

# Kamera-LiDAR rendszer automatizált kalibrációja speciális objektum segítségével

Egy részben automatizált kamera-LiDAR kalibrációs módszer bemutatása alkalmas arra, hogy betekintést kapjunk egy olyan rendszerbe, amely egyaránt képes online és offline kalibráció elvégzésére, egy kalibrációs objektum segítségével. Nyomon követhető egy lehetséges megoldás az objektum pontfelhőben történő beavatkozás nélküli detektálására is.

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2022.5.4>

**Csonthó Mihály – Rövid András**

tudományos segédmunkatárs      tudományos főmunkatárs  
BME Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar Gépjárműtechnológia Tanszék  
e-mail: [csontho.mihaly@kjk.bme.hu](mailto:csontho.mihaly@kjk.bme.hu), [rovid.andras@kjk.bme.hu](mailto:rovid.andras@kjk.bme.hu)

## 1. BEVEZETŐ

Az önvezető járművek egyik legfontosabb feladata a megbízható és pontos környezetérzékelés. A járműveknek folyamatosan monitorozniuk kell a környezetet és reagálniuk a körülöttük zajló eseményekre. A környezet-érzékeléshez legelterjedtebben használt eszközök a kamera, LiDAR, radar és ultrahang szenzorok. Mindegyik érzékelőnek megvan az előnye és hátránya, azonban a szenzorok fúziójával képesek vagyunk ezek befolyásolására.

A kamerarendszerek előnye, hogy a képfeldolgozó algoritmusok és hardverek rohamosan fejlődnek. A kamerák és optikai rendszerek egyre kisebbek és egyre részletgazdagabb képet szolgáltatnak a környezetről. A kamerák hátrányait – gyenge teljesítmény sötétben, és rossz időjárási viszonyok mellett - rendkívül jól ellensúlyozza a LiDAR szenzor. A LiDAR szenzor egy lézer alapú távolságérzékelő eszköz, amely a kibocsátott és

visszavert fénysugár alapján képes a környezetről egy ritka pontfelhőt készíteni. A szenzor nagy előnye a pontos távolságérzékelés és a rossz fényviszonyok esetén is megbízható működés.

A szenzorok adatainak fuzionálásával előállíthatunk olyan adatokat, amelyekből az objektumok felismerése mellett, azok távolságát és nagyságát is meghatározhatjuk. Az adatok fuzionálása történhet alacsony szinten vagy akár objektum szinten is. Mindkét esetben ismernünk kell a két szenzor közötti transzformációs paramétereket (rotáció és eltolás).

A következőkben egy erre a célra készített kalibrációs algoritmust mutatunk be. A leggyakrabban használt implementáció egy nagyméretű sakktábla mintát használ a szenzorok közti eltolás és elforgatás értékének meghatározására [1]. A Magyar Tudományos Akadémia Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézetének munkatársai be-

mutattak egy eljárást, amelyben a kalibráció elvégezhető egy hétköznapi kartondoboz segítségével [2]. Az általunk bemutatott algoritmus egy kalibrációs kockát használ.

## 2. KALIBRÁCIÓS ALGORITMUS

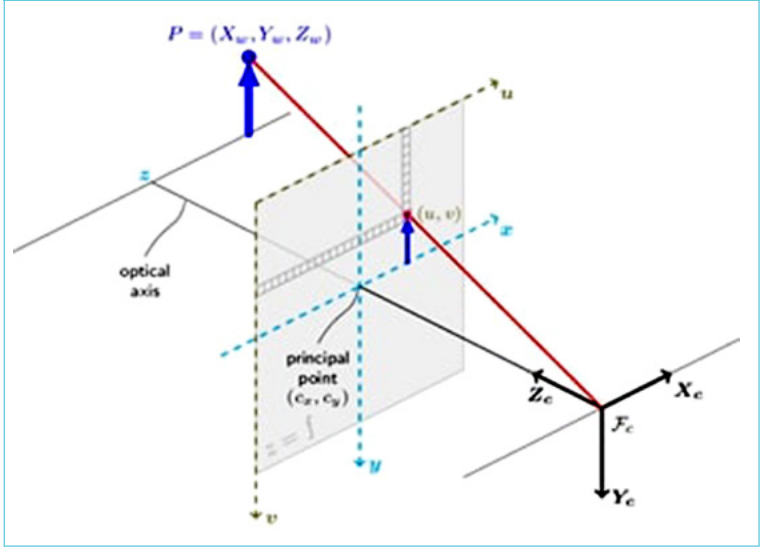
A szenzorrendszer kalibrációja a szenzorok belső paramétereinek és a szenzorok közötti eltolás, elforgatás értékének meghatározását jelenti. A kamerák esetében a belső paraméterek (fókusz-távolság, principális pont, torzítás) meghatározására az OpenCV könyvtár [3] kamera kalibrációs algoritmusát használtuk. A LiDAR GPS koordinátájának és a kamera-LiDAR külső paramétereinek meghatározásához használt algoritmusokat a következő fejezetek tartalmazzák. A felvázolt bővítési lehetőség a bemutatott programmal képes a kamera-radar rendszer kalibrációját is elvégezni.

A háromdimenziós pontok képre vetítését az 1. egyenlet írja le:

$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Az egyenlet bal oldalán egy szorzás található, ahol  $s$  egy méretezési tényező, és az  $[u, v, 1]$  vektor tartalmazza a képpont koordinátáit. Az egyenlet jobb oldalán a kamera belső paramétereit tartalmazó mátrixot és a kamera és a LiDAR közötti transzformációt tartalmazó mátrixot szorozzuk meg a háromdimenziós koordinátákkal. Ez az egyenlet a túlyuk (pinhole) kameramodellt használja, és torzításmentes képekben értelmezhető, ezért a bemeneti kép már torzítatlan. A túlyuk kameramodell az 1. ábrán látható.

1. ábra: Túlyuk (pinhole) kameramodell [3]



### 2.1. A kamera belső paramétereinek meghatározása

A kamera belső paramétereit a Zhang féle módszer [4] segítségével határoztuk meg. A kalibrációhoz egy A3-as méretű nyomtatott sakktáblát alkalmaztunk. A kalibrációs tábla 8x5 darab fekete-fehér négyzetből áll. A tábláról különböző szögekből készített felvételekből a Zhang féle módszer segítségével a projekciós mátrix, és a torzítási paraméterek meghatározhatók.

A kalibráció során a kamera belső és külső paramétereit keressük egy optimalizációs feladat megoldásaként, ahol a reprojekciós hibát minimalizáljuk. A feladat egyenlete a következő:

$$sM = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_z \end{bmatrix} M \quad (2)$$

A [Rt]

Ahol a kétdimenziós pontot  $m=[u,v]^T$ , a háromdimenziós pontot  $M=[X,Y,Z]^T$  jelöli,  $s$  egy skálátényező,  $R$  és  $t$  az elforgatás és eltolási paraméterek, az  $A$  mátrix pedig a kamera belső paramétereit tartalmazza (2. egyenlet). A belső paraméterek tartalmazzák a principális pont koordinátáit ( $c_x$  és  $c_y$ ), a fókusz-távolságot ( $f_x$  és  $f_y$ ) és a disztorziós együtthatókat.

A kalibráció egy analitikus megoldással kezdődik. Ezt egy nemlineáris optimalizálási technika követi, amely a maximális valószínűség kritériumán alapszik. Ezután az algoritmus figyelembe veszi a lencse torzítását is. A kalibrációs eljárás a következő lépésekből áll:

- Síkfelületre nyomtatott sakktábla mintáról képet készítünk különböző pozíciókból.
- A minta sarokpontjait detektálja az algoritmus.
- Megbecsüli a kamera külső és belső paramétereit.
- Megbecsüli a torzítást a legkisebb négyzetek módszerével.
- Finomítja a paramétereket a reprojekciós hiba minimalizálásával.

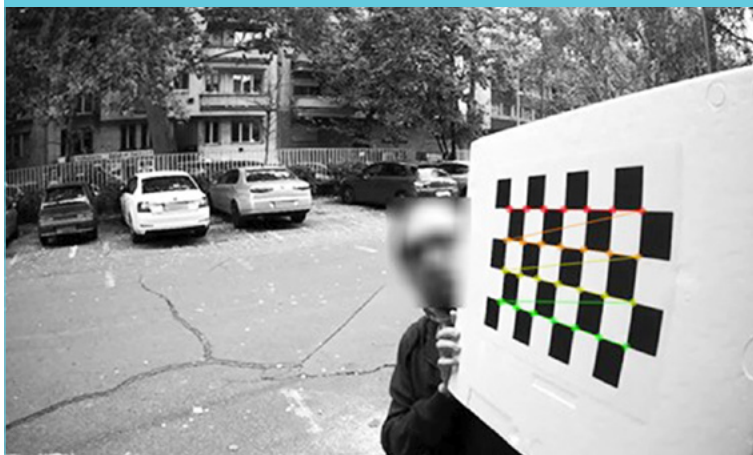
A kalibráció során fontos a jó megvilágítás, mivel az algoritmus a sakktábla csúcspontjait keresi, ahogy a 2. ábrán látható. A fényviszonyok romlásával a kép élessége is csökken, ezáltal a detektált csúcspontok pontossága sem lesz kielégítő. Törekedni kell arra, hogy a teljes látómezőt lefedjük a felvételekkel, és célszerű a kalibrációs táblát több tengely mentén is forgatni a felvételek készítése közben. A lencse torzításának kiküszöbölése az autópári alkalmazások esetén is rendkívül fontos feladat, ami speciális kamera modell segítségével elérhető [5].

A tesztek során normál látószögű lencsét alkalmaztunk, azonban léteznek szűk látószögű és széles látószögű, például úgynevezett halszem (fisheye) lencsék is. A halszem lencse előnye, hogy akár 180 fokos látószöget is képes biztosítani a képszenzornak, így akár egy kamera is elég lehet a LiDAR teljes látómezőjének lefedésére. A projekciós mátrix meghatározása azonban nehezebb feladat a széles látószögű és halszem lencsék esetében, mivel a hagyományos kamera modellt nem használhatjuk a paraméterek meghatározásakor [6].

## 2.2. Kamera-LiDAR külső kalibráció

Járműipari környezetérzékelés esetén, a külső paraméterek meghatározásához gyakran egy nagyobb méretű sakktáblát szoktak alkalmazni [1]. A bemutatott kalibrációs módszerben ettől eltérően, egy kalibrációs kockát készítettünk, aminek oldalain ArUco [7] jelölőket helyeztünk el. A kalibrációs algoritmus készítése során először egy kartondobozt használtunk objektumként – ahogyan a 3. ábrán látható –, azonban a kalibráció pontosságának javítása érdekében egy új kalibrációs eszköz készítése zajlik, amelynek tervét a 4. ábra mutatja. A kalibrációs objektum kerete alumínium profilból készül, erre rögzülnek majd a kémény faanyagra nyomtatott jelölők.

2. ábra: Kamera belső paramétereinek meghatározása [3]



A kísérletek során a kamerát és a LiDAR szenzort közös állványra rögzítettük, és az volt a feltételezés, hogy az egymáshoz viszonyított relatív helyzetük nem változik. A szenzorállvány az objektumhoz hasonlóan alumínium profilból készült.

A kalibrációs folyamat során a program először a kamerával készít pillanatképet, majd a LiDAR szenzor által felvett pontfelhőt

3. ábra: Kalibráció során készített pillanatkép



4. ábra: A kalibrációs objektum modellje



menti el. Az ArUco markerek segítségével a kalibrációs objektum sarokpontjai automatikusan meghatározhatók. Amennyiben ez nem sikerül, a felhasználónak kell a képen bejelölni a sarokpontot. A pontfelhő esetén egy felülnézeti kép generálódik, amin a felhasználónak be kell jelölnie a kalibrációs objektum környezetét. Ekkor a program egy síkillesztő algoritmust felhasználva meghatározza az objektum környezetében található három legjellemzőbb síkot, kiszámítja majd elmenti ezen síkok metszéspontját. Menti a kalibrációs elem sarokpontjainak pixelkoordinátáit és azok LiDAR koordináta-rendszerbeli ko-

ordinátáit a program, amelyből később újra kiszámítható a kalibráció. A detektált majd klaszterizált síkok és a sarokpontok az 5. ábrán láthatók.

A használt Point Cloud Library (PCL) [8] könyvtár a RANSAC [9] algoritmust használja a síkok detektálásához. A RANSAC egy iteratív módszer egy matematikai modell paramétereinek becslésére egy olyan megfigyelt adatkészletből, amely kiugró értékeket tartalmaz úgy, hogy ezen kiugró értékek nincsenek hatással a modell együttható becslés értékeire.

Ezután a feladat egy pozíció becslés, amit a rendszer a Levenberg-Marquardt [10][11] optimalizáción alapuló iteratív számításal old meg. A használt módszer miatt legalább négy különböző pozíciót kell rögzíteni. A program kiszámítja és elmenti a külső kalibrációs paramétereket. A módszer felfogható a legmeredekebb süllyedés (steepest descent) és a Gauss-Newton-módszer kombinációjaként. Amikor a megoldás távol esik a lokális minimumtól, az algoritmus úgy viselkedik, mint a legmeredekebb süllyedési módszer: lassú, de garantáltan konvergál. Amikor a megoldás közel esik a lokális minimumhoz, Gauss-Newton módszerként viselkedik és gyors konvergenciát mutat.



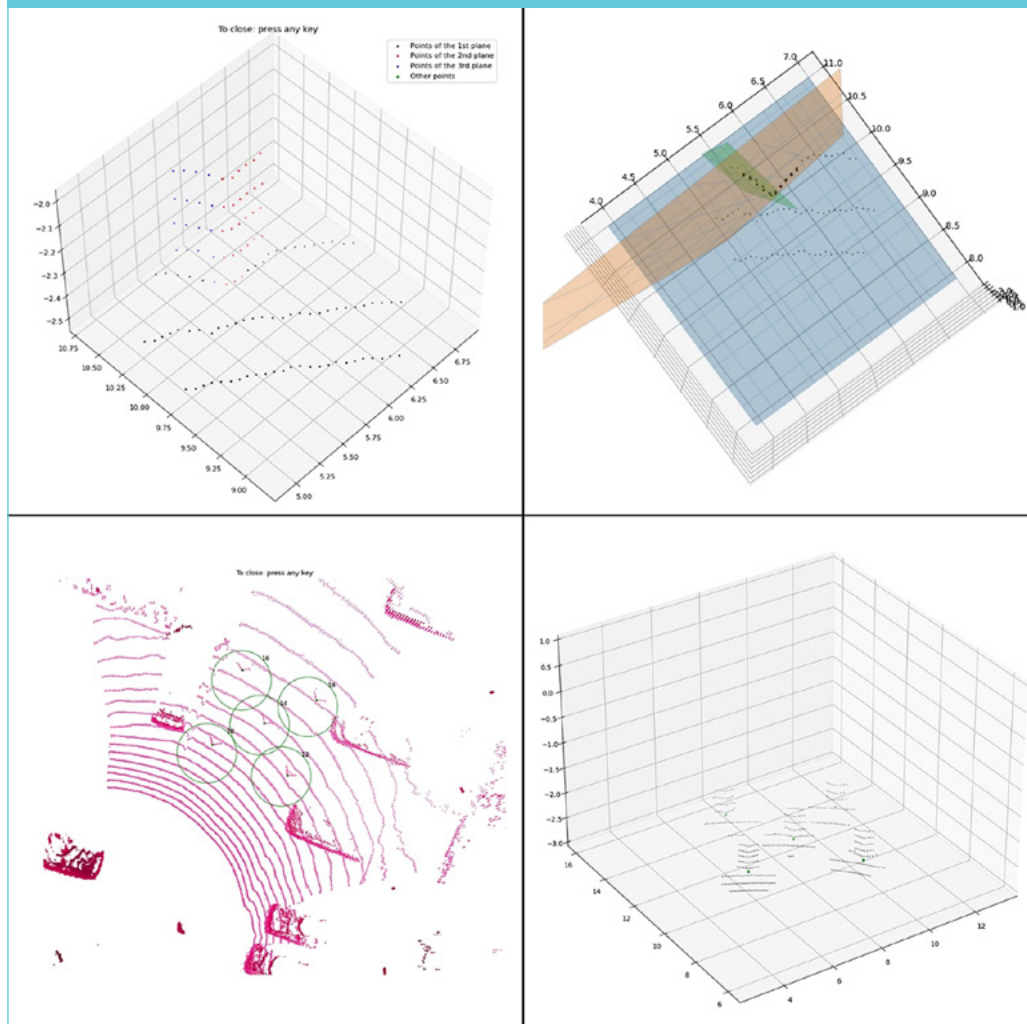
## 5. ábra:

Bal felül: A detektált kalibrációs kocka pontjai a térben;

Jobb felül: A detektált síkok;

Bal alul: A különböző felvételek során kiszámított sarokpontok a térben, felülnézetből;

Jobb alul: A sarokpontok a térben háromdimenzióban



### 2.2.1. Képalapú detekció automatizálása

A sarok detektálása a kameraképen – jó fényviszonyok mellett – automatikusan történik az ArUco jelölők segítségével. Ezeket a jelölőket leginkább a robotikában szokták alkalmazni lokalizációs célokra [7]. A jelölőket ArUco detektorral keressük a képen. A program megkeresi a két jelölő átlóját, majd kiszámítja

ezen metszéspontjait. A jelölők pontos felhelyezésének köszönhetően ez a metszéspont az objektum sarokpontjára esik, ahogy a 6. ábrán látható.

A pontos eredmény érdekében a fentebb részletezett műveletet a program nem egy, hanem 100 képkockán végzi el. Ezen értékek átlagát használja a rendszer a későbbiekben. Amenny-

6. ábra: A detektált jelölők átlóinak segítségével kiszámított sarokpont



nyiben a rendszer nem képes felismerni mindkét jelölőt, a sarokpontot sem tudja megtalálni automatikusan. Ez azon esetekben fordulhat elő, ha a kalibrációs objektum túlságosan távol helyezkedik el a szenzortól, az objektum mérete vagy a kamera felbontása túl kicsi, esetleg a jelölőkre nem lát rá a kamera. Ezekben az esetekben a rendszer a felhasználótól várja a sarokpont megjelölését a megjelenített képen. Ilyenkor a kameraképet az esetleges alacsony felbontás miatt úgynevezett „bicubic” interpolációval a tiszteresére nagyítja a rendszer. Az így kiválasztott képpont értékét skálázza az eredeti nagyságrendre, így a megjelölt pontot szubpixel pontossággal használja fel.

### 2.2.2. Pontfelhő alapú detekció automatizálása

A sarokpontok pontfelhőben való automatikus detektálása esetén az alábbiakból indulhatunk ki: a feladat nehézsége az általunk használt LiDAR forgó alkatrészeiből adódik. A javasolt megközelítés a kamera képek különbségének előállítását veszi alapul. Ha a mérési helyszínről két olyan felvételt készítünk, amelyek csak egyetlen objektumban különböznek, LiDAR pontfelhő esetében csupán az eltérés vizsgálata nem ad megoldást az objektum automatikus detektálására, mivel az egymást követő felvételeken a pontok csekély része marad változatlan helyen, részben a környezet dinamikus

változása, részben a szenzor működési elve miatt. Ebből kifolyólag nem tudjuk szimplán a két pontfelhő különbségértékét venni. Erre megoldást jelent a pontfelhő mintavételezése, úgynevezett voxelek készítése.

A voxelek méretét tapasztalati úton lehet meghatározni, a kalibrációs objektum méretének és a szenzortól való távolságának függvényében. Az átalakított pontfelhők esetében már alkalmazhatjuk a különbségképzést, amely segítségével megkapjuk a kocka környezetének pontjait. Ezekre a pontokon futtathatjuk a fentebb részletezett detektort, így megkaphatjuk a sarokpontok térbeli pozícióját.

### 2.3. LiDAR pozíciójának meghatározása

Az algoritmus képes a LiDAR szenzor UTM koordinátájának kiszámítására. Ehhez a kalibrációs objektum sarkát GPS vevő által kimért pozíciókba kell elhelyeznünk. Az algoritmus minden pozíció rögzítésekor bekéri az aktuálisan felvett pozíció azonosító számát, amihez tartozik egy korábban rögzített GPS koordináta. Minimum három térbeli pont szükséges ahhoz, hogy a rendszer kiszámítsa a pontok UTM koordináta rendszerben és LiDAR koordináta rendszerben megadott helyzete közötti eltolást és elforgatást. A kiszámolt eltolás értéket értelmezhetjük a szenzor UTM pozíciójaként, a forgatási értékeket pedig a szenzor koordináta rendszerének az UTM koordináta rendszerhez képesti elforgatási értékének. A transzformáció egyenlete a következő:

$$P_{UTM} = [Rt] P_{objektum} \quad (3)$$

A folyamat tovább fejleszthető, amennyiben a kalibrációs objektumra elhelyezünk egy GPS vevőkészüléket, és a pillanatképek készítésekor valamely kommunikációs protokollt alkalmazva lekérjük az eszköz helyzetét.

### 2.4. A kamera-radar kalibráció bővítési terve

A radar szenzor képes rossz időjárás viszonyok mellett is megbízhatóan működni. Előnye, hogy az észlelt objektumok távolságát és sebességét is meghatározza. A kamera által

felismert objektumokhoz társíthatjuk ezeket a tulajdonságokat amennyiben ismerjük a szenzorok koordináta rendszerei közötti transzformációs paramétereket. A legtöbb radar esetben viszont nem lehetséges a nyers pontfelhő kinyerése. Ezek a szenzorok egy objektumlistát adnak eredményül, emiatt a kalibrációs eljárás módosítása szükséges.

A rádióhullámok visszaveréséhez léteznek olyan speciális objektumok, amelyeket a radar képes detektálni, mi pedig könnyedén képesek vagyunk a pozíciójukat megváltoztatni. Hasonló objektumokat használnak a hajókon és a bójákon is. Speciális prizmat is készíthetünk, mint amelyet a Yeungnam-i egyetem kutatói használtak a cikkükben [12]. Amennyiben a kalibrációs objektumon elhelyeznénk egy ilyen prizmat, a rendszer könnyedén bővíthető lenne kamera-radar rendszerek kalibrációjára is.

3. EREDMÉNYEK

A kamera-LiDAR szenzorok kalibrációjának pontosságát kifejezhetjük a reprojekciós hiba segítségével. Ez a szám megmutatja, hogy hány pixel eltérés van az objektum valós és képre vetített helyzete között. A reprojekciós hiba csökkenésével a kalibráció pontossága növekszik. Ahhoz, hogy a kalibráció a kamera által lefedett teljes területen használható legyen, a kamera belső paramétereinek és a kamera-LiDAR koordináta rendszerei

közötti transzformációs paramétereknek is egyaránt precíznek kell lenniük. Ennek eléréséhez sok különböző pozícióban kell felvételeket készíteni, és azok alapján kiszámolni a paramétereket. A hibát a négyzetes középhiba képletével számíthatjuk ki (4. egyenlet):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \|P_i - \hat{P}_i\|^2}$$
 (4)

$P_i$  jelzi az objektum sarokpontját a torzított képen,  $\hat{P}_i$  pedig a 3 dimenziós pont képre vetítésével számított pixel értéket jelöli. Ezen értékek négyzetes középérték hibája mutatja a kalibrációs paraméterek pontosságát. A képpontokat a torzított képen választottuk ki, majd a torzítás paramétereit felhasználva számítottuk ki a kamera-LiDAR külső kalibrációs paramétereket. Ezért a kapott képpontokat torzítani kell a hiba kiszámolásához. A pontokat a torzítatlan képről kiválasztva a projekció után a képpontokat nem kell torzítani.

A kalibrációs eljárást kipróbáltuk többféle szenzorrendszerrel is. A használt szenzorok típusa, a kalibrációhoz használt pozíciók száma, a kamera belső paramétereinek pontossága és a teljes kalibrációra számított reprojekciós hiba a 7. ábrán látható.

A 8. ábrán látható a pontfelhő képre vetítése a kalibrációs eljárás során kiszámított pa-

7. ábra: A tesztek során elvégzett kalibrációk eszközei és pontossága					
Jelölés	Kamera típus	LiDAR típus	Felhasznált pozíciók száma	Kamera belső paramétereinek hibája (px)	Teljes projekciós hiba (px)
A	HIKVISION DS-2 CD 2063G0-I	Ouster OS-1 Uniform 64 channel LiDAR	5	0,1491	0,7809
B	HIKVISION DS-2 CD 2063G0-I	Ouster OS-1 Uniform 64 channel LiDAR	5	0,1369	0,6549
C	HIKVISION DS-2 CD 2063G0-I	Ouster OS-1 Uniform 64 channel LiDAR	5	0,1491	2,3088
D	BFS-PGE-19S4C-C 2.0 MP	Ouster OS-1 Below Horizon 64 channel LiDAR	6	0,0999	1,9145
S	BFS-PGE-19S4C-C 2.0 MP	Ouster OS-1 Below Horizon 64 channel LiDAR	4	0,0717	1,2839

8. ábra: A LiDAR pontfelhő pontjainak képre vetítése a kiszámított kalibrációs paraméterekkel, az 1. táblázat alapján



paraméterek felhasználásával. A képen a táblázatban feltüntetett szenzorok adatait és a hozzájuk tartozó kalibrációs együtthatókat használtuk.

## 4. KONKLÚZIÓ

A bemutatott kalibrációs eljárás képes a kamera-LiDAR kalibrációt minimális emberi beavatkozás mellett elvégezni. A kalibráció online vagy akár előre felvett adatokon is elvégezhető. A kamera belső paramétereinek előzetes kalibrációjára azonban szükség van.

A bemutatott rendszert HikVision IP kamerával és Ouster OS-1 64 csatornás LiDAR szenzorral, majd Blackfly S GigE kamerával és Ouster OS-1 64 Below Horizon LiDAR szenzorral is teszteltük. A LiDAR által rögzített pontfelhő képre vetítésének eredménye a 8. ábrán látható. Megfigyelhető, hogy a kalibráció pontossága változó, ami valószínűleg a választott kalibrációs pontokból (azok helyzetéből) ered.

Az eredmények alapján kijelenthetjük, hogy a RANSAC alapú sík detekciónak köszönhető-

en, a program kis felbontású lézerszenzenből és átlagos felbontású kamerából álló rendszer kalibrációjára is alkalmas.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] P. An et al., "Geometric calibration for LiDAR-camera system fusing 3D-2D and 3D-3D point correspondences," *Opt. Express*, vol. 28, no. 2, p. 2122, Jan. 2020, DOI: <https://doi.org/h3cm>
- [2] Z. Pusztai and L. Hajder, "Accurate Calibration of LiDAR-Camera Systems Using Ordinary Boxes," in 2017 IEEE International Conference on Computer Vision Workshops (ICCVW), Oct. 2017, vol. 2018-Janua, pp. 394–402, DOI: <https://doi.org/gg3qwr>
- [3] Bradski G, "The OpenCV library," *Dr. Dobb's J. Softw. Tools*, vol. 25, no. 120, pp. 122–125, 2000.
- [4] Z. Zhang, "A flexible new technique for camera calibration," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 22, no. 11, pp. 1330–1334, 2000, DOI: <https://doi.org/cp3bd6>



- [5] K. Lelowicz, "Camera model for lens with strong distortion in automotive application," in *2019 24th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics, MMAR 2019*, 2019, pp. 314–319, DOI: <https://doi.org/h3cn>
- [6] J. Kannala and S. S. Brandt, "A generic camera model and calibration method for conventional, wide-angle, and fish-eye lenses," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 28, no. 8, pp. 1335–1340, 2006, DOI: <https://doi.org/b6s2bb>
- [7] A. Babinec, L. Jurišica, P. Hubinský, and F. Duchoň, "Visual Localization of Mobile Robot Using Artificial Markers," *Procedia Eng.*, vol. 96, pp. 1–9, 2014, DOI: <https://doi.org/ghg8d2>
- [8] R. B. Rusu and S. Cousins, "3D is here: Point Cloud Library (PCL)," 2011, DOI: <https://doi.org/cd5qhk>
- [9] R. C. B. M. A. Fischler, "Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography," *Comm. ACM*, vol. 24, pp. 381–395, 1981.
- [10] K. Levenberg, "A METHOD FOR THE SOLUTION OF CERTAIN NON@\_LINEAR PROBLEMS IN LEAST SQUARES," *Q. Appl. Math.*, vol. 2, pp. 164–168, 1944.
- [11] D. W. Marquardt, "An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters," *J. Soc. Ind. Appl. Math.*, vol. 11, no. 2, pp. 431–441, Jun. 1963.
- [12] D. Kim and S. Kim, "Extrinsic parameter calibration of 2D radar-camera using point matching and generative optimization," in *International Conference on Control, Automation and Systems*, 2019, vol. 2019-Octob, pp. 99–103, DOI: <https://doi.org/h3mp>



## Automated calibration of a camera-LiDAR sensor system using a special object

This paper presents a semi-automated camera-LiDAR calibration method that can perform both online and offline calibration using a calibration object. A possible solution to detect the object in the point cloud without intervention is also presented.



## Automatisierte Kalibrierung eines Kamera-LiDAR-Sensorsystems anhand eines speziellen Objekts

Dieser Beitrag beschreibt eine halbautomatische Kamera-LiDAR-Kalibrierungsmethode, die sowohl eine Online- als auch eine Offline-Kalibrierung unter Verwendung eines Kalibrierungsobjekts durchführen kann. Eine mögliche Lösung, um das Objekt ohne Eingriff in der Punktwolke zu erkennen, wird ebenfalls vorgestellt.

## E számunk lektorai

Bősze Sándor ■ Horváth Lajos ■ Dr. Katona András  
Rajna Botond ■ Dr. Tettamanti Tamás ■ Dr. Tóth László