

Kamerák és LiDAR-ok alkalmazása az autonóm járművek látó rendszereiben

Hajder Levente

TKP Workshop
Eötvös Loránd Tudományegyetem, Informatikai Kar



PROGRAM
FINANCED FROM
THE NRDI FUND

Bevezetés

- ▶ Kameraképek feldolgozása a számítógépes látás alapfeladata.
- ▶ TKP projekt eredeti célja: pontalapú 3D látás kiterjesztése
 - ▶ **affin transzformációkkal.**
- ▶ Alkalmazási terület: autonóm járművek látó rendszerei.
 - ▶ Kamerák és LiDAR szenzorok rögzítése járművekre.
 - ▶ ELTE szempontjából fontos terület: *kutatási, fejlesztési és oktatási* szempontból egyaránt.
- ▶ Ipari alkalmazáshatóság kiemelt szempont:
 - ▶ Demonstrációkat készítettünk javasolt megoldásainkhoz.

A kutatási munka (eredeti) terve

Mottó: Ember tervez, Isten végez...

- ▶ **Első félév.** Vizuális odometria affin transzformációkból.
- ▶ **Második félév.** Affin transzformációk becslése.
- ▶ **Harmadik félév.** *Sík objektumok szegmentálása.*
- ▶ **Negyedik félév.** *Speciális felületek: vízszintes és függőleges síkok.*
- ▶ **Ötödik félév.** Mozgó objektumok szegmentálása.
- ▶ **Hatodik félév.** Kamera alapú szabad terület detektálása.

A kutatási munka jelenlegi terve

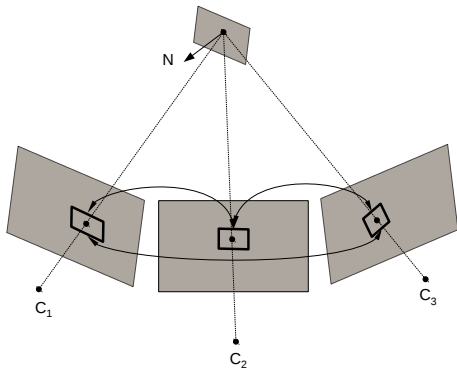
Mottó: Ember tervez, Isten végez...

- ▶ **Első félév.** Vizuális odometria affin transzformációkból.
- ▶ **Második félév.** Affin transzformációk becslése. Speciális síkok. LiDAR-kamera automatikus kalibrálás gömbökkel.
- ▶ **Harmadik félév.** Affin transzformációk becslése. **Sík objektumok szegmentálása.** Rekonstrukció minőségének kvalitatív kiértékelése. **Gömb detektálása kameraképen, három pontból.**
- ▶ **Negyedik félév.** Affin transzformációk becslése regisztrációs algoritmusokkal. **Síkok szegmentálása normálvektorokkal. LiDAR érzékelők és kamerák szinkronizált alkalmazása.**
- ▶ **Ötödik félév.** Mozgó objektumok szegmentálása.
- ▶ **Hatodik félév.** Kamera alapú szabad terület detektálás.

Motiváció

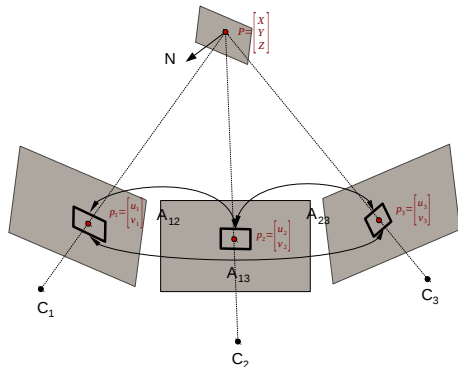
- ▶ Rekonstrukciós csővezeték pontalapú megoldása jól ismert a szakmában.
 - Nyílt forrású implementációk elérhetőek: OpenMVG, OpenSfM, ...
- ▶ Affin transzformáció használatára az egyetlen ismert csővezetékét mi javasoltuk .
 - [Eichhardt & Hajder ICCV-WS 2017]
- ▶ Azóta történtek újítások.
 - Epipoláris geometria és affin transzformációk kapcsolata.
- ▶ Új rekonstrukciós csővezetékét javasolunk

Motiváció



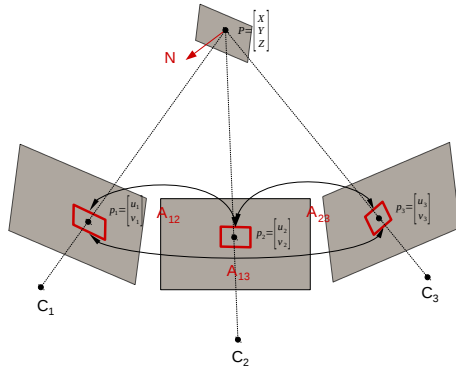
- Háromdimenziós rekonstrukció alapfeladata

Motiváció



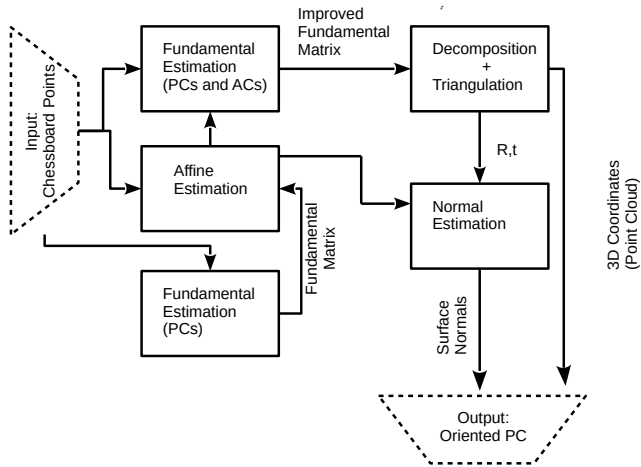
► Pontalapú megoldás

Motiváció



- Rekonstrukció affin transzformációk segítségével

Javasolt csővezeték (előző félév)

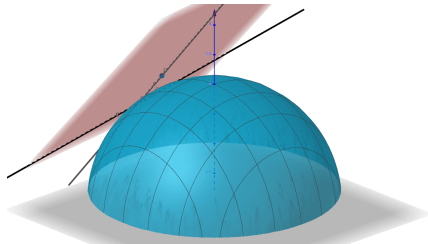


Következmények

- ▶ Új rekonstrukciós csővezeték segítségével előállítható:
 - ▶ Térbeli pontfelhő
 - ▶ Normálvektorok
 - ▶ Együtt: *irányított pontfelhő*.
- ▶ Irányított pontfelhő többletinformációt tartalmaz az irányítatlanhoz képest.
 - Szegmentációs feladat hatékonyabban megoldható.

Síkszegmentálás irányított pontfelhőből¹

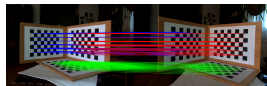
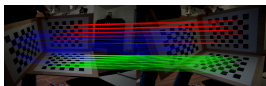
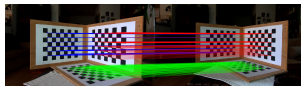
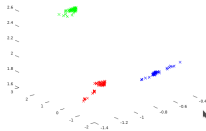
- ▶ A tébeli síkok három paraméterrel írhatóak le.
- ▶ Szegmentáláshoz hatékony paraméterezést kell választani.
- ▶ Síkot egy origó középpontú gömb érintősíkjaként fogjuk fel.
- ▶ Paraméterek:
 - ▶ Gömb sugara és
 - ▶ két szög a sík felületén (mintha GPS koordináták lennének).



¹A munka Yeraly Kalel alkalmazott matematikus (MSc) hallgató közreműködésével készült.

Síkszegmentálás irányított pontfelhőből

- ▶ Tesztelés: három merőleges sakktáblával.
- ▶ Minden mezősarok egy lehetséges síkot ad.
- ▶ A síkok három paraméteres térben jól elkülöníthető klasztereket alkotnak.

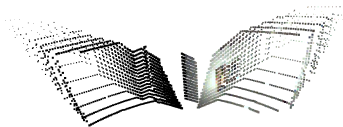
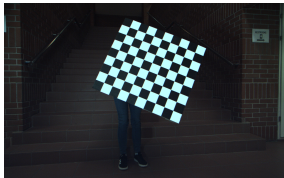


LiDAR-kamera kalibrálás

- ▶ Különböző érzékelőket együtt használni nagy kihívás.
- ▶ Az érzékelőket közös rendszerbe kell helyezni.
 - ▶ Külső paraméterek (pozíció, nézeti irány) kalibrálása szükséges.
- ▶ Kifejlesztettünk két eljárást:
 1. Félautomatikus, sakktáblák segítségével;
 2. automatikus, gömbök segítségével.

LiDAR-kamera kalibrálás sakktáblával

- ▶ A kamerát és a LiDAR érzékelőt egy speciális, egyedi gyártású elemmel összekötöttük.
 - ▶ Az összekötő saját tervezés, 3D nyomtatóval készült.
- ▶ Kamera kalibrálása egy forgatási szög meghatározására redukálódik, normálvektorok ismerete szükséges.
 - ▶ Normálvektor kameraképből: sakktáblához tartozó transzformáció felbontásával.
 - ▶ Normálvektor pontfelhőből: sakktábla síkjának illesztéséből.



LiDAR-kamera kalibrálás sakktáblával és gömbökkel²

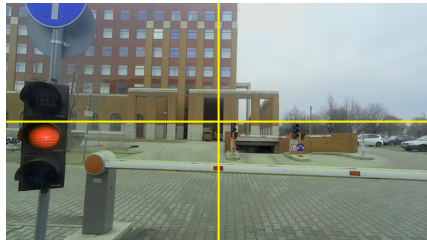
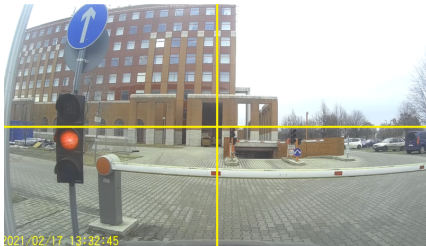
- ▶ Gömbfelület nagy előnye: kevés szabályos gömb van körülöttünk
 - ▶ Ellentétben a síkokkal.
- ▶ Gömb keresése a képen: ellipszis-detektálás.
 - ▶ Speciális ellipszis. Gömb négy paramétere határozza meg (3D középpont, sugár).
 - ▶ Három pontból becsülhető, ha a gömb sugara ismert.
- ▶ Gömb detektálás a pontfelhőn: nehezebb probléma.
 - ▶ Iteratív eljárást alkalmaztunk.



²A munka Tóth Tekla doktorandusz és Tófalvi Tamás autonóm rendszerinformatikus MSc hallgató közreműködésével készült.

Kamerák képének kiegyenesítése (rektifikálása)³

- ▶ Széles látószögű kamerák nemsperpektív torzítása jelentős.
 - ▶ Halszemoptika, GoPro,...
- ▶ Korábban alkalmazott torzító modelljeink nem elég pontosak.
- ▶ Kitorzítás [Scaramuzza és mtsai.] módszerével.
 - ▶ Látószög érzékelhetően csökken.



³A munka Dancs Tamás autonóm rendszerinformatikus MSc hallgató közreműködésével készült.

Kamerák együttes használata⁴

- ▶ Az autóra több kamerát rögzíthetünk, hogy minél több irányból legyen információ.
- ▶ Különböző optikákat alkalmazhatunk:
 - ▶ "Lyukkamera" optika: nagy felbontás, kisebb látószög,
 - ▶ Halszem-optika: nagy látószög, alacsonyabb felbontás.
- ▶ Tartó: autó tetejére, egyedi tervezés, 3D nyomtatással készült.

Kalibrációs eljárások segítségével a kamerák képe egyesíthető.



⁴A munka Dancs Tamás autonóm rendszerinformatikus MSc hallgató közreműködésével készült.

Sebességmérés autóra rögzített kamerából⁵

- ▶ A jármű sebessége kizárólag kameraképek segítségével is mérhető.
- ▶ Ehhez "madártávlati képet készítünk".
- ▶ Bóják segítségével a madártávlati kép bekalibrálható.
- ▶ Optikai áramlásból a sebesség számítható.
 - ▶ Hibatűrés fontos: robusztus statisztika, Kálmán-szűrő, ...



⁵A munka Kastantin Firas autonóm rendszerinformatikus MSc hallgató közreműködésével készült.

Sebességmérés autóra rögzített kamerából (2)

- ▶ Más megközelítés: sztereó rekonstrukciók összefűzésével.
- ▶ A kamera segítségével a teljes 3D pálya kiszámítható.
 - ▶ Szaknyelven: vizuális odometria.
 - ▶ Akár két pontmegfelelés segítségével működik.
 - ▶ Öt pontos algoritmus stabilabb.
- ▶ Mozgás iránya számítható csak, a nagysága az előző módszerből származik.



Publikációk

► **Elfogadott**

- Istvan Gergo Gal, Daniel Barath, Levente Hajder. Pose Estimation for Vehicle-mounted Cameras via Horizontal and Vertical Planes. Accepted for the IEEE International Conference on Robotics and Automation 2021.
- Gál István Gergő, Hajder Levente. Kameramozgás becslése járműre szerelt kamerák esetén függőleges és vízszintes síkok használatával. Képfeldolgozók és Alakfelismerők 13. Konferenciája. 2021.
- Tóth Tekla, Pusztai Zoltán, Hajder Levente. SphereCalib: LiDAR és kamera autokalibrációja gömbök segítségével. Képfeldolgozók és Alakfelismerők 13. Konferenciája. 2021.
- F. Kastantin, T. Dancs, T. Tófalvi, T. Tóth, L. Hajder. Optical Speed Measurement via Inverse Perspective Mapping. Képfeldolgozók és Alakfelismerők 13. Konferenciája. 2021.

► **Folyamatban**

- Levente Hajder. Affine Transformations in Stereo Geometry: Theory, Practice, and Limitations. To submit to Computer Vision and Image Understanding. 2021
- Tekla Toth, Levente Hajder. Sphere Estimation from Camera Images: a 3-point Algorithm. To submit to IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence.

Összefoglalás

- ▶ Eredményeket értünk el kamera és LiDAR szenzorok feldolgozásával.
 - ▶ Síkszegmentálás sztereó képekből.
 - ▶ LiDAR-kamera kalibrálás sakktáblával és gömbökkel, speciális és általános rögzítés esetén.
 - ▶ Kamerák képeinek egyesítése.
 - ▶ Sebességbecslés videófolyamokból.
- ▶ Az eredményeket háromdimenziós pontfelhővel vagy videóval demonstráltuk.
- ▶ További feladatok
 - ▶ Kamerák összefűzéseinek javítása.
 - ▶ GPS, IMU alkalmazása.
 - ▶ Valós idejű algoritmusok fejlesztése.
 - ▶ Adatgyűjtés, adatgyűjtés, adatgyűjtés...

Köszönöm a figyelmet!

hajder@inf.elte.hu

www.elte.hu