

Autonóm rendszerek a gyakorlatban

Lóczy Lajos, Szalai-Gindl János, Varga László Zsolt, Hajder Levente

TKP Workshop
Eötvös Loránd Tudományegyetem, Informatikai Kar



PROGRAM
FINANCED FROM
THE NRDI FUND

Bevezetés

- ▶ Autonóm rendszerek manapság népszerű, intenzíven kutatott terület
- ▶ Egyetemünk számára kiemelten fontos
 - ▶ Külön képzést indítottunk: Autonómrendszer-informatikus MSc (angol nyelven)
 - ▶ Magyar és EU-s pályázati lehetőségek
 - ▶ Ipar számára is fontos terület
- ▶ Csoportunk három területen végez kutatási munkát:
 - ▶ Autonóm ágensek és multi-ágens rendszerek (Varga László Zsolt)
 - ▶ Autonóm járművek 3D-s érzékelése (Szalai-Gindl János, Hajder Levente)
 - ▶ Matematikai háttér: differenciálegyenletek numerikus módszerei (Lóczy Lajos)
- ▶ A területeken elmélet és gyakorlat találkozik.
- ▶ Népszerű témák a hallgatók körében is.

Elért eredmények

- ▶ Multi-ágens rendszerek
 - ▶ Heurisztikus optimalizálást készítettünk az áruraktár napi műszakjának optimális teljesítéséhez, és szimulációs programmal kimutattuk az előnyét. Ügyfelünk számára alkalmazási iránymutatást adtunk.
- ▶ LIDAR pontfelhők feldolgozása
 - ▶ Kidolgoztunk egy újszerű futószalag-feldolgozást a nagyméretű, adatbázisban tárolt pontfelhőben történő mintaillesztéses feladatra.
- ▶ Járműre rögzített kamerák feldolgozása
 - ▶ Kidolgoztunk egy teljesen automatikus kalibráló eljárást kamerák és LiDAR érzékelők közös használatára.
 - ▶ Megmutattuk, hogyan lehet kamerák képeit egyesíteni, illetve hogyan lehet a jármű sebességét kizárólag kameraképekből megbecsülni.
- ▶ A differenciálegyenletek numerikus módszerei témakörében
 - ▶ Megbízható numerikus algoritmusokat dolgoztunk ki, amelyek a gyakorlatban előforduló differenciálegyenletek széles osztályára alkalmazhatók, és amelyek megtartják az eredeti egyenlet fontos kvalitatív tulajdonságait.

Autonóm ágensek és multi-ágens rendszerek

► Multi-ágens rendszer a városban

- A városi közlekedésben sokszor alakul ki dugó, amit szeretnénk elkerülni.
- A jövőben az autonóm autók a pillanatnyi forgalmi helyzet alapján próbálják kitalálni mi lesz a várhatóan leggyorsabb útvonal.
- Erre dolgozunk ki módszereket, és szimulátor segítségével vizsgáljuk, hogy használatuk esetén optimális forgalom alakul-e ki az utakon.

► Multi-ágens rendszer az áruraktárban

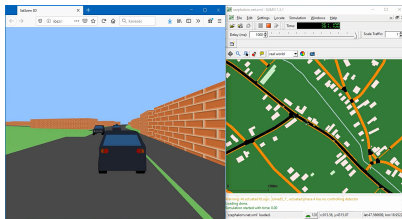
- Az elmúlt években intenzív kutatások indultak a robotok ütközés mentes és optimalis mozgatásának megoldására.
- A nagy e-kereskedelmi vállalatokat élénken érdekli ez a kutatás, különösen hogy a közelmúlt világhátránya megnövelte az e-kereskedelem iránti igényt.
- Ügyfelünk arra kért minket, hogy mondjuk meg hány dolgozóra van szükség a teljes bérköltség minimalizálására és a munkavállalók “bosszúságának” minimalizálására.
- A dolgozók “bosszúságát” az okozza, ha egymást kell kerülgetniük, vagy ha egy polc előtt kell várniuk amíg a másik dolgozó végez.

Autonóm ágensek és multi-ágens rendszerek

- ▶ Multi-ágens rendszer a városban
 - ▶ Tesztkörnyezetet építettünk.
 - ▶ A szinte valós forgalom a SUMO szimulációs platformon fut valós OpenStreetMap adatokat használva.
 - ▶ A szándéktudatos online útvonalválasztási modellünket a Routing Model Evaluator (RME) valósítja meg.
 - ▶ Az útvonalválasztásokat a szimulációs platformba injektáljuk, és a SUMO reálisan szimulálja az autók mozgását.
 - ▶ Az RME a valós idejűnél gyorsabban tudja kiszámolni az

egyes járművekre a szándéktudatos online útvonalat.

- ▶ A szándéktudatos online útvonalálasztási modell hasonló forgalmat produkál, mint a dinamikus egyensúly.
- ▶ ipari kapcsolódás: HERE Technologies, Zürich: adatsorok felhasználásával előre jelezni a bonyolult forgalmi rendszerek jövőbeli állapotait

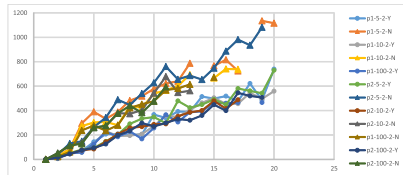


Autonóm ágensek és multi-ágens rendszerek

- ▶ Multi-ágens rendszer az áruraktárban
 - ▶ Javasoltunk egy megoldást, amely Multi-Agent Path Finding (MAPF) megoldási technikákat alkalmaz kiegészítésekkel.
 - ▶ Heurisztikus optimalizálással állapítjuk meg a kiszállítandó csomagok sorrendjét.
 - ▶ Javaslatunkat egy szimulációs szoftverben valósítottuk meg, és több szimulációs kísérletet lefuttattunk.
 - ▶ A kísérletek szerint a gyártási idő

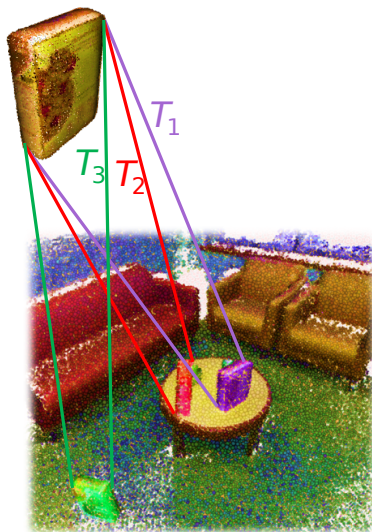
és a bérköltség nem csökkenthető a heurisztikus optimalizálással, azonban a heurisztikus optimalizálás jelentősen csökkenti a “bosszúságot”.

- ▶ Áruraktári ügyfelünk számára gyakorlati alkalmazási iránymutatót készítettünk.



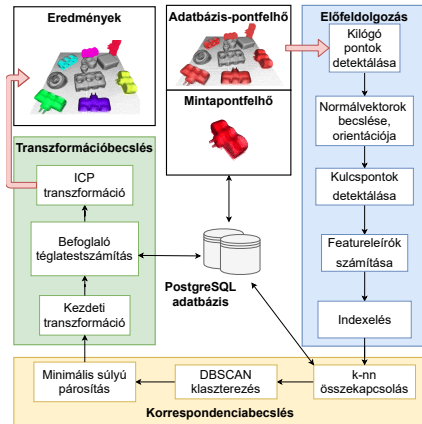
LiDAR pontfelhő feldolgozása

- ▶ Korszerű LiDAR érzékelők $\Rightarrow$ nagyméretű 3D pontfelhők, adatkezelési/elemzési kihívások
- ▶ Pontfelhő-regisztráció, spec. esete: pontfelhőalapú mintaillesztés
 - ▶ Ehhez featureleírók számítása
 - ▶ D : adatbázis-pontfelhő, S : mintapontfelhő,
 - ▶ $|S| \ll |D|$, n előfordulás
 - ▶ Cél: $T_1, \dots, T_n$ transzformációk meghatározása, ahol T_i a D -ben lévő i -edik S előfordulásra illeszt (ld. ábra)



Mintaillesztés nagyméretű LiDAR pontfelhőben

- ▶ **Eredmény:** mintaillesztésre egy módszer nagyméretű pontfelhőben, publikáció
 - ▶ Adatbázis-pontfelhő előzetesen rendelkezésre áll $\Rightarrow$ előfeldolgozás offline módon
 - ▶ Újszerű futószalag-feldolgozás (ld. ábra)
 - ▶ Prototípus, PostgreSQL DBMS



Featureleírók leíróképessége dimenzióredukció mellett

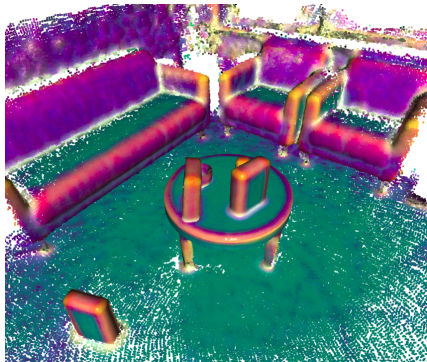
- ▶ Nehézség: sokdimenziós featureleírók adatbázisban való tárolása és indexelése
- ▶ Megoldás: dimenzióredukció alkalmazása

- ▶ PCA, meg tudja őrizni a leíróképességet (ld. ábra)



Featureleírók belső
paramétereinek módosítása

- ▶ Előzetes eredmény: PCA jobb választás, konferenciaticik



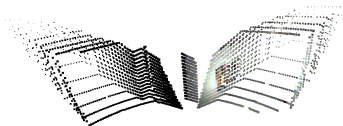
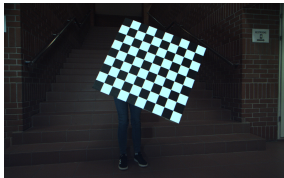
Ábra: PCA alkalmazása featureleírókra.
(Első három főkomponens $\Rightarrow$ RGB színösszetevők.
Élpontok, sarokpontok és síkpontok más-más színűek.)

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 gömbökkel

- ▶ Gömbfelület nagy előnye: kevés szabályos gömb van körülöttünk
 - ▶ Ellentétben a síkokkal.
- ▶ Gömb keresése a képen: ellipszis-detektálás.
 - ▶ Speciális ellipszis.
 - ▶ Három pontból becsülhető.
- ▶ Gömb detektálása a pontfelhőben: nehezebb probléma.
 - ▶ Iteratív eljárást alkalmaztunk.



Kamerák együttes használata

- ▶ 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.



Sebességmérés autóra rögzített kamerából

- ▶ 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, ...



Differenciálegyenletek numerikus módszerei

- ▶ Az időben változó folyamatok természettudományos, műszaki, és közgazdasági modelljeinek alapvető elemei a differenciálegyenletek:
 - ▶ irányításelmélet (jármű vagy robotkar mozgási pályájának megtervezése)
 - ▶ fizikai alkalmazások (pl. megmaradási törvények, hővezetés, diffúzió, rezgések modellezése, bolygómozgás)
 - ▶ kémiai alkalmazások (pl. üzemanyag égésének szimulációja, koncentrációváltozások)
 - ▶ biológiai alkalmazások (pl. populációdinamika, járványterjedés)
- ▶ Két fő osztállyal foglalkozunk:
 - ▶ közönséges differenciálegyenlet-rendszerek
 - ▶ parciális differenciálegyenletek

Differenciálegyenletek numerikus módszerei

- ▶ A differenciálegyenletek esetén szinte sosincs megoldóképlet: a megoldáshoz csak numerikus módszerek állnak rendelkezésre
- ▶ Cél: minél „jobb” (megbízhatóbb) numerikus módszerek használata, fejlesztése. Milyen szempontok szerint? Például:
 - ▶ memóriaigény, sebesség
 - ▶ jó kvantitatív tulajdonságokkal bírjanak, a módszer legyen „pontos”: konzisztencia, stabilitás, konvergencia, globális hiba
 - ▶ jó kvalitatív tulajdonságokkal rendelkezzenek: ha az eredeti differenciálegyenlet (folytonos) megoldása rendelkezik valamilyen tulajdonsággal, akkor a (diszkrét) numerikus megoldás is rendelkezzen ugyanazzal a tulajdonsággal
- ▶ A fenti kritériumok sajnos egymásnak gyakran ellentmondanak
- ▶ Kutatásainkban a kvalitatív tulajdonságok megőrzésén van a hangsúly

Differenciálegyenletek numerikus módszerei

- ▶ Az általunk vizsgált kvalitatív tulajdonságok:
 - ▶ pozitivitástartás (ha az input / kezdeti feltétel pozitív, akkor az output / megoldás is pozitív)
 - ▶ konzervativitás, disszipativitás (időben megmaradó vagy nemnövekvő mennyiségek: energiamegmaradás, első integrálok, entrópia)
 - ▶ oszcillációmentesség (kontrakciós tulajdonság, monotonitás)
- ▶ Kutatásaink során olyan új, hatékony numerikus módszereket konstruáltunk, melyekre igaz, hogy
 - ▶ ha az eredeti differenciálegyenlet konzervatív / disszipatív / pozitivitástartó
 - ▶ akkor a numerikus módszer / megoldás is konzervatív / disszipatív / pozitivitástartó.

Kiemelt publikációk

► Folyóiratban

- Dániel Varga, **János Márk Szalai-Gindl**, Bence Formanek, Péter Vaderna, László Dobos, **Sándor Laki**, *Template matching for 3D objects in large point clouds using DBMS*, IEEE Access, Q1 journal, pp. 1–14, 2021.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/9438660>
- Hendrik Ranocha, **Lajos Lóczy**, David I. Ketcheson, *General relaxation methods for initial-value problems with application to multistep schemes*, Numerische Mathematik, **146**, pp. 875–906 (2020. okt., D1-es folyóirat),
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00211-020-01158-4>

► Konferenciakiadványban

- V. Antal, T. G. Farkas, A. Kiss, M. Miskolczi, and **L. Z. Varga**, “Intention-aware model to support agent deliberation in a large-scale dynamic multi-agent application,” in *Lecture Notes in Computer Science*, M. Bramer and R. Ellis, Eds. Springer International Publishing, 2020, pp. 301–314.
- 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.

Publikációk

	Elfogadott/megjelent	Beküldött
Folyóirat (D1/Q1)	2	2
Konferenciakiadvány	8	4
TDK dolgozat	4	
Összesen	14	6

Összefoglalás

- ▶ Kutatócsoportunk három területen végez alkotómunkát:
 - ▶ autonóm ágensek és multi-ágens rendszerek,
 - ▶ autonóm járművek 3D-s érzékelése,
 - ▶ differenciálegyenletek numerikus módszerei.
- ▶ Elméleti eredmények, gyakorlati alkalmazások
- ▶ Publikációs tevékenység szakmánk élvonalbeli konferenciáin, folyóirataiban
- ▶ A kutatási eredményeket az oktatásban is hasznosítjuk
 - ▶ elsősorban, de nem kizárólag MSc-s képzésen.
- ▶ Az ipar is érdeklődik az eredmények iránt.

Köszönjük a figyelmet!