

Benyúló karos tartószerkezet alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata a ZalaZONE tesztpályán kialakítandó percepciós szenzorrendszer vonatkozásában

Az infrastruktúrára telepített szenzorok növelhetik az önvezetés biztonságát, de szél miatti rezgésük kalibrációs problémákat okozhat. A szerkezetek merevítése helyett szoftveres stabilizáció szükséges. A kutatás a hosszú távú rezgések hatását és kalibrációs modellezését vizsgálja, megoldási javaslatokat kínálva.

Kulcsszavak: önvezető járművek, szenzorkalibráció, infrastruktúra szenzorok, rezgés kompenzáció, szoftveres stabilizáció

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2024.6.2>

**Cserni Márton¹ – Vincze Zsolt² – Rövid András³
Csonthó Mihály⁴ – Boronyák Ádám⁵ – Kovács Lóránt⁶**

^{1,2,4} BME KJK Gépjárműtechnológia Tanszék, tudományos segédmunkatárs

³ BME KJK Gépjárműtechnológia Tanszék, tudományos főmunkatárs

⁵ BME KJK Gépjárműtechnológia Tanszék, tanszéki mérnök

⁶ Széchenyi Egyetemi Csoport, ZalaZONE InnoTech Nonprofit Kft.

e-mail: mcserni@edu.bme.hu, vincze.zsolt@kjk.bme.hu, rovid.andras@kjk.bme.hu, csontho.mihaly@kjk.bme.hu, boronyak.adam@kjk.bme.hu, lorant.kovacs@zalazone.hu

1. BEVEZETÉS

Az útmenti infrastruktúrára kihelyezett szenzorállomásokkal a kooperatív percepciós rendszerek látótere és pontossága kiterjeszthető. Minél magasabb oszlopra helyezzük ki a szenzorokat, annál kisebb az esélye, hogy takarás miatt objektumokat nem érzékel a rendszer.

A közlekedés résztvevőit érzékelő szenzorrendszer detektálási pontosságát alapjaiban befolyásolhatja az érzékelő szenzorok mozgása. Amennyiben a szenzorok nem együttesen mozognak, az alacsony szintű szenzorfüzóra épülő eljárások teljesítménye jelentősen romolhat. Ez például olyan esetben fordulhat elő, ha a kamera szenzor egy belógó karos jelzőlámpaoszlop függőleges ré-

szére, míg a lidar szenzor a belógó karra van rögzítve (ilyen módon kerültek kihelyezésre a Graz-i kereszteződést figyelő szenzorok). A szenzorok együttes elmozdulása is okozhatja a detektálási performancia drasztikus csökkenését az elmozdulás mértékétől függően [1], [2]. A szenzorrendszer szenzorállomása-ihoz tartozó tartószerkezetnek biztosítania kell, hogy a szenzorok elmozdulása ne lépje túl a kompenzálható mértéket. Amennyiben a lengés kellőképpen kompenzálható, úgy az objektumok detektálásának követelményekben előírt pontossága garantálható.

A percepciós szenzorrendszer beszerzési költségeinek racionalizálása érdekében kivizsgálásra került, hogy egy belógó karos tartóoszlop megfelelő stabilitást biztosít-e a

1. ábra: A Providentia++ projektben [2] alkalmazott tartószerkezet és a rá telepített infrastruktúra szenzorok



szenzorrendszerhez történő alkalmazás érdekében. Amennyiben az oszlopra helyezett szenzorállomás kilengése nem kompenzálható ki, úgy az állomást nagyobb stabilitást biztosító, de lényegesen drágább portálszerkezetre kell telepíteni.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Jelenleg a közúti környezetbe kihelyezett infrastruktúra szenzorok adataira támaszkodó tudományos kutatások világszerte aktívan folynak. E téren kiemelkedő a Providentia++ projekt, amely a németországi A9-es autópálya kijelölt szakaszáról készíti el a valós idejű digitális ikermodellt. A közlekedés résztvevőit az autópályára telepített portálszerkezetekre kihelyezett szenzorok segítségével érzékelik [2]. Az 1. ábrán az említett portálszerkezeten elhelyezett szenzorok láthatók. A portálszerkezet nagy robusztussága garantálja a szenzorok kis kilengését még nagy erősségű szélledekések esetében is.

A Graz-i székhelyű ALP.Lab Gmbh cég portfólióját képezi a jármű ADAS funkcióinak tesztelése és az autonóm vezetési funkciók fejlesztéséhez szükséges digitális forgalmi környezet modell szolgáltatása is. Graz városában alakítottak ki egy intelligens kereszteződést, amely a forgalom nyomon követésére képes. A forgalom résztvevőit érzékelő (lidar, radar és kamera)

szenzorokat belógó karos jelzőlámpa oszlopokra helyezték ki. A kamera és radar szenzorokat az oszlop függőleges törzséhez, míg a lidar szenzorokat a belógó karhoz rögzítették.

Az intelligens infrastruktúra által nyújtott funkciók kutatása és fejlesztése Észak-Európában is zajlik. Svédország, Finnország és Norvégia területén több különálló pilot projekt együttese alkotja a Nordic Way kezdeményezést [3]. Minden különálló teszterület egy-egy funkció kutatására jött létre. A projekt célja az észak-európai forgalmi környezetben felmerülő problémák megoldása együttműködő intelligens közlekedési rendszerek (C-ITS) használatával. A norvégiai pilot projekt során a közutak melletti intelligens infrastruktúra szenzorok a portál, félportál és oszlop szerkezetre kerültek kihelyezésre (2. ábra).

Ezekből a kutatásokból nem jelent meg mérés a szenzorrendszerek rezgésével kapcsolatban.

3. MÉRÉSI MÓDSZER

A ZalaZONE Járműipari Tesztpálya Smart City modulján egy 10 méter magasságú kúpos acéloszlop került kihelyezésre, 10 méter hosszú portálkarral, amelynek rögzítési magassága 8 méter. Ez a tartószerkezet egy lehetséges alternatíva a Highway modulra tervezett

2. ábra: A NordicWay projektben alkalmazott szenzortartó szerkezetek [3]



percepciós szenzorrendszer szenzorállomásai számára.

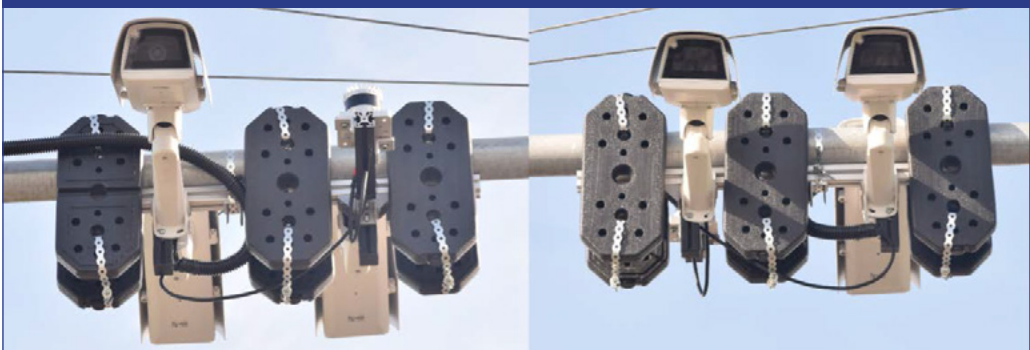
Az oszlopra a szenzorállomások egy közelítő modellje került kihelyezésre. A modell tömegben és kiterjedésben is jól közelíti a követelményrendszert kielégítő szenzorállomást. A modell tartalmazott két működő szenzort, egy kamerát és egy lidar szenzort. Ezen kívül további üres kameraházakból, valamint a szenzoroknak a belógó karhoz történő rögzítésére alkalmazható tartókonzorból és a modell tömegét és kiterjedését növelő lapsúlyokból állt. A szenzorállomás összetömege a követelményeknek megfelelő típusú eszközök adatlapjai alapján és a szükséges tartókonzol becsült tömegét figyelembe véve került meghatározásra. A szenzorállomás kalkulált összetömege 55 kg. A modellhez használt eszközök és kellékek összsúlya 22 kg volt. A kellő tömeg elérésének érdekében a

modell három pár lapsúlyt tartalmaz, amelyek páronként 11 kg tömegűek. A kísérleti méréshez használt modell a 3. ábrán látható. Az így kapott modell jól reprezentálja a szenzorállomás jelentette belógó karon lengő terhet.

A modell a már említett tartóoszlopra került felhelyezésre. Emellett az oszlopon kialakításra került egy szekrény is, amelyben a szenzorok kábeljei végződnek. A mérések alkalmával a kihelyezett szenzorok egy mobil mérőrendszerbe kerültek bekötésre. A kísérleti mérésekre előkészített oszlopot a 4. ábra mutatja.

A modell lengésének mérése mintavételezéssel történt. 2024 áprilisában három héten keresztül napi két alkalommal készült egy-egy 15 perc hosszúságú felvétel. A mért adatok a lidar szenzorból származó pontfelhő és a kamera által rögzített képek voltak. A mérés RTMaps keretrendszer hasz-

3. ábra: A kísérleti szenzorok és a nehezek, amelyek a végső szenzorfürt tömegét modellezik



nálátával történt, amelynek fő tulajdonsága, hogy megőrzi a mért adatok közötti időszinkronitást, így azok visszajátszásakor is ugyanúgy jelennek meg, mint a felvétel során. A nyers szenzoradatok mellett rögzítették a legközelebbi nyilvános meteorológiai állomás szélerősség adatait is. A ZalaZONE tesztpályához legközelebb lévő elérhető állomás a nagykutasi, amely a Smart City modultól 4 km-es távolságra van.

4. A REZGÉS MATEMATIKAI MODELLEZÉSE

Ebben a fejezetben matematikailag modellezzük a szenzorok rezgését. Feltesszük, hogy a szenzorok egymáshoz képest nem mozognak.

4.1. Lidar

A lidar szenzor egy háromdimenziós pontfelhőt ad ki maga körül. Ez a pontfelhő a lidar saját koordináta rendszerével együtt mozog. Ahhoz, hogy a pontfelhő pontjait egy referencia koordináta rendszerbe, például egy UTM (Universal Transverse Mercator) koordináta-rendszerbe transzformáljuk, szükséges ismerni a lidar szenzor és az UTM rendszer közötti transzformációs mátrixot. Ez a transzformáció figyelembe veszi a szenzor pozícióját és orientációját a referencia rendszerben.

A pontfelhő és a referencia rendszer között egy pont az alábbiak szerint transzformálható:

$$P_{utm} = T_{lidar} P_{lidar} \quad (1)$$

ahol P_{lidar} a pont koordinátája a lidar koordináta rendszerében, P_{utm} pedig ugyanazon pont koordinátája az UTM koordináta rendszerében. A transzformációs mátrix T_{lidar} a következőképpen épül fel:

$$T_{lidar} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

ahol r_{ij} ($i=1,2,3$ és $j=1,2,3$) a rotációs mátrix elemei, amelyek a lidar szenzor orientációját írják le az UTM rendszerben, míg t_1, t_2, t_3 a lidar szenzor pozíciójának koordinátái az UTM rendszerben. Ha T_{lidar} ismert, a lidar szenzor kalibráltnak nevezhető. Ezt a mátrixot a szenzor kihelyezése során meghatározzuk egyszer, egy lidar kalibrációs eljárással.

A szenzor elmozdulása során (1) nem lesz érvényes az előre meghatározott T_{lidar} paramétereivel. Az elmozdulást egy T_{delta} transzformációval írjuk le, így elmozdult szenzor esetén:

$$P_{utm} = T_{delta} T_{lidar} P_{lidar} \quad (3)$$

A stabilizáció során ezt a T_{delta} elmozdulást szeretnénk meghatározni.

4.2. Kamera

A kamera szenzor egy kétdimenziós képet készít a környezetéről. Ahhoz, hogy egy háromdimenziós pontot a képtérbe vetítsünk, ismerni kell a kamera belső és külső paramétereit [4]. A klasszikus képfeldolgozásban használt koordináta konvenciókat alkalmazzuk [4].

4. ábra: A kihelyezett szenzor sziget a ZalaZONE Smart City tesztpályán



A 3D pontok és a képtér közötti transzformáció a következőképpen történik:

$$p = K [R|t] P, \quad (4)$$

ahol P egy homogén koordinátákkal megadott 3D pont, p a 2D pont homogén koordinátái a képen, K a kamera belső paramétermátrixa, R a kamera rotációs mátrixa, és t a translációs vektor. A kamera belső paramétermátrixa K az alábbi formában van megadva:

$$K = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

ahol f_x és f_y a fókusz távolságok a x és y irányokban, c_x és c_y pedig a képsík főpontjának koordinátái.

A kamera külső paraméterei, amelyeket a R rotációs mátrix és a t translációs vektor alkotnak, írják le a kamera helyzetét és orientációját a világ koordináta rendszerében.

A rezgés során a kamera belső paraméterei, azaz K nem változik, azonban a külső paraméterek igen. Az elmozdulást a kamera koordináta rendszerében definiáljuk, tehát a projekció:

$$p = K [R_{\text{delta}} | t_{\text{delta}}] [R|t] P, \quad (6)$$

Feltételezzük, hogy az elfordulása a kamerának kicsi, maximum néhány fok, így a rotáció közelíthető lineáris translációkkal. Ez azt jelenti, hogy a rotáció kis szögek esetén hasonló hatást gyakorolhat a képre, mint a megfelelő irányú transláció. Ezenkívül a transláció z irányú komponense kis értékek esetén elhanyagolható, mivel a kép síkban főként az x és y irányú elmozdulások dominálnak. A kamera koordináta-rendszerbeli konvenciókat az 5.

ábrán lehet megtekinteni.

A rotációs mátrix kis szögek ($\theta_x, \theta_y, \theta_z$) esetén közelíthető:

$$R_{\text{delta}} \approx \begin{bmatrix} 1 & -\theta_z & \theta_y \\ \theta_z & 1 & -\theta_x \\ -\theta_y & \theta_x & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Ha ezeket a kis szögeket használjuk, a pontok kamerakoordinátákba való transzformációja a következőképpen néz ki:

$$P_c \approx \begin{bmatrix} 1 & -\theta_z & \theta_y \\ \theta_z & 1 & -\theta_x \\ -\theta_y & \theta_x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t'_x + X \\ t'_y + Y \\ t'_z + Z \end{bmatrix} \quad (8)$$

A teljes képre vetítés:

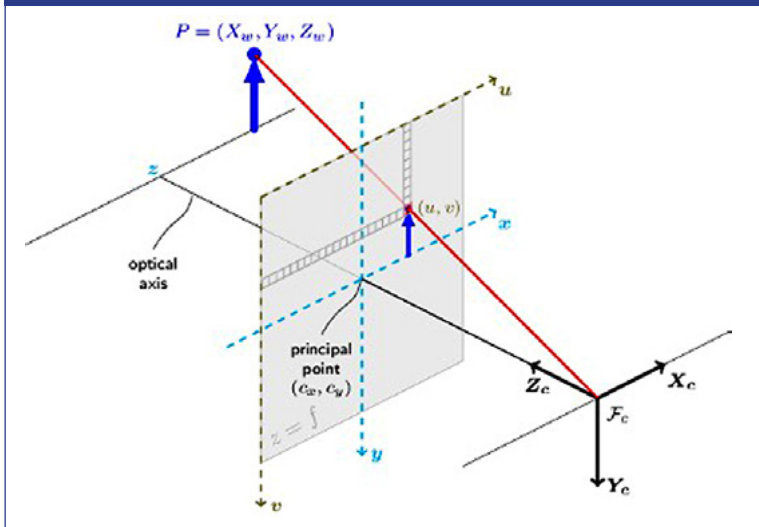
$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t'_x + X \\ t'_y + Y \\ t'_z + Z \end{bmatrix} \quad (9)$$

Ebből a pixel koordináták (u, v):

$$u = f_x \frac{(t'_x + X)}{t'_z + Z} + c_x, \quad (10)$$

$$v = f_y \frac{(t'_y + Y)}{t'_z + Z} + c_y. \quad (11)$$

5. ábra: Tülyuk (pinhole) kameramodell és a koordináta konvenciók [5]



A transláció z irányú komponense pedig kis értékek esetén elhanyagolható, mivel nem okoz jelentős elmozdulást a képtérben távoli pontok esetén (Z nagy, t_z' kicsi). Ez egy magasra felhelyezett kamerára mindig igaz lesz, mert az objektumoknak a kamerától vett Z irányú távolsága mindig jelentősen nagyobb lesz, mint a kamera Z irányú elmozdulása a lengő oszlopon. Ugyanez az X és Y irányokról nem mondható el. Ez belátható intuitíven is, hiszen, ha elképzeljük egy távoli objektum mozgását a kamera képén, ha a mozgás az optikai tengellyel (Z irány) párhuzamos, a kép változása kicsi lesz, míg ez nem igaz a keresztirányú mozgásokra.

Ez a közelítés lehetővé teszi, hogy a képet (u , v) irányokban, ha translációval stabilizáljuk, megmarad a kalibráció. A képen tehát (u , v) irányú elmozdulásokat kell detektálni, ez jól megmutatja a kamera elmozdulását, ez alapján lehet stabilizálni a képet.

5. STABILIZÁCIÓ

Ebben a fejezetben részletezzük az alkalmazott stabilizációs eljárásokat.

5.1. Lidar

A pontfelhők kiértékelése a mérés során rögzített pontfelhők a mérési felvétel első rögzített pontfelhőjéhez képest történő elmozdulásának meghatározásán alapul. Az elmozdulás meghatározására az Iterative Closest Point (ICP) algoritmus [6] került felhasználásra. Az algoritmus meghatározza azt az elmozdulást (eltolást és elforgatás), amellyel két különböző helyzetben lévő pontfelhő egymáshoz illeszthető. A kezdeti, kalibrált pontfelhőhöz képesti elmozdulás tehát meghatározható, ez a T_{delta} . Az így kapott elmozdulásértékek jellemzik a lidar szenzor oszlopon történő lengését. Az ICP algoritmusal történő pontfelhő illesztésre vonatkozó példát a 6. ábra mutatja.

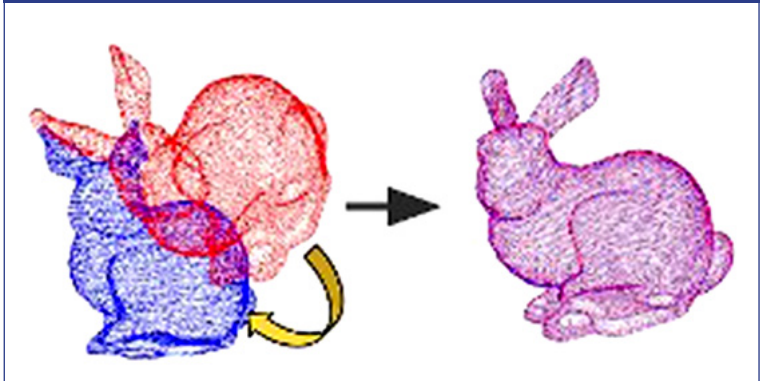
5.2. Kamera

A módszer összefoglalva translációval modellezi a kép elmozdulását, és a képsíkban stabilizál. Készít egy háttérmodellt, amely kiszűri a dinamikusan mozgó objektumokat a képről. Amennyiben feltételezzük, hogy a kép elmozdulásának statikus komponense nincs, akkor a háttér a kalibrált állapotot tartja fent. A háttér és az aktuális kép közötti elmozdulást meghatározva, és a képet ezzel az elmozdulással korrigálva visszaállítható a kalibráció.

A kép stabilizálásához szükségünk van referencia pontokra. A módszer idősorokon működik, ahol az adott időpillanatban készült kép jele I_t . A statisztikai háttérmodell az OpenCV-ben implementált KNN [7] módszeren alapul. Az algoritmus az elmúlt n kép alapján készít egy háttérmodellt, amelyen a statikus objektumok szerepelnek. A háttérmodell (ideális esetben) megegyezik azzal a képpel, amelyet a nem rezgő kamera adna, ha I_t és I_{t-n} képek készítése között eltelt idő legalább a rezgés lengésidejével megegyezik. A háttérmodellen megfigyelhető zaj, és a mozgás átlagolásából eredő elmosódás.

Amennyiben a statisztikai háttérmodell megfelel az el nem mozdult képnek, és a t -edik időpillanatban készült kép és a háttérkép között képi leírókat pontosan meg tudunk feleltetni egymásnak, az elmozdulás kiszámolható. Olyan leírókat kell találni, amelyek

6. ábra: Az ICP algoritmus működése [forrás: Biorobotics Lab at Carnegie Mellon University]



nem érzékenyek elmosódásra és zajra. Ilyen a Scale Invariant Feature Transform [8]. Ennek a módszernek a segítségével találhatunk és megfeleltethetünk egymásnak képi leírókat az aktuálisan készült és a statisztikai háttérmodell képek között.

Ha elegendő számú leíró találtunk akkor x , és y irányba meghatározható a kép elmozdulása. Ehhez a Ransac [9] módszert használjuk. A kapott 2D translációs vektorral ellentétesen eltoljuk a t -edik képet, ezáltal megvalósul a stabilizáció.

6. KÍSÉRLETI KIÉRTÉKELÉS

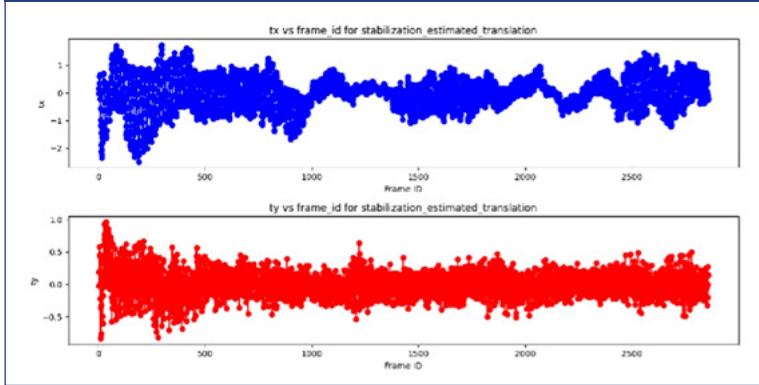
Ebben a fejezetben megvizsgáljuk egy kihelyezett szenzor rezgését egy hosszabb távon.

A szenzorállomás modelljének kihelyezésekor, valamint a mintavételezési időszak alatt összesen 40 db felvétel került rögzítésre. A felszerelés 2024.03.28-án történt, ekkor négy felvétel készült. Ezen kívül

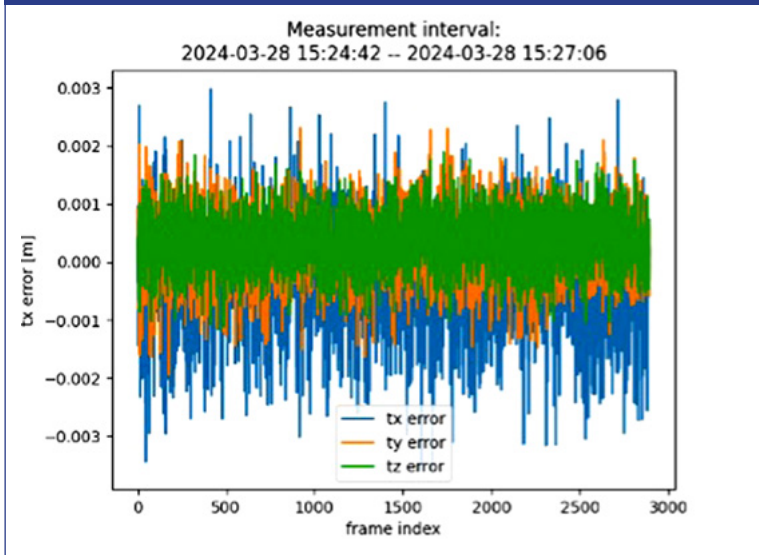
a 2024.04.02-től 2024.04.26-ig terjedő mintavételezési időszakban további 36 felvételt rögzítettek. Az egyes mérésekhez köthető szélerősség adatok a 1. táblázatban találhatók.

A gyűjtött adatsorok összterfoga 522 GB, ami mérésenként átlagosan 14,3 GB adatot jelent. A rögzített képek Bayer RGB formátumban készültek 800x600 pixel felbontással és 8 bites színmélységgel. Egy-egy kb. 15 perces felvételi ciklus során mintegy 18 000 kép ké-

7. ábra: A kamerastabilizációs eljárás által becsült elmozdulások x , és y irányban a pixeltérben [px] egységekben



8. ábra: Az ICP algoritmus alapján számolt pontfelhő elmozdulások egy felvétel esetén



szült minden egyes mérési alkalommal a mintavételezési időszak folyamán. A lidar szenzorból érkező UDP üzeneteket helytakarékossági okokból bináris formában rögzítettük. Ezenkívül, mintavételezésenként a gyűjtött adatok átlagos mérete 13,3 GB volt.

A képek stabilizálhatók voltak, ami elengedhetetlen a detektálás pontosságának megőrzése szempontjából. A stabilizációt kísérleti szempontból vizuális elemzés útján értékel-

1. táblázat: A mérés időjárásbeli körülményei

Dátum	Idő	Szél erősség [km/h]	Szélirány
2024.03.28	16:24	28.0	dél-délnyugat
2024.03.28	16:27	28.0	dél-délnyugat
2024.03.28	16:29	28.0	dél-délnyugat
2024.03.28	16:31	28.0	dél-délnyugat
2024.04.02	08:59	19.0	délnyugat
2024.04.02	16:58	6.0	nyugat
2024.04.03	07:45	5.0	délnyugat
2024.04.03	16:58	33.0	délnyugat
2024.04.04	09:02	5.0	délnyugat
2024.04.04	16:57	12.0	dél
2024.04.05	07:51	5.0	dél
2024.04.05	16:21	17.0	dél
2024.04.08	07:50	11.16	délkelet
2024.04.08	16:49	17.2	dél
2024.04.09	08:01	14.4	dél
2024.04.09	16:50	27.6	dél-délnyugat
2024.04.10	07:46	35.3	észak-északkelet
2024.04.10	17:11	37.7	észak
2024.04.11	08:37	23.7	észak
2024.04.11	17:00	17.4	észak-északkelet
2024.04.12	07:49	12.1	észak
2024.04.12	16:53	12.5	észak-északkelet
2024.04.15	07:48	12.6	délnyugat
2024.04.15	15:31	24.3	délnyugat
2024.04.16	07:54	33.9	észak-északkelet
2024.04.16	17:01	6.4	észak-északkelet
2024.04.17	07:50	9.1	nyugat
2024.04.17	16:46	22.9	észak-északkelet
2024.04.19	07:48	6.0	nyugat-északnyugat
2024.04.19	16:18	5.3	nyugat

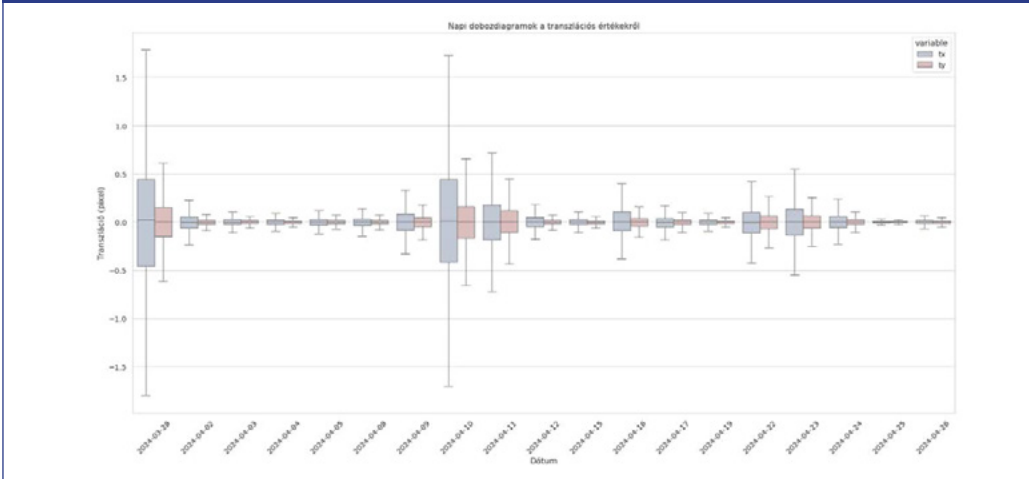
Dátum	Idő	Szél erősség [km/h]	Szélirány
2024.04.22	07:45	22.8	észak
2024.04.22	16:51	16.3	kelet-északkelet
2024.04.23	07:52	18.4	északkelet
2024.04.23	16:47	15.3	észak-északkelet
2024.04.24	07:49	25.5	észak-északnyugat
2024.04.24	16:44	6.0	nyugat-délnyugat
2024.04.25	07:45	6.5	nyugat
2024.04.25	16:19	9.5	északkelet
2024.04.26	07:46	7.3	dél-délnyugat
2024.04.26	16:38	15.6	dél

tük, amely során stabilizált és nem stabilizált képeket helyeztünk egymás mellé. A vizuális összehasonlítása alapján megállapítható, hogy bizonyos útfelfestések elmozdulása egy pixelen belül maradt a stabilizáció hatására. Ennek alapján megállapítható, hogy a stabilizált képeken az objektumok pozíciója nem változott, ami lehetővé tette a kalibráció megőrzését. Így a szenzorrendszer ezen oszlop konfigurációval alkalmasnak bizonyult a feladat ellátására.

A pontfelhők feldolgozása szintén megtörtént, az Iterative Closest Point (ICP) algoritmus segítségével.

A kísérleti kiértékelés során a kameraképek és a LiDAR pontfelhők rezgésének kompenzációját a bemutatott stabilizációs módszerekkel vizsgáltuk. Mivel független referenciaadat hiányában a stabilizáció hatékonyságának objektív számszerűsítése nem volt lehetséges, a vizsgálat alapvetően a stabilizált képek vizuális értékelésére támaszkodott. A felvételek vizsgálatakor nyilvánvaló volt, hogy míg a stabilizálás nélküli képeken a mozgás érzékelhető, addig a stabilizált képeken a megjelenített objektumok mozdulatlanok maradtak. A felvételek az érdeklődők számára előzetes egyeztetést követően kérésre rendelkezésre állnak.

9. ábra: A képfeldolgozó algoritmus által becsült képtranszlációk a dátum függvényében ábrázolva. A korreláció a szeles napok és a mért elmozdulások átlagértéke és szórásértéke között szembetűnő



Numerikusan, a rezgéssel kapcsolatosan megfigyeltük, hogy a 650 000 mérési pontból csupán kettő esetben regisztráltunk két pixelt meghaladó kilengést, amelyek valószínűleg mérési hibákra vezethetők vissza. A kilengés értékei a dátum függvényében a 9. ábrán tekinthetők meg. Kérésre a stabilizált felvételek rendelkezésre bocsáthatók.

7. KONKLÚZIÓ

A cikk az infrastruktúrába beépített szenzorrendszerek stabilizációjának szükségességét és lehetőségeit vizsgálta. A kutatás célja, hogy meghatározza, mennyire stabilak az oszlopokra szerelt szenzorok erős szélben, valamint hogy szoftveres kompenzációval lehet-e fenntartani a rendszer kalibrációját, ha a fizikai stabilitás nem elégséges. Bemutattunk egy-egy szoftveres stabilizációs módszert a LiDAR és a kamera alapú szenzorok számára, amelyekkel az oszlopokon lévő érzékelők kilengése hatékonyan kompenzálható.

A kísérleti mérések alapján az a következtetés vonható le a szenzorok fizikai rezgéseinek mértékéről és az alkalmazott algoritmusok stabilizáló képességéről, hogy a bemutatott konfigurációval a rezgés elegendően kicsi ahhoz, hogy kikompenzálható legyen. Az eredmények azt mutatják, hogy az ICP algoritmus és a képi stabilizációra alkalmazott KNN-

alapú háttérmodellezés alkalmasak a rezgések kiegyenlítésére, ami biztosítja a detektálási pontosság megőrzését.

A kutatás gyakorlati jelentősége abban rejlik, hogy a vizsgált szoftveres stabilizációs megoldások lehetővé teszik költséghatékony szenzorplatformok alkalmazását olyan helyszíneken, ahol a fizikai stabilitás biztosítása aránytalanul nagy beruházást igényelne. Mivel az autonóm járművek elterjedésével egyre több kooperatív intelligens közlekedési rendszer (C-ITS) épül ki, kritikus fontosságú, hogy az infrastruktúrába helyezett érzékelők a változó környezeti feltételek mellett is folyamatosan megbízható adatokat szolgáltatassanak. A bemutatott megközelítések lehetőséget adnak arra, hogy az önvezető járművek pontosan tájékozódjanak a környezetükről, így növelve a közlekedés biztonságát és hatékonyságát. Ez a stabilizáció különösen jelentőségteljes a jövőbeli városi és autópálya-alapú intelligens rendszerek számára, ahol a szenzorok nagy magasságban, szélnek kitett környezetben üzemelnek, és ahol a szoftveres kompenzációval biztosítható a rendszer folyamatos, kalibrált működése.

Összességként a cikk rámutat, hogy a jövőbeli kooperatív intelligens közlekedési rendszerekben az infrastruktúra alapú érzékelés hatékonysága és pontossága jelentősen javítható szoftveres sta-

bilizációs megoldásokkal, különösen az autonóm közlekedés területén, ahol a pontos és stabil érzékelés kulcsfontosságú a biztonságos működéshez.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk készítői köszönetet mondanak a Széchenyi Egyetemi Csoport - Autóipari Próbapálya Zala Kft. támogatásának.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Zhang, Z. (2000). A flexible new technique for camera calibration. IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, 22(11), 1330-1334. DOI: 10.1109/34.888718
- [2] Krammer, „Providentia--A Large-Scale Sensor System for the Assistance of Autonomous Vehicles and Its Evaluation,” arXiv preprint arXiv:1906.06789, 2019. URL: <https://arxiv.org/abs/1906.06789>
- [3] Kumala, „NordicWay and Coop cellular C-ITS pilot projects first results,” 11th ITS European Congress: Delivering Future Cities Now, 2016. URL: <https://cris.vtt.fi/en/publications/nordicway-and-coop-cellular-c-its-pilot-projects-first-results>
- [4] R. Hartley, Multiple view geometry in computer vision, Cambridge: Cambridge university press, 2003. URL: https://www.r-5.org/files/books/computers/algo-list/image-processing/vision/Richard_Hartley_Andrew_Zisserman-Multiple_View_Geometry_in_Computer_Vision-EN.pdf
- [5] „OpenCV Documentation,” [Online]. URL: https://docs.opencv.org/3.4/d9/d0c/group_calib3d.html [Hozzáférés dátuma: 08 2024].
- [6] Chetverikov, „The trimmed iterative closest point algorithm,” in International Conference on Pattern Recognition, 2002. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1047997>. DOI: 10.1109/ICPR.2002.1047997
- [7] Zitkovic, „Efficient adaptive density estimation per image pixel for the task of background subtraction,” Pattern recognition letters, 2006. DOI: 10.1016/j.patrec.2005.11.005
- [8] Lowe, „Sift-the scale invariant feature transform,” Int. J., 2004. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/19d1/c9a4546d840269ef534f6c1c8e3798ce81ac.pdf>
- [9] Fischler, „Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography,” 1981. Communications of the ACM, 24(6):381 – 395 DOI: <https://doi.org/10.1145/358669.358692>



Investigation of the possibility of using an overhanging arm support structure for the perception sensor system to be developed on the ZalaZONE test track

keywords: self-driving vehicles, sensor calibration, infrastructure sensors, vibration compensation, software stabilisation

Sensor systems on infrastructure can improve autonomous driving safety by providing more accurate traffic measurements than onboard sensors, but their calibration can be disrupted by vibrations in strong winds. Since rigidly fixing the support structures is costly and sometimes impractical, software-based stabilization is needed, and this article explores the issue's severity and potential solutions for compensating these vibrations.



Untersuchung der Anwendbarkeit des Einsatzes einer überhängenden Armtragstruktur für das Wahrnehmungssensorsystem auf der ZalaZONE-Teststrecke

Schlüsselwörter: autonome Fahrzeuge, Sensorkalibrierung, Infrastruktursensoren, Schwingungskompensation, Software-Stabilisierung

Sensorsysteme in der Infrastruktur können die Sicherheit des autonomen Fahrens verbessern, indem sie genauere Verkehrsmessungen liefern als bordeigene Sensoren. Ihre Kalibrierung kann jedoch durch Vibrationen bei starkem Wind gestört werden. Da eine starre Befestigung der Stützstrukturen kostspielig und manchmal unpraktisch ist, ist eine softwarebasierte Stabilisierung erforderlich. In diesem Artikel werden die Schwere des Problems und mögliche Lösungen zur Kompensation dieser Vibrationen untersucht.