

Automatikus irányzás digitális képek feldolgozásával

TURÁK BENCE

DR. ÉGETŐ CSABA

Konceptió

- Robotmérőállomásra távcsővére rögzített kamera
- Képek alapján a cél automatikus detektálása
- És az irányzás elvégzése
- Olcsó kiegészítőeszközök használata
- Nyíltforráskód



Tartalom

- A rendszer kivitelezése
 - A képek fotogrammetriai feldolgozásával szögmérések végzése (automatikus irányzás)
 - Az alkalmazhatóságnak megfelelően egy (keret)-rendszer létrehozása
- Pontossági vizsgálatok
- Alkalmazás projektkörnyezetében



A rendszer (kamerával szerelt mérőállomás)

Kamera

PiCamera

- Felbontás: 8MP
- CSI port



Mérőállomás

Leica TCRP1201+
Leica TCRA1103

- RS-232 (USB) port
- Középhiba: $\pm 1''$, $\pm 3''$



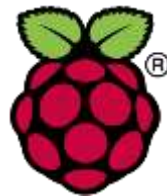
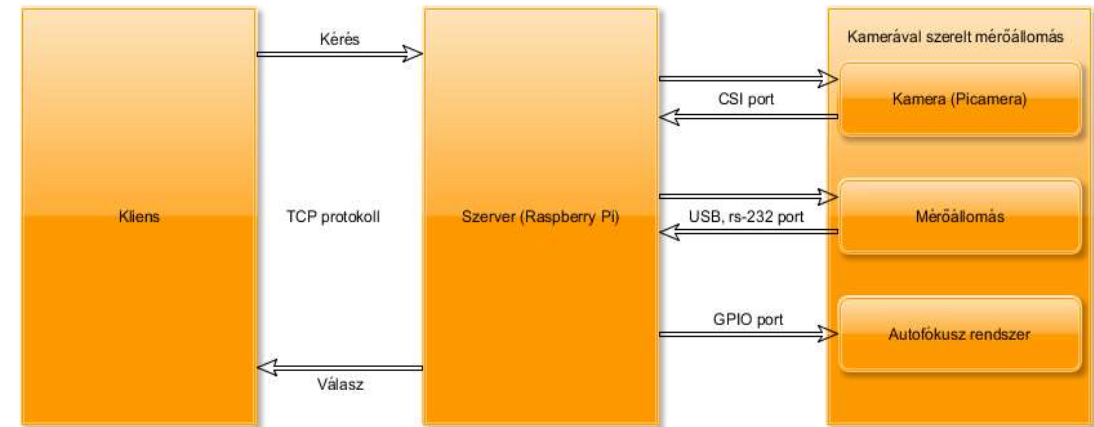
Léptetőmotor (parallaxis állítás)

- GPIO port
- Vezérlés



A rendszer (komponensek)

- Kliens
- Szerver
- Kamerával szerelt mérőállomás
 - Kamera
 - Mérőállomás
 - Léptetőmotor



A rendszer (szerver és kliens)

KLIENS

- Bármilyen számítógép amely alkalmas
- Python kódok futtatására
- Képfeldolgozásra
- Hálózati kommunikációra, és a kapcsolódó beállítások kezelésére



SZERVER

- Raspberry Pi (3)
- PiCamera csatlakoztathatóság
- GPIO port

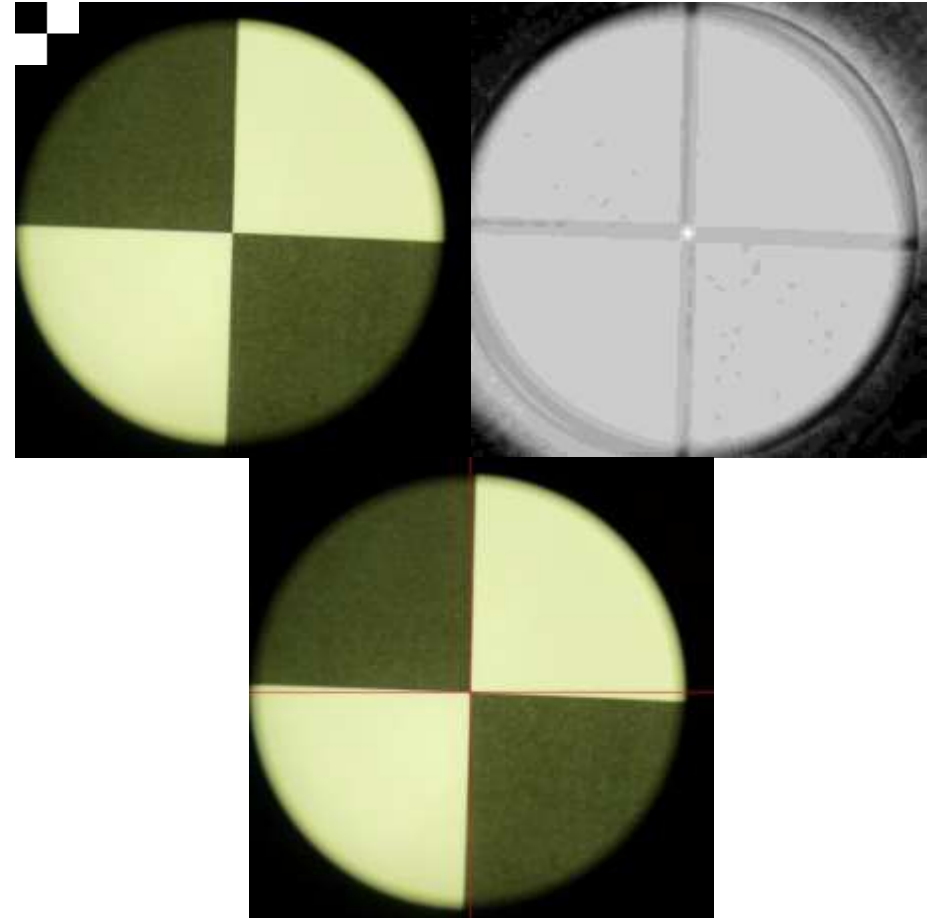


Célpont detektálás

Lehetőségek:

- Éldetektálás (Pl. Canny)
- Alakzat detektálás (egyenes, kör, ellipszis, stb.) (Hough-transzformáció)
- **Minta illesztés (Template matching) (normalizált keresztkorreláció)**

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



Kamerakalibráció

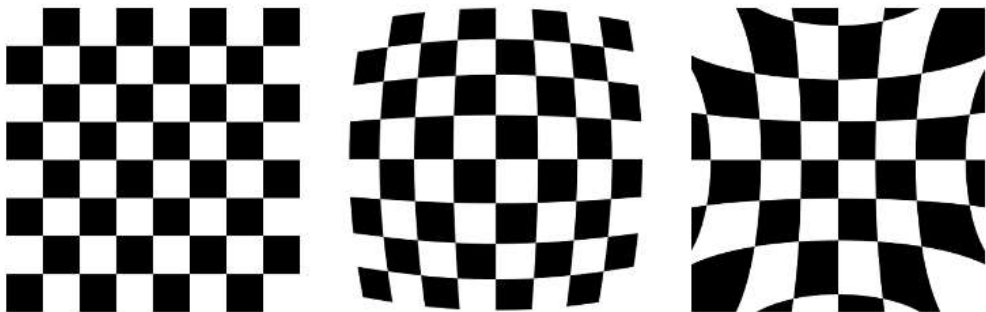
RADIÁLIS TORZÍTÁS

Oka:

Parabolikus lencsék helyett, gömbszerű lencsék

$$x_d = x(1 + k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6)$$

$$y_d = y(1 + k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6)$$



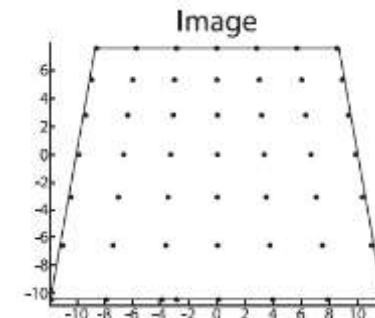
TANGENCIÁLIS TORZÍTÁS

Oka:

A leképezés síkja nem párhuzamos a lencse(ék) síkjával

$$x_d = x + [2p_1xy + p_2(r^2 + 2x^2)]$$

$$y_d = y + [p_1(r^2 + 2y^2) + 2p_2xy]$$



Kamerakalibráció

Kameramátrix (belső tájékozási paraméterek)

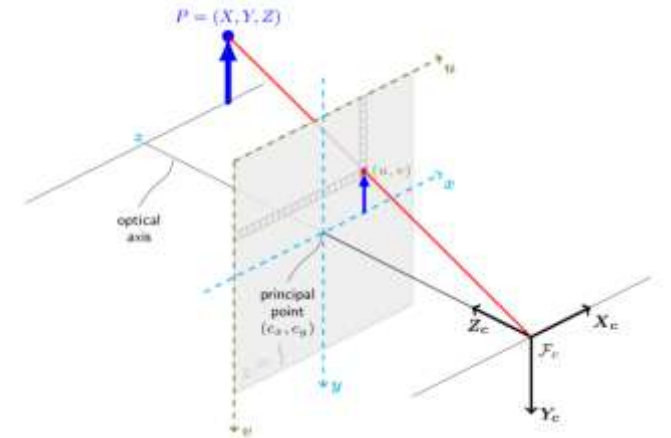
$$p = MP \quad p = \begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix} \quad M = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad P = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

Perspektív leképezés (lyukkamera) \longrightarrow Hibás modell!

A lencse (rendszer) torzít

A fény útja bonyolult \longrightarrow Nem modellezzük

A hibahatásokat modellezzük



Kalibráció a mérőállomásra szerelt kamera esetén

A kép torzulás lineáris függvénnel közelíthető az optikai középpont kis környezetében

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_x & 0 \\ 0 & \mu_y \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & \lambda \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \kappa & -\sin \kappa \\ \sin \kappa & \cos \kappa \end{bmatrix}$$

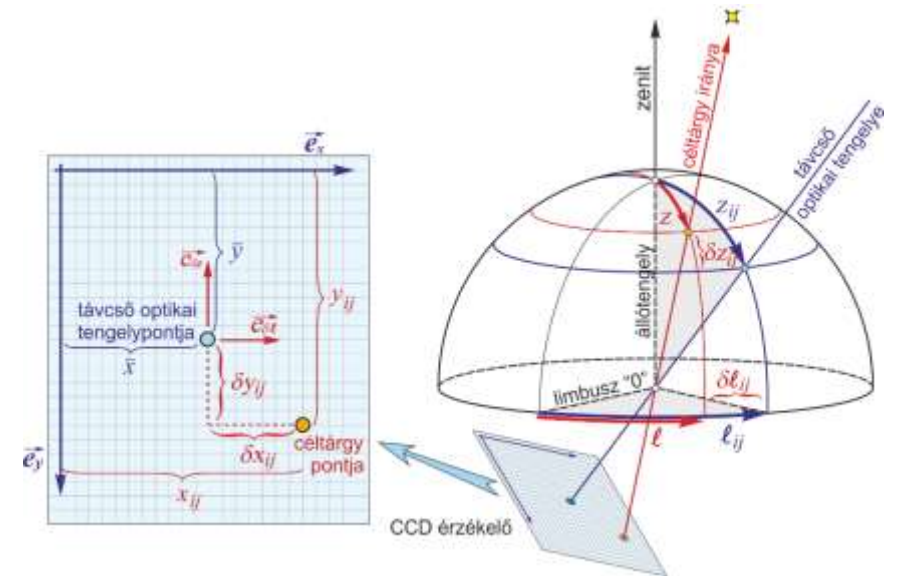
Transzformációs egyenletek:

$$l_{ij} = 1 - \arctan\left(\frac{1}{\sin z_{ij}} \tan(a_{11}(x_{ij} - \bar{x}) + a_{12}(y_{ij} - \bar{y}))\right)$$

$$z_{ij} = z - a_{21}(x_{ij} - \bar{x}) - a_{22}(y_{ij} - \bar{y})$$

Gyakorlatban:

A távcsövet kis mértékben elforgatva n darab mérés 2 távcsőállásban



Autofókusz (parallaxis)

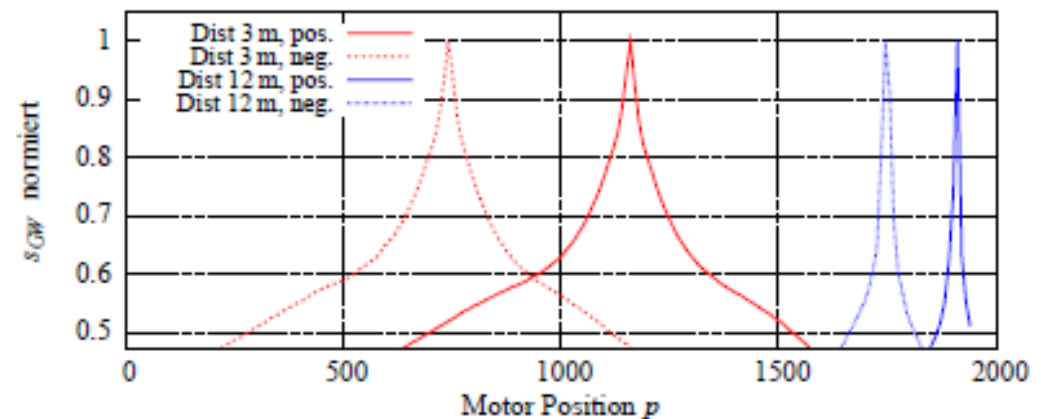
Léptetőmotor GPIO porton keresztül

Képkontraszt alapján
(pixelértékek kovarianciája)

Nem a teljes képre (az optikai tengely környezetére)

$$\sigma_k^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{x=0}^{R-1} \sum_{y=0}^{C-1} (g(x,y) - m_g)^2$$

Vagy aktív autofókusz
előzetes távmérés alapján



Probléma: a kalibrációs paraméterek a fókusztávolság függvényében változ(hat)nak

Kalibrációs paraméterek változása (felbontás függvényében)

A kalibrációs paraméterek a felbontás (pixelméret) függvényében változnak

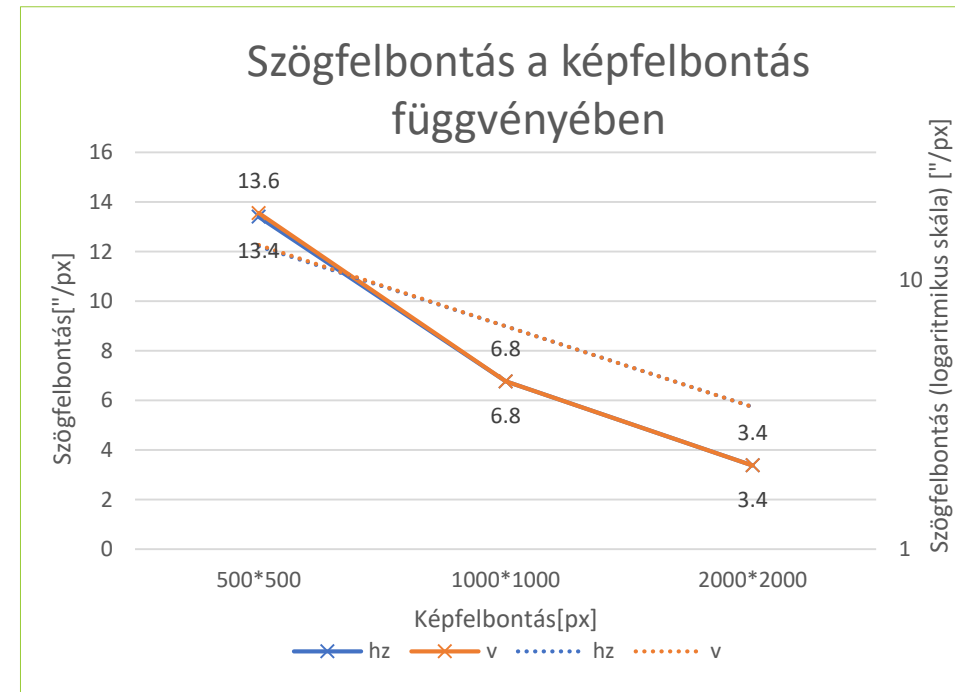
Szögfelbontás-képfelbontás függvény:

$$Res_{Ang}(Res_{Pic}) \approx \frac{6800''}{Res_{Pic}[px]}$$

Következtethetünk a többi felbontásra (interpolálás, esetleg extrapolálás?)

2500*2500 képfelbontás → 2,7'' szögfelbontás

Horizontális és vertikális megegyezik (négyzetes pixelek)



Pontossági vizsgálatok

SOROZATMÉRÉSEKBŐL

Vizsgált műszerek:

- Leica TCRP1201+
- Leica TCRA1103

20-as sorozatok (minta) a

5 távolságon (6, 12, 17, 22, 31m)

$$(\mu) = \sigma = \sqrt{\frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (L_i - \bar{a})^2}$$

RELATÍV ELMOZDULÁSOKBÓL

Vizsgált műszer:

- Leica TCRA1103

Referencia mérések:

- Leica TCRP1201+

2cm tartományon 3 körben oda-vissza (18 mérés)

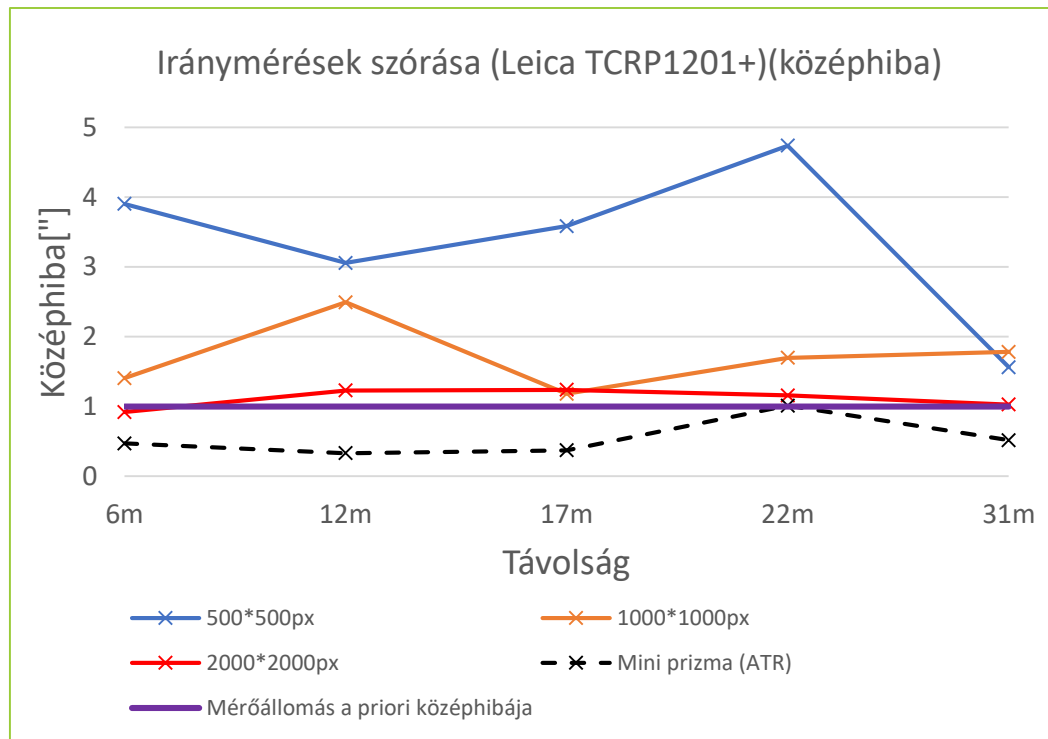
5 távolságon (6, 12, 17, 22, 31m)

$$\varepsilon = L - \Lambda$$

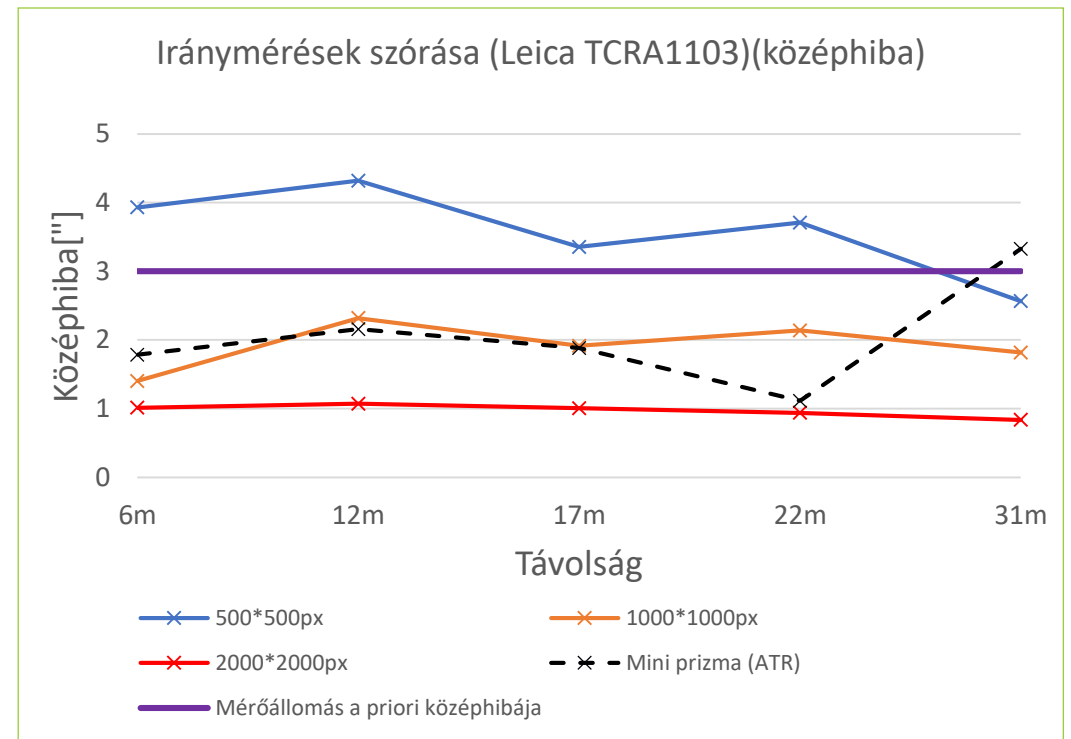
$$\mu = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \varepsilon_i^2}$$

Pontossági vizsgálatok (sorozatmérésekből)

LEICA TCRP1201+



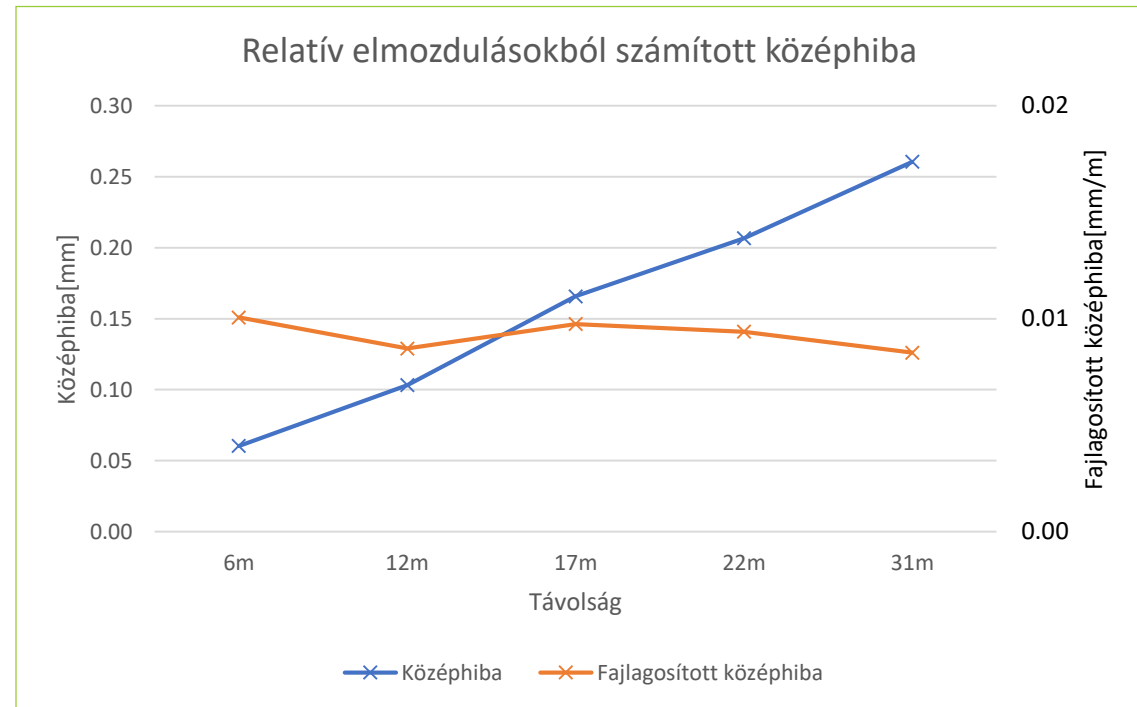
LEICA TCRA1103



Pontossági vizsgálatok (relatív elmozdulásokból)

Referencia mérések Leica TCRP1201+
mérőállomással
(nem pontosabbak egy nagyságrenddel)

Célpont mozgata:
finommenetes emelővel



Tesztmérés (próbaterhelés)

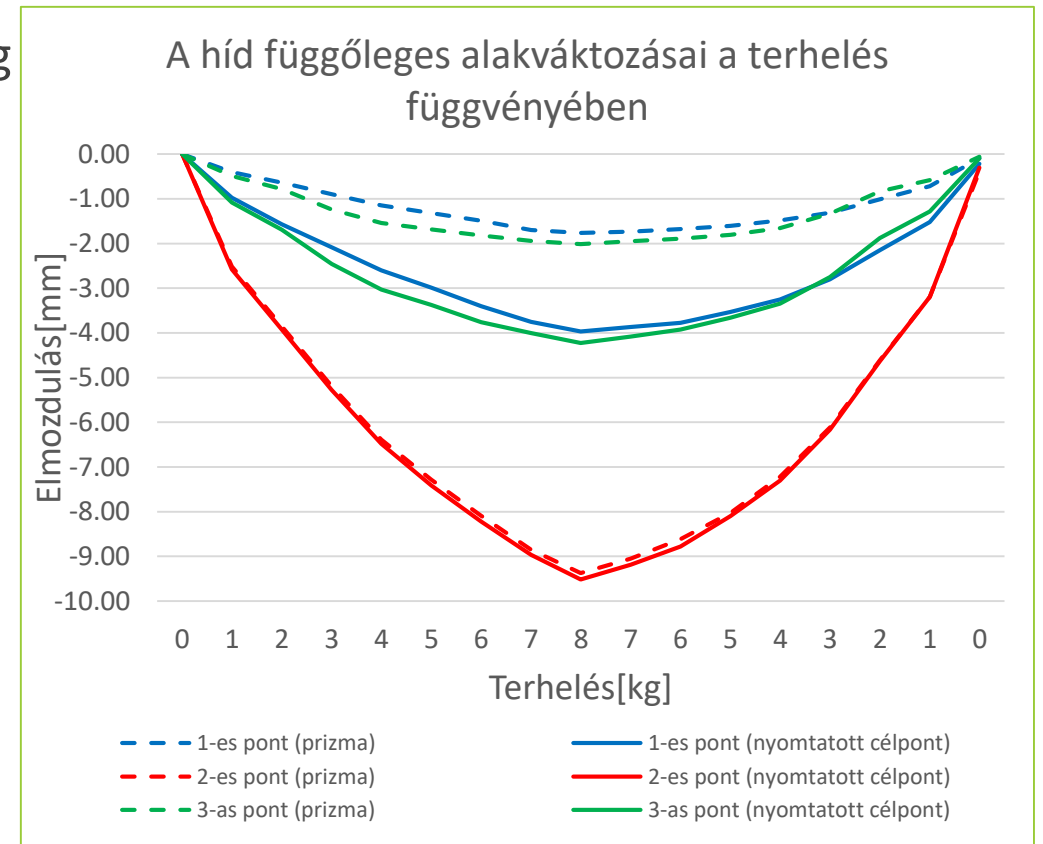
Modellhíd terhelése 1kg-os súlyokkal, összesen 8kg-ig

Vizsgálat 3 pontban

Műszer: Leica TCRP1201+

Mérés nyomtatott célpontra és prizmára (referencia)

Alkalmazott felbontás: 2000*2000px



Gerenda próbaterhelés

8m hosszú acélgerenda két szélén lefelé hajlítva

A tartó közepén vertikális elmozdulás

Műszer: Leica TCRP1201+ ($\pm 1''$)

nagy frekvenciájú mérés szükséges: 2-3Hz \rightarrow nincs távmérés

- + PiCamera

Alkalmazott felbontás: 500*500px ($\pm 4''$)

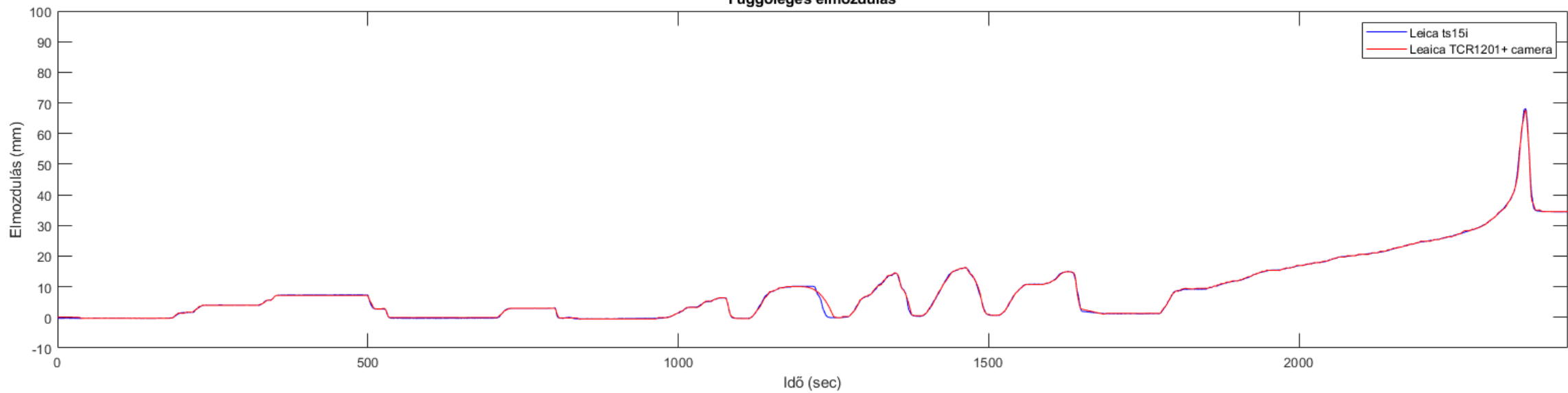
Ellenőrzés: Leica TS15i ($\pm 1''$)

mérésfrekvencia: 1-2Hz

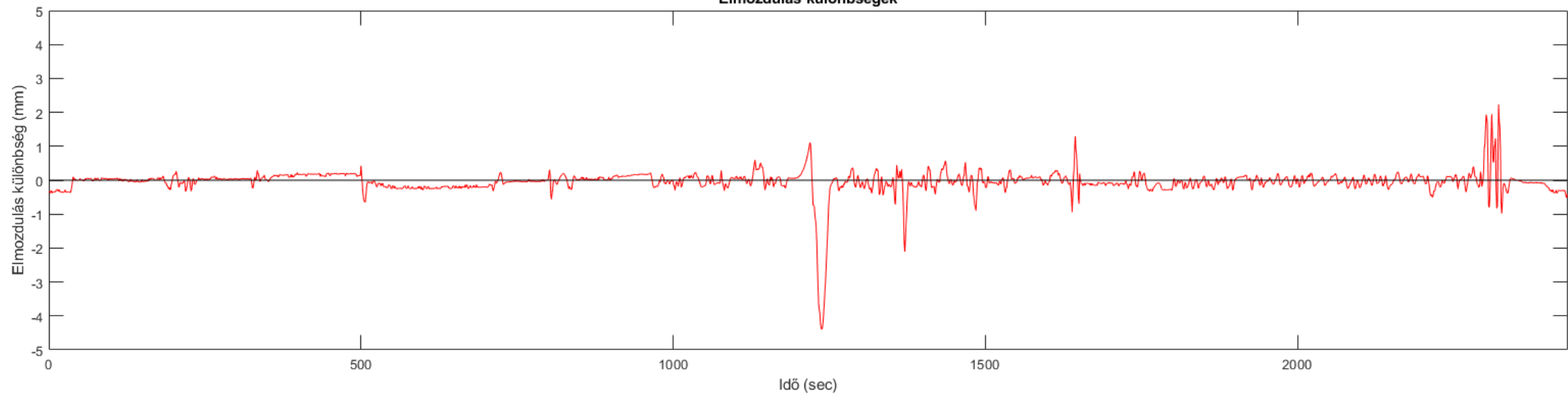
Mindkét adatsorra spline görbe illesztés



Függőleges elmozdulás



Elmozdulás különbségek



Összegzés

Elkészült:

- Kalibráció
- Célpont detektálás
- Pontossági vizsgálat

Még hátra van:

- Autofókusz
- Kalibráció a fókusz függvényében
- A rendszer alkalmazásának lehetőségei

Köszönöm a figyelmet!
