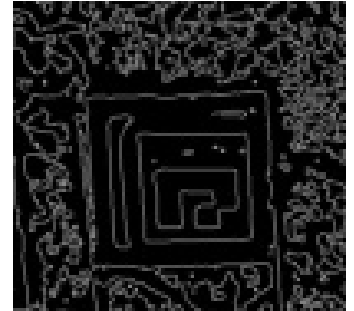
$$R(x, y) = \sum_{x', y'} (T(x', y') \cdot I(x + x', y + y')) \quad \max$$

$$R(x, y) = \frac{\sum_{x', y'} (T(x', y') \cdot I(x + x', y + y'))}{\sqrt{\sum_{x', y'} T(x', y')^2 \cdot \sum_{x', y'} I(x + x', y + y')^2}} \quad \max$$

Alakfelismerés



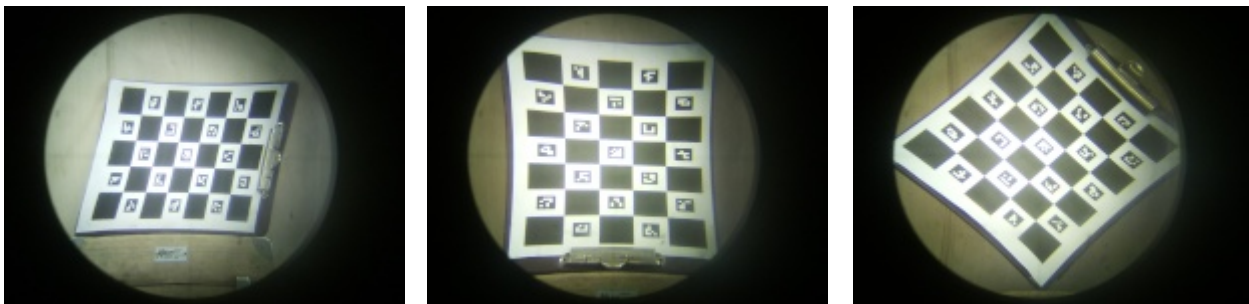
ArUco kódok



Kamera kalibráció



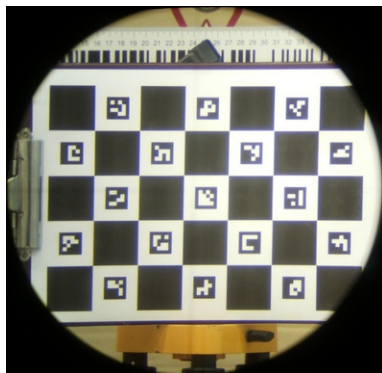
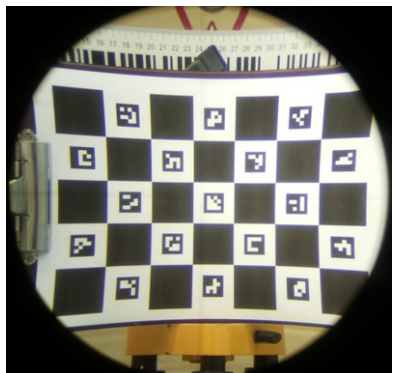
ChArUco tábla (25 felvétel)



$$\begin{bmatrix} 27785.30 & 0.0 & 1397.28 \\ 0.0 & 26618.89 & 1458.82 \\ 0.0 & 0.0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$k = [75.00 \quad -605.21 \quad 5.79]$$

$$p = [0.61 \quad -0.64]$$



Radiális torzítás

$$x_{\text{torzított}} = x \cdot (1 + k_1 \cdot r^2 + k_2 \cdot r^4 + k_3 \cdot r^6)$$

$$y_{\text{torzított}} = y \cdot (1 + k_1 \cdot r^2 + k_2 \cdot r^4 + k_3 \cdot r^6)$$

Tangenciális torzítás

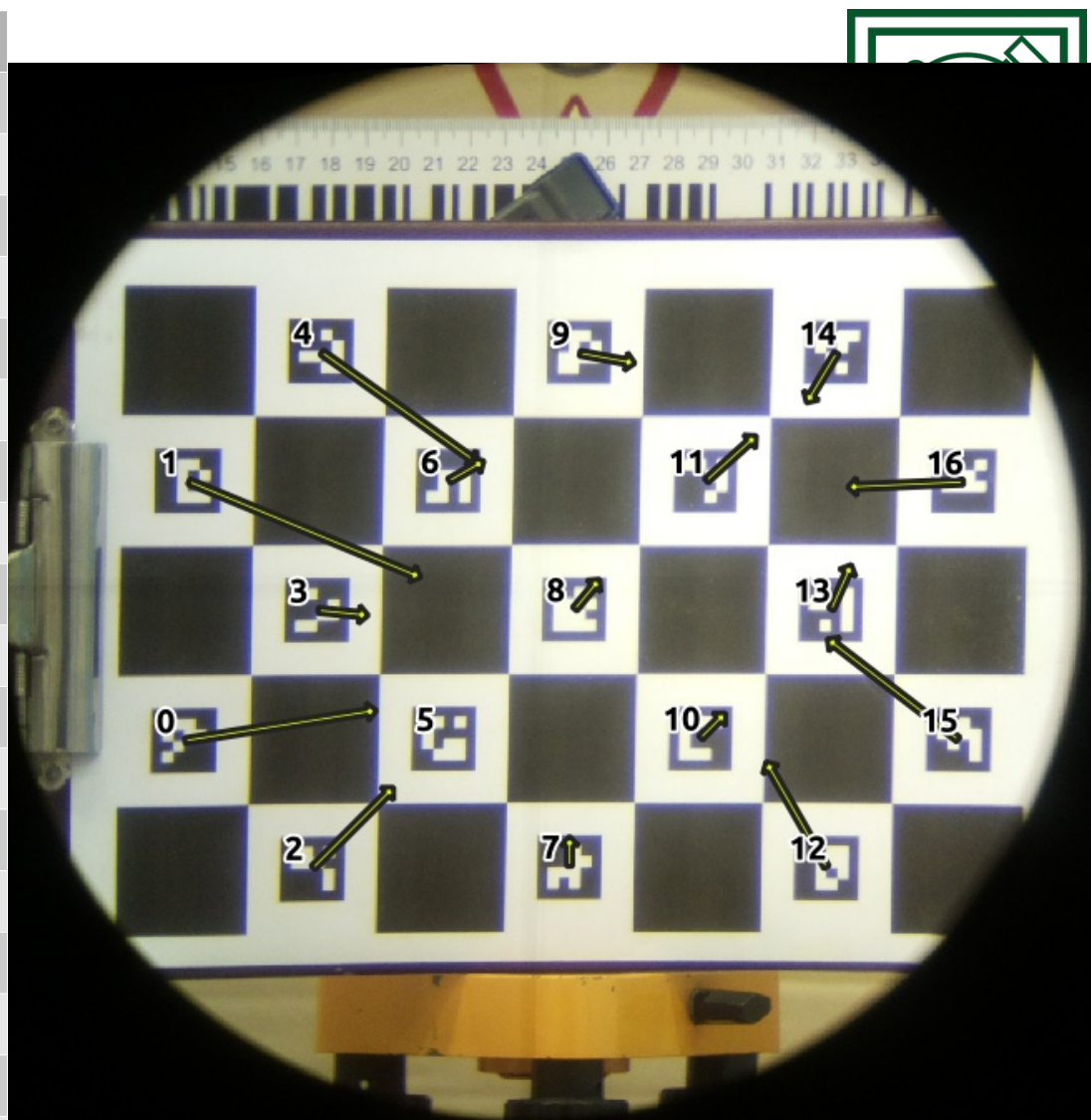
$$x_{\text{torzított}} = x + (2 \cdot p_1 \cdot x \cdot y + p_2 \cdot (r^2 + 2 \cdot x^2))$$

$$y_{\text{torzított}} = y + (p_1 \cdot (r^2 + 2 \cdot y^2) + 2 \cdot p_2 \cdot x \cdot y)$$

Kamera mátrix

$$\begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

	előtt		után				
ID	X	Y	X	Y	DX	DY	Táv.
0	808	1466	846	1460	38	-6	38.5
1	808	928	854	947	46	19	49.8
2	1084	1728	1100	1712	16	-16	22.6
3	1100	1201	1110	1202	10	1	10.0
4	1086	669	1117	691	31	22	38.0
5	1360	1456	1360	1456	0	0	0.0
6	1362	950	1369	946	7	-4	8.1
7	1608	1715	1608	1709	0	-6	6.0
8	1613	1206	1618	1200	5	-6	7.8
9	1617	691	1628	693	11	2	11.2
10	1862	1460	1867	1455	5	-5	7.1
11	1868	955	1878	946	10	-9	13.5
12	2129	1732	2117	1711	-12	-21	24.2
13	2122	1210	2126	1201	4	-9	9.8
14	2143	682	2137	692	-6	10	11.7
15	2404	1478	2378	1458	-26	-20	32.8
16	2411	947	2388	948	-23	1	23.0



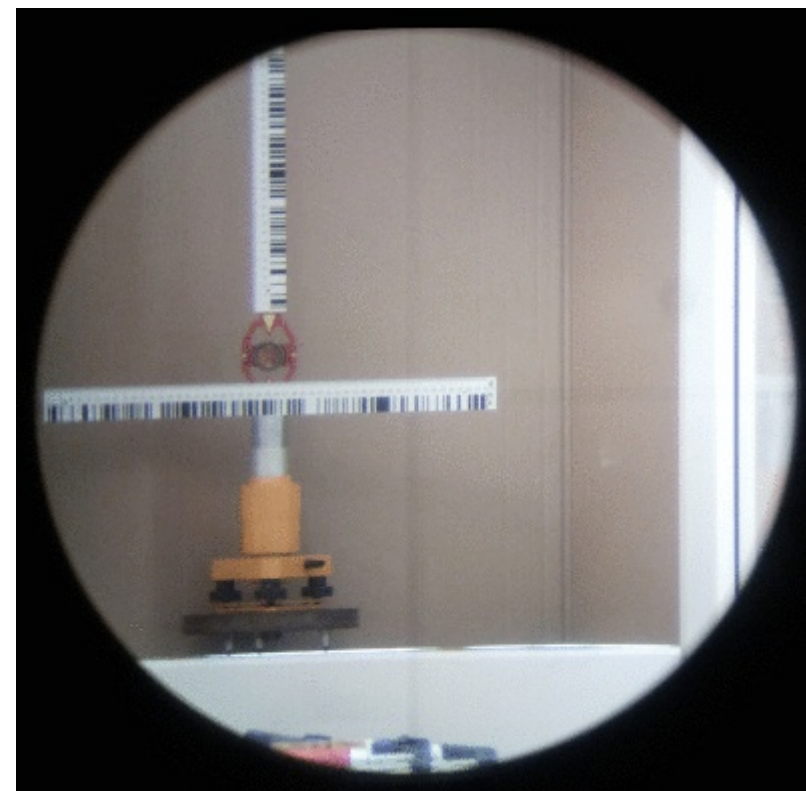
Eltolás vektorok ötszörös nagyítással

Pontosságvizsgálat

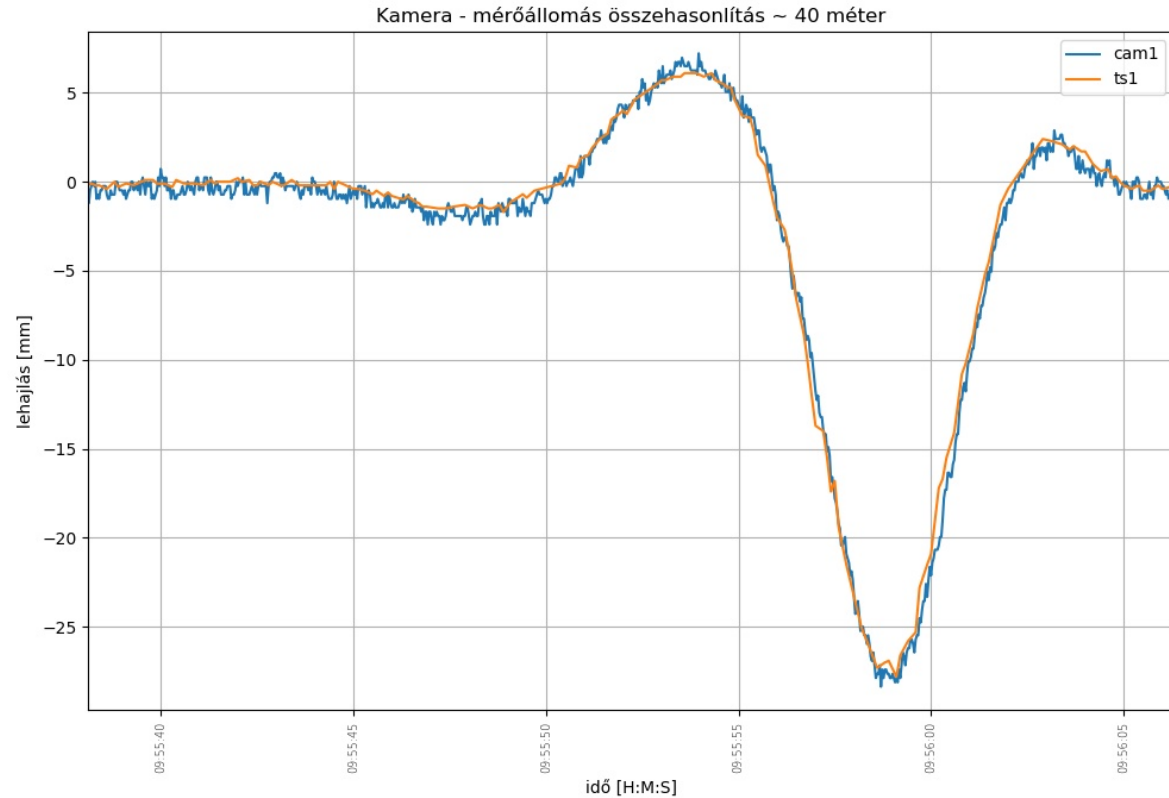


6-31 m távolságon 5 cm-enkénti leolvasások
55, 83 m vonalzó elején és végén leolvasás (51 cm)
kalibrációval javított képeken

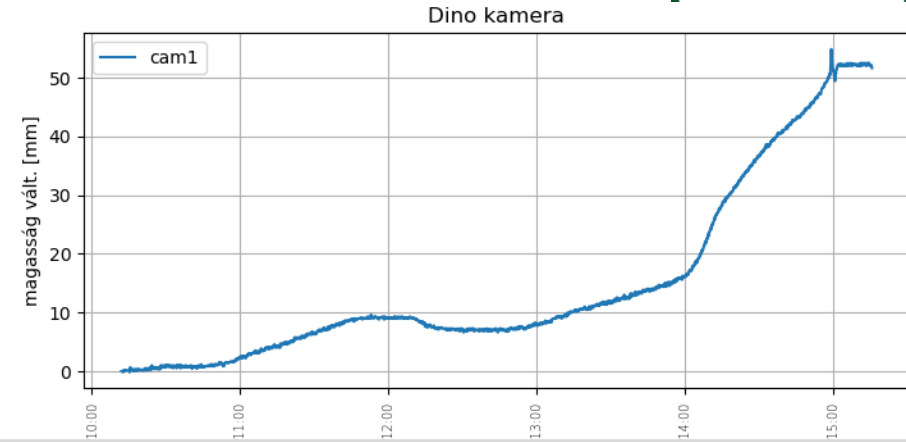
táv [m]	Pixel / cm				minta szám	GSD [mm]
	min	max	átlag	szórás		
6	121.4	124.2	122.7	0.7	27	0.08
11	66.4	69.6	67.8	0.6	78	0.15
20	38	39.7	38.5	0.3	75	0.26
22	33.6	35.5	34.1	0.3	<u>421</u>	0.29
31	23.8	25.8	24.7	0.2	<u>440</u>	0.4
55	13.7	14	13.9	0.1	15	0.7
83	9.2	9.5	9.3	0.1	18	1.1



Alkalmazási példa



Alkalmazási példa



Nyílt forráskód ereje

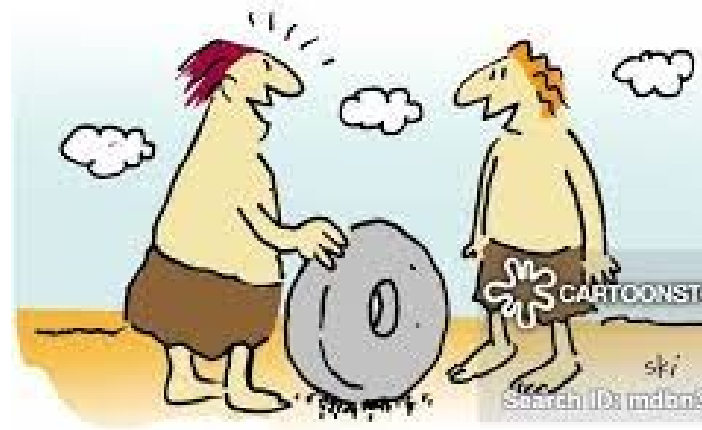


Felhasznált fontosabb nyílt forráskódú komponensek
Python, NumPy, PIL, matplotlib, OpenCV, pdb3, ...

Python vagy C++?

Futási idő/kód másodp.	Octave	Python	C++*	Python OpenCV	C++ OpenCV
Mona 182 x 276	1.7	0.7	0.2	0.4	0.1
Lab1 ~2k x 3k	466	235	28	1.2	0.8
Lab ~5.5k x 4k	2880	703	109	2.8	1.8

* Horváth Viktor Győző munkája



And the best part is, it's open source!

