

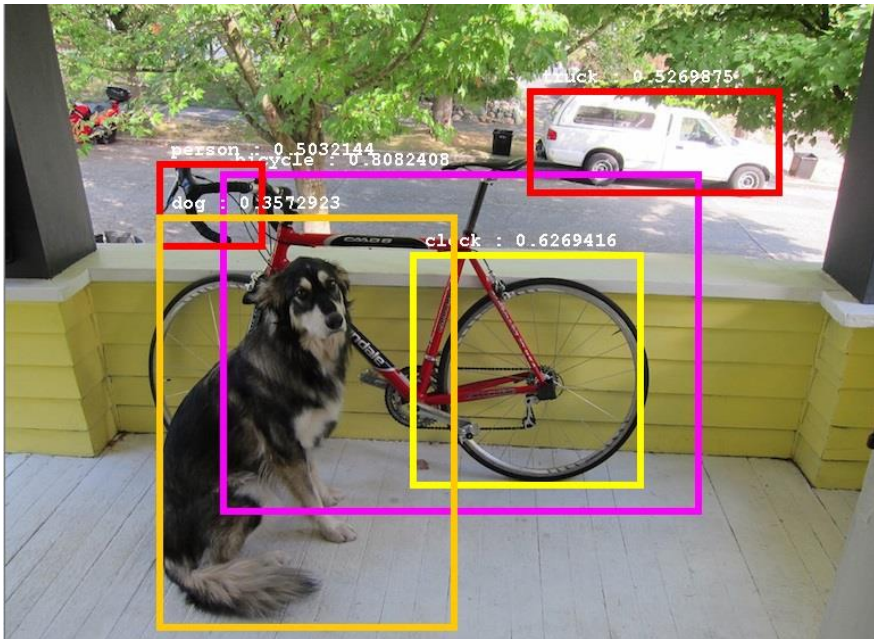
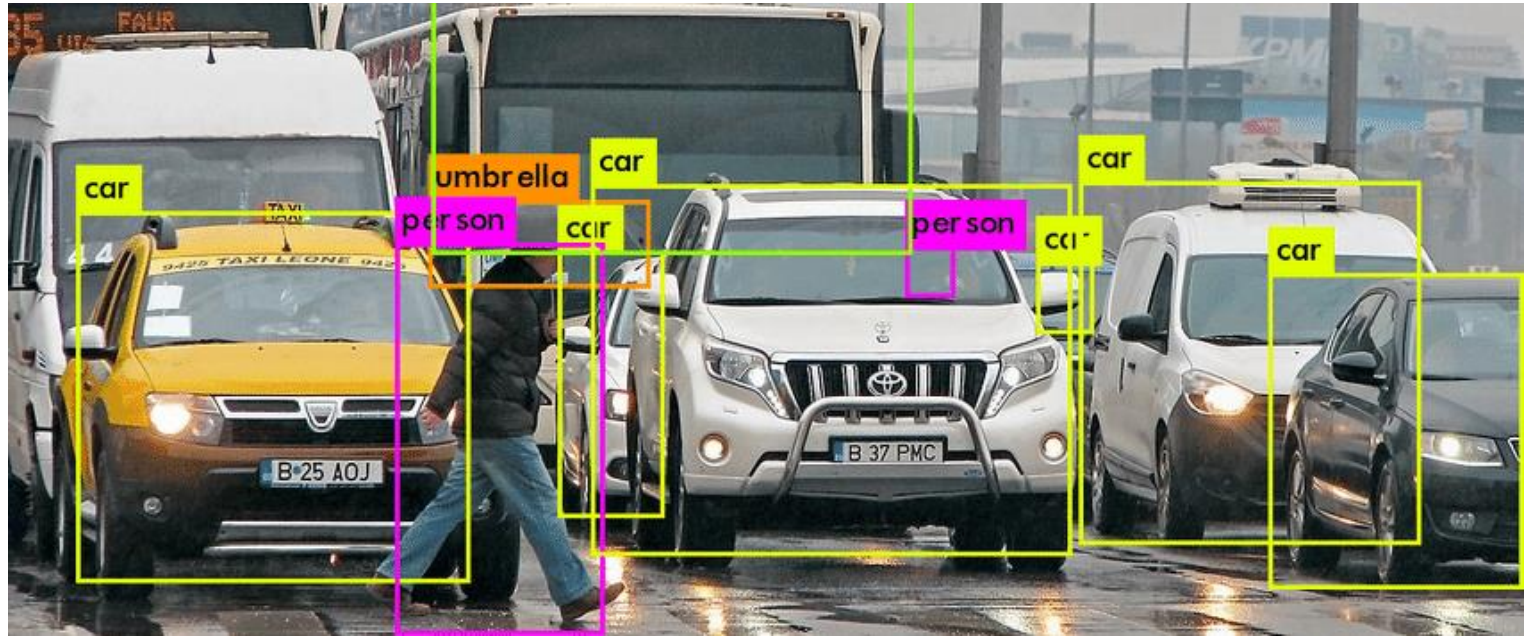
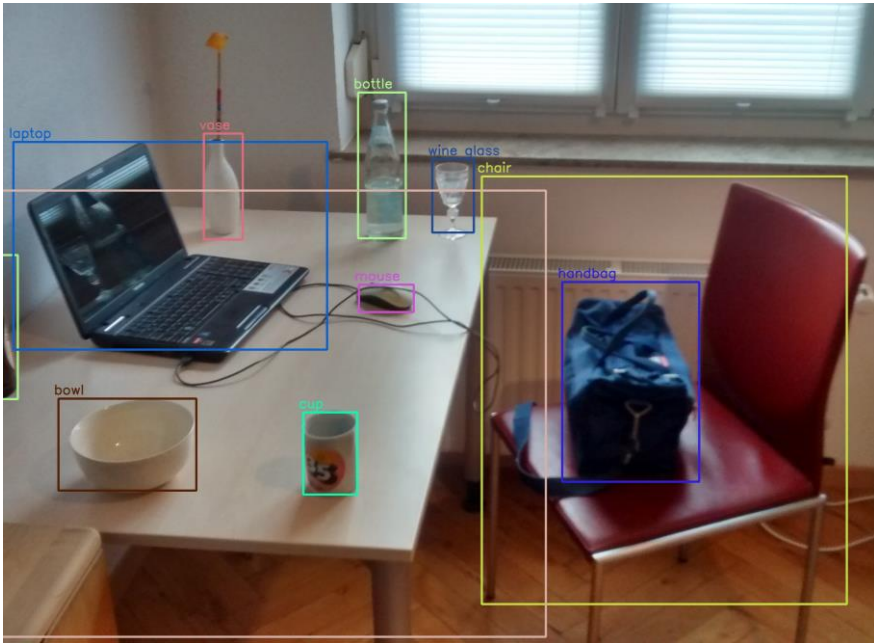
Téma

- Számítógépes látás
- Szenzorok, szenzorrendszerek
- Egytengelyes LiDAR-kamera kalibráció

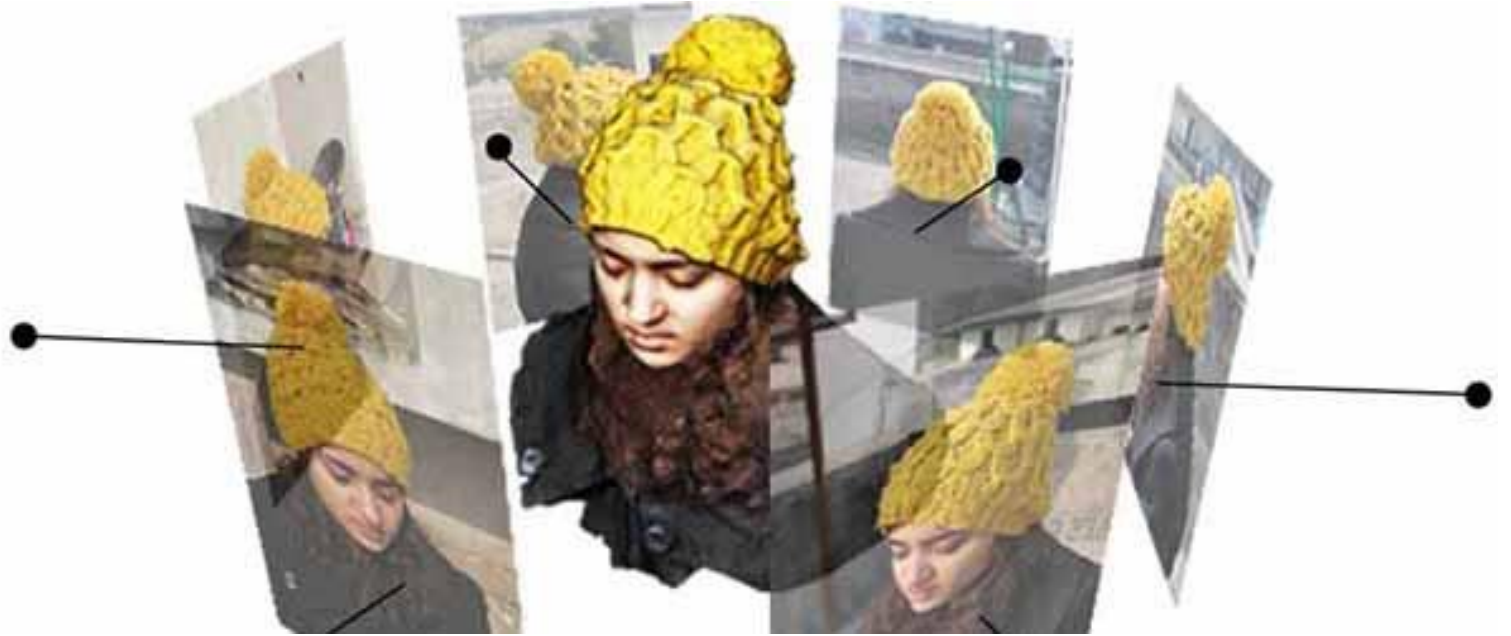
Számítógépes látás

- Képek, videók magas szintű megértése számítógépek segítségével
- adat gyűjtés, feldolgozás, megértés és magas szintű információ kinyerése

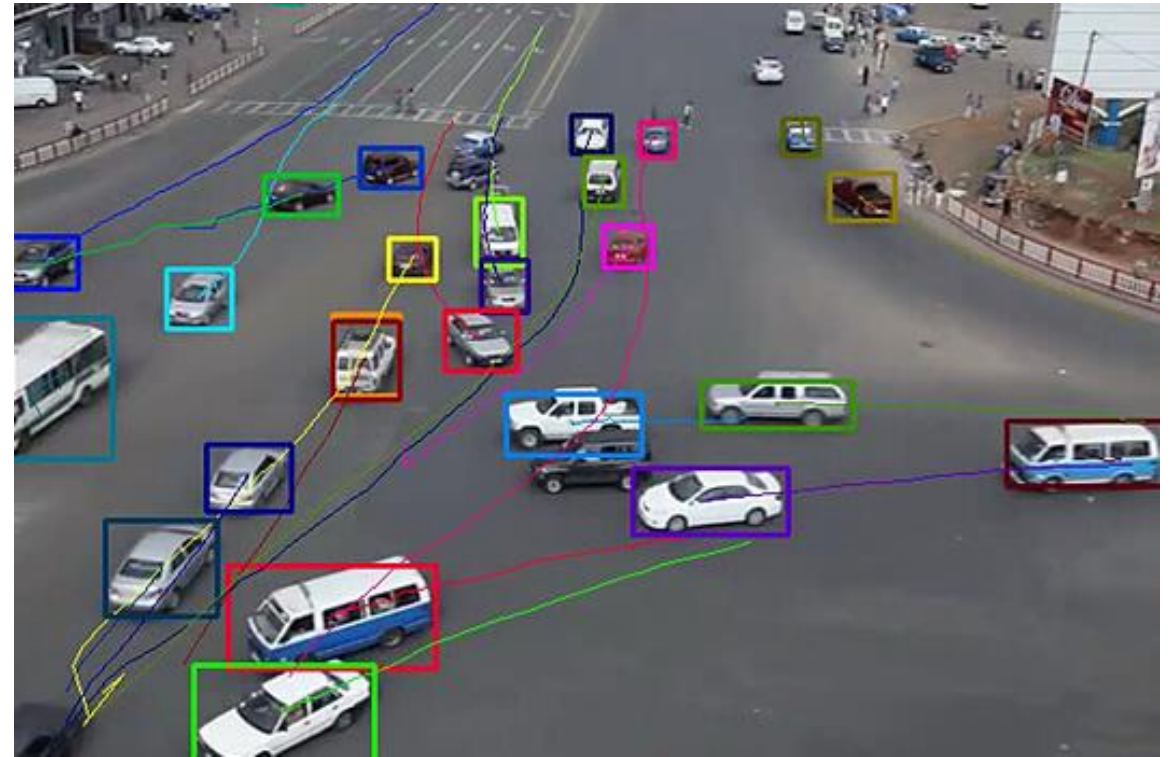
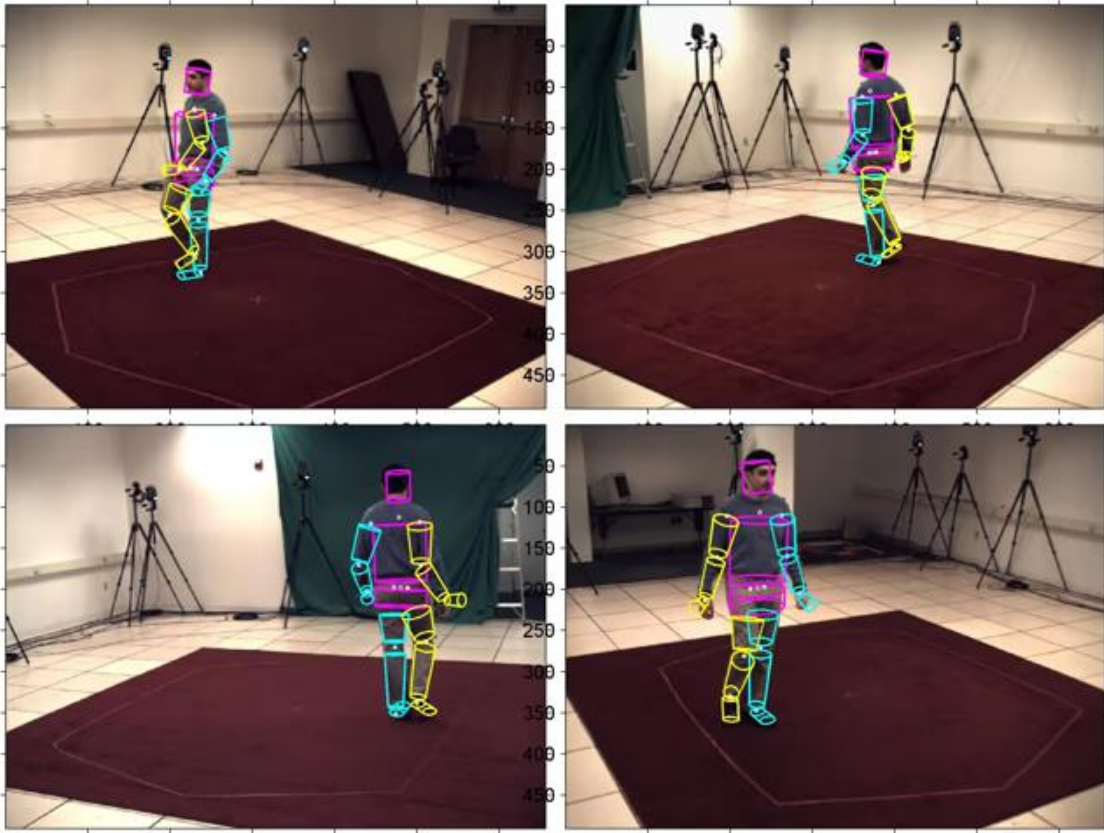




Object detection

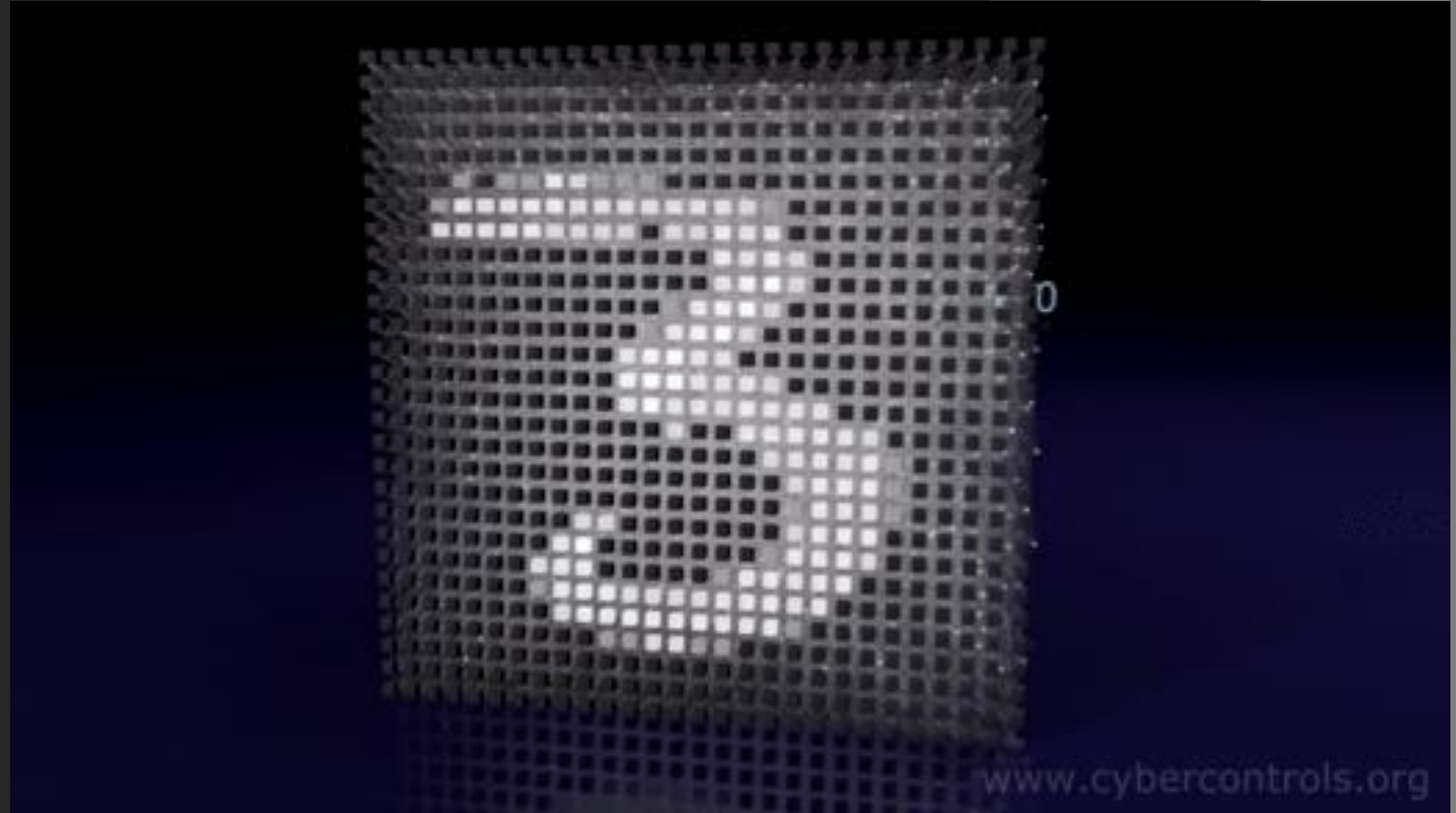


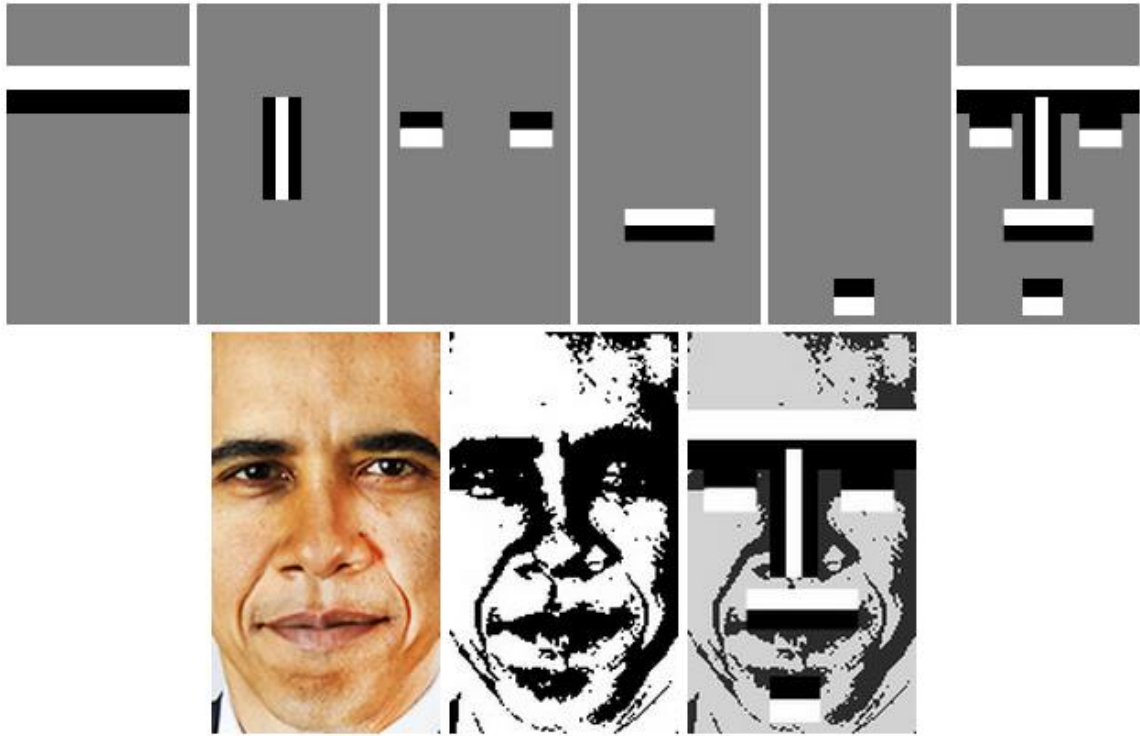
3D reconstruction



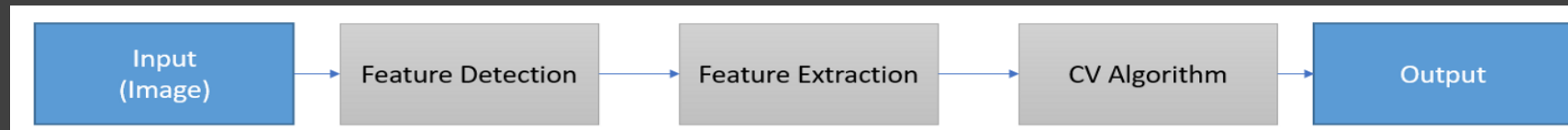
Video tracking and 3D pose estimation

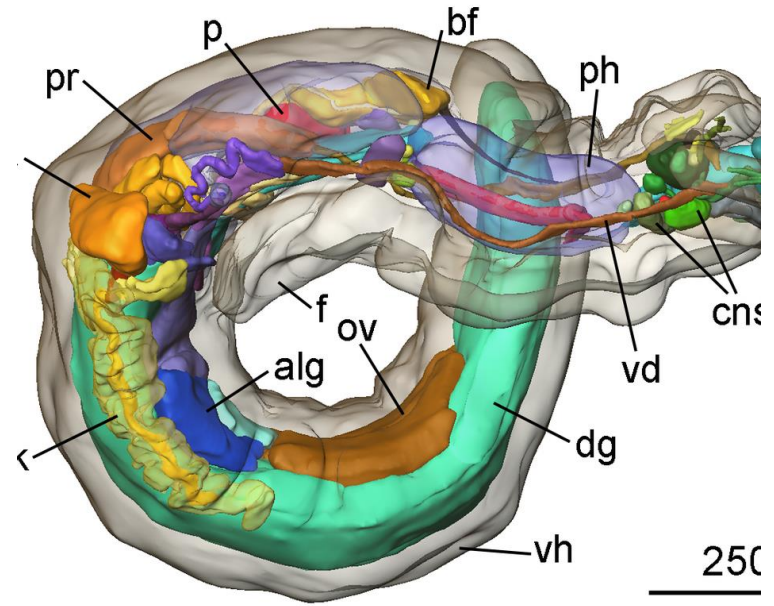
AI





Hagyományos módszerek



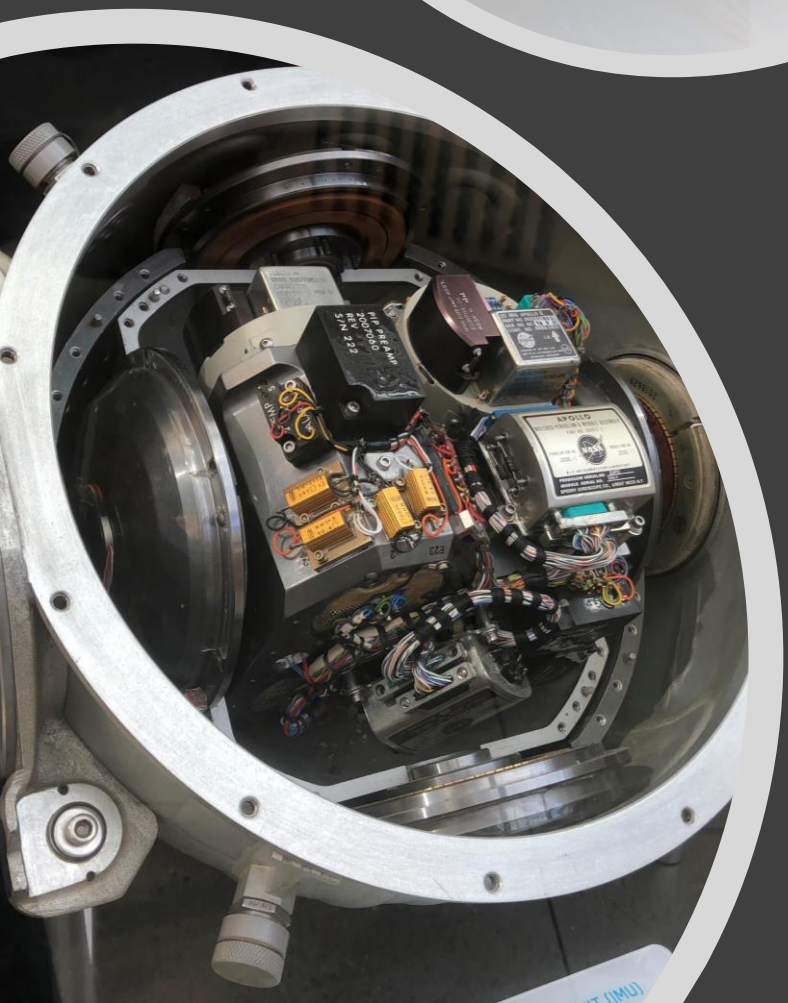
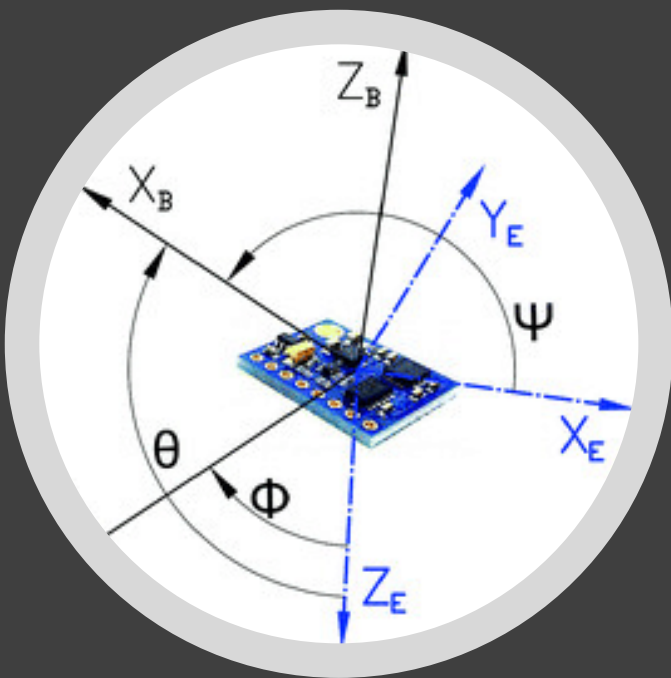
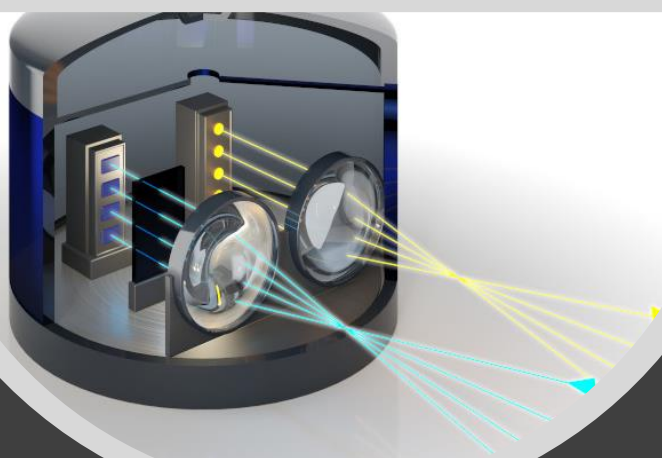


Felhasználási területek



Önvezetés

– Ha látunk mindent, mi kellhet még?



Szenzorok



Long Range Camera + Radar

360 Lidar + 360 Vision System

Perimeter Lidar +
Peripheral Vision System + Radar

Perimeter Lidar +
Perimeter Vision System

Perimeter Lidar +
Perimeter Vision System

Peripheral Vision System
+ Radar

Szenzorrendszerek

- Különböző modalitások
 - más másra jó
 - Hogyan tudjuk kombinálni?
- Kommunikáció
- **Kalibráció**

Egytengelyes Lidar-kamera kalibráció

Készítette:
Tófalvi Tamás

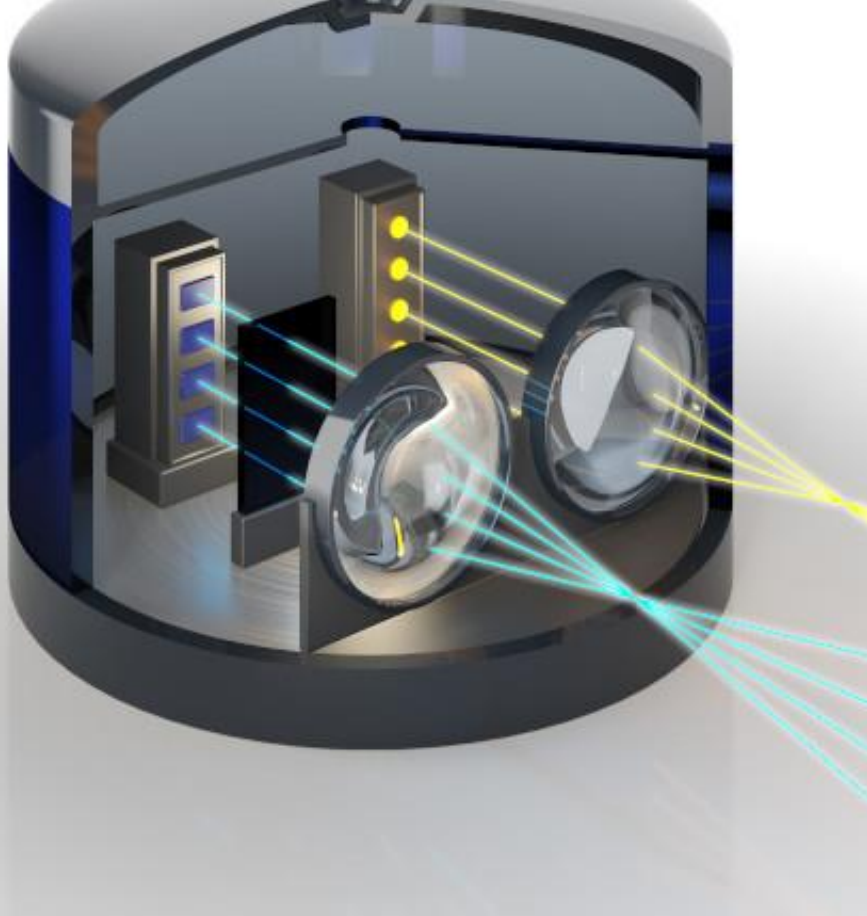
Dr. Hajder Levente
egyetemi docens

Tóth Tekla
doktorandusz

Kovács Bandó
intézeti mérnök

LiDAR és kamera

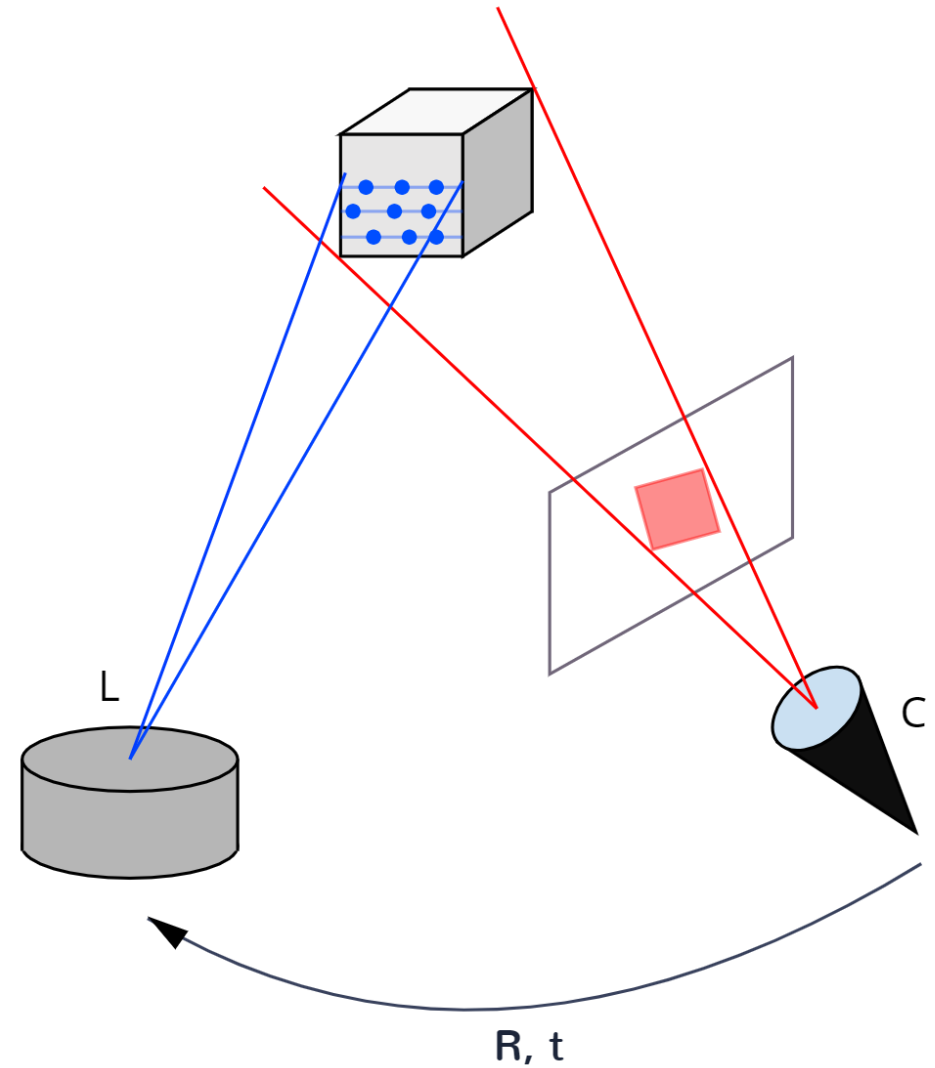
- LiDAR – 3D pontfelhő a környezetről, pontos távolságmérés
- Kamera – kép a környezetről, objektumok klasszifikálása
- Megfeleltetés a 3D pontok és a kép pixelek közt
 - kalibráció
 - színezett pontfelhő



LiDAR

Általános kalibrációs probléma

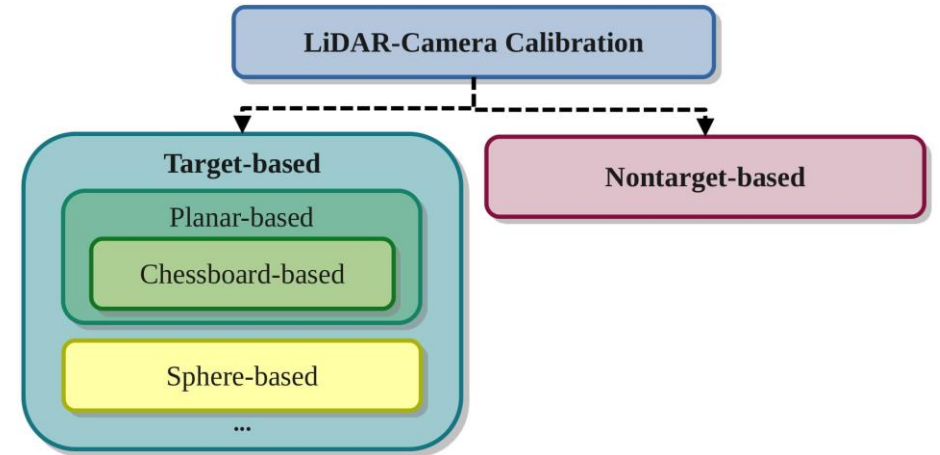
A transzformáció meghatározása: R, t



Általános kalibrációs probléma

Megoldási módszerek

- Célobjektum tulajdonságainak kihasználása
 - *sakktábla síkja*, merőleges síkok, gömbök, párhuzamos vonalak, stb.
- Célobjektum nélküli kalibráció
 - általános megoldás, de rossz pontosság



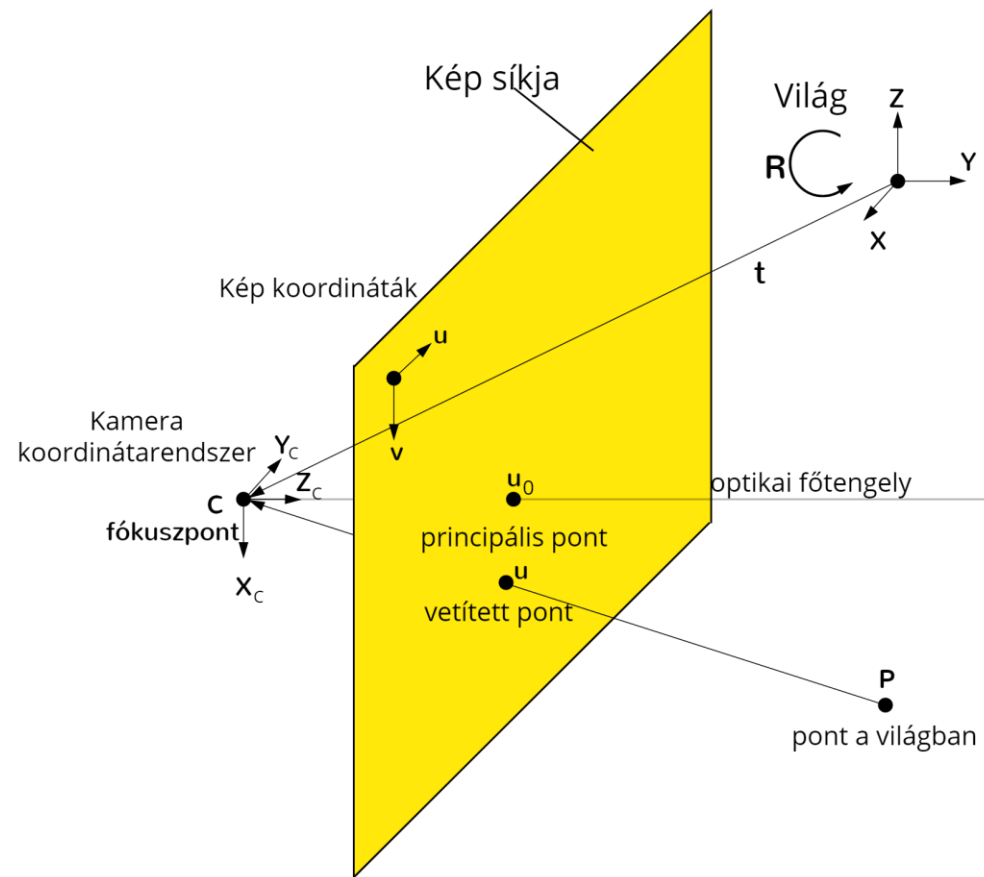
Pinhole kamera modell

- P pont a világban:

$$P^L = [x_L, y_L, z_L]^T$$

- P pont a kamera koordinátarendszerében –
külső paraméterek:

$$P^C = R[I | t]P^L$$



Pinhole kamera modell

$$u = \frac{fk_u}{z_C} x_C + u_0$$
$$v = \frac{fk_v}{z_C} y_C + v_0$$

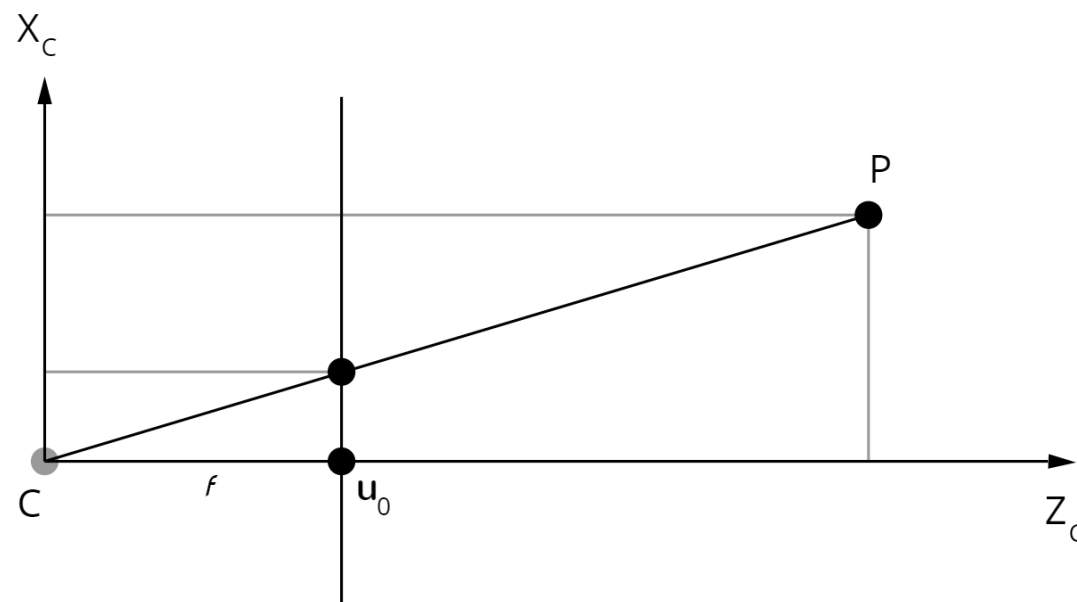
- Két lépsben:

$$P_C = [x_C, y_C, z_C]^T \rightarrow P'_C = \left[\frac{x_C}{z_C}, \frac{y_C}{z_C}, 1 \right]^T$$

$$[u, v, 1] \sim K \cdot P'_C$$

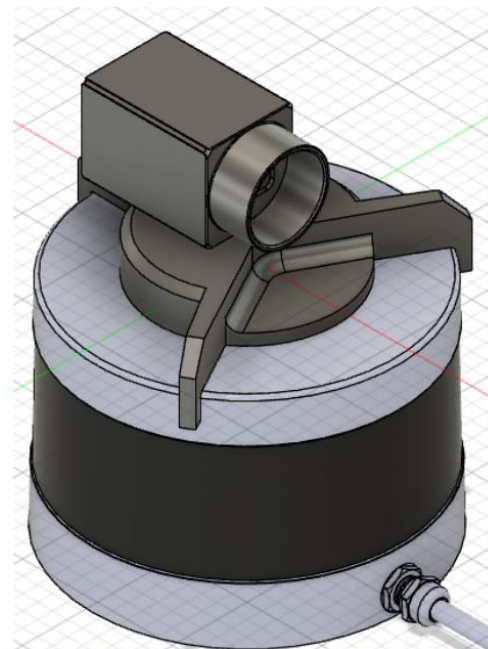
- Kamera matrix – belső paraméterek:

$$K = \begin{bmatrix} fk_u & 0 & u_0 \\ 0 & fk_v & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



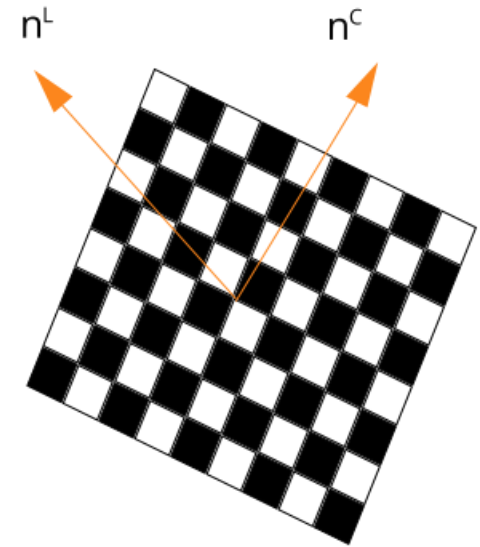
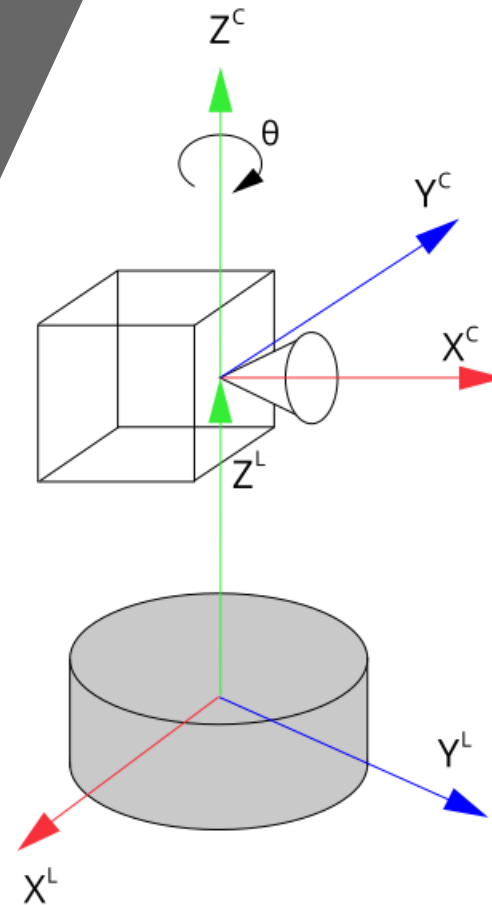
Az új kalibrációs módszer

- Speciális elrendezés egy 3D nyomtatott állvánnyal
- 6 szabadságfok redukálása 1 forgatásra
- Célobjektum: sakktábla



Az új kalibrációs módszer

- Eltolás ismert
- Függőleges tengelyek egybeesnek
- Normálvektorok

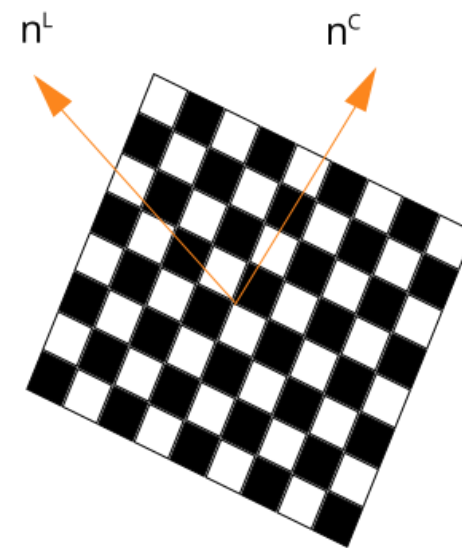
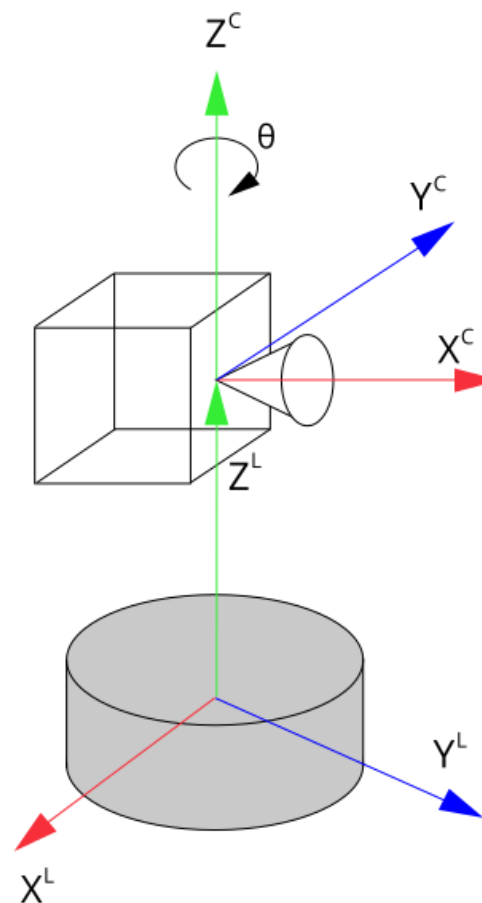


Az új kalibrációs módszer

- A külső paraméterek egyszerűsödnek:

- $R = R_Z(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

- $t = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ t_z \end{bmatrix}$



Sík meghatározása képen

- Sakktábla felismerés
- Homográfia meghatározása
 - a sakktábla pontjaiból
- Homográfia dekompozíció



Homográfia

- Világ pontjai a kamerák koordinátarendszerében:

$$m^* = (x^*, y^*, 1) \text{ és } m = (x, y, 1)$$

$$p^* = Km^* \text{ és } p = Km$$

- Képpont párokból:

$$p^* = (u^*, v^*, 1) \text{ és } p = (u, v, 1)$$

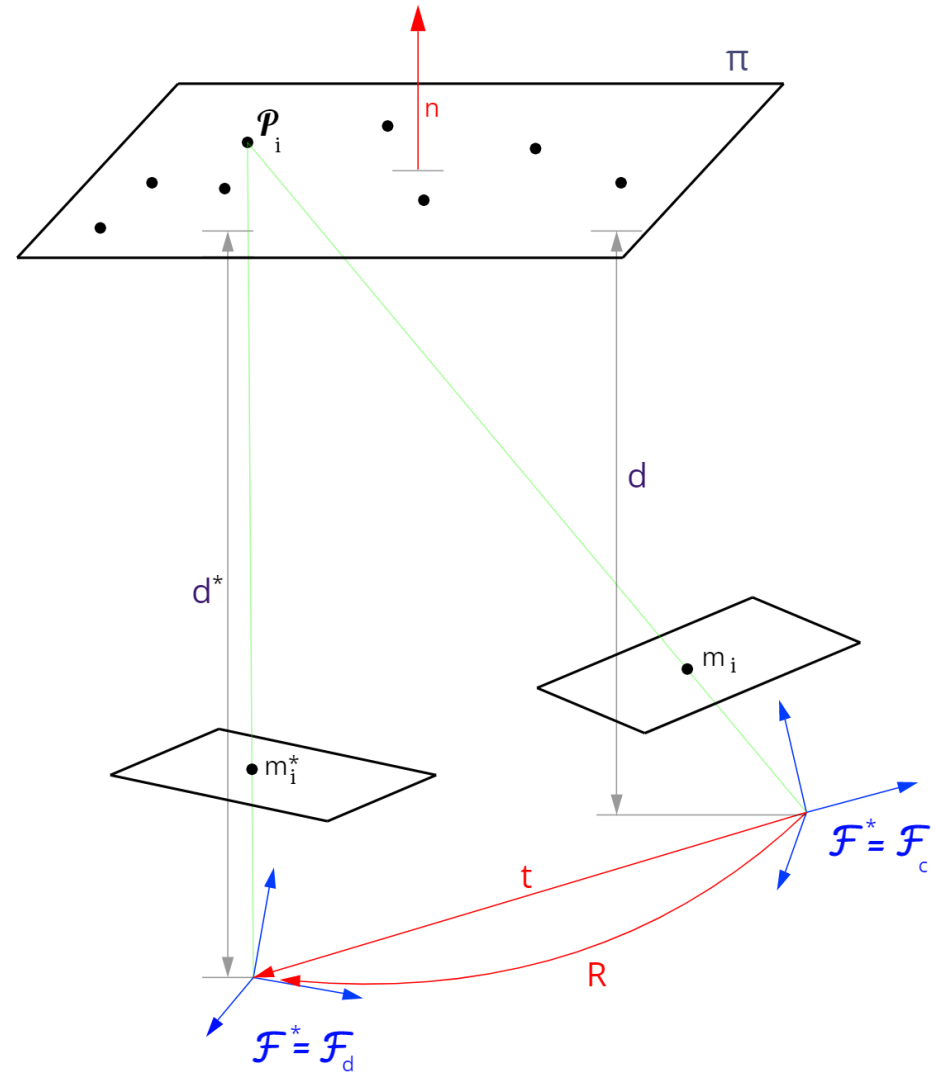
- Projektív homográfia:

$$\alpha_g p = Gp^*$$

- Euklideszi homográfia:

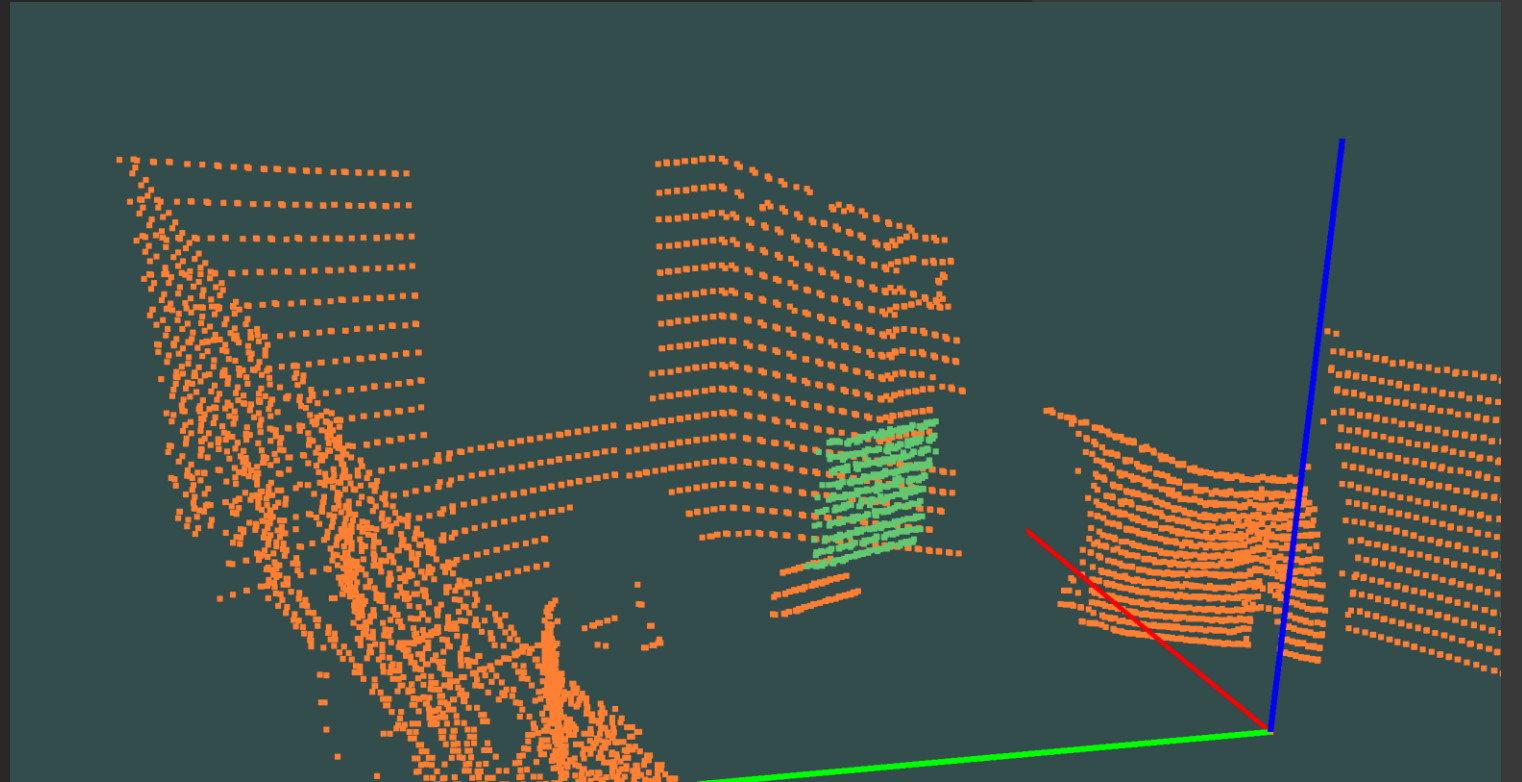
$$\alpha_h m = Hm^*, \text{ ahol } H = \gamma(R + tn^T)$$

$$H = K^{-1}GK$$



Sík meghatározása LiDAR pontfelhőben

- Manuális előválasztás
- LO-RANSAC algoritmus
(**RAN**dom **SA**mpling **C**onsensus)
- Sík egyenletéből normálvektor

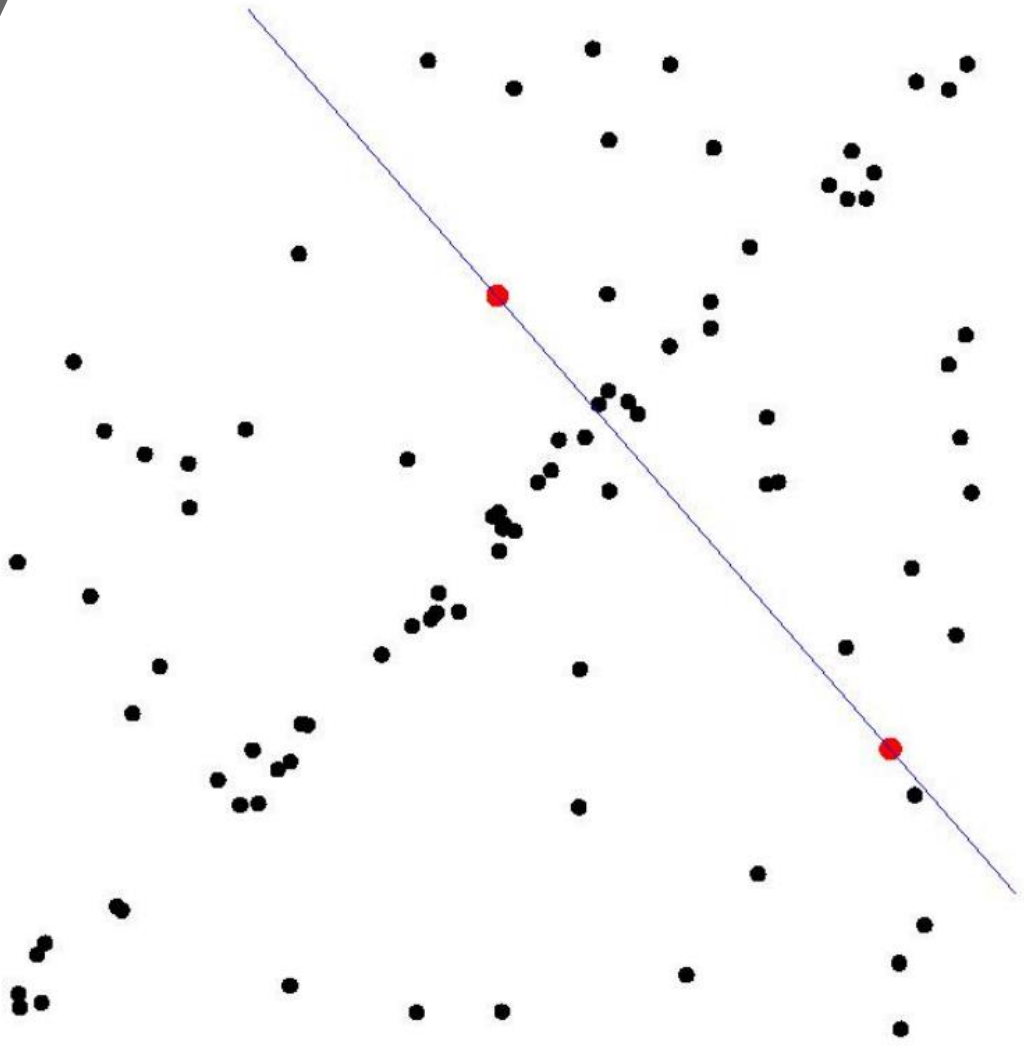


LO-RANSAC

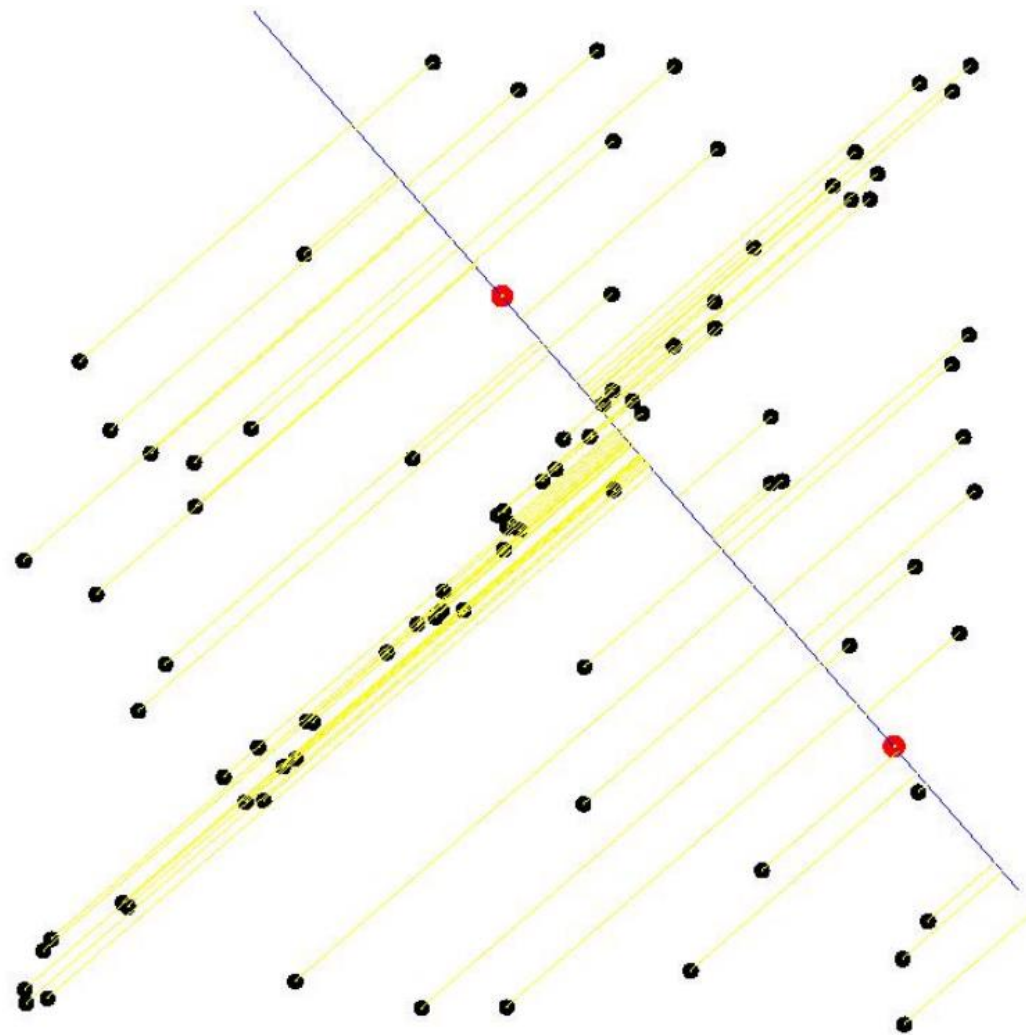
Egy iteráció menete:

1. Véletlenszerűen 3 pont a pontfelhőből
2. Sík meghatározása a 3 pontból
3. A síkra eső pontok meghatározása – konzensus halmaz
4. Legkisebb négyzetes optimalizálás a konzensus halmazon
5. Legjobb modell elmentése

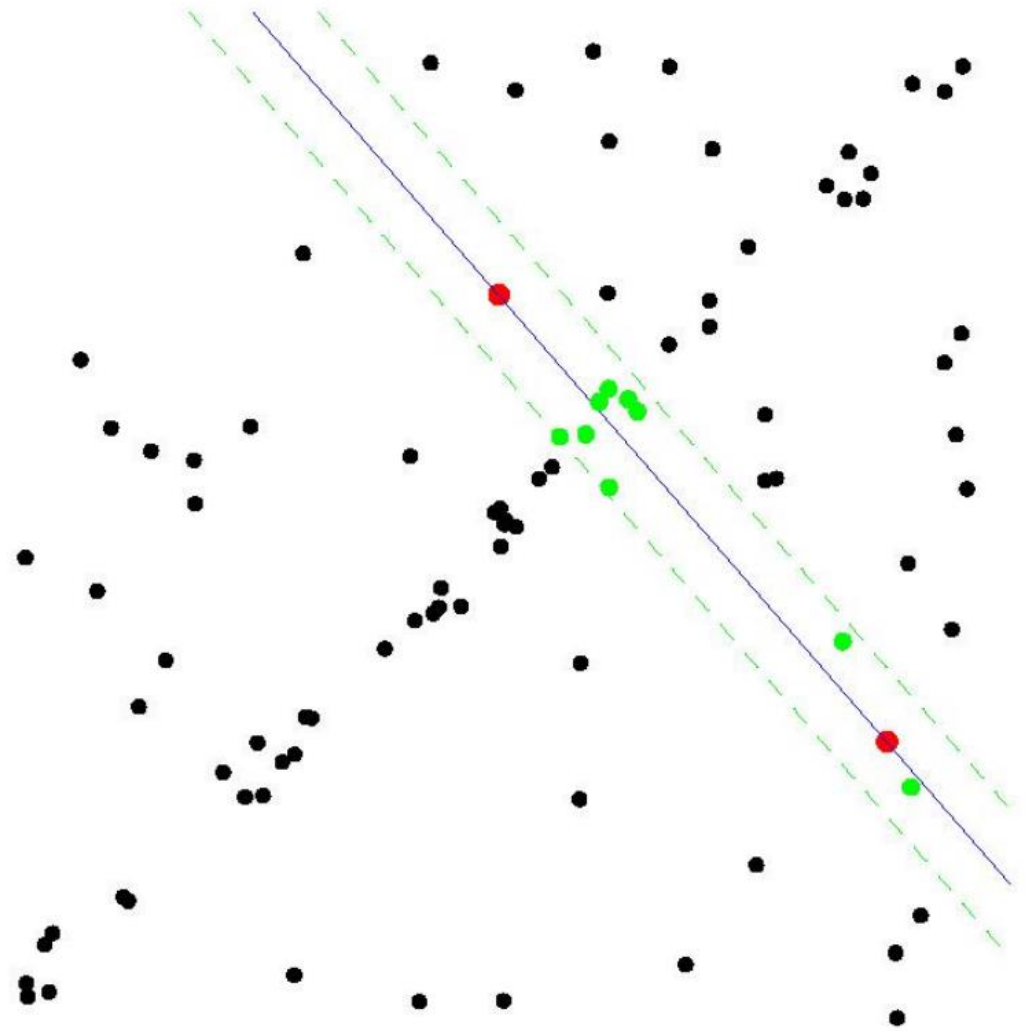
LO-RANSAC



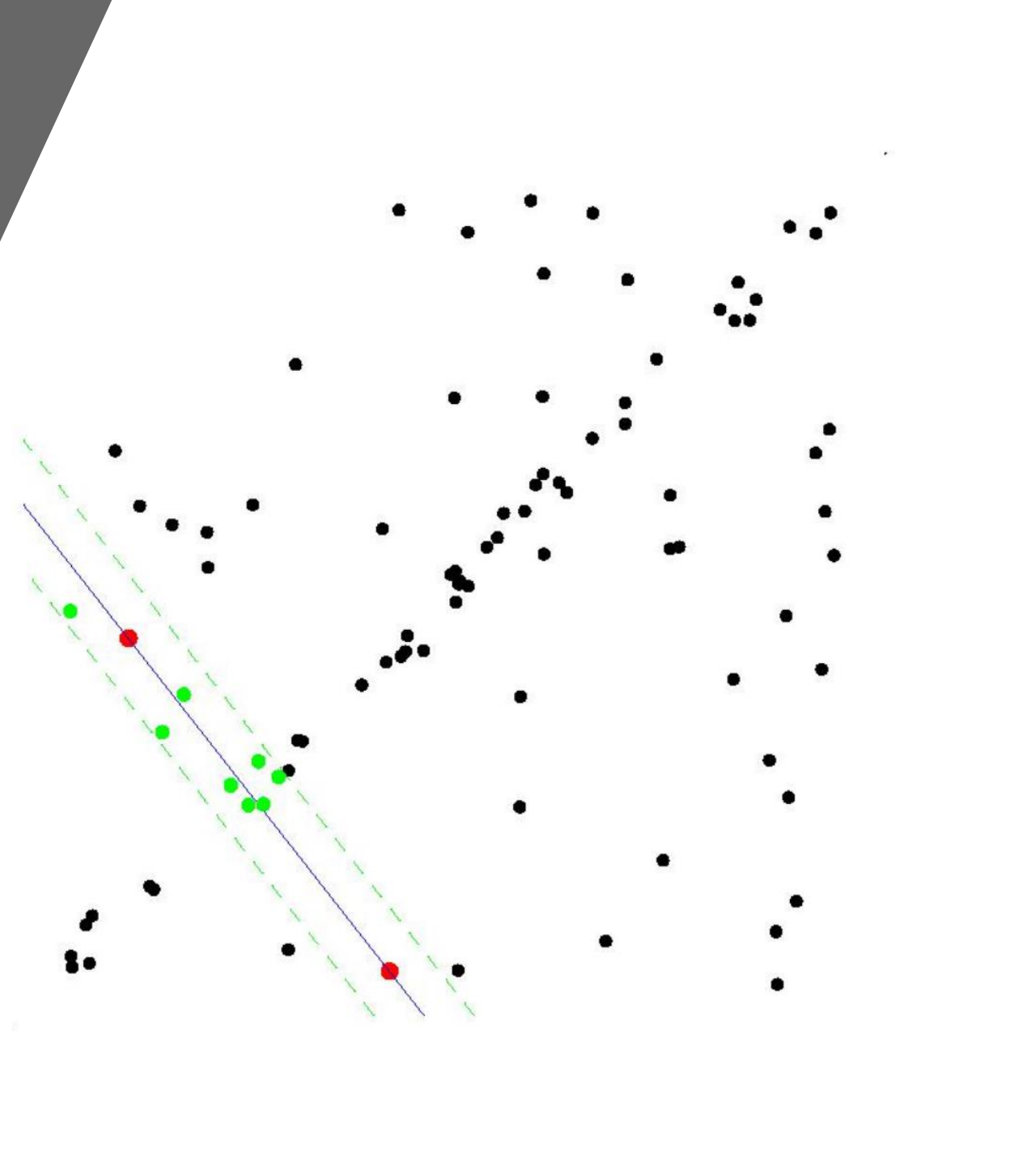
LO-RANSAC



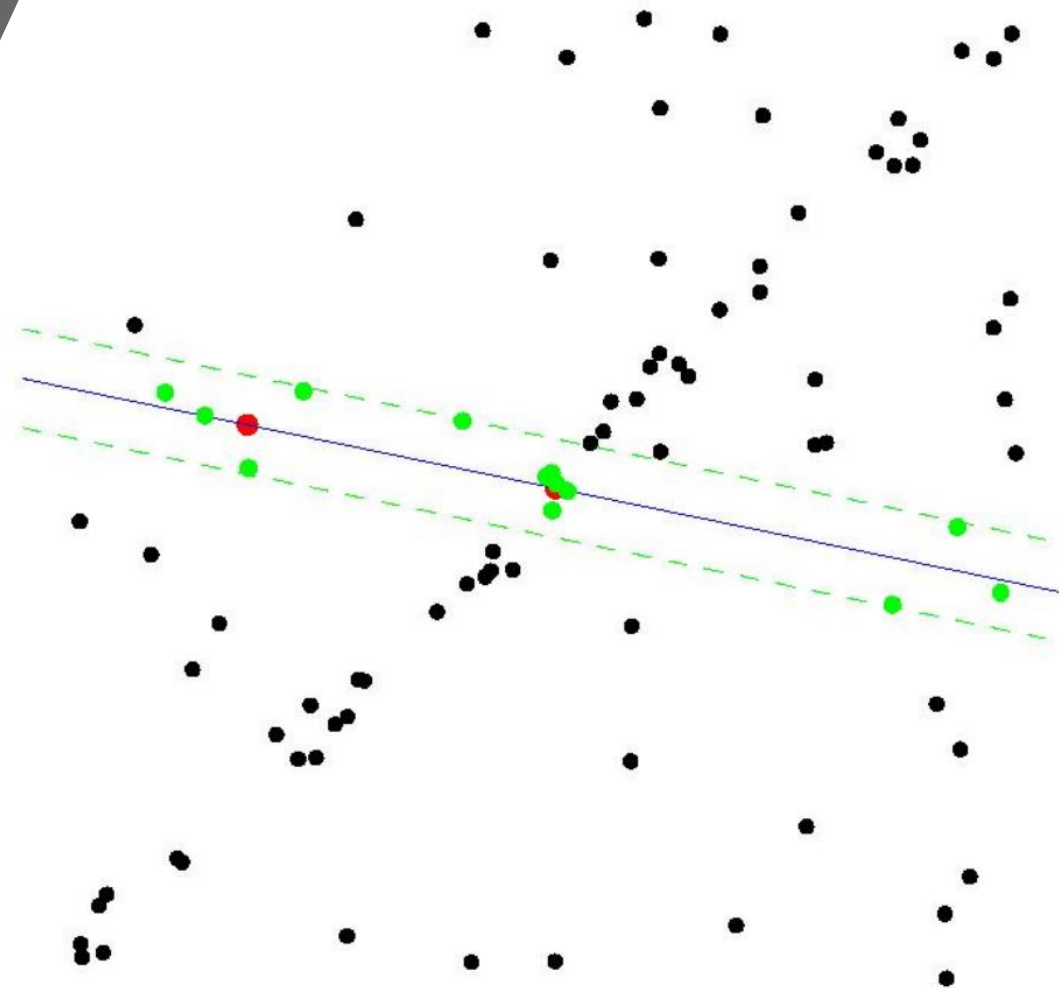
LO-RANSAC



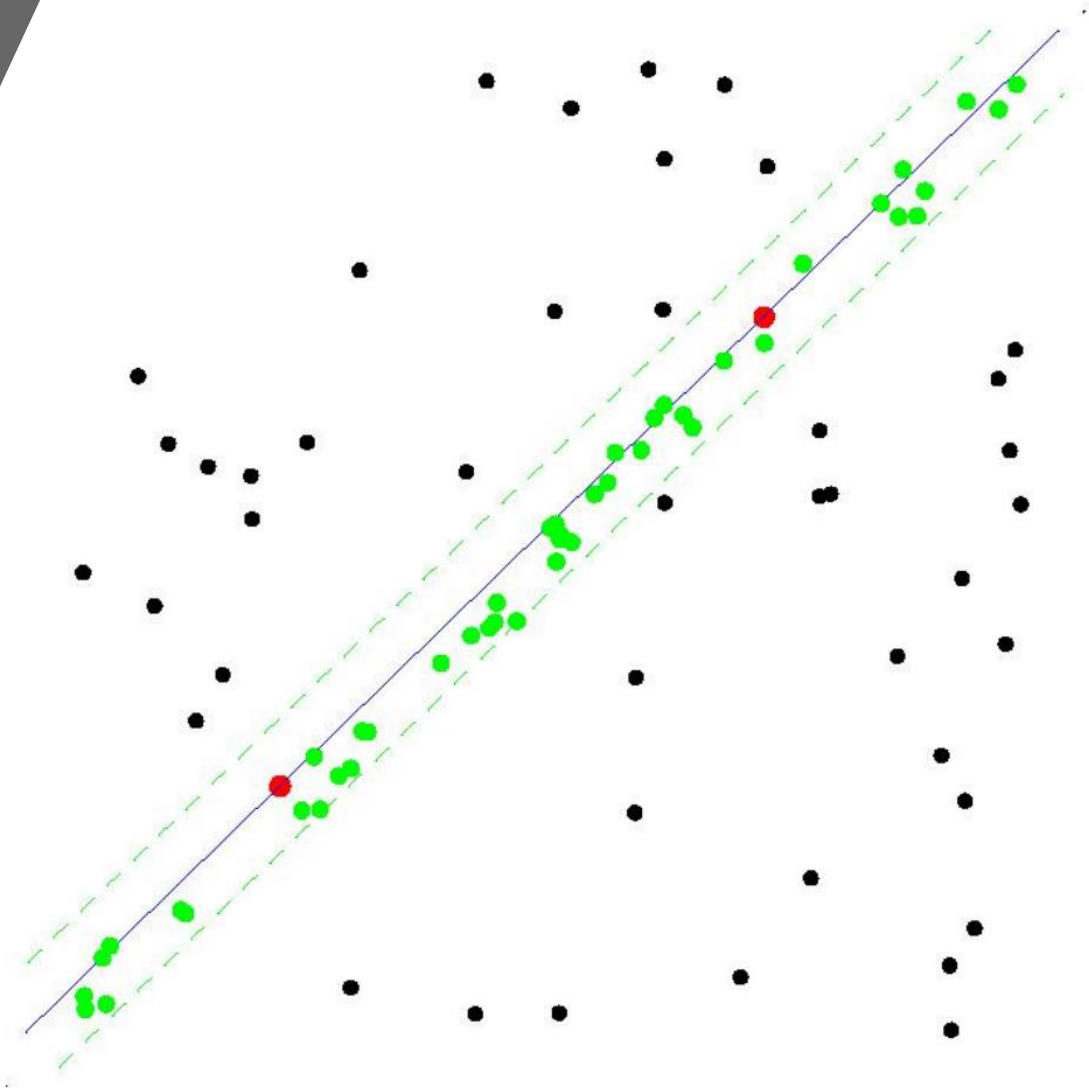
LO-RANSAC



LO-RANSAC



LO-RANSAC



Forgatás egy képből

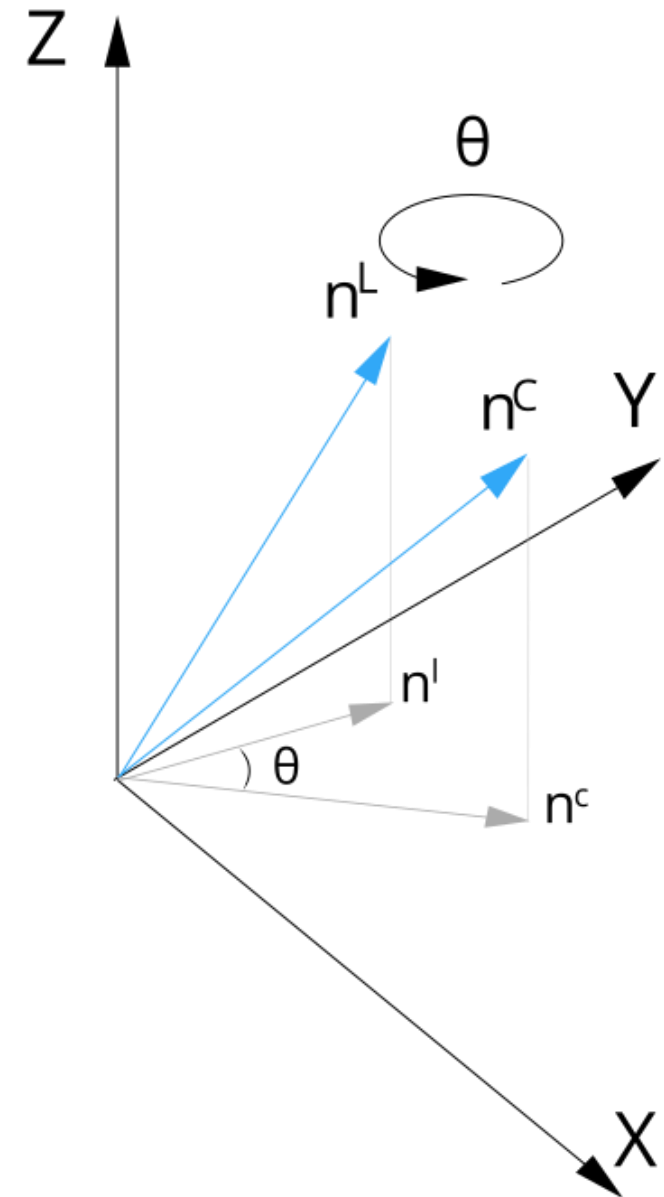
- Normálvektorok:

$$n^L = [n_x^L \quad n_y^L \quad n_z^L]^T$$
$$n^C = [n_x^C \quad n_y^C \quad n_z^C]^T$$

- Megkötés

$$n_z^L = n_z^C$$

$$n^l = [n_x^L \quad n_y^L]^T$$
$$n^c = [n_x^C \quad n_y^C]^T$$



Forgatás egy képből

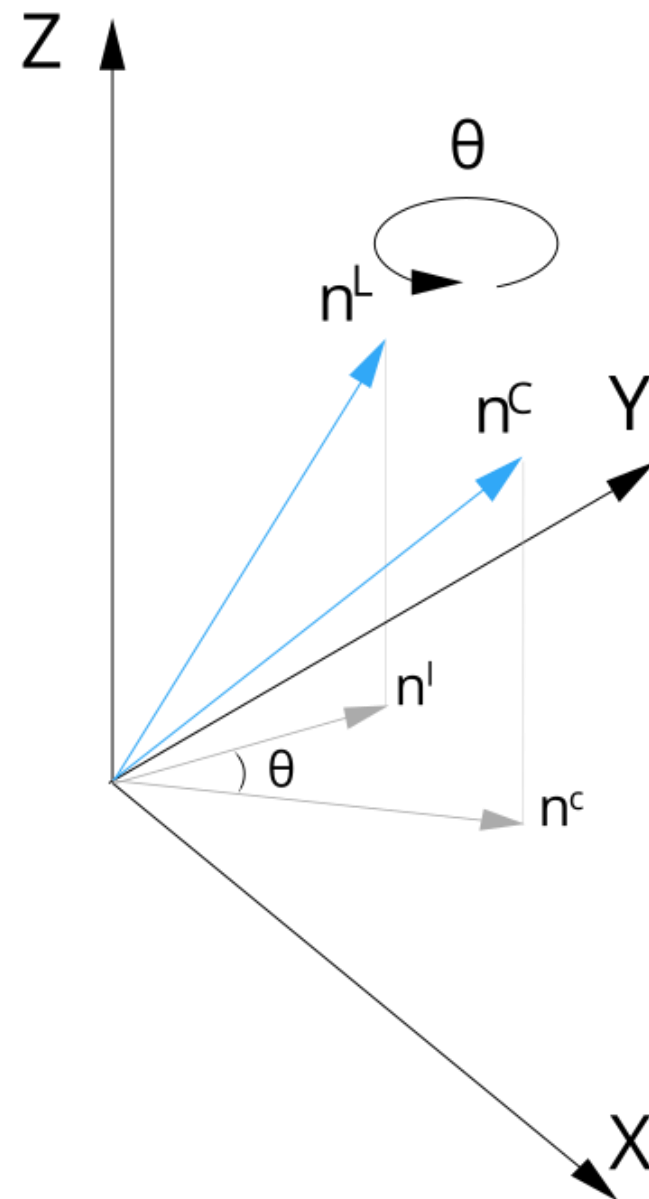
- Összefüggés a normálvektorok közt:

$$R_Z(\theta) \cdot n^l = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} n_x^L \\ n_y^L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_x^C \\ n_y^C \end{bmatrix} = n^c$$

- Átalakítás után:

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} n_x^L & -n_y^L \\ n_y^L & n_x^L \end{bmatrix}, \quad \mathbf{g} = \begin{bmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{bmatrix}, \quad \mathbf{h} = \begin{bmatrix} n_x^C \\ n_y^C \end{bmatrix}$$

$$\arg \min_{\mathbf{g}} \|\mathbf{F}\mathbf{g} - \mathbf{h}\|_2$$
$$\|\mathbf{g}\|_2 = 1$$

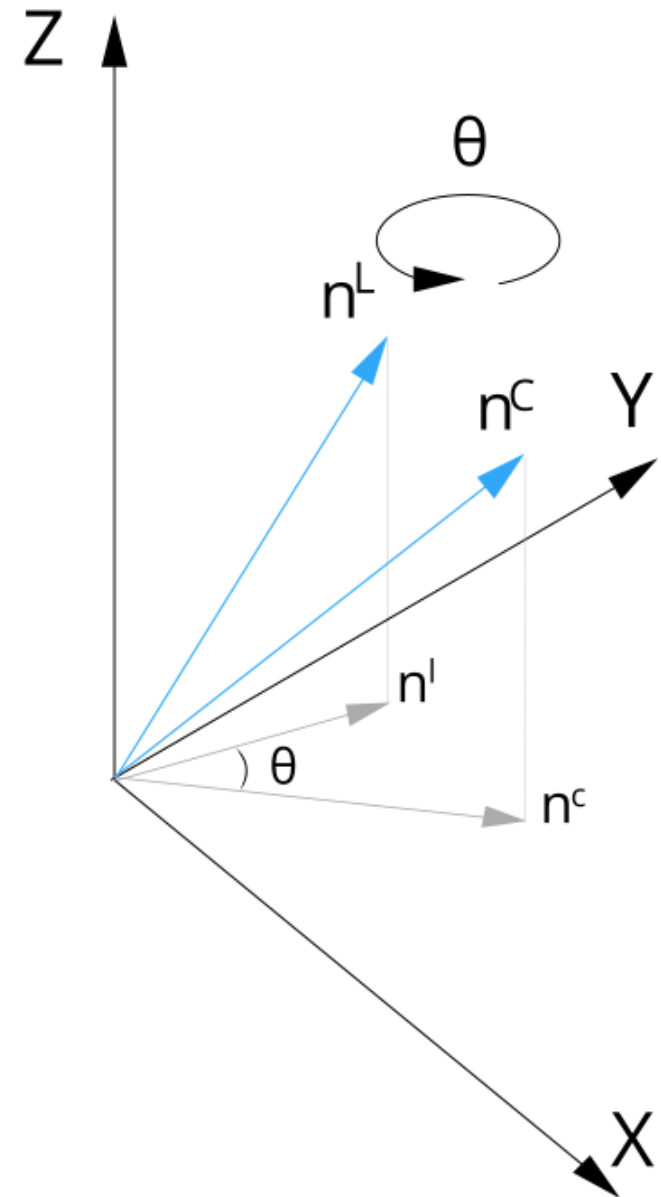


Forgatás több képből

Túlhatározott eset

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} n_{x,1}^L & -n_{y,1}^L \\ n_{y,1}^L & n_{x,1}^L \\ \vdots & \vdots \\ n_{x,k}^L & -n_{y,k}^L \\ n_{y,k}^L & n_{x,k}^L \end{bmatrix}, \quad \mathbf{g} = \begin{bmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{bmatrix}, \quad \mathbf{h} = \begin{bmatrix} n_{x,1}^C \\ n_{y,1}^C \\ \vdots \\ n_{x,k}^C \\ n_{y,k}^C \end{bmatrix}$$

$$\arg \min_{\mathbf{g}} \|\mathbf{F}\mathbf{g} - \mathbf{h}\|_2$$
$$\|\mathbf{g}\|_2 = 1$$



Tesztek és eredmények

- Elkészült egy alkalmazás
 - kalibráció
 - vizualizáció
- Virtuális adatokon
 - pontos forgatás ismert
- Valós adatokon
 - pontfelhő színezés
 - visszavetítés
 - forgatások szórása

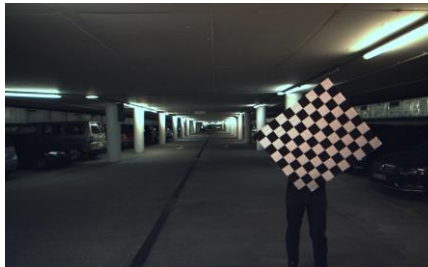
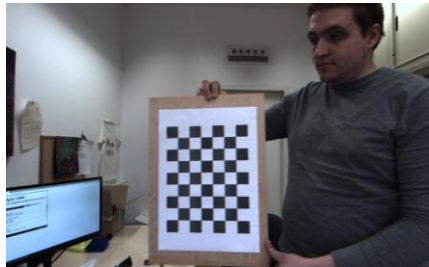


Virtuális tesztek

- BlenSor 1.0.18
- Virtuális adatok különböző elforgatásokban
 - kalibráció adott elforgatás mellett több képen
- Valós elforgatás ismert
 - módszer hibájának meghatározása

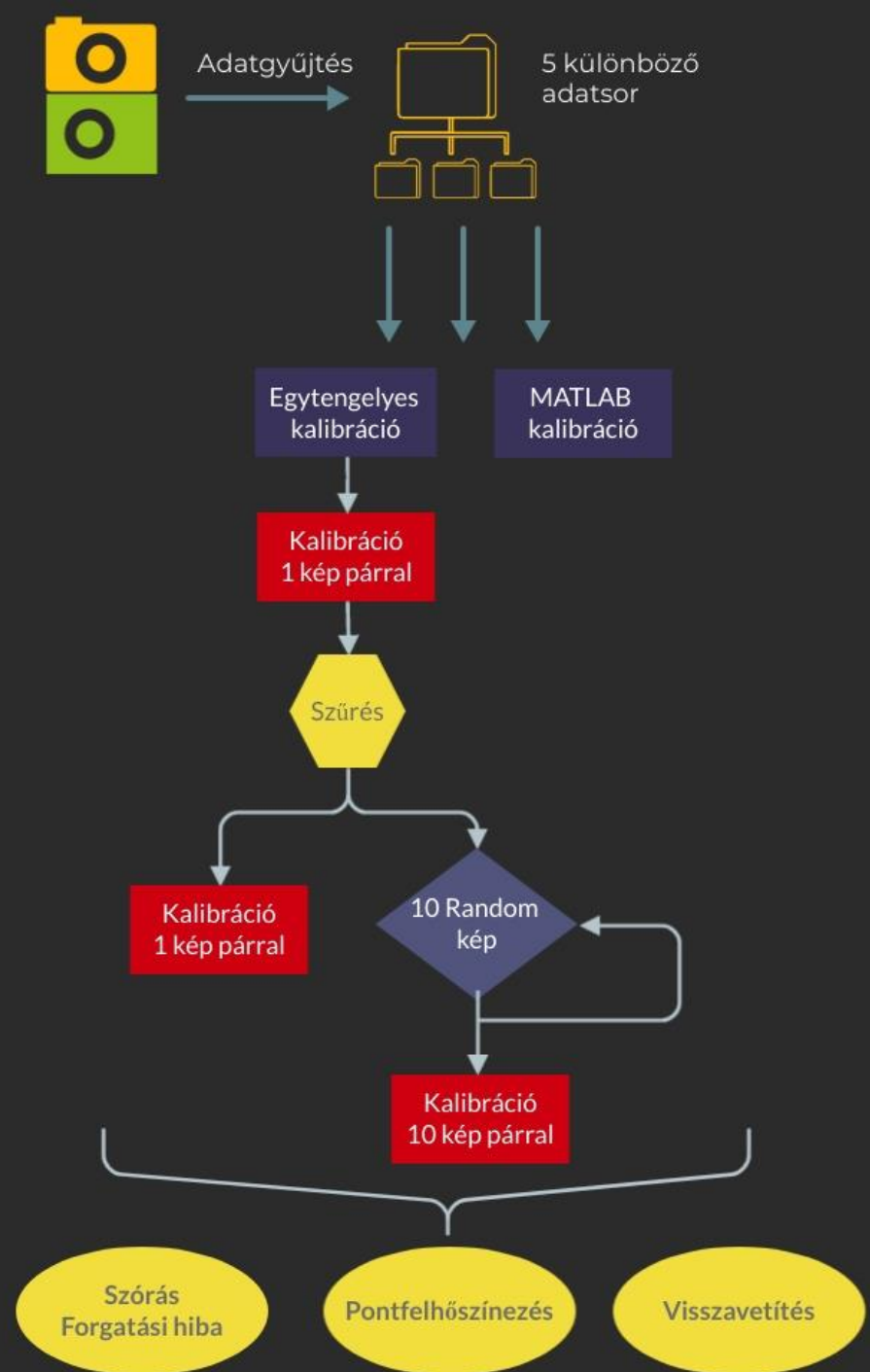
Forgatási hiba

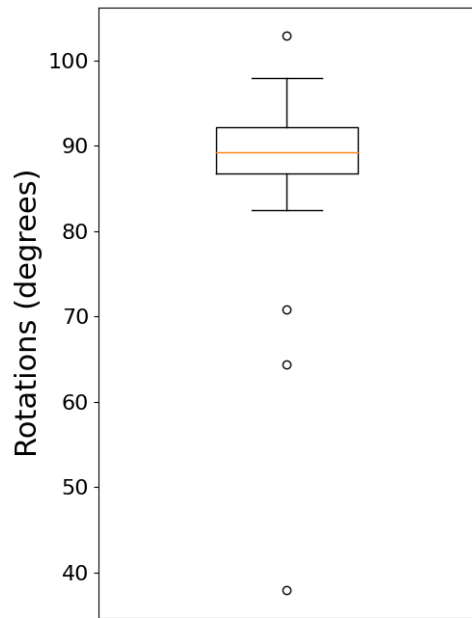
Forgatási hiba		
Alapigazság	Közelítés	Hiba
0°	0.0000°	0.0000°
45°	44.9032°	0.0976°
90°	89.6333°	0.3660°
135°	134.9589°	0.0410°
180°	179.9999°	$2.05^\circ \times 10^{-7}$
Átlagos hiba		0.1009°



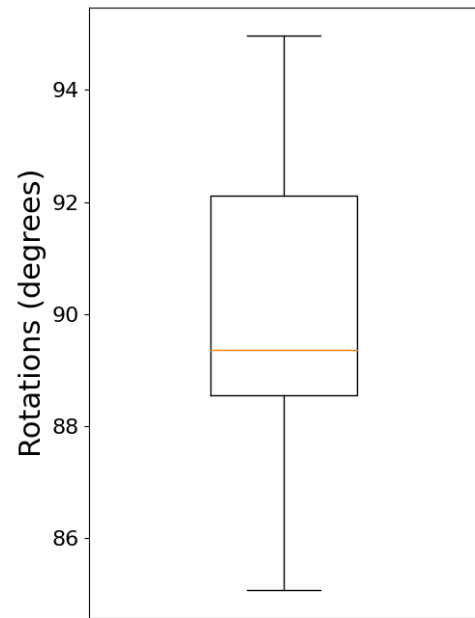
Valós tesztek

Tesztelés menete

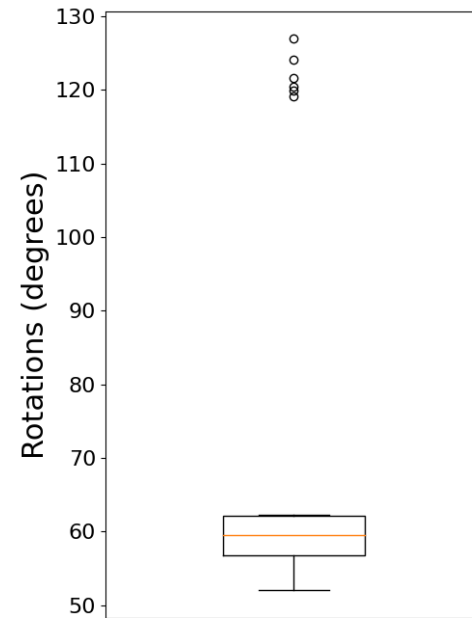




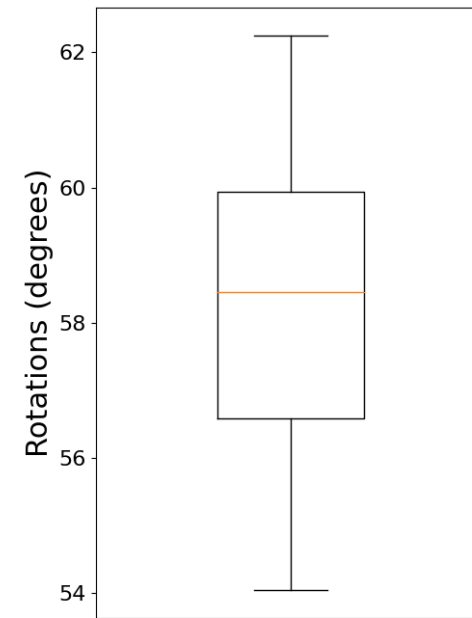
Data set 1, unfiltered



Data set 1, filtered



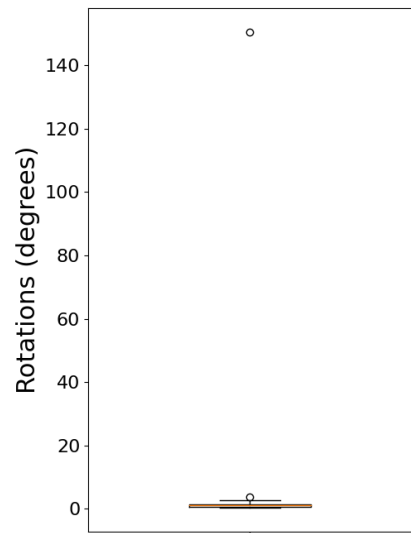
Data set 2, unfiltered



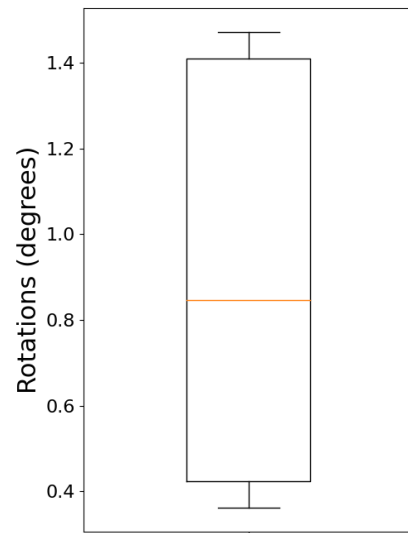
Data set 2, filtered

Eredmények – Szórás

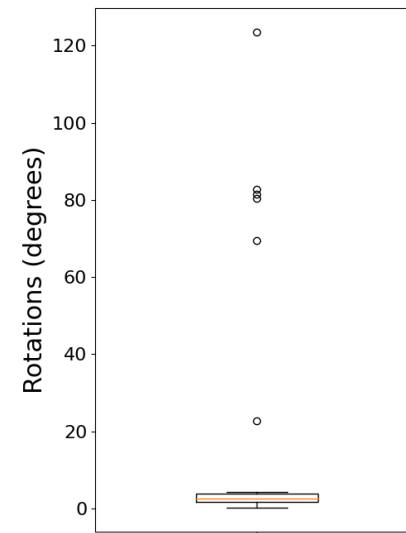
- kiugró értékek
→ detektálás és szűrés



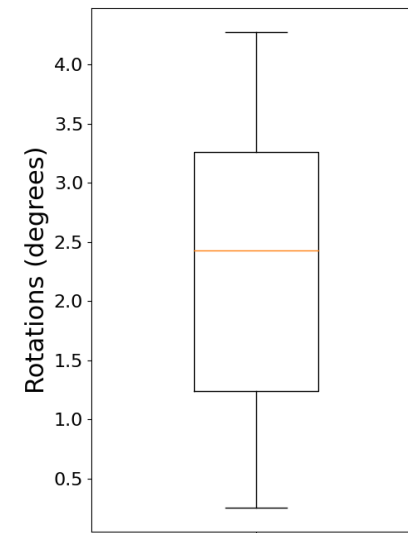
Data set 3, unfiltered



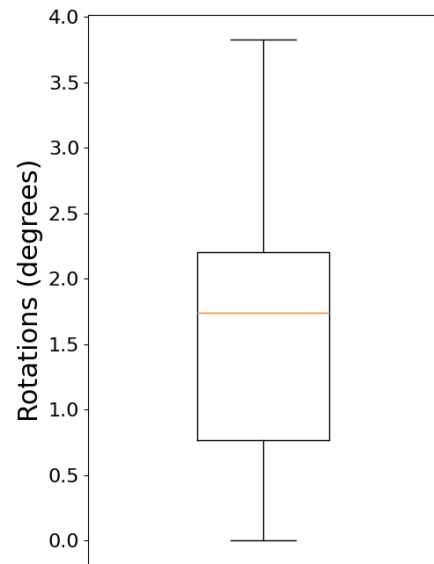
Data set 3, filtered



Data set 5, unfiltered



Data set 5, filtered



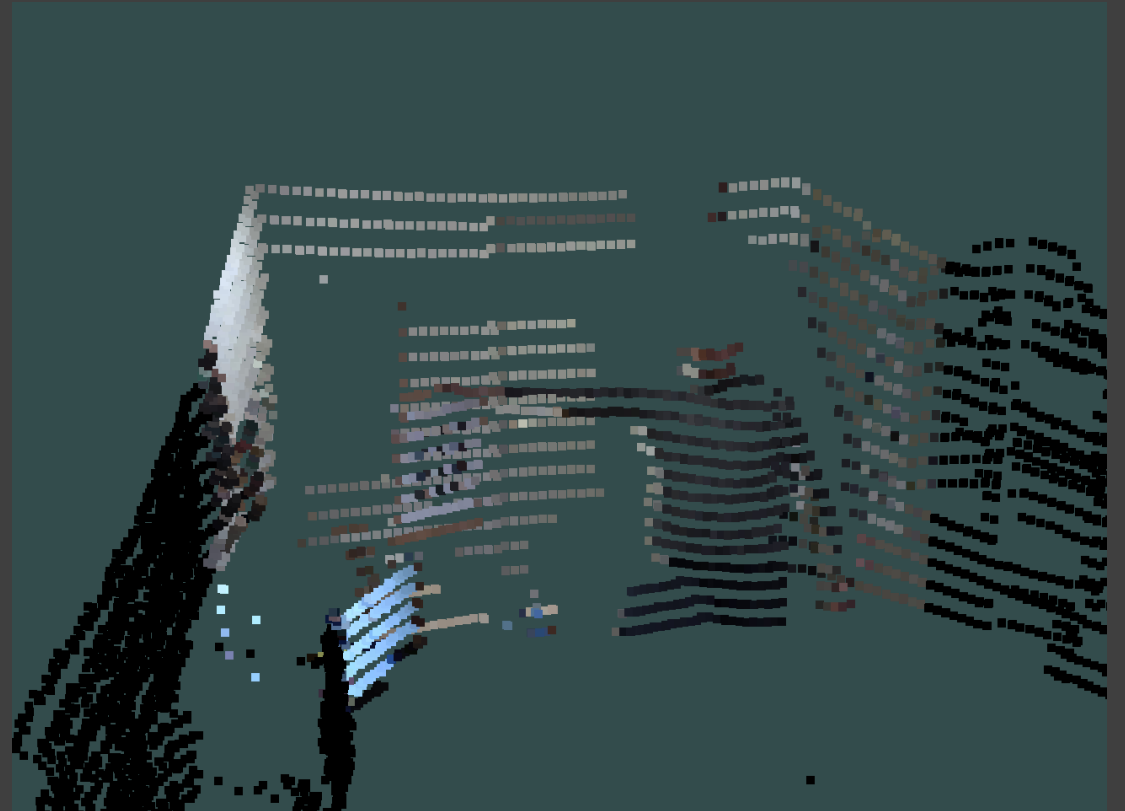
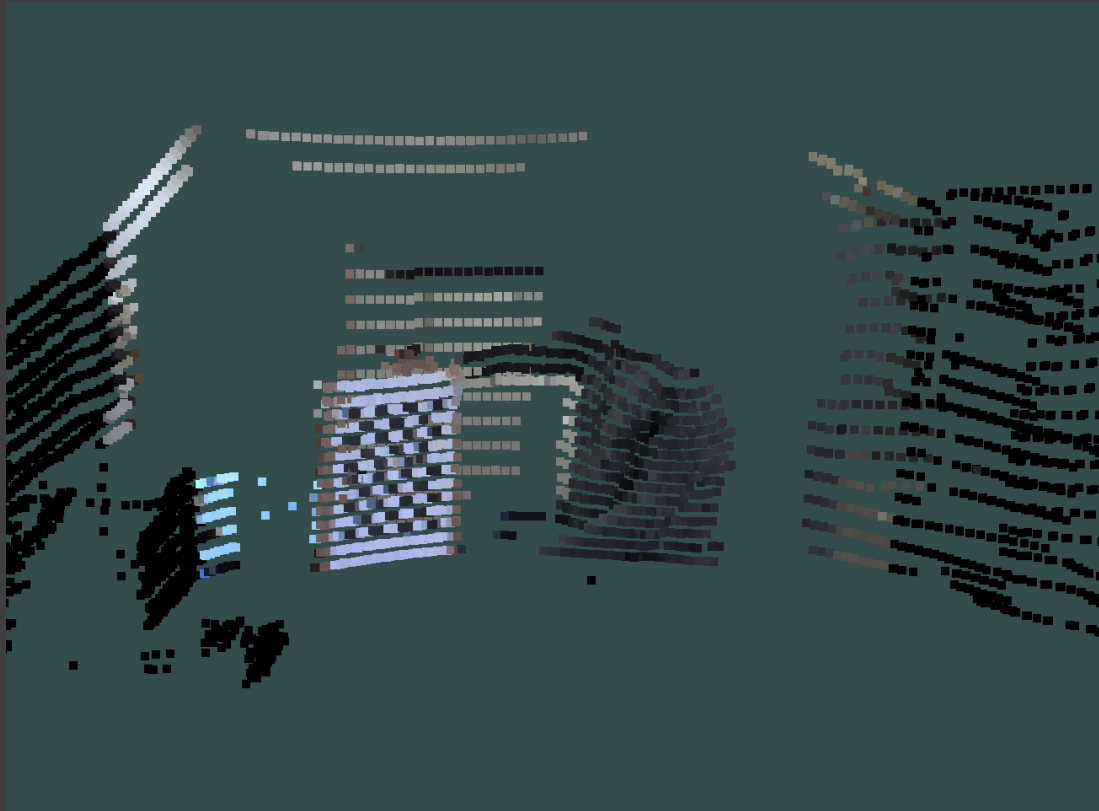
Data set 4, unfiltered

Eredmények – Szórás

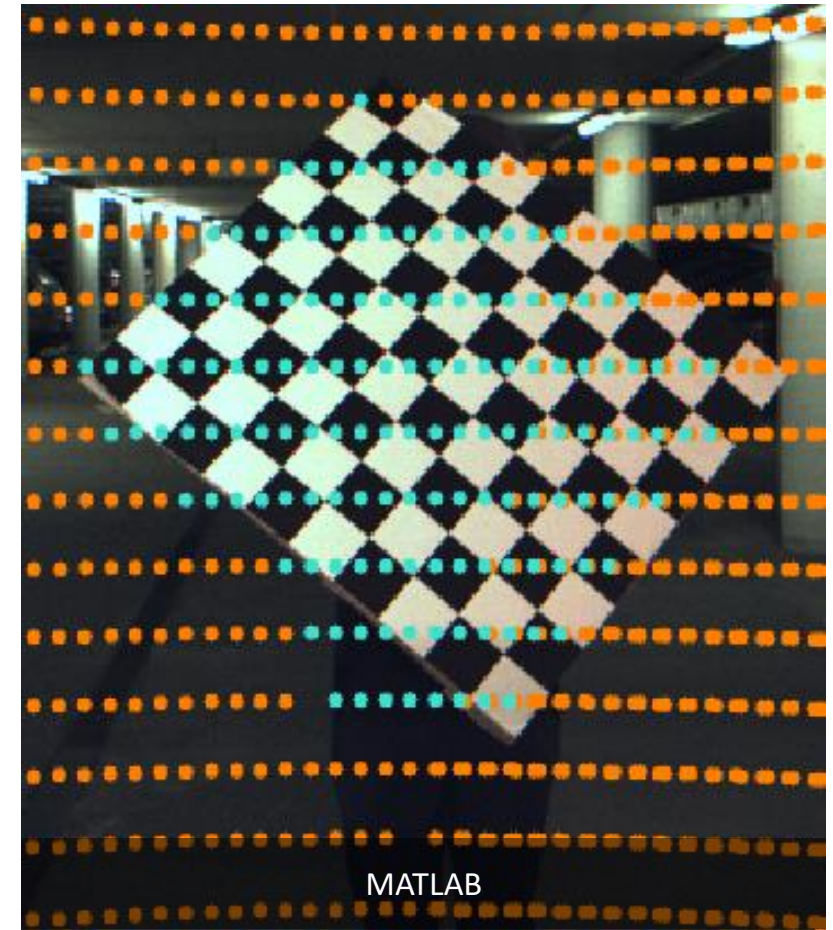
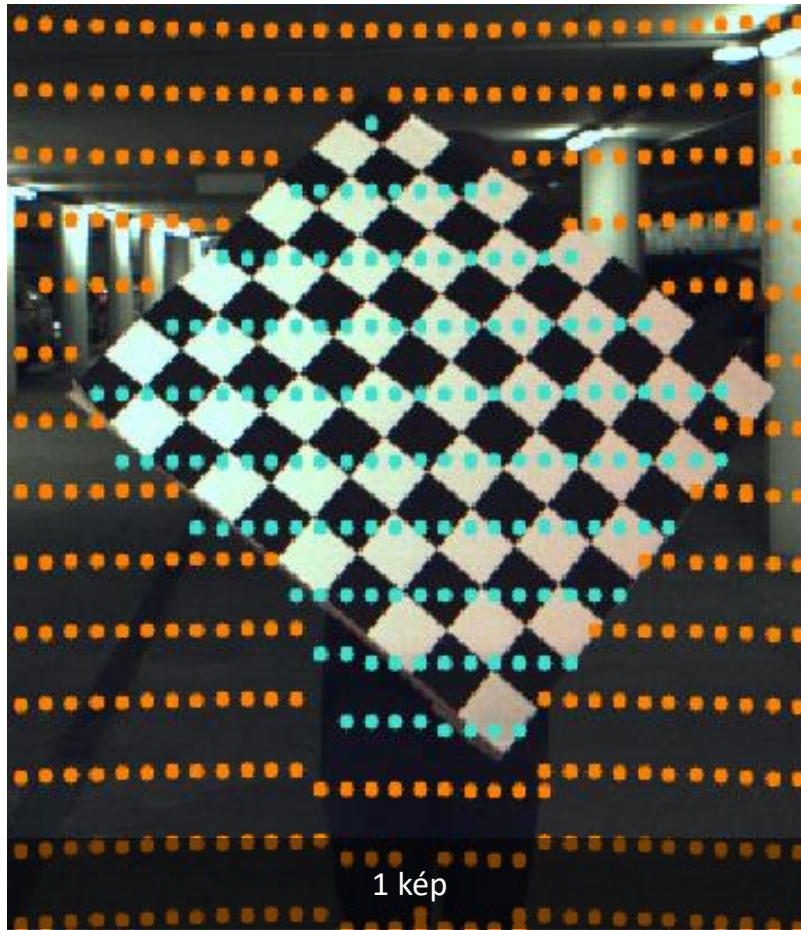
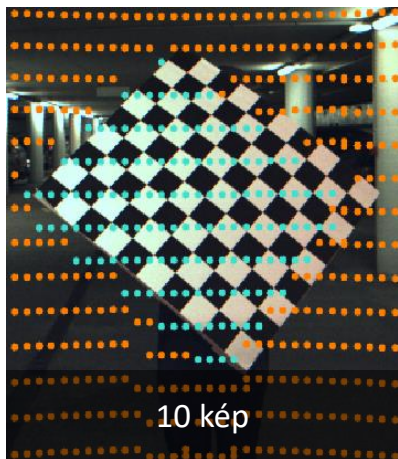
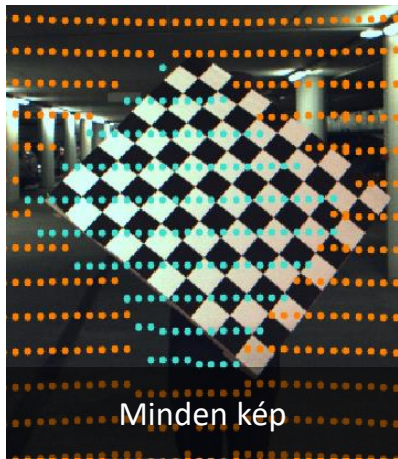
Eredmények – Szórás

Adatsor	Egyesével	Egyesével – Szűrt	10 képpel
#1	12.1753°	2.3022°	0.9759°
#2	27.2212°	2.3786°	1.0583°
#3	38.5715°	0.6895°	1.0392°
#4	0.9453°	-	0.4899°
#5	28.9916°	1.2363°	4.0653°

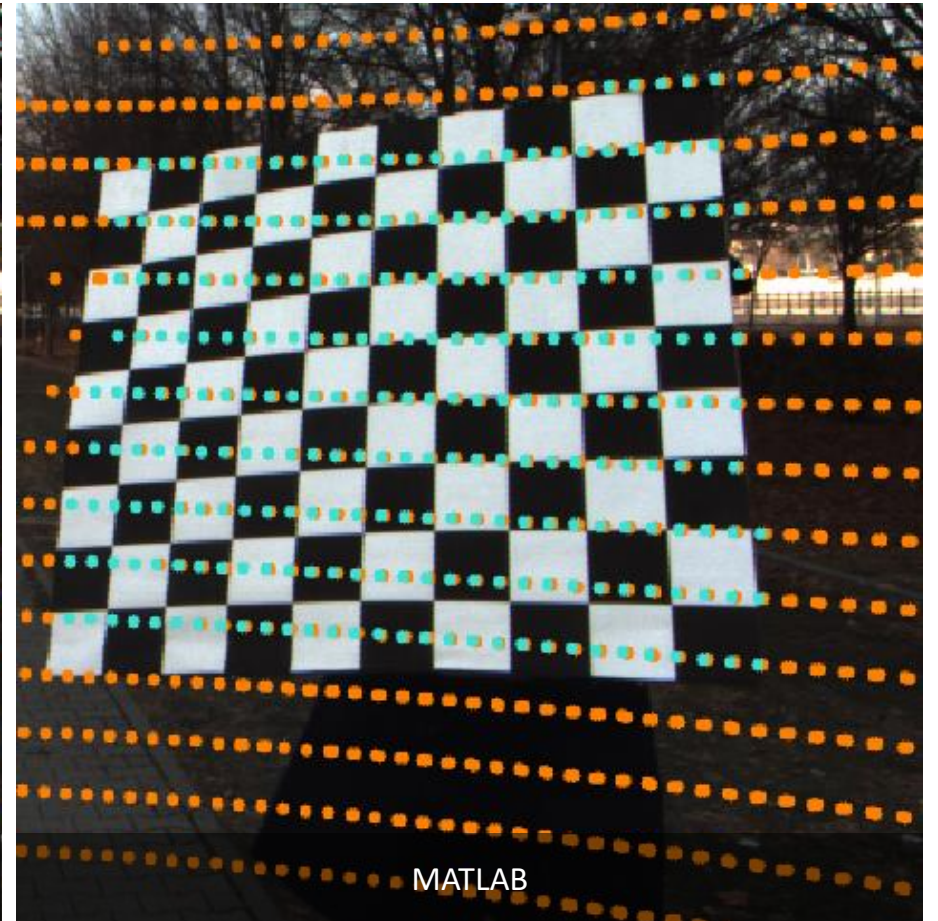
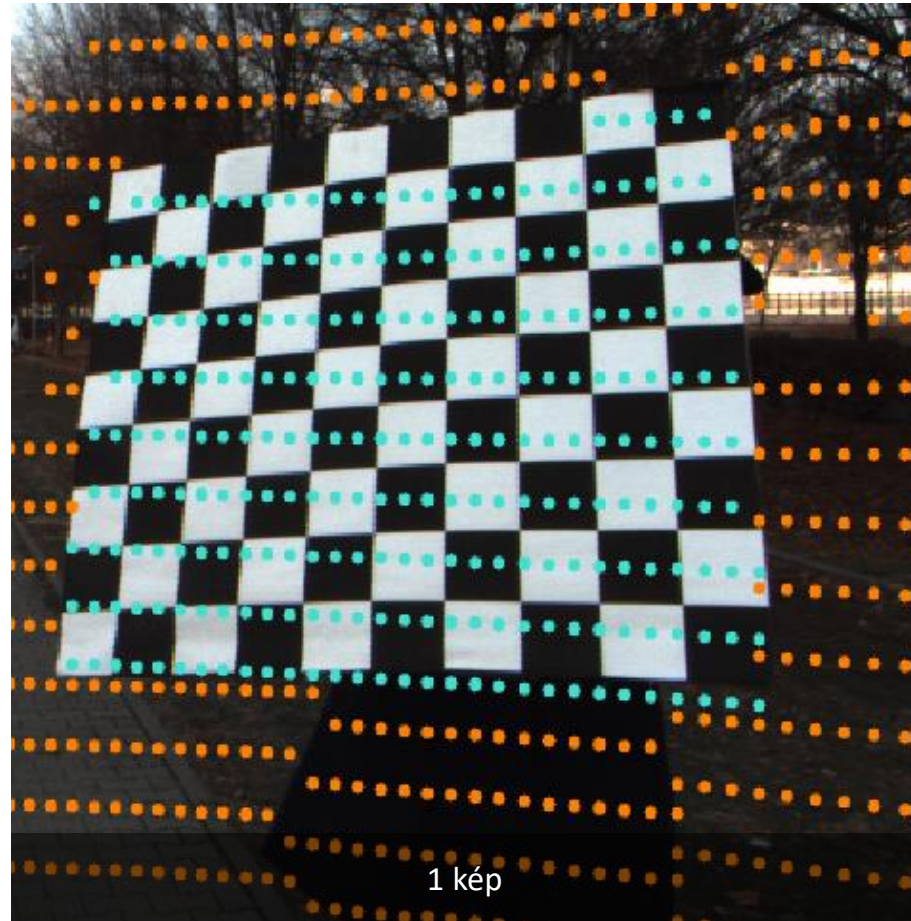
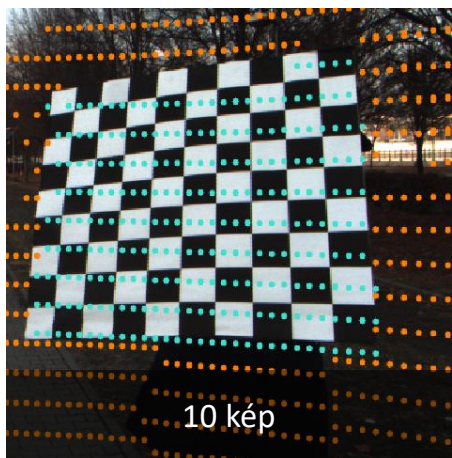
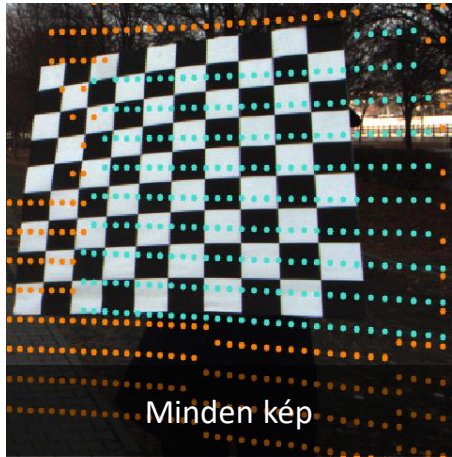
Eredmények – Pontfelhőszínezés



Eredmények – Visszavetítés

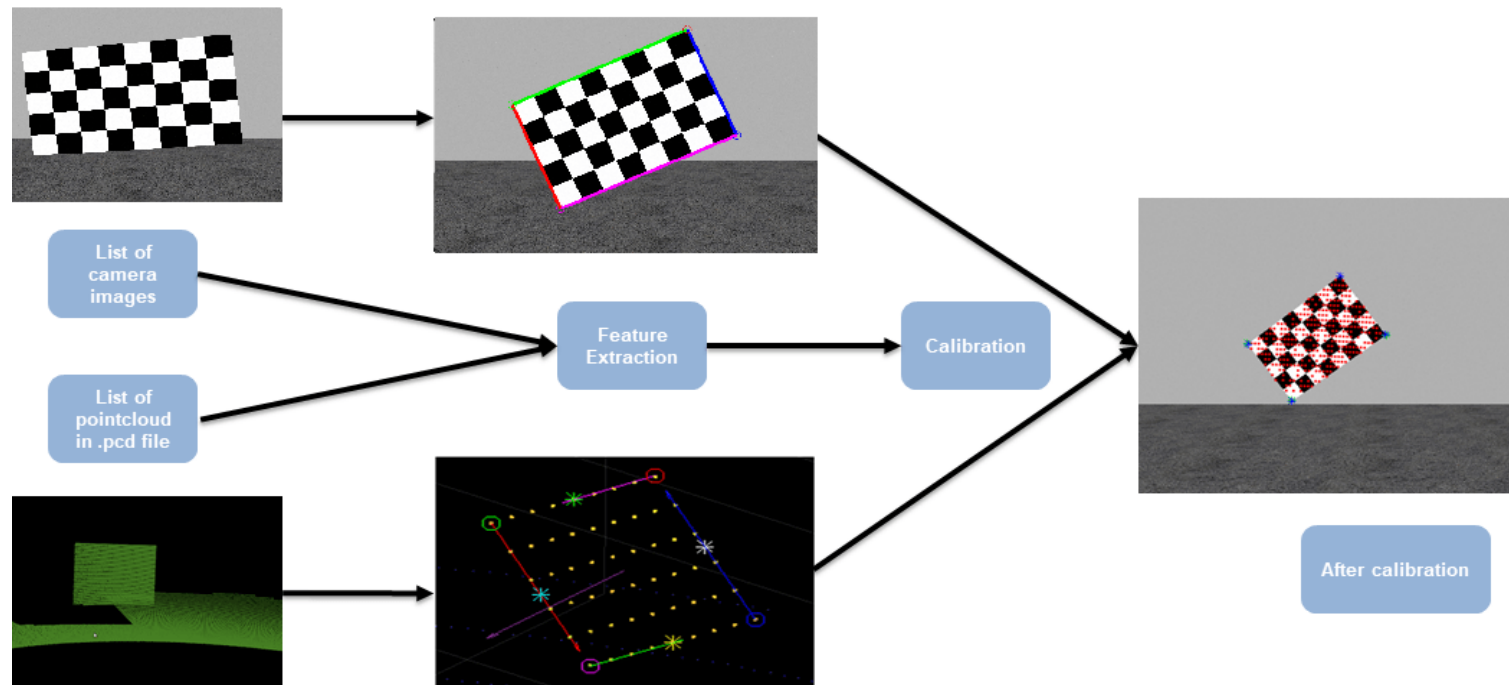


Eredmények – Visszavetítés



MATLAB LiDAR-Camera Toolbox

- Sakktábla széleit keresi a képen és pontfelhőben
- Téglalapok közti transzformáció meghatározása
- Sakktáblás kalibrációs algoritmusok szokásos hibája
 - sakktábla szélének pontos meghatározása
 - nagy felbontású LiDAR szükséges
 - sakktábla orientációja nagyban befolyásolja



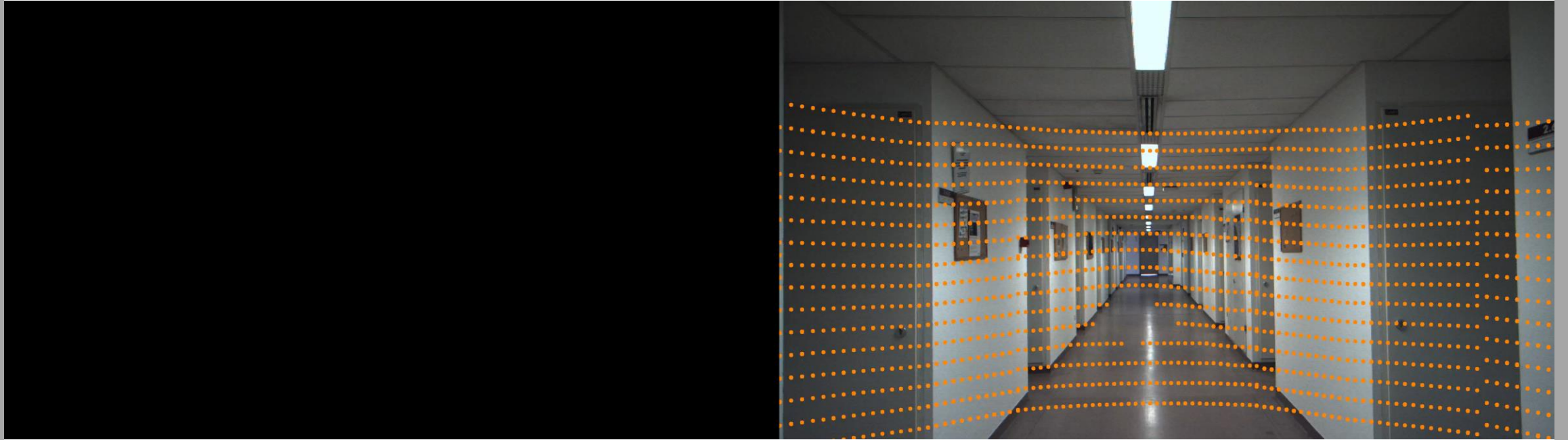
Eredmények – Összehasonlítás

- Egytengelyes kalibráció
 - egy vagy több képpel is végezhető kalibráció
 - sakktábla orientációtól/mérettől függetlenül végezhető kalibráció
 - 1° - 2° fokos hiba észlelhető
 - recalibráció
 - kiugró értékek szűrése szükséges
- MATLAB LiDAR-Camera Toolbox
 - nagy felbontású LiDAR szükséges
 - nagyban függ a sakktábla méretétől és orientációjától
 - az 5-ből csak 2 adatsoron sikerült a kalibráció
 - 10 – 20 kép szükséges
 - vizuálisan azonos pontosság
- Az eredményekből egy konferenciacikk született
 - *Tófalvi Tamás, Kovács Bandó, Dr. Hajder Levente, Tóth Tekla, LiDAR-camera calibration in an uniaxial 1-DoF sensor system, VISAPP 2022*
 - még bírálat alatt

További lehetőségek

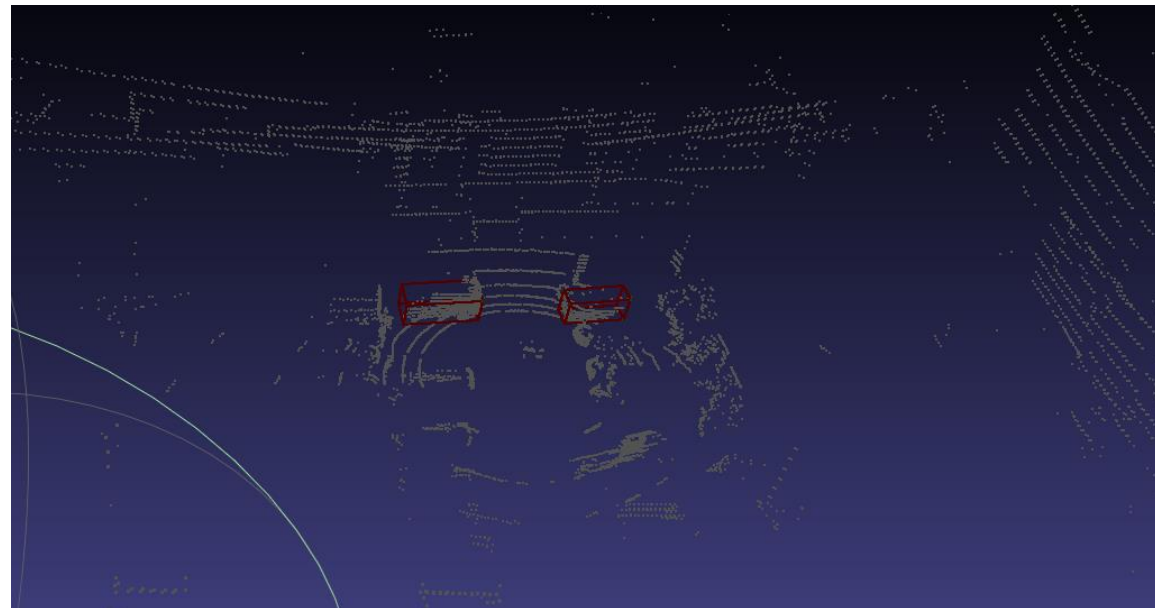
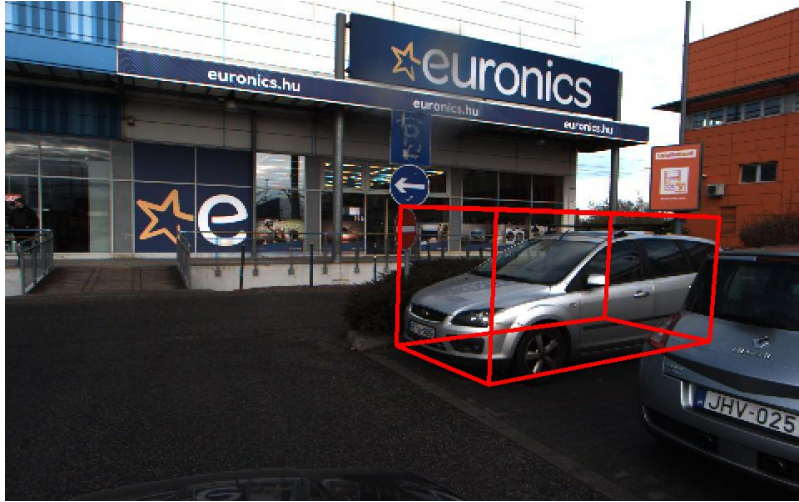
- Más célobjektum
 - Pl. gömb
- Több kamera
 - Már elkészült a 3D nyomtatott állvány több kamerás változata
- 1° - 2° fokos hiba észlelhető
 - recalibráció
- Automatikus kalibrálás a garázsban
 - falra szerelt sakktábla
 - könnyen felismerhető a pontfelhőben
- Verseny szervezés
 - együttműködés a Bosch-al
 - LiDAR-Kamera adatok
 - kalibráció a bemutatott módszerrel



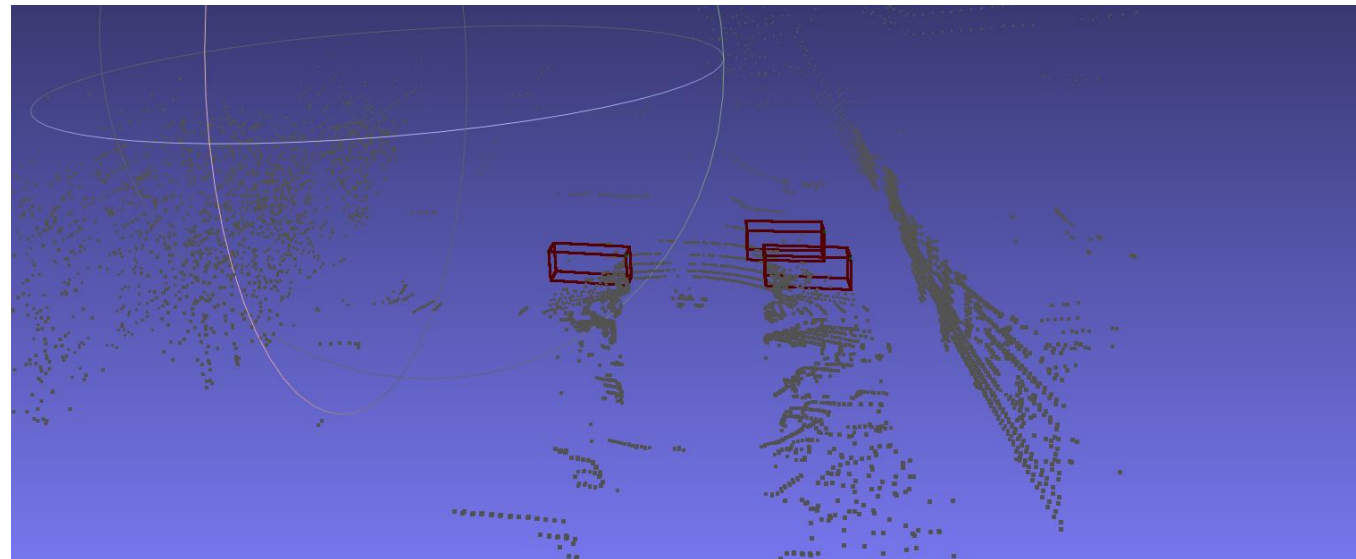
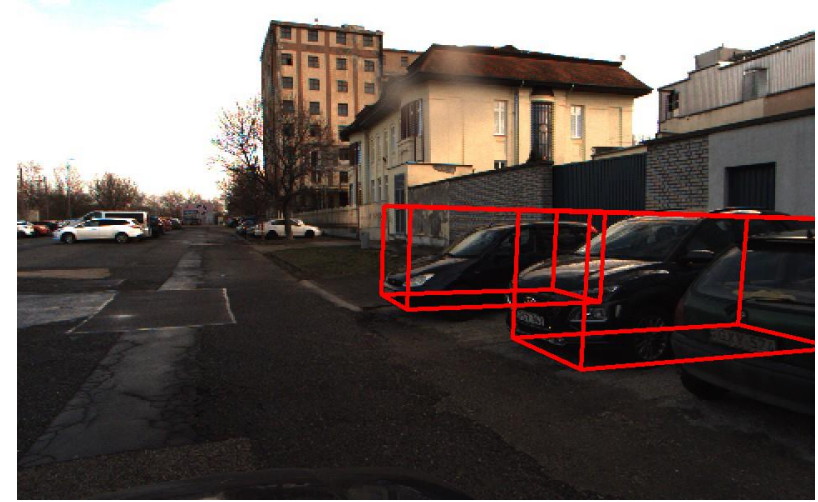
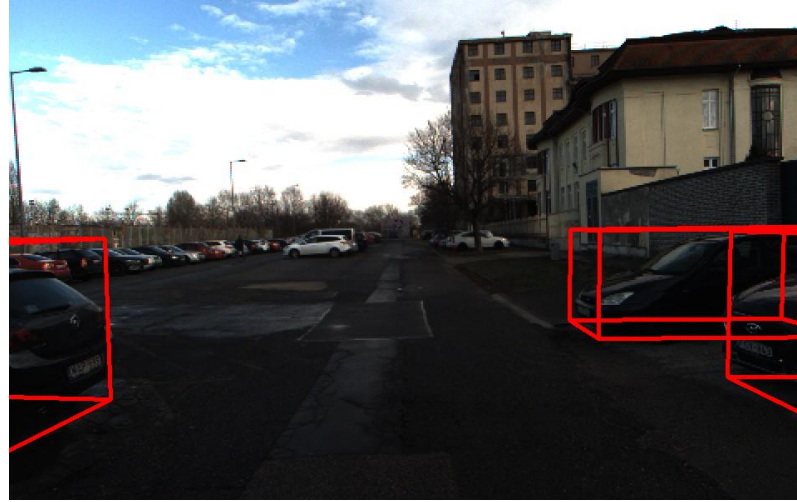


**A videót mindenki magának tudja elindítani*

Bosch verseny



Bosch verseny



Köszönöm a
figyelmet!

- „Az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-20-2 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.”

