

"FENNTARTHATÓ JÁRMŰIPARI TECHNOLÓGIÁK KUTATÁSA A SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEMEN"

**2023. ŐSZI
KONFERENCIAKIADVÁNY**



FENNTARTHATÓ JÁRMŰIPARI
TECHNOLÓGIÁK KUTATÁSA
A SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEMEN
2023. őszi konferenciakiadvány

Lektorok:

Dr. Dineva Adrienn, Dr. Eisingerné dr. Balassa Boglárka,
Dr. Horváth Ernő, Dr. Kulmány István Mihály,
Prof. Dr. Lakatos István, Prof. Dr. Péter Tamás,
Pup Dániel, Dr. Speiser Ferenc Péter,
Dr. Suta Alex, Dr. Szénásy István, Dr. Titrik Ádám

Szerkesztette:

Dr. Szauter Ferenc

Pup Dániel

Csikor Dániel

Földesi Rita

Nagy Bianka Marianna

Széchenyi István Egyetem

2023

ISBN 978-615-6443-35-9



Tartalomjegyzék

TÉMATERÜLETI KIVÁLÓSÁGI PROGRAM 2021 - NEMZETI KUTATÁSOK ALPROGRAM – DIGITÁLIS IPARI TECHNOLÓGIÁK KUTATÁSA A SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEMEN

TESZTKÖRNYEZET KIALAKÍTÁSA PÁLYAKISZOLGÁLÓ MOBILROBOTHOZ.....	10
<i>BOROS NORBERT^A, KALLÓS GÁBOR^B</i>	
AZ AUTONÓM JÁRMŰVEK KOMMUNIKÁCIÓS MÓDSZEREI A GYALOGOSOKKAL	23
<i>CSIKOR DÁNIEL</i>	
ENERGIAHATÉKONY VERSENYJÁRMŰ FUTÓMŰVÉNEK PARAMETRIKUS VIZSGÁLATA ÉS OPTIMALIZÁLÁSA.....	38
<i>FÜR BALÁZS^A, PUSZTAI ZOLTÁN^B</i>	
TÖMÖRÍTETT KÉPEK ZAJMENTESÍTÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI AUTOENKÓDER HÁLÓZATOK ALKALMAZÁSÁVAL	49
<i>HOLLÓSI JÁNOS</i>	
EMBERSZERŰ SÁVTARTÓ FUNKCIÓ MEGVALÓSÍTÁSA PROTOTÍPUS JÁRMŰBEN	62
<i>IGNÉCZI GERGŐ FERENC^A, JÓZSA DÁVID^B</i>	
ENERGIAHATÉKONY VERSENYJÁRMŰ HAJTÁSLÁNC ADAPTER TERVEZÉSÉNEK ELŐKÉSZÍTÉSE ...	84
<i>KRE CZ DÁVID</i>	
CSAPÁGYAK VESZTESÉGMÉRÉSE.....	101
<i>LUBINSZKI ZSOMBOR</i>	
MÉLYTANULÁS ALAPÚ JÁRMŰ-LOKALIZÁCIÓS MODELL PARAMÉTEREZÉSE.....	116
<i>MARKÓ NORBERT</i>	
A JÁRMŰVEK ÉS A KÖZLEKEDÉSI INFRASTRUKTÚRA KÖZÖTTI KOMMUNIKÁCIÓ MEGOLDÁSAI ÉS LEHETSÉGES HATÁSAI	124
<i>SALY GÁBOR</i>	
BÓJA-KIHELYEZŐ ROBOT DIAGNOSZTIKAI ADATINAK WEBES MEGJELENÍTÉSE	136
<i>DR. SPEISER FERENC PÉTER</i>	

**TÉMATERÜLETI KIVÁLÓSÁGI PROGRAM 2021 - NEMZETVÉDELEM,
NEMZETBIZTONSÁG ALPROGRAM – KATONAI RENDSZEREK TŰRŐKÉPESSÉGÉNEK
KUTATÁSA A SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEMEN**

UNIVERZÁLIS ADATMODELL ÉS SZERKESZTŐ FELHASZNÁLÓI FELÜLET FEJLESZTÉSE ELLENÁLLÓ FOLYAMATRENDSZEREK TERVEZÉSÉHEZ	150
<i>BERTÓK BOTOND^A, SZENTES BÁLINT^A, MOHÁCSI MIHÁLY^A</i>	
STOP TÁBLA DETEKCIÓ ROBUSTUSSÁGÁNAK NÖVELÉSE A SHELL-ECO MARATHON AUTONOMOUS URBAN CONCEPT VERSENYÉRE	156
<i>DOBAY TAMÁS</i>	
POZÍCIÓ MEGHATÁROZÁS ÉS PONTOSÍTÁS KITERJESZTETT KÁLMÁN-SZŰRŐ ALAPÚ ALGORITMUSOK SEGÍTSÉGÉVEL	163
<i>DR. ENISZ KRISZTIÁN^A, DR. SZALAY ISTVÁN^B, DR. HORVÁTH ERNŐ^C</i>	
IZOLÁLT AKKUMULÁTOR FELÜGYELETI VEZÉRLŐ EGYSÉG FEJLESZTÉSE	175
<i>GULYÁS PÉTER</i>	
KOMPAKT HÁROMFÁZISÚ MOTORVEZÉRLŐ FEJLESZTÉSE ÉS TESZTELÉSE	184
<i>KECSKEMÉTI ISTVÁN^A</i>	
ELOSZTOTT SZÁMÍTÁSI ARCHITEKTÚRA FOLYAMATRENDSZEREK TERVEZÉSÉT TÁMOGATÓ OPTIMALIZÁLÓ ELJÁRÁSOKHOZ.....	192
<i>MOKCSAY ÁDÁM^A, KALAUZ KÁROLY^A, BERTÓK BOTOND^A</i>	
ASZINKRON GÉP LINEÁRIS MÁTRIX EGYENLŐTLENSÉGEN ALAPULÓ ROBUSTUS IRÁNYÍTÁSÁNAK FEJLESZTÉSE	199
<i>NÉMETH ZOLTÁN</i>	
ROBOSZTUS GNSS ADATFELDOLGOZÓ ALGORITMUS FEJLESZTÉSE ENERGIA HATÉKONY VERSENYJÁRMŰ MENETCIKLUS TERVEZÉSÉHEZ	205
<i>SOMOGYI HUBA</i>	
LI-ION AKKUMULÁTOR CSOMAGOK TESZTELÉSI LEHETŐSÉGEI.....	214
<i>SZAKÁLLAS GÁBOR</i>	
GALVANIKUSAN NEM IZOLÁLT NAGYTELJESÍTMÉNYŰ AKKUMULÁTOR LEVÁLASZTÓ RENDSZER FEJLESZTÉSE 48V-OS ELEKTROMOS JÁRMŰVEK RÉSZÉRE	222
<i>SZELI ZOLTÁN</i>	
ALKALMAZOTT MI MEGOLDÁSOK AZ AUTÓIPARI GYÁRTÁSI FOLYAMATOKBAN: SZISZTEMATIKUS SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	235
<i>SZILASSI ÁBEL^A, SUTA ALEX</i>	



TÉMATERÜLETI KIVÁLÓSÁGI PROGRAM 2021

Nemzeti kutatások alprogram – Digitális ipari technológiák kutatása a Széchenyi István Egyetemen

TKP2021-NKTA-48

Támogatási összeg: 990 000 000 Ft

Támogatás mértéke: 100%

A projekt időtartama: 2022.01.01. – 2023.12.31.

Projektismertető:

A Tématerületi Kiválósági Program 2021 projekt célkitűzése a különböző Digitális Ipari Technológiák Kutatása az alábbi területeken:

1. Virtuális valóság alapú rendszerek kutatása
2. Rendszer és irányításelméleti kutatás
3. Kiber-fizikai rendszerekkel kapcsolatos kutatás, IPAR 4.0 gyártástechnológiák kutatása
4. Önvezető járművek validációs módszereivel kapcsolatos kutatás
5. Járműipari tesztpályához kötődő kutatási feladatok
6. Autonóm járművek egyedi és kooperatív irányítását megvalósító rendszerek kutatása
7. Smart és logisztikai rendszer kutatása
8. Digitális technikák alkalmazása anyagtechnológiai kutatásokban
9. BIG DATA rendszerek kutatása
10. Mesterséges intelligencia kutatása

A kutatás során a 3D virtuális rendszerben létrejön a menedzsment támogató alrendszer. A projekt során létrejön a Nissan Leaf kísérleti jármű dinamikai irányítási célú pontosított modellje, illetve megvalósul kiber-fizikai rendszerek segítségével a gyártórendszerek megfigyelhetőségének kialakítása. Az autonóm járművekben megtalálható technológiák algoritmusainak fejlesztéséhez újrakonfigurálható HIL/SIL tesztkörnyezet épül ki. A kutatási időszak során az Autonóm Rendszer tesztelési módszerei jönnek létre. A jármű környezetérzékelésének fejlesztésével a kamera és LIDAR adatok fúziója is megvalósul. Hibrid

push-pull rendszerek tervezéséhez kapcsolódóan megvalósul az On-demand szolgáltatások időbeli összefüggéseinek vizsgálata.

A 3D digitális képelemzési technikák kutatásával kiterjesztjük a képességeket a fémhabok 3D modelljeire és azok szimulációs technikájára. A BIG DATA rendszerekhez kapcsolódóan anomália detektálás területén létrejön a jármű geometriájában az elmozdulásokat kezelő modell. A mesterséges intelligencia alapú döntéstámogató rendszerekben analízis eredmények születnek.

Tesztkörnyezet kialakítása pályakiszolgáló mobilrobothoz

Constructing a Test Environment for a Track Service Mobile Robot

Boros Norbert^a, Kallós Gábor^b

^aSzéchenyi István Egyetem, Felnőttképzési és Kompetenciafejlesztési Központ

boros.norbert@math.sze.hu

^bSzéchenyi István Egyetem, Matematika és Számítástudomány Tanszék

kallos@math.sze.hu

Absztrakt

Ebben a dolgozatban bemutatjuk annak a kutatási projektnek a fő eredményeit, amelynek során az általunk fejlesztett pályakiszolgáló mobilrobothoz egy teszt- és vizualizációs környezetet alakítottunk ki. Ez a környezet a robot trajektória- és mozgástervező moduljához tartozik, az implementáció a Foxglove és Gazebo programok segítségével történt. A kialakításnál az ROS2 ökoszisztémát vettük alapul. Fontos szempont volt az eszközfüggetlenség, hogy a tesztkörnyezet a későbbiekben ne csak az adott (jelenlegi) robothoz legyen felhasználható, hanem egyéb feladatokhoz készített robotok és drónok kiszolgálására is alkalmas legyen.

Kulcsszavak: mozgástervezés, trajektória, vizualizáció, tesztelés, teszt robot digitális iker

Abstract

In this paper, we present the main results of the research project, during which we constructed a test and visualization environment for the track service mobile robot we developed. This environment belongs to the trajectory and movement planning module of the robot, the implementation was done with the help of Foxglove and Gazebo programs. The design was based on the ROS2 ecosystem. Device independence was an important aspect, so that the test environment could not only be used for the given (current) robot in the future but would also be suitable for serving robots and drones made for other tasks.

Keywords: motion planning, trajectory, visualization, testing, test robot digital twin

1. Bevezetés

A robotok és drónok programozása napjainkban kiemelten fontos – alkalmazott mérnöki – kutatási terület. Az itt végzett vizsgálatok, kísérletek során kiemelkedő jelentősége van az algoritmusok **tesztelésének**. Az esetleges hibák előrejelzése, illetve a balesetek elkerülése szempontjából különösen fontosak a tesztek. Ezek lebonyolítására többféle lehetőség kínálkozik, beleértve kisebb tesztrobotok és digitális ikrek alkalmazását.

A teszteléshez hozzátartozik a robotok és drónok szenzor adatainak, valamint az ezen eszközökön futó algoritmusoknak a **vizualizációja** (lényegében: a számszerű adatok képi, látványos megjelenítése). A vizualizáció nemcsak a tesztrobotoknál és digitális ikreknél, hanem az éles alkalmazáskor is nagyon hasznos.

A működés és a tesztek során többféle vizualizáció alkalmazható. Ilyen lehet például az elkészült trajektória térképre illesztése, vagy a mozgástervező algoritmusok (PID, Pure Pursuit, MPC) futási eredményeinek grafikus megjelenítése, vagy akár az algoritmusok paramétereinek beállítási lehetőségének grafikus szemléltetése [1].

A vizualizáció segítségével nemcsak a hibákat lehet kiszűrni, hanem össze is lehet hasonlítani a különböző algoritmusokat, és lehetőség nyílik a legmegfelelőbb eszköz kiválasztására az adott feladat megoldásához.

Korábbi munkákban már bemutattuk az általunk fejlesztett pályakiszolgáló mobilrobotot (bójarakó robot), amely egy érdekes, fontos és újszerű alkalmazás [2], [3] és [4]. A mi jelenlegi célfeladatunk is ehhez a pályakiszolgáló mobilrobothoz kapcsolódik, és a fent bemutatott általános feladat egy részének tekinthető (vizualizációs- és tesztkörnyezet kialakítása a trajektória- és mozgástervező algoritmusok teszteléshez). Tehát egy olyan automatizált kiszolgáló ökoszisztémát (integrált szoftver és hardver rendszer) fejlesztünk ki, amely alkalmas:

- Autonóm módon a tesztpálya igény szerinti kiépítésére, tesztelés utáni lebontására,
- Tesztek intelligens és autonóm dummy-kal való kiszolgálására,
- A pálya ellenőrzésére autonóm földi és légi eszközökkel,
- Teszteléshez adatszolgáltatás nyújtására,
- Hierarchikus, moduláris fejlesztésre.

Megemlítjük, hogy az általunk megcélzott / megvalósított eszközfüggetlenség (hogy a tesztkörnyezet a későbbiekben ne csak a jelenlegi robothoz legyen felhasználható, hanem egyéb feladatokhoz készített robotok és drónok kiszolgálására is alkalmas legyen), nagyon jól illeszkedik a robotok és drónok fejlesztésében, programozásában jelenleg alkalmazott modern trendekhez (kollaboráció) [5, 6].



1. ábra: Bójarakó robot és bóják pakolása (saját szerkesztés)

2. Trajektóriatervező algoritmusok

Bár a trajektória- és a mozgástervezés két különböző logikai szintre helyezhető (hosszabb távú mozgáspálya, útvonal tervezése vs. lokálisan hogyan járjuk be az útvonalat, például az adott szakaszon milyen sebességgel kell haladni), sok fejlesztésnél ezt a két területet mégis együtt kezelik. Nálunk, a pályakiszolgáló mobilrobotnál ez a két funkció külön, jól elkülöníthető modulokként készült el. Ez a megvalósítás számos előnyt kínál. Ezek közül az egyik legfontosabb a csereszavatosság. A moduláris felépítésnek köszönhetően egyszerűen cserélhetők (párosíthatók) a különböző trajektóriatervező algoritmusok a különböző mozgástervező algoritmusokhoz.

Az útvonal készítéséhez több különböző azonos típusú bemenettel és kimenettel rendelkező trajektóriatervező algoritmus készült. Ezeket a(z) – most csak röviden bemutatott – algoritmusokat külön-külön és egymásra építve is lehet alkalmazni [4].

Dijkstra: Gráf alapú kereső algoritmus, amelyet leggyakrabban útvonaltervezésre alkalmaznak. A cél az optimális útvonal megtalálása egy kezdőponttól egy célpontig. Az algoritmus minden csomóponthoz hozzárendel egy költséget, és folyamatosan kiválasztja a legkisebb költségű csomópontot a vizsgálatra. A költségek folyamatosan frissülnek, ahogy az algoritmus halad a gráfon.

A-Star / Hybrid A-Star: Heurisztikus kereső algoritmus, amely útvonaltervezésre szolgál. Kombinálja a Dijkstra algoritmus pontosságát a gyors futási idővel. A csomópontokat feldolgozza egy prioritási sorrend szerint (szomszédok), figyelembe véve az eddigi költségeket és heurisztikus becslést ad a célig vezető költségekről. A kombinált költségek alapján választja ki a következő csomópontot és adja meg a legrövidebb útvonalat.

Dynamic Window Approach (DWA): A robot irányát és a következő csomópontot úgy határozza meg, hogy nem a teljes pályát vizsgálja, hanem egy dinamikus ablakon keresztül minden lépésben előre vizsgál pár lehetséges lépéssorozatot, és az alapján határozza meg a következő csomópontot, hogy melyik lépéssorozattal került a legközelebb a célponthoz a dinamikus ablakban.

Elastic Band: Az elasztikus fonál egy virtuális gumiszalagot helyez a térbe, és ezt feszíti rá a csomópontokra. Ez az algoritmus használható már kész trajektóriák javítására is.

3. Mozgástervező algoritmusok

A mozgástervezésre is több különböző algoritmus használatos. Erről részletes áttekintés olvasható például az [5] irodalomban.

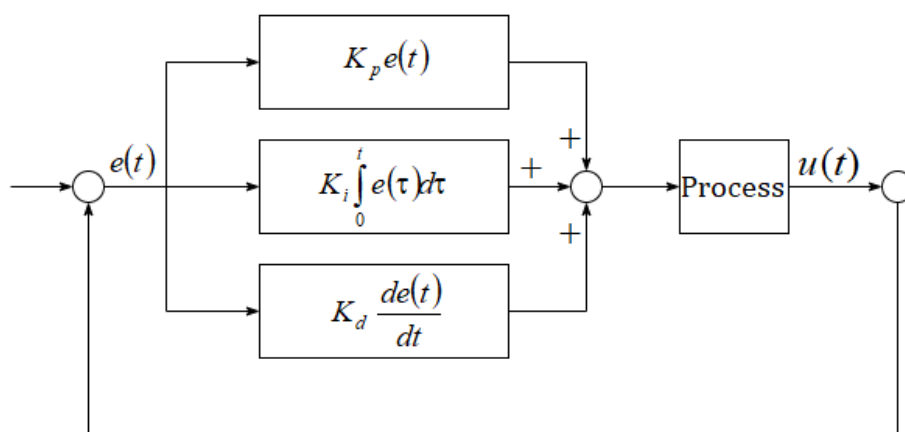
Egyszerű mozgástervezés megvalósítható például szabályozás nélkül (egyszerű lokális mozgásokhoz) vagy bang-bang szabályzóval.

Mi csak a robot első néhány tesztelésénél használtuk ezeket az egyszerű eljárásokat, utána áttértünk a következőkben bemutatott fejlettebb módszerekre.

Pure Pursuit: Egy egyszerű, de hatékony geometriai irányítási módszer a robotika területén. A módszer alapelve a robot pozíciójának és az útvonal geometriájának a folyamatos elemzése. Ez alapján vezeti a robotot a cél felé. A Pure Pursuit módszer kiválóan alkalmazható stabil

környezetekben, ahol az egyszerűség és a hatékonyság kulcsfontosságú szempont. Ezt az algoritmust ki szokták egészíteni PID-del vagy MPC-vel.

PID (Proportional-Integral-Derivative) szabályzó algoritmus: Egy visszacsatolás alapú szabályozási rendszer, ami három fő komponenst tartalmaz: P (arányos), I (integráló) és D (derivatív). Az arányos komponens a jelenlegi hibától függően szabályozza a kimeneti értéket. Az integráló összetevő a múltbeli hibák összegét veszi figyelembe, hogy korrigálja a statikus hibákat. A derivatív komponens a hibaváltozás sebességét veszi figyelembe, ami segít a túllövések vagy gyors változások kiegyenlítésében [7].



2. ábra: PID szabályzó algoritmus (saját szerkesztés)

MPC (Model Predictive Control): Egy előrejelző szabályozási módszer, amely az időben előretekintő modellt használja a rendszer viselkedésének optimalizálására. Az MPC előrejelzést végez a rendszer jövőbeli viselkedéséről. Az előrejelzéseket felhasználja a vezérlési bemenet optimalizálásához, hogy minimalizálja az előre meghatározott költségfüggvényt. Az MPC folyamatosan frissíti az előrejelzést és az irányítási bemenetet, figyelembe véve a rendszer aktuális állapotát és a környezeti változásokat [8].

Az algoritmusokat összehasonlítva kijelenthetjük, hogy a Pure Pursuit viszonylag egyszerű módszer. A PID és az MPC között a legnagyobb különbség, hogy a PID a múlt hibái alapján szabályozza a jelent, az MPC pedig egy jól felépített robot modell segítségével a jövőben (feltételesen, jóslat) bekövetkező hibákat szabályozza a jelenben. Mindkét algoritmusnak vannak erősségei és gyengeségei. A PID egyszerűbb és gyorsabb szabályozási problémákra alkalmas, míg az MPC komplexebb rendszerekhez és időben változó környezethez ajánlott.

A projekteknel általában a Pure Pursuit-tal kezdik a fejlesztést és később azt alakítják át MPC-re. További finomításnál rendszerint az MPC-be még „belecsempésznek” egy kis PID-et is, és vegyítve használják az algoritmusokat. Mi jelenleg ebben a finomítás második szakaszban dolgozunk.

A mozgástervező algoritmusoknál fontos a robotmodell kialakítása, a szabályozáshoz szükséges paraméterek beállítása. Ezeket a feladatokat támogatja a tervezett mozgás vizualizációja, ami segíti az optimalizációt, azaz a feladathoz legmegfelelőbb algoritmus kiválasztását. Az optimalizációnál a két legfontosabb paraméter az idő és a pontosság, hogy a robot mennyi idő alatt tudja lekövetni az adott mozgással a tervezett trajektóriát és mennyire pontosan érkezik a különböző célpontokra.

A robot sebessége mellett fontos szempont az algoritmus futásának ideje is.

A különböző tesztek és az esetlegesen felmerülő problémák esetén fontos a manuális beavatkozás lehetősége is, ezért olyan vizualizációs csomagot érdemes készíteni, ami nemcsak megjeleníteni tudja az adatokat, hanem küldeni is tud parancsokat és adatokat a robot irányába.

4. Tesztelés és vizualizáció

Ahogy fent említettük, a trajektória- és mozgástervezés során a vizualizáció rendkívül fontos szerepet játszik a tesztelési folyamatban.

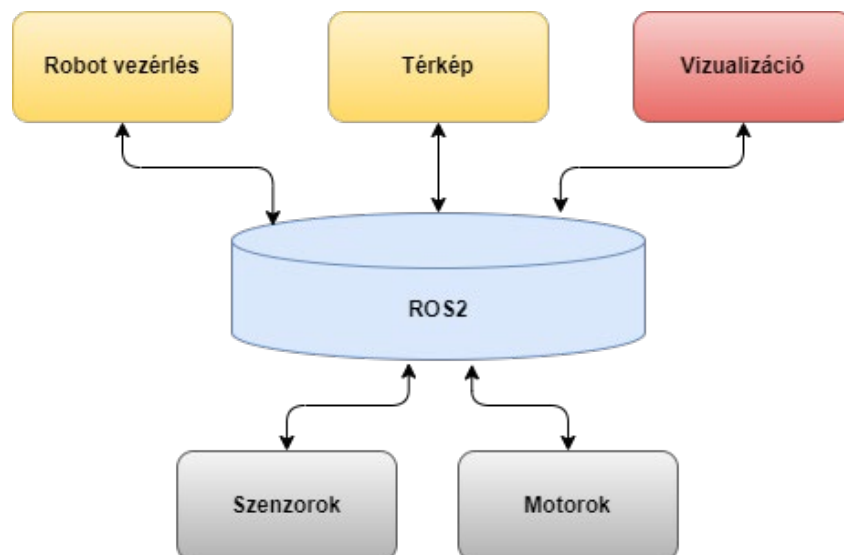
A vizualizáció lehetővé teszi, hogy valós időben követhető és kiértékelhető legyen a robotmozgás, valamint tesztelni lehessen még az éles futás előtt a tervezett trajektóriát. A vizualizációval lépésenként is lehet elemezni a program végrehajtását. Ezáltal könnyebben azonosíthatók és javíthatók a hibák, illetve az anomáliák a programban.

A vizualizáció segítségével egyértelműen megjeleníthetővé válnak a különböző szenzoradatok (IMU, GNSS, kamera, odometria stb.), ami segíti a további fejlesztést és tesztelést.

A vizualizáció emellett az optimalizálásban is hasznos segítséget nyújt, segít megtervezni és kiválasztani az adott feladathoz legmegfelelőbb trajektória- és mozgástervező algoritmust.

Ha interaktív vizualizációt használunk, akkor az adatok megjelenítése mellett lehetőség nyílik a program futásába való beavatkozásba, és így adatok küldhetők a rendszernek.

A pályakiszolgáló mobilrobot teljes programját az ROS2 ökoszisztémába illesztettük moduláris felépítéssel. Az ROS2 logika hatékonyan segíti a tesztelést és a vizualizációt [9].



3. ábra: A pályakiszolgáló mobilrobot trajektória- és mozgástervező rendszere (saját szerkesztés)

Több különböző ROS2 kompatibilis vizualizációs platform is létezik, például az RViz vagy a Foxglove Studio [1]. Mi a vizualizációs modulhoz az utóbbit választottuk.

A Foxglove környezet támogatja a *topic*, *service* és az *action* üzenetek küldését az ROS2 node-okon, ezáltal lehetőség van az adatok megjelenítésére és a különböző paraméterek beállítására a program futása során.

A *topic* egy publikáló-feliratkozó (publish-subscribe) kommunikációs módszer, amelyet eseményalapú adatáramlásra, folyamatos adatküldésre használnak. Egy node publikál egy adott topic-ra vonatkozó üzenetet, és más node-ok feliratkoznak erre a topic-ra (hogy megkapják az üzeneteket). Az üzeneteket minden feliratkozó megkapja. Egy adott topic-on azonos típusú üzenetek futhatnak. Mi olyan szenzoradatokat szoktunk a topic-on keresztül küldeni, amire folyamatosan, valós időben szükség van, például GNSS, IMU.

A szervíz (*service*) egy szinkron kommunikációs módszer, ahol egy node kínál egy szolgáltatást, és egy másik node ezt a szolgáltatást kérheti. Ez egy kérdés-válasz típusú kommunikációt jelent, ahol a „kliens” node elküld egy kérést a „szerver” node-nak és az erre válaszol. Ez nem folyamatos adatküldés, hanem kérés alapú. Azért érdemes ilyet is használni, hogy ne terheljük folyamatosan felesleges üzenetekkel a hálózatot. Ilyen lehet például az akkumulátor adat lekérdezése vagy a különböző szabályzók paramétereinek beállítása.

Az action lehetővé teszi egy hosszabb ideig tartó, akár több lépésből álló feladat kezelését, és lehetőséget ad a folyamatállapot folyamatos visszajelzésére. Az action alapvetően egy előre definiált cselekvéssorozatot reprezentál, amelyet egy node kérhet egy másik node-tól, és a végrehajtás közben jelentéseket kaphat a folyamat állapotáról.

/NavSatFix							
header	status	latitude	longitude	altitude	position_covariance	position_covariance_type	
☐	Object	Object	46.881152005826074	16.83924450021938	0	Object	0
<< < Page 1 of 1 > >> Show 30 ▾							

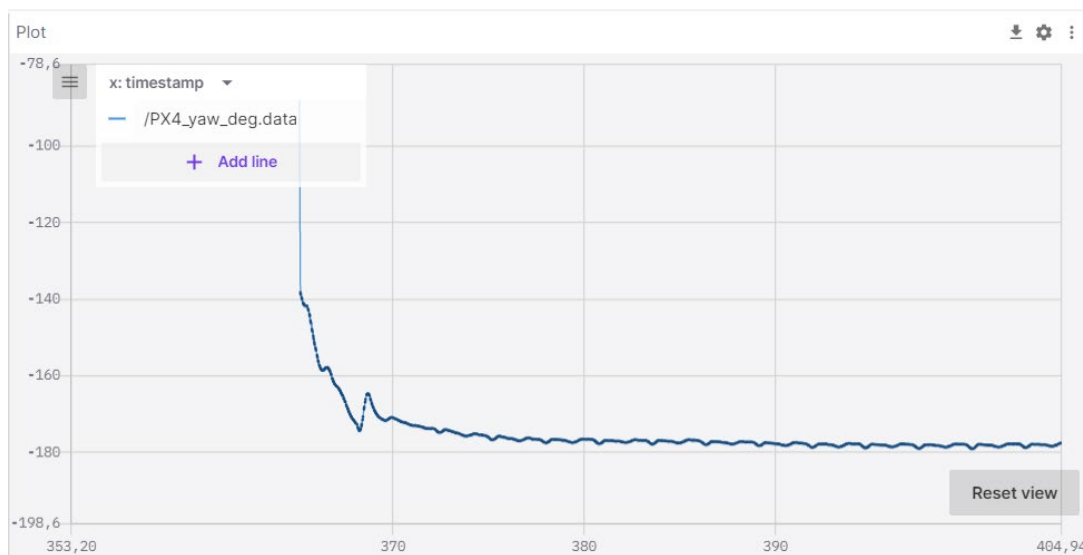
/PX4_pose.position		
x	y	z
☐	640137.8366308531	5193599.204090793
<< < Page 1 of 1 > >> Show 30 ▾		

/PX4_yaw_deg	
data	
☐	-176.50856018066406
<< < Page 1 of 1 > >> Show 30 ▾	

/PX4_GNSS_RTK_TYPE	
data	
☐	RTK_FIXED
<< < Page 1 of 1 > >> Show 30 ▾	

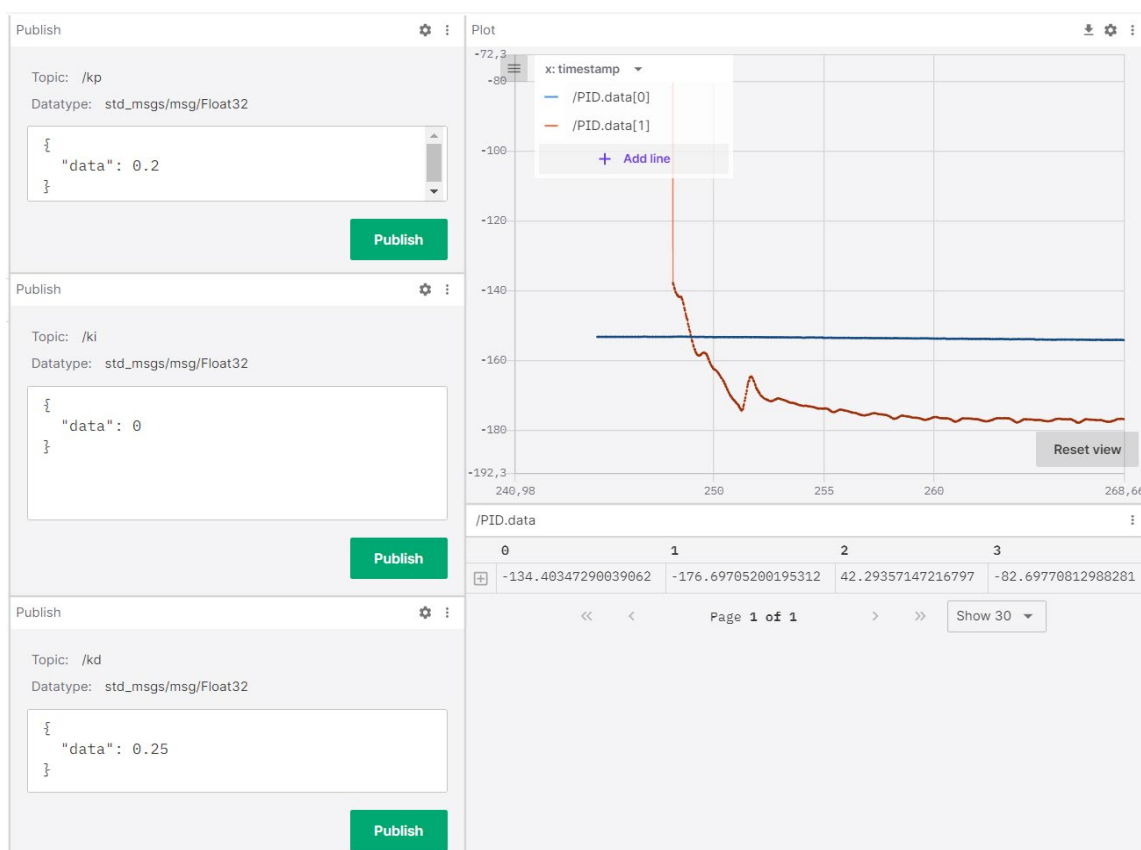
4. ábra: Foxglove Studio szenzor adatok (saját szerkesztés)

A 4. ábrán a Foxglove Studio szenzor adatokat látjuk egy teszt során. Megnézhetjük például, hogy mit mér a GNSS (pose, hol vagyunk) és látjuk az IMU adatokat (yaw_deg, orientáció fokban). Ebből hiba esetén tudunk következtetni, hogy a szenzor adatokkal vagy az algoritmussal van-e probléma. Az adatok közül kiemelten fontos a legalsó, az RTK állapot (az RTK fix állapotban 1-2 cm pontossággal megkapjuk a GPS koordinátákat, ami számunkra fontos a jelenlegi projektben).



5. ábra: Foxglove Studio adat vizualizáció – orientáció fokban (saját szerkesztés)

A Foxglove Studio platformon térképen is látunk mindent (a teszt közben). Esetünkben meg tudjuk jeleníteni a célpontot (azaz a bójázandó területet), és láthatjuk, ahogy a robot közelít a cél felé.



6. ábra: Foxglove Studio mozgástervező paraméterek beállítása (saját szerkesztés)

A 6. ábra azt mutatja, hogy a FoxGlove Studio-ban kialakított vizualizációs modulból küldeni is tudunk adatokat a rendszernek. Ez azért fontos, mert szükség esetén így a robot futása közben módosíthatjuk a különböző mozgástervező algoritmusok (PID, MPC, Pure Pursuit) paramétereit. A képen a PID paramétereit láthatóak.

5. Tesztelés tesztrobotokkal

A vizualizáció mellett fontos a valós tesztelés is még az éles robotfutás előtt. Ehhez az igazi robot védelme érdekében tesztrobotokat használhatunk.

Itt fontos az, hogy ugyanazt a környezetet alakítsuk ki, mint a valós robot esetében. A pályakiszolgáló mobilrobot tesztelő párként a Husarion ROSbot 2 pro-t választottuk. A választást az indokolta, hogy ez támogatja a ROS2 Foxy-t (amit a „nagy” roboton is használni fogunk), tehát ugyanazt a szoftverkörnyezetet ki lehet rajta alakítani, mint a bójarakó roboton. A ROSbotnál „csak” a motorokat és a kerekeket használjuk a szenzor adatok feldolgozásához. Itt saját implementációjú ROS node-ok készültek, a ROSbotra felszerelt (a nagy robotnál is használt) szenzorok segítségével. A ROSboton tehát olyan ROS2 ökoszisztémát alakítottunk ki, amely teljesen megegyezik a pályakiszolgáló mobilrobotéval.

Bár a tesztrobotokat hardver és szoftver tesztelésére is alkalmazzák, a pályakiszolgáló mobilrobotnál mi a ROSbotot elsődlegesen a szoftverek, a trajektória és mozgástervező algoritmusok ellenőrzésére alkalmazzuk. A tesztrobotoknak fontos szerepük van a valós események ellenőrzésében, a rendszer tesztelésében, az algoritmusok optimalizálásában. Ezáltal növekszik a „nagy” robot biztonsága a valós környezetben.



7. ábra: Pixhawk drónvezérlővel és GNSS roverrel felszerelt ROSbot (saját szerkesztés)

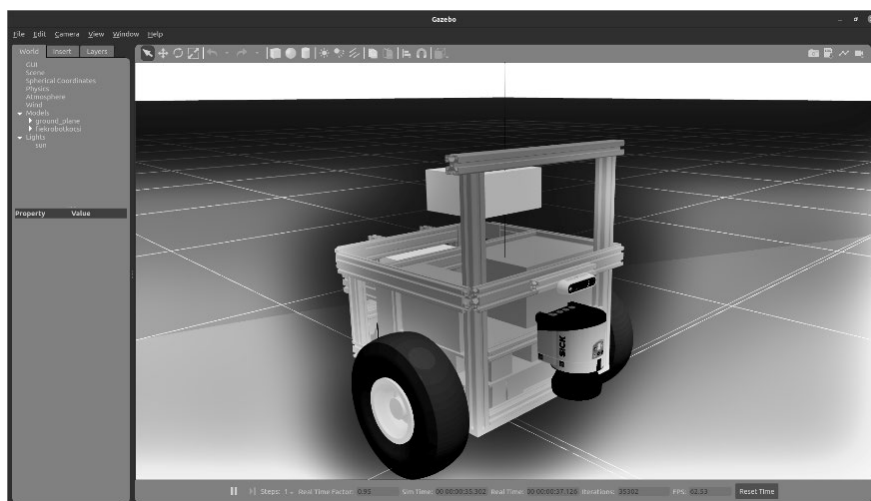
6. Tesztelés digitális ikrekkel

A tesztrobotok mellett másik lehetőséget ad a tesztelésre a digitális iker használata. A digitális ikrek olyan virtuális reprezentációk, amelyek valós objektumokat, rendszereket és azok folyamatait ábrázolják a digitális térben. Ezek a reprezentációk nem csupán szimulációk, hanem fizikai és kinematikai tulajdonságaikban is megegyeznek a valós objektumokkal (pontos másolatok). Ennek következtében fizikai tulajdonságaik, mozgásuk és viselkedésük is azonos a valós „szülővel”.

A digitális ikrek alkalmazása lehetővé teszi a tervezők és mérnökök számára, hogy virtuális környezetben vizsgálják és optimalizálják a valós rendszerek teljesítményét, még mielőtt azokon az elkészült algoritmusokat lefuttatnák. Ezáltal a digitális ikrek átfogóbb és részletesebb információkat szolgáltatnak, amelyek segítenek a tervezési folyamatok hatékonyságának növelésében.

A pályakiszolgáló mobilrobothoz Gazebo-ban készült a digitális iker. A Gazebo nagy előnye a pályakiszolgáló mobilrobot fejlesztése során, hogy támogatja a ROS2-t. A robot paramétereit egy UDF modellben (xml fájlban) lehet elkészíteni, ebben megadhatóak a robot fizikai és kinematikai tulajdonságai is (méret, tömeg; illetve sebesség, gyorsulás). A modellhez egyaránt hozzá lehet adni az aktuátorokat és a szenzorokat is.

A Gazebo segítségével nem csak a készülő algoritmusokat lehet előre letesztelni, hanem az éles robotfutások során készített rosbag-eket (minden ROS2 node-ot tartalmazó naplót) is újra lehet játszani a segítségével.



8. ábra: Gazebo modell (saját szerkesztés)

7. Összegzés

Fenti munkánk eredményeit röviden összefoglalva elmondhatjuk, hogy a tesztkörnyezet kialakítása és a vizualizáció megvalósítása már jelenleg is sikeresnek tekinthető, azzal a megjegyzéssel, hogy a mozgástervező algoritmusok fejlesztése alap- és közepes szinten már megvalósult, finomításukat még folytatjuk.

Célunk a továbbiakban az, hogy – ahogy korábban is megfogalmaztuk [10] – a „nagy” robot képes legyen a tesztpályán a bóják lepakolására és összeszedésére. Távlati célunk – szintén a korábban megfogalmazottak szerint – egy együttműködő robot-drón flotta kialakítása, a terület bejárása, felderítése és az oda nem illő eszközök összegyűjtése céljából.

8. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NKTA-48 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] U. Stojanovic, S. Stefanovic, F. Goran, A. Rikalo, Analysis of protocols used for visualization in automotive industry, in: *2023 Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC)*, 2023, pp. 34–38.
- [2.] C. Hajdu, N. Boros, Á. Ballagi, Development of track-building mobile robot based on cognitive-inspired motion planning architecture, *Proc. 12th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications CogInfoCom 2021*, Győr, pp. 781–786.
- [3.] R. Krecht, Á. Ballagi, Tesztpálya kiszolgálására alkalmas autonóm robotplatform gépészeti tervezése, in: *Mobilitás és Környezet Konferencia*, Győr, 2022, pp. 220–232.
- [4.] N. Boros, G. Kallós, Á. Ballagi, Implementation of Trajectory Planning Algorithms for Track Serving Mobile Robot in ROS 2 Ecosystem, *Tehnicki Vjesnik-Technical Gazette* 30, 2023, pp. 1020–1028.

- [5.] B. Siciliano, O. Khatib, *Springer Handbook of Robotics*, Springer Verlag, New York, 2016, 2228 p.
- [6.] G. Fragapane, R. de Koster, F. Sgarbossa, J. O. Strandhagen, Planning and control of autonomous mobile robots for intralogistics: Literature review and research agenda, *European Journal of Operational Research*, 294(2), 2021, pp. 405–426.
- [7.] M. Johnson, M. Moradi (eds.), *PID Control: New Identification and Design Methods*, Springer Verlag, New York, 2006, 544 p.
- [8.] A. Sakai, D. Ingram, J. Dinius, K. Chawla et al., PythonRobotics: a Python code collection of robotics algorithms, *arXiv Preprint*, 1808.10703, 2018.
- [9.] Y. Maruyama, S. Kato, T. Azumi, “Exploring the performance of ROS2”, in: *Proceedings of the 13th ACM SIGBED International Conference on Embedded Software (EMSOFT)*, 2016, pp. 1–10.
- [10.] N. Boros, Á. Ballagi, G. Kallós, Mozgástervező algoritmusok implementálása pályakiszolgáló mobilrobothoz, in: *Mesterséges Intelligencia a mobilitásban Konferencia*, Győr, 2022, pp. 122–136.

Az autonóm járművek kommunikációs módszerei a gyalogosokkal

Communications methods of autonomous vehicles with pedestrians

Csikor Dániel

Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

csikor.daniel@ga.sze.hu

Absztrakt

Az autonóm járművek műszaki fejlesztéseinek gyors előrehaladásával fontos megvizsgálni a gyalogosok helyzetét a közlekedési rendszerben. Kutatások alapján és saját tapasztalatok alapján is elmondható, hogy a gyalogosok, kerékpárosok nagyobb biztonságban érzik magukat, ha a járművezetővel nonverbális vagy szóbeli kommunikáció útján kapcsolatot tudnak létesíteni, hiszen így meggyőződhetnek arról, hogy egy adott közlekedési szituációban megadta a járművezető a gyalogos részére az elsőbbséget, mondjuk egy gyalogátkelőhelyen. Az autonóm jármű utasaira nem bízhatjuk ezen feladatokat, hiszen automatizált közlekedés esetén az utasoknak nem lehet kötelessége a jármű környezetének folyamatos figyelemmel kísérése. A technológia kifejlesztésével éppen az a cél, hogy egyrészt jelentősen javulni tudjon a közlekedésbiztonság, másrészt az emberek az utazási időt hatékonyabban tudják eltölteni. Olyan kommunikációs módszer meghatározása elengedhetetlen, amely minden közlekedő részére könnyen értelmezhető, gyorsan átlátható, illetve különböző korú, nemzetiségű és kulturális közösségekben élő és eltérő hagyományokkal rendelkező országokból érkezők számára is azonos jelentéstartalommal rendelkezik a jelzés, üzenet. A gyalogosokkal való kommunikáció megteremtésére több megközelítés is van jelenleg, melyek közül a leghatékonyabb és legbiztonságosabb megoldás megtalálása, kiválasztása fontos kutatási terület. A kutatás keretében ezen alternatívákat tekintettem át, elemeztem, vizsgáltam meg az előnyös és hátrányos tulajdonságaikat, továbbá összehasonlítottam az egyes megközelítési módokat. A kommunikációs panel típusa, a szöveg színe vagy éppen az ábra, piktogram színe és formája mind-mind meghatározó tényezők.

Kulcsszavak: autonóm jármű, kommunikáció, veszélyeztetett úthasználók

Abstract

With the rapid advances in the technology of autonomous vehicles, it is important to examine the position of pedestrians in the transport system. Based on research and personal experience, pedestrians and cyclists feel safer if they can communicate with the driver through non-verbal or verbal communication, as this allows them to verify that the driver has given the pedestrian the right of way in a given traffic situation, for example at a pedestrian crossing. The passengers of an autonomous vehicle cannot be entrusted with these tasks, since in the case of automated transport, the passengers cannot be obliged to monitor the vehicle's surroundings at all times. The aim of developing this technology is precisely to improve road safety significantly and to enable people to spend their travel time more efficiently. It is essential to define a method of communication that is easy for all road users to understand, that is quickly transparent and that has the same meaning for people of different ages, nationalities, cultures and traditions. There are currently several approaches to pedestrian communication, of which finding and selecting the most effective and safest solution is an important area of research. In this research, these alternatives are reviewed, analysed, their advantages and disadvantages are examined and the approaches are compared. The type of communication panel, the colour of the text or even the colour and shape of the illustration or pictogram are all determining factors.

Keywords: *autonomous vehicle, communication, vulnerable road users*

1. Bevezetés

Napjainkban az autóipar egyik legfontosabb és talán legnagyobb kihívást jelentő feladata az autonóm járművek kutatásfejlesztése. Az utóbbi években sorra jelentek meg a legkülönbözőbb vezetéstámogató rendszerek, többek között az automata vészfékező, a holtterfigyelő, a sávtartó automatika, az adaptív távolságtartó, a táblafelismerő rendszer, melyek mind-mind olyan vezetést segítő berendezések, amelyek fontos alapjául szolgálnak az önvezető közlekedési eszközök megjelenéséhez. A tudomány fejlődésével számos kérdés merül fel az autonóm gépjárművek létjogosultságával kapcsolatban, de ez többnyire abból a bizonytalanságból fakad, hogy jelenleg nincsenek megnyugtató válaszok és egységesen elfogadott szabályozás a megfogalmazódó jogi, etikai, adatvédelmi és járműbiztosítási kérdésekre. A másik kulcsfontosságú kérdés a gyalogosok balesetmentes közlekedésének biztosítása. Jelenleg a gyalogosok könnyedén kapcsolatot teremthetnek a gépjárművezetőkkel, akár kézjelekkel vagy szemkontaktus útján. Ebben az esetben biztonsággal meggyőződhetnek a járművezető tervezett útirányáról, döntéseiről, céljairól. Autonóm járműveknél ez korántsem lesz ennyire egyértelmű, az önvezető rendszereknek információkat szükséges majd küldenie a gyalogosok részére. Az autonóm gépkocsik megjelenéséig erre a kérdéskörre is mindenképpen ki kell dolgozni a leghatékosabb megoldást. Egy dolog viszont biztos, a világon évente hozzávetőlegesen 1,3 millióan halnak meg az utakon és 20 000 000-nál is több közlekedési baleset történik. [14] Nagyon ígéretes jövő áll előttünk. A fejlett szenzoroknak köszönhetően a modern gépjárművek segítik a járművezetőket az ütközések elkerülésében és csökkentik a súlyos sérüléssel vagy halállal végződő közlekedési baleseteket. A halálos karambolok 90-94 százaléka az emberi hiba miatt következik be, ezért a vezetéstámogató eszközök elterjedésével jelentős javulás fog bekövetkezni a közlekedésbiztonságban.

Való igaz számos kihívással néz szembe a világ az autonóm gépjárművek megjelenéséig – a technológiai problémák megoldása mellett többek között a társadalmi megosztottság, a felelősségi körök bizonytalansága, a kiforratlan technológiától és a hekkertámadástól való félelem mind-mind megoldandó probléma. Sok nehéz döntést kell meghozni, de az akadályok leküzdésével egy várhatóan kimagaslóan biztonságosabb közlekedés fog megvalósulni, ennek köszönhetően pedig mind a gyalogosok, kerékpárosok mind pedig a motorosok és az autósok nyugodtabban végezhetik majd napi rutinjaikat a közterületeken. Fontos az előrelátás és a járművek teljeskörű felkészítése a legkülönbözőbb forgalmi helyzetekre, de az évek, évtizedek

alatt kitartó kutatómunkával kifejlesztett biztonsági rendszerekkel emberek életét menthetjük meg a közúti közlekedés során, ami minden fáradságot, pénzt és időt megér.

2. Autonóm járművek tervezett döntéseinek meghatározásának nehézségei a gyalogosok szemszögéből adott közlekedési szituációban

Az autonóm járművek műszaki fejlesztéseinek gyors előrehaladásával fontos megvizsgálni a gyalogosok helyzetét a közlekedési rendszerben. Kutatások alapján és saját tapasztalatok alapján is elmondható, hogy a gyalogosok, kerékpárosok nagyobb biztonságban érzik magukat, ha a járművezetővel nonverbális vagy szóbeli kommunikáció útján kapcsolatot tudnak létesíteni, hiszen így meggyőződhetnek arról, hogy egy adott közlekedési szituációban megadta a járművezető a gyalogos részére az elsőbbséget, mondjuk egy gyalogátkelőhelyen. A járművek sebességét vagy éppen gyorsulását/lassulását egy külső szemlélő (gyalogos) számára nem mindig egyszerű meghatározni, így nagyban elősegíti a balesetmentes közlekedést a napjainkban alkalmazott és jól bevált kézjelzések, bólintások, tehát a járművezetővel való kapcsolatfelvétel. Különösen azokban a közlekedési helyzetekben nélkülözhetetlen a szemkontaktus vagy a távolsági fényszórókkal való villantás általi kommunikáció, ahol nincsen a gyalogosok közlekedését segítő közlekedési lámpa vagy gyalogátkelőhely. Az autonóm jármű utasaira nem bízhatjuk ezen feladatokat, hiszen automatizált közlekedés esetén az utasoknak nem lehet kötelessége a jármű környezetének folyamatos figyelemmel kísérése. A technológia kifejlesztésével éppen az a cél, hogy egyrészt jelentősen javulni tudjon a közlekedésbiztonság, másrészt az emberek az utazási időt hatékonyabban tudják eltölteni. Értelemszerűen teljesen autonóm üzemmód esetén, amikor már a biztonsági járművezető/felügyelő megléte sem lesz kötelező és indokolt a járműben, akkor a kommunikációnak a fenti megközelítés szerinti kialakítására nincsen lehetőség. A gyalogosoknak, kerékpárosoknak a járművezetővel való információcsere hiányában viszont csak a közlekedő jármű sebességének, távolságának, illetve további járműdinamikai jellemzők becslésével lenne lehetősége eldönteni, hogy mikor tudnak biztonságban átkelni az úttesten. Ebben a meghatározási módszerben viszont mindenkor lesz egy bizonytalansági tényező, kétértelműség, éppen ennek elősegítésére mindenképpen indokolt egy kommunikációs rendszer kialakítása az önvezető járművek és veszélyeztetett úthasználók között. [1, 5, 9-11, 15]

Kísérleti autonóm tesztautók jelenleg is közlekednek, azonban a teljes mértékben önvezető rendszerek közúti forgalomban történő engedélyezéséhez és a gépkocsik márkakereskedésekben történő értékesítéséhez, a jogszabályi feltételek kialakításához szükséges lesz kidolgozni egy egységes kommunikációs eljárást az autonóm járművek és a gyalogosok, kerékpárosok közötti kommunikációra. A technológia nagyban növelné a gyalogosok biztonságérzetét, akár már a jelenlegi vezetéstámogató rendszerekkel szemben is. Olyan módszer meghatározása elengedhetetlen, amely minden közlekedő részére könnyen értelmezhető, gyorsan átlátható, illetve különböző korú, nemzetiségű és kulturális közösségekben élő és eltérő hagyományokkal rendelkező országokból érkezők számára is azonos jelentéstartalommal rendelkezik a jelzés, üzenet. Ez kiemelt jelentőségű hiszen a közlekedésben nagyon sok különböző személyiség közlekedik, akik mindegyike más élethelyzetből, országból érkezett és egy adott jelzés alatt mindenkinek ugyanazt kell értenie. Annak érdekében, hogy minden gyalogos biztonsággal el tudja dönteni, hogy átkelhet-e az úttesten, valamint az autonóm jármű megbízonyosodott az ember jelenlétéről a kereszteződésben külső kommunikációs egységre van szükség. [3, 6, 7, 11, 12]

A parkolási műveletek megkezdésekor az irány és a folyamat pontos végrehajtásának lépései sok esetben nem egyértelműen meghatározhatóak, így a közlekedőknek – külön tájékoztatás hiányában – nincsen információjuk az autonóm jármű tervezett döntéseiről. A parkolóban, parkolóházakban való balesetek szintén elkerülhetők lennének egy a járműre szerelt kommunikációs egységgel, melynek köszönhetően jelzéseket tudna küldeni a gépkocsi a közelében tartózkodók számára. [5, 9, 10]

Az autonóm járművekkel kapcsolatban számos tisztázatlan kérdés van jelenleg is, melyekre választ kell találni az önvezető technológia piaci bevezetéséig. A felelősségi és adatvédelmi tématerületek mellett fontos a fenti fejezetben is részletezett erkölcsi kérdések tisztázása. A hálózatba kapcsolt autók esetében pedig a hekkertámadások megelőzésére kell szoftveres, biztonsági protokollokat kidolgozni, hogy kiszűrhetők legyenek a rendszeren keresztül szándékosan küldött téves adatok. A kérdések fényében érthető, hogy napjainkban a legtöbb emberben van egy alapvető bizalmatlanság ezen autonóm járműirányító algoritmusokkal kapcsolatban. Az önvezető technológiákba vetett bizalom növelésének egyik jelentős lépése lehetne a gyalogosok és az autonóm üzemmódban közlekedő gép közötti kommunikációra egy megbízható eszköz megtalálása, illetve eljárásrend kidolgozása. [6, 7]

Rendkívül fontos tehát, hogy az autonóm járművek megjelenésével ki tudjon alakulni egyfajta kommunikációs csatorna a gyalogosokkal, mert akkor elkerülhetők lennének a figyelmetlenségből vagy az információ hiányából bekövetkező balesetek. Az önvezető rendszerek sem tudják a fizika határait túllépni, így ezen technológiák sem fognak tudni minden esetben időben beavatkozni, megakadályozva ezzel a baleset bekövetkezését. Jelenleg is fejlesztés alatt van az a V2X kommunikációs technológia, mely által az önvezető gépkocsik információkat kapnak majd a többi járműtől, illetve az infrastruktúrától. A gyalogosokkal, kerékpárosokkal való kommunikációs módszer kialakításával pedig elérhető lesz, hogy az autonóm autó nemcsak a többi önvezető járműtől fog tájékoztatást kapni, hanem a gyalogosok, kerékpárosok vagy kezdetben a hagyományos gépjárművek vezetői is időben értesülni fognak az autonóm gépkocsi tervezett döntéseiről. [4]

A gyalogosokkal való kommunikáció megteremtésére több megközelítés is van jelenleg, melyek közül a leghatékonyabb és legbiztonságosabb megoldás megtalálása, kiválasztása fontos kutatási terület. Egy külső kommunikációs panel jó alternatív eszköz lehetne a korábban megszokott járművezető és gyalogos közötti kézjelek, szóbeli kommunikáció helyettesítésére. Napjainkban az alábbi elképzelések vannak, mely rendszerek a következő fejezetben bemutatásra kerülnek: piktogramok és ábrák alkalmazása, fénycsík vagy lámpa használata a járműveken, illetve LED panel segítségével szöveges üzenetek eljuttatása a többi közlekedő részére. A szöveg típusa, színe, mintázata vagy az ábra mérete, színe egyaránt befolyásolja a jelzés hatékonyságát a gyalogos felé. Manapság azonban még nincs egységes álláspont melyik típusú rendszer jelentheti a legjobb megoldást az említett problémákra. Természetesen, mint az élet minden területén itt sem lehet kialakítani, olyan módszert, amely mindenki számára a legjobb, viszont fontos megtalálni azt a rendszert, amely mindenki számára azonosan értelmezhető és összetéveszthetetlen. Az üzenetek közvetítésére alkalmazott eszközzel szemben fontos követelmény, hogy az időjárási körülmények ne akadályozzák annak használhatóságát és működését. Az ábrának vagy szövegnek erős napsütésben, illetve esőben is jól olvashatónak kell lennie, azonban nem zavarhatja a többi autonóm jármű környezetérzékelőit, valamint kezdetben a hagyományos járművezetőket. A konstrukció tervezése során az üzembiztosság az elsődleges szempont, hogy zord időjárási feltételek esetén is megbízható tájékoztatást adjon a közlekedőknek. [2, 5, 9, 11, 15]

A kommunikációs egység típusa mellett szintén kutatott tématerület, hogy a panelen milyen adatokat, információkat és milyen módon szükséges megjeleníteni, hogy biztosítsa a technológia a jármű közelében tartózkodók balesetmentes közlekedését, illetve gyalogosok és kerékpárosok biztonságos áthaladását az autonóm módban haladó jármű előtt és mögött. [11]

Az információk alapvetően 4 csoportba sorolhatók [11]:

- 1) A gépkocsi haladási állapotára vonatkozó tulajdonságok;
- 2) A járműirányító algoritmus tervezett döntéseire, szándékaira vonatkozó jellemzők;
- 3) Az autonóm autó környezetérzékelésével kapcsolatos adatok, mely során arról adna információt a rendszer valamilyen módszer segítségével, hogy mely objektumokat, embereket detektáltak sikeresen a szenzorok, így a közlekedők tisztában lennének vele, hogy az önvezető jármű felismerte-e őket;
- 4) Az automatizált gépkocsi együttműködési sajátosságai a veszélyeztetett úthasználókkal.

3. Az autonóm járművek kommunikációs módszerei a gyalogosokkal

3.1 Piktogramok, ábrák alkalmazása

Az ábrák segítségével történő tájékoztatásnak az egyik elsődleges és talán leglényegesebb előnye a szöveges üzenetekkel szemben, hogy nem befolyásolja az információátadás hatékonyságát a gyalogosok, kerékpárosok által beszélt nyelv, mint a szöveg általi kommunikáció esetében. Az autonóm járművek a beágyazott mikroprocesszornak és különböző szoftveres algoritmusok segítségével gyakorlatilag bármilyen nyelven képesek lennének információt kiírni, viszont az adott helyzetben alkalmazott nyelv meghatározása nem egyértelműen eldönthető. Értelmszerűen akkora felületet nem lehet kialakítani, hogy mondjuk kettőnél több nyelven írjon ki üzenetet, viszont bármilyen országban is halad a gépkocsi, minden esetben lehetnek olyan személyek az adott közlekedési szituációban, akik nem beszélnek az adott ország nyelvét, így nem értik meg az üzenetet, ami baleset bekövetkezéséhez vezethetne. [6, 9-11, 15]

A piktogramok másik nagy előnye, hogy a jelenlegi közlekedésben is alkalmazott módszer, hiszen egy adott kereszteződés, útszakasz közúti forgalmát közlekedési táblák segítségével szabályozzák. Autonóm közlekedés során is nagyon sok esetben alkalmazhatóak lennének a már megszokott közlekedési táblák, viszont mindenképpen indokolt lesz új ábrák bevezetése is, amennyiben piktogramok segítségével fognak az önvezető gépkocsik kommunikálni a gyalogosokkal. Fontos megemlíteni, hogy az ábrák nagyobb távolságból is jobban láthatóak, értelmezhetőek – rosszabb időjárási körülmények között is – mint a szöveges üzenetek. [7, 11, 12]

Az ikonok hátrányának tekinthető, hogy az első néhány alkalommal az ábra jelentésének meghatározása több időt vesz igénybe és nagyobb a félreértés valószínűsége, mint szöveges üzenetek esetében. A megértést nehezítheti, hogy a különböző korú férfiaknak és nőknek mást-mást jelenthet egy adott piktogram. Az azonosítást természetesen befolyásolja, hogy a megjelenített ábra mennyire sokatmondó, tehát, hogy szó szerint értelmezhető-e, például mint a benzinkút azonosító táblája. Az értelmezést elősegítheti, ha a piktogram kiegészítésre kerül egy rövidebb szöveges információval, mely megkönnyíti az adott tájékoztatás értelmezését. Megkönnyítheti az ikonok jelentésének megtanulását, ha a hagyományos közúti közlekedést szabályozó jelzéseken, táblákon napjainkban is alkalmazott képi írásjelek és azokhoz nagyon hasonló formák kerülnének implementálásra az autonóm járműveken is. A bevett ábrák használata mellett a korábban az adott jelzésekhez kapcsolt színek megtartása is a látott jelzés értelmezését segíti elő. [4, 7, 10-12]



1. ábra: Piktogram általi kommunikációs lehetőség¹

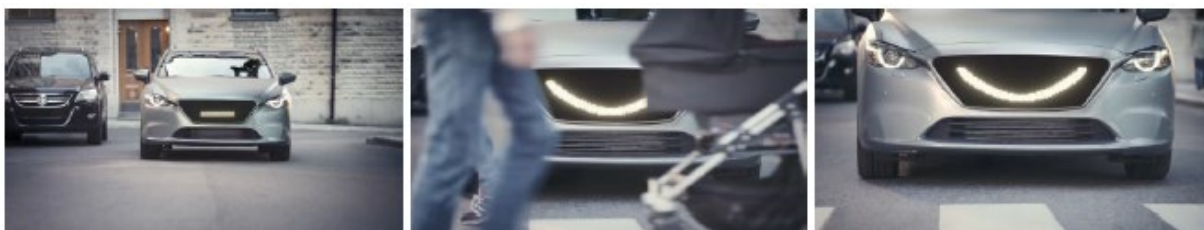
Az 1. ábra egy az autonóm módban közlekedő jármű oldalán megjeleníthető ikont mutat be. Jelen kép esetében az autó arról tájékoztatja a környezetében lévő gyalogosokat, hogy ne

¹ Urmson, C. P., Mahon, I. J., Dolgov, D. A., & Zhu, J. (2015). *Pedestrian notifications* (Patent No. US8954252B1). US Patent Office

sétáljanak a gépkocsi elé. Hasznos figyelmeztetés lehet, ha például féktávolságon belül lépnének le az autó elé vagy nem számolnak a csúszós útfelülettel, viszont az autonóm jármű erről pontos adatokkal fog rendelkezni. A gépkocsi oldalán elhelyezett tájékoztató tábla abból a szempontból lehet jó megoldás, hogy a gyalogátkelőhely mellett álló gyalogosok számára jól látható, viszont elgondolkodtató abból a megközelítésből, hogy a gyalogosok a jármű elején keresnek. Természetesen idővel hozzá lehet szokni és az autonóm autók elterjedésével kialakul az új közlekedési struktúra, azonban a tervezés fázisában rendkívül fontos, hogy az új rendszer

3.2 Fénycsík vagy lámpa használata az önvezető autókön

A fénycsikkel történő kommunikáció esetében rendkívül fontos tényező a szín. A közúti közlekedésben régóta alkalmazott színösszeállítás a piros-zöld. A piros jelzés megállási kötelezettséget jelent, míg a zöld a szabad továbbhaladást jelenti. Az autonóm jármű első lökhárítójára felszerelve egy LED csíkot, az autó talán legegyszerűbben tudja tájékoztatni a többi közlekedőt, hogy leléphetnek-e biztonságosan a gépkocsi elé. Abban az esetben, ha a fényjelzést ábrával kombináljuk, akkor a felismerés hatékonysága, pontossága javítható és gyorsabb értelmezés érhető el. A közlekedési jelzőlámpáknál éppen ezért alkalmazzák régóta a piros színű álló alak és a zöld színű gyalogos alak piktogramját. A fénycsíknak semmiképpen nem szabad összetéveszthetőnek lennie a megkülönböztető jelzéssel ellátott járművek piros-kék színű fényjelzésével. A piros szín éppen ezért félreértésre adhat okot. A semleges szín is megoldást jelenthet, ha valamilyen motívummal van kombinálva, mint a 2. ábra esetében. A képen is látható fehér szín esetében viszont felmerül a jól láthatóság kérdése. [1, 7, 9, 10]



2. ábra: Fénycsík – Smiley – segítségével történő kapcsolatfelvétel²

A 2. ábra egy koncepciótervet mutat be a fénycsikkel történő kommunikáció egy lehetséges módszerére. A jármű elején elhelyezett dinamikusan változtatható panel egy mosoly formájú fénycsíkot jelenít meg, amennyiben a gépkocsi megáll például egy gyalogátkelőhely előtt,

² Peters, A. (2016). *This self-driving car smiles at pedestrians to let them know it's safe to cross*

abban az esetben pedig, ha nem tud megállni – adott esetben a csúszós útviszonyok következtében - akkor egy vízszintes csík jelenik meg az autó lökhárítóján. [1]

Az autonóm járművekre tervezett kommunikációs egység által közölt üzeneteknek az alábbi két csoportját különböztethetjük meg [10, 11, 15]:

- 1) Gyalogosra vagy kerékpárosra vonatkozó információk, melyek segítségével az önvezető járműirányító rendszer a veszélyeztetett útasználók részére szeretné eljuttatni azt az üzenetet, hogy az adott közlekedési helyzetben, hogyan cselekedjenek: például „Sétálj”, „Menj”, „Állj”
- 2) Az önvezető gépkocsi cselekvésére vonatkozó adatok, mely során a rendszer tájékoztatja a környezetében közlekedőket arról, hogy éppen milyen műveletet hajt végre: például „Fékezés”, „Megállás”

A Volvo Cars egy nyilatkozatában így fogalmazott a kérdéskörrel kapcsolatban: „Fontos, hogy nem utasíthatunk másokat arra, hogy mit tegyenek. A járműnek a saját állapotára vonatkozó információkat kell eljuttatni a többi közlekedő részére.”³ [13]

A balesetmentes közlekedés megteremtéséhez elengedhetetlen, hogy az alkalmazott kommunikációs egység – legyen szó fénycsíkról vagy más megoldásról – minden gyártó önvezető járművén teljes mértékben egységes legyen. Amennyiben minden autón más rendszert fognak használni, eltérő működési elvvel, akkor az nagy zavart okozhat a jövő közlekedési rendszerében. A fejlesztés során figyelembe kell venni, hogy a társadalom legnagyobb része találkozni fog a közutakon ezen gépkocsikkal, így a tervezés során minden felhasználóra tekintettel kell lenni, ideértve az időseket, gyermekeket, mozgásukban korlátozottakat is, illetve, hogy az emberek nagyon különböző technológiai ismeretekkel rendelkeznek. [3, 7, 11]

3.3 Színes, szöveges üzenetek megjelenítése a kommunikációs panelen

A szöveges üzenetek megjelenítésével kapcsolatban az egyik legnagyobb kérdés a kiírt üzenet nyelve. Egyik alternatíva, hogy a jármű az adott ország hivatalos nyelvén küld értesítést, azonban a közlekedésben mindig részt fognak venni olyan személyek is, akik az ország nyelvét

³ Volvo Cars. (2018a). Volvo 360c concept calls for universal safety standard for autonomous car communication

nem beszélnek, így nem értenék meg az ismertetett információkat, ami balesetveszélyes helyzeteket eredményezne. A másik lehetőség, hogy minden országban egységesen angol nyelvű üzenetek lennének a járműveken, így ezen rövid szöveges megfogalmazások tudatosulnának az emberekben. Figyelembe véve a napjainkban világszerte alkalmazott szabványok számát, mértékegységek típusát, nem valószínű, hogy az autonóm járművek által használt kommunikációs platform világszintű egységesítése megvalósítható. [10, 11, 15]

A szöveges üzeneteknek rövid, tömör, gyorsan értelmezhető kifejezéseknek kell lennie, hogy az emberek a lehető leghamarabb reagálni tudjanak az önvezető rendszer által küldött információkra, mint például „Menj”, „Állj”. A szöveg színe is kiemelten fontos, összhangban kell lennie a leírt szónak a megjelenítés színével. Példának okáért az „ég” szót zöld színnel leírva sokkal tovább tart értelmezni vagy nagyon könnyen félreértelmezhető, mintha az „ég” szót kék színnel írnánk le. [2, 8, 9]



3. ábra: Szöveges üzenet egy autonóm járműre szerelt kijelzőn – Safe to cross⁴

A 3. ábra a gyalogosok, kerékpárosok egy lehetséges szöveges üzenettel történő tájékoztatási eljárását szemlélteti a jövőbeni autonóm közlekedési struktúrában. Jelen esetben a jármű tetején került elhelyezésre egy kommunikációs panel, amely különböző szöveges üzenetek megjelenítésére alkalmas. A képen látható módon az autó a Safe to cross jelzést továbbítja a járókelők részére, amely során biztosítja a gyalogosokat arról, hogy biztonságosan átkelhetnek a kijelölt gyalogátkelőhelyen. [8]

⁴ Golson, J. (2016). Drive.ai wants to help autonomous cars talk with the people around them

4. Összegzés

Nagyon ígéretes jövő áll előttünk, melyben a fejlesztések által és a mobilitás 21. századi megújításával egy teljesen biztonságos közúti közlekedés valósulhat meg, mely sokáig elképzelhetetlennek tűnt mindenki számára. Az embereknek pedig nyitottnak kell lenniük az autóiipari innovációk és az újfajta közlekedési lehetőségek iránt, hiszen felhasználók nélkül semmilyen rendszer vagy szolgáltatás nem lehet működőképes. Összefogás által tudunk változásokat elérni a mai mobilitásban, közösen tudunk élhetőbb, tisztább városokat kialakítani.

Napjainkban az autonóm járművek megjelenésével kapcsolatban sok tisztázatlan kérdés van napirenden, ideértve a tanulmányban is említett az önvezető gépkocsik és a gyalogosok közötti kommunikációs rendszer kidolgozását. A kapcsolatfelvétel módjára 3 lehetséges alternatívát mutattam be. A piktogramokkal, fénycsíkkal vagy szöveges üzenet kiírásával való információátadás mindegyike valós opció, mindhárom megoldásnak vannak előnyei és hátrányai is. Az egyes országokban a közúti közlekedés rendjét meghatározó változatos jogszabályi feltételek megnehezítik az autonóm autók és a veszélyeztetett úthasználók biztonságos találkozására vonatkozó egységes szabályozás bevezetését. A különböző korú és társadalmi szemlélettel, eltérő technológiai képzettséggel rendelkező közlekedők szintén befolyásolják a mindenki számára egyértelműen leghatékonyabb és legkönnyebben értelmezhető kommunikációs panel kialakítását. A többféle személyiségtípus következtében a módszerek eredményességének összehasonlíthatósága is nehézségeket jelent. Annak érdekében, hogy a gyalogosok, kerékpárosok biztonságban érezzék magukat és felgyorsuljon az autonóm járműirányító technológiák társadalmi elfogadottsága mindenképpen szükség van egy tájékoztatási eljárás megvalósítására. [5]

A fejlesztések során sok nehéz döntést kell meghozni, fontos az előrelátás és a vezérlő algoritmus felkészítése a lehetséges közlekedési szituációkra, veszélyhelyzetekre. A vezetéstámogató rendszerek és az autonóm jármű megvalósítása kitartást, évtizedes kutatómunkát és számtalan tesztelést igényel, de mindez megéri, hiszen ezek a technológiák baleseteket előznek meg és emberek életét mentik meg a közlekedés során. Az elmúlt időszakban nagyon sokan veszítették el rokonaikat, barátaikat, szeretteiket közúti balesetben, ezért minden erőforrást arra kell fordítani, hogy megelőzzük ezeket a tragédiákat. Úgy gondolom, hogy soha nem volt még olyan közel az autóiipar ahhoz a célhoz, hogy elérjük a balesetmentes közlekedést, mint az utóbbi pár évben. Az új rendszerek bevezetésével azonban

eddig nem ismert baleseti kockázatok is megjelennek, melyek elkerülésére szintén megoldásokat kell kidolgozni.

5. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NKTA-48 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] Adela Peters: The Self-Driving Car Smiles At Pedestrians To Let Them Know It's Safe To Cross, 2016 <https://www.fastcompany.com/3063717/this-self-driving-car-smiles-at-pedestrians-to-let-them-know-its-safe-to-cross>
- [2.] Anees Ahamed Kaleefathullah, Natasha Merat, Yee Mun Lee, Yke Bauke Eisma, Ruth Madigan, Jorge Garcia, Joost de Winter: External Human-Machine Interfaces Can Be Misleading – An Examination of Trust Development and Misuse in a CAVE-Based Pedestrian Simulation Environment, 2020 <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0018720820970751>
- [3.] Azra Habibovic, Victor Malmsten Lundgren, Jonas Andersson, Maria Klingegard, Tobias Lagström, Anna Sirkka, Johan Fagerlönn, Claes Edgren, Rikard Fredriksson, Stas Krupenia, Dennis Saluaar, Pontus Larsson: Communicating Intent of Automated Vehicles to Pedestrians, 2018 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6090516/>
- [4.] Christopher Paul Urmson, Ian James Mahon, Dmitri A. Dolgov, Jiajun Zhu: Pedestrian notifications, 2015 <https://patents.google.com/patent/US8954252B1/en>
- [5.] Debargha Dey, Andrii Matviienko, Melanie Berger, Bastian Pfleging, Marieke Martens, Jacques Terken: Communicating the intention of an automated vehicle to pedestrians – The contributions of eHMI and vehicle behavior, 2020 https://www.researchgate.net/publication/345339634_Communicating_the_intention_of_an_automated_vehicle_to_pedestrians_The_contributions_of_eHMI_and_vehicle_behavior

- [6.] Eleanor Sandry: Automation and human relations with the private vehicle from automobiles to autonomous cars, 2017 <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1329878X17737644?journalCode=miad>
- [7.] Jiawen Guo, Quan Yuan, Jingrui Yu, Xizheng Chen, Wenlin Yu, Qian Cheng, Wuhong Wang, Wenhui Luo, Xiaobei Jiang: External Human-Machine Interfaces for Autonomous Vehicles from Pedestrians Perspective - A Survey Study, 2022 <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/9/3339>
- [8.] Jordan Golson: Drive.ai wants to help autonomous cars talk with the people around them, 2016 <https://www.theverge.com/2016/8/30/12700290/drive-ai-autonomous-car-human-robot-interface>
- [9.] Juan Carmona, Carlos Guindel, Fernando Garcia, Arturo de la Escalera: eHMI – Review and Guidelines for Deployment on Autonomous Vehicles, 2021 <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/9/2912>
- [10.] Koen de Clercq, Andre Dietrich, Juan Pablo Nunez Velasco, Joost de Winter, Riender Happee: External Human-Machine Interfaces on Automated Vehicles – Effects on Pedestrian Crossing Decisions, 2019 <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0018720819836343>
- [11.] Pavlo Bazilinskyy, Dimitra Dodou, Joost de Winter: Survey on eHMI concepts – The effect of text, color and perspective, 2019 https://www.researchgate.net/publication/338554903_Survey_on_eHMI_concepts_The_effect_of_text_color_and_perspective
- [12.] Pavlo Bazilinskyy, L. Koojiman, Dimitra Dodou, Joost de Winter: How should external human-machine interfaces behave? Examining the effects of colour, position, message, activation distance, vehicle yielding and visual distraction among 1434 participants, 2021 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003687021000971>
- [13.] Volvo Cars: Volvo 360c concept calls for universal safety standard for autonomous car communication, 2018 <https://www.media.volvocars.com/global/en-gb/media/pressreleases/237019/volvo-360c-concept-calls-for-universal-safety-standard-for-autonomous-car-communication1>

- [14.] World Health Organization: Road traffic injuries, 2022 <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>
- [15.] Yke Bauke Eisma, A. Reiff, L. Kooijman, Dimitra Dodou, Joost de Winter: External human-machine interfaces – Effects of message perspective, 2021 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369847821000206>

Energiahatékony versenyjármű futóművének parametrikus vizsgálata és optimalizálása

Parametric analysis and optimization of the front suspension of an energy efficient vehicle

Für Balázs^a, Pusztai Zoltán^b

^aSzéchenyi István Egyetem – Járműipari Kutatóközpont

fur.balazs@ga.sze.hu

^bSzéchenyi István Egyetem – Járműipari Kutatóközpont

pusztai.zoltan@ga.sze.hu

Absztrakt

A SZEenergy Team elektromos meghajtású energiahatékony versenyjárművének fejlesztése során számos előzetes vizsgálat készül, az alkatrészek megfelelősége érdekében. Amikor a SZEmission jármű első futóművét újra kellett tervezni méretezési problémák miatt, a topológia optimalizálással véglegesített tengelycsonkállvány megfelelőségéről parametrikus vizsgálatok segítségével lehetett dönteni. Az érzékenység vizsgálatok során az optimalizált alkatrész anyagválasztás szempontjából volt vizsgálva, majd összehasonlításra került az eddigi tengelycsonkállvánnyal. Az eredmények alapján elmondható, hogy az optimalizált alkatrész szélsőségesebb terhelések esetén is nagyobb biztonsági tényezővel rendelkezik, azaz nem annyira érzékeny a terhelés változására, mint az előző konstrukció. Ennek értelmében az optimalizált alkatrész szilárdságilag megfelel, miközben közel 38 %-kal kisebb tömeget sikerült elérni.

Kulcsszavak: parametrikus vizsgálat, tömegcsökkentés, végelem szimuláció

Abstract

During the development of the battery powered energy efficient vehicle of SZEenergy Team, multiple studies are done, in order to determine the compliance of the given part. During the revision of the front suspension of the SZEmission, the uprights were optimized using topology optimization, and the compliance of the part was decided by parametric analysis. The sensitivity analysis focused on the material of the new upright, and on comparing the old and new constructions. Based on the results, it can be said that the optimized geometry performs better under extreme loads. In accordance with these results, the optimized part is statically compliant, while achieving almost 38 % weight reduction.

Keywords: parametric analysis, weight reduction, finite element analysis

1. Bevezetés

A Shell Eco-marathon a világ legnagyobb energiahatékonysági versenye. Jelenlegi formájában 1985 óta kerül megrendezésre évente, egyetemi, főiskolai és középiskolai csapatok számára. A verseny célja a lehető legkevesebb energiából a lehető legnagyobb távolságot megtenni. A versenyen két fő kategória van, a Prototype és az Urban concept, továbbá ezeken belül három energiaosztályt lehet megkülönböztetni, a belsőégésű, a hidrogén üzemanyag cellás, és az elektromos kategóriákat. [1]

A győri SZEnergy Team 2005 óta vesz részt ezeken a megmérettetéseken, kezdetben napelemes autókkal, majd a kategória eltörlése után elektromos Urban concept autókkal szerepel. Az Urban concept kategóriában mind a verseny, mind maga az autó a városi közlekedésen alapszik. Jelenlegi autójuk, a SZEmission 2019-ben épült és azóta áll folyamatos fejlesztés alatt, az autó az 1. ábrán látható. A csapat legjobb eredménye a 2023-as évben Franciaországban megrendezett versenyen elért 291 km/kWh, mely első helyezést és világrekordot jelentett. [2]



1. ábra: A SZEmission a Shell Eco-marathon versenyen (2023)

A SZEmission első futóművének revíziójakor az elsődleges cél a tengelycsonkállvány tömegének csökkentése volt, a merevség jelentős változása nélkül. Ennek megvalósítása topológiai optimalizálással zajlott. Az optimalizálás után a végleges geometria anyagválasztás szempontjából lett vizsgálva, majd az eddigi konstrukcióval lett összehasonlítva, különböző igénybevételi esetekben. A terhelési esetek elemzése szilárdsági vizsgálatokkal történt, majd az

adatok Excelben kerültek kiértékelésre. A vizsgálatok alapján egyértelműen meghatározható az alkatrész megfelelősége és az eddigi konstrukcióhoz képesti mechanikai tulajdonságai.

2. Optimalizált geometria

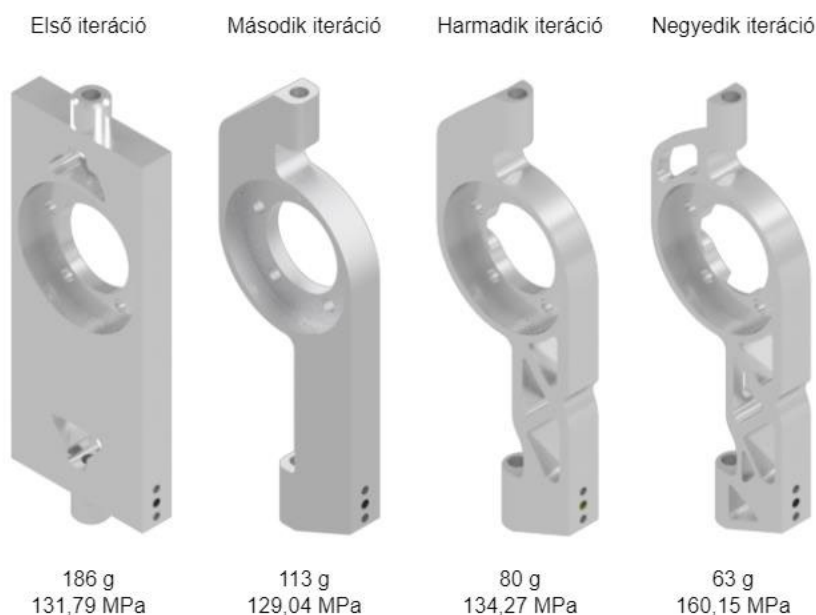
A SZEmission első futóművének revíziója során, a tengelycsonkállvány tömegcsökkentése sűrűség alapú topológiai optimalizálással lett megvalósítva, az Ansys Workbench 2023 R2 programban. Ez az eljárás az ideális anyageloszlást határozza, vagyis azt, hogy hol szükséges és hol nem szükséges anyag. A sűrűség alapú topológiai optimalizálás sajátossága, hogy a kapott geometriában lehetnek túlnyúlások, melyeket a reverse engineering folyamat során kell korrigálni. Ennek elkerülése érdekében, az optimalizálás több iterációval zajlott. Az egyes iterációk során a tömegcsökkentés minimális, így jelentősen csökkenthetők a túlnyúlások, ezáltal egyszerűsítve a reverse engineering folyamatot. Ennek hátránya, hogy több iterációra van szükség, azaz több emberi beavatkozás szükséges a folyamat véghezviteléhez. A reverse engineering művelet során a topológiai optimalizálás eredménye mellett, a megelőző szilárdsági vizsgálat redukált feszültségi eredménye is figyelembe lett véve, melynek köszönhetően további tömegcsökkentést lehetett elérni. [3]

A topológiai optimalizálás előfeltétele egy megfelelő minőségű szilárdsági vizsgálat végzése. Ezen vizsgálat pontosságát bizonyos hálózasi eszközök használatával lehet növelni. Ennek érdekében, a háló minősége élfelosztással, valamint lokális elemméret szabályozással lett növelve. A számítási kapacitás és időszükséglet csökkentése érdekében a tengelycsonkállványhoz csatlakozó alkatrészek pontszerű testként lettek modellezve, ezzel jelentősen csökkentve a megoldási időket. A tengelycsonkállványra három terhelés lett definiálva, a talperő, a kormányzóerő, valamint a fékezésből származó nyomaték. A fékezéskor fellépő hosszirányú erők és nyomatékok az ideálisnak feltételezett gördülés miatt nem lettek figyelembe véve. A kerékre ható oldalerők nem lettek definiálva a vizsgálatok során. A kerék geometriájából származó nyomatékok a csatlakozó alkatrészek modellezése által lettek megadva, így ezeket az értékeket maga a program számolja. A terhelések számítások és mérések alapján lettek meghatározva, és így a talperő 1800 N, a kormányzóerő 150 N, míg a féknyomaték 30 000 Nmm nagyságú lett. [4-6]



2. ábra: Az eredeti tengelycsenkállvány (saját szerkesztés)

Az optimalizálás során négy iterációt lehetett elvégezni, ugyanis a többi iteráció esetén már a valóságban nem megvalósítható geometriák keletkeztek. Az egyes iterációk, valamint a kiindulási geometria a 3. ábrán láthatóak. A 3. ábrán továbbá láthatóak az adott geometria validálására végzett szilárdsági vizsgálatok Von-Mises redukáltfeszültségének maximumai. Az optimalizálás eredményeként a kezdeti 186 grammos tömeget 63 grammra sikerült redukálni, mely 66 %-os tömegcsökkentést jelent. Az eredeti tengelycsenkállvány 101 grammos tömeggel rendelkezett, így az optimalizált geometria közel 38 %-os tömegcsökkentést jelent. Az eredeti tengelycsenkállvány a 2. ábrán látható.



3. ábra: Az iterációk kiinduló modelljei tömeggel és maximális redukált feszültséggel (saját szerkesztés)

3. Érzékenység vizsgálat

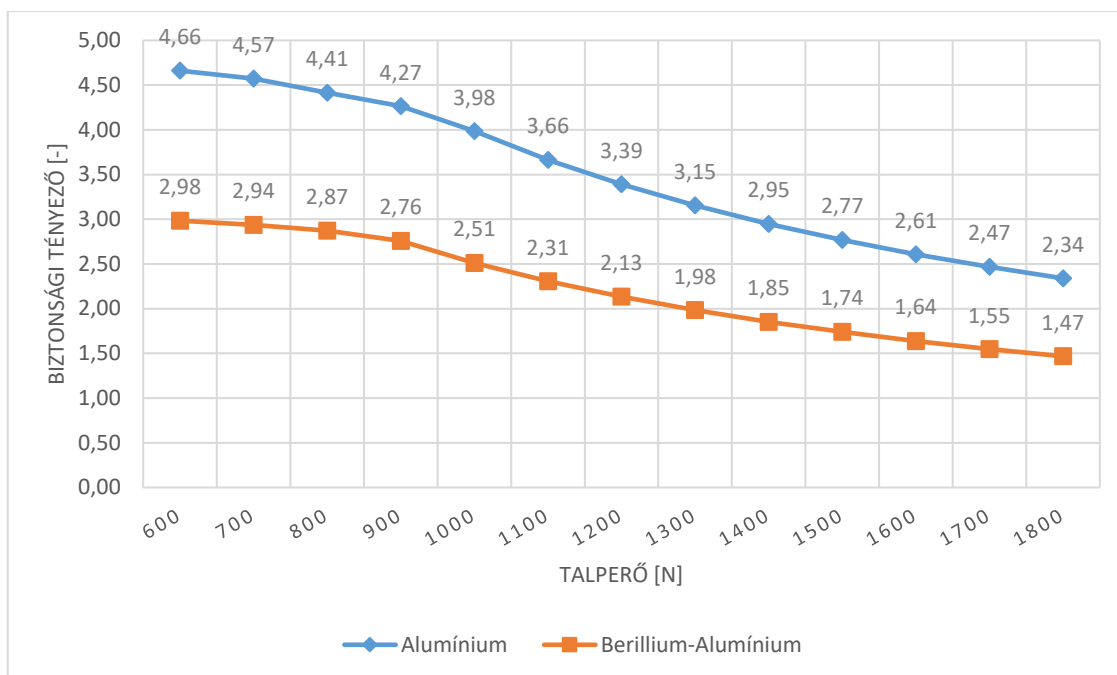
Az új koncepció vizsgálatánál az elsődleges szempont az anyagok összehasonlítása volt. Az 1. táblázatban látható mechanikai tulajdonságok alapján elmondható, hogy az alumínium 7075 T6 számottevően nagyobb egyezményes folyáshatárral és szakítószilárdsággal rendelkezik, míg a berillium-alumínium ötvözet legnagyobb előnye a kisebb sűrűsége, valamint a rendkívül nagy rugalmassági modulusa. Ezen tulajdonságai miatt előszeretettel alkalmazzák a repülőgép- és az űripárban. Mivel mindkét anyag más tulajdonsága miatt lenne előnyös az alkatrész szempontjából, ezért szükséges az anyagok összehasonlítása szilárdsági vizsgálatokkal. [7]

1. táblázat: Anyagjellemzők összesítése (saját szerkesztés)

Anyagjellemző	Al 7075 T6	Beralcast 310
Sűrűség [kg/m ³]	2810	2160
Rugalmassági modulus [GPa]	71,7	202
Poisson tényező [-]	0,33	0,2
Kompressziós modulus [MPa]	70 294	1,1222x10 ⁵
Nyírási rugalmassági modulus [MPa]	26 955	84 167
Folyáshatár [MPa]	503	325,4
Szakítószilárdság [MPa]	572	426,1

A vizsgálat során az alkatrészben ébredő maximális redukált feszültség érték és az anyag folyáshatárának összehasonlításából adódó biztonsági tényező volt a meghatározó szempont. Az érzékenységi vizsgálat egy paraméter módosításával a biztonsági tényező értékének változását vizsgálja. Három paraméter lett vizsgálva, a talperő, a kerékdőlés értéke és a kormányzóerő. Ezek a paraméterek különböző esetekben lettek vizsgálva, ez a fékezés és a kormányzás esetét jelenti.

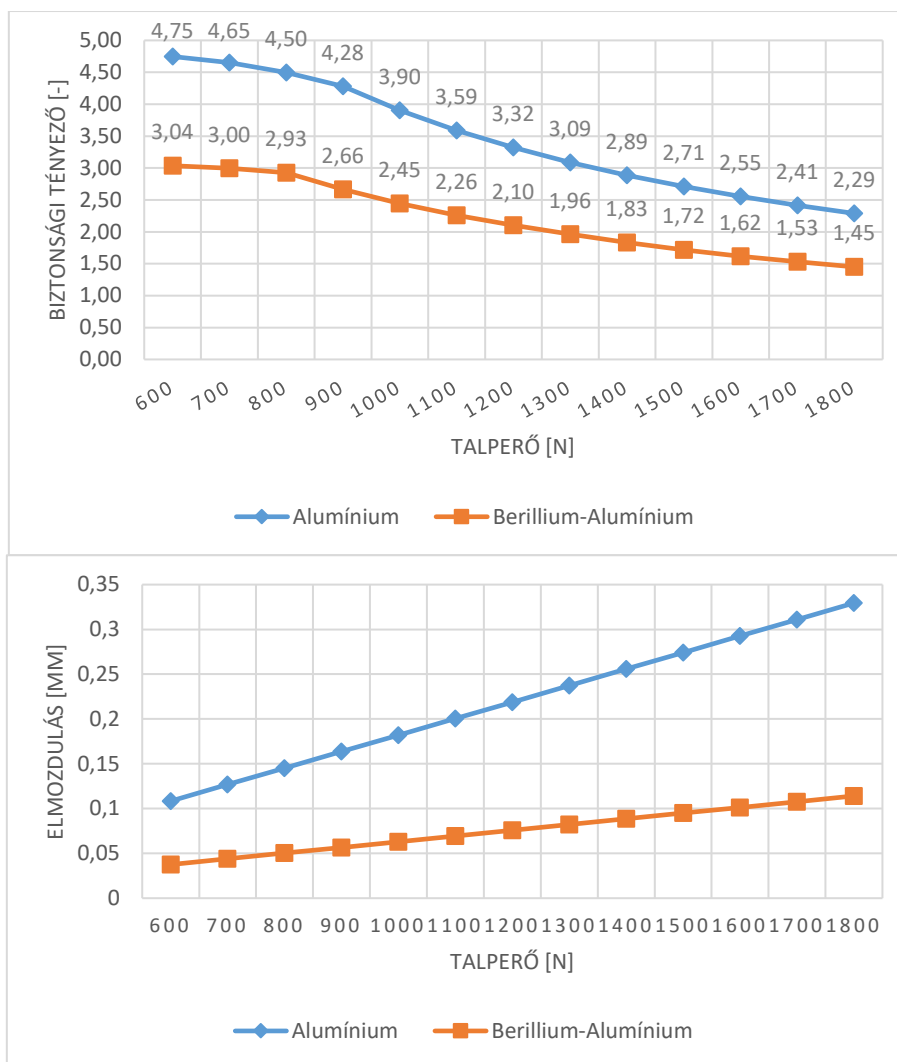
Elsőként a fékezés esete lett vizsgálva kerékdőléssel és kerékdőlés nélkül, melynek eredményei a 4. ábrán láthatóak. A talperő a normál üzemi körülményeknél várható terhelés felfele kerekített értékétől, ennek az értéknek a háromszorosáig terjed. Emiatt, ha az alkatrész ezen tartományon megfelel, elmondható, hogy normál üzemi körülmények esetén is megfelelő lesz az alkatrész.



4. ábra: Fékezés esete kerékdőlés nélkül (optimalizált geometria) (saját szerkesztés)

A fenti diagramon jól látható, hogy míg az alumínium 7075 T6 esetében a biztonsági tényező nem megy 2 alá, addig a berillium-alumínium ötvözet esetében már 1350 N-nál nagyobb talperőknél kisebb lesz mint 2.

Kerékdőlés esetén, hasonló jelenség figyelhető meg, ezen eredmények a 5. ábrán láthatóak. Ezek alapján az alumínium 7075 T6 jobb választásnak ígérkezik, mivel nagyobb biztonsági tényezővel rendelkezik szélsőséges terhelési esetekben is. Ráadásul a berillium-alumínium ötvözet legjelentősebb előnye, a merevség, a maximális elmozdulás terén nem jelent számottevő előnyt, mivel az alumínium 7075 T6 esetében sem haladja meg az elmozdulás a 0,35 mm-t. A biztonsági tényező és a maximális elmozdulás értékei a 5. ábrán láthatóak.

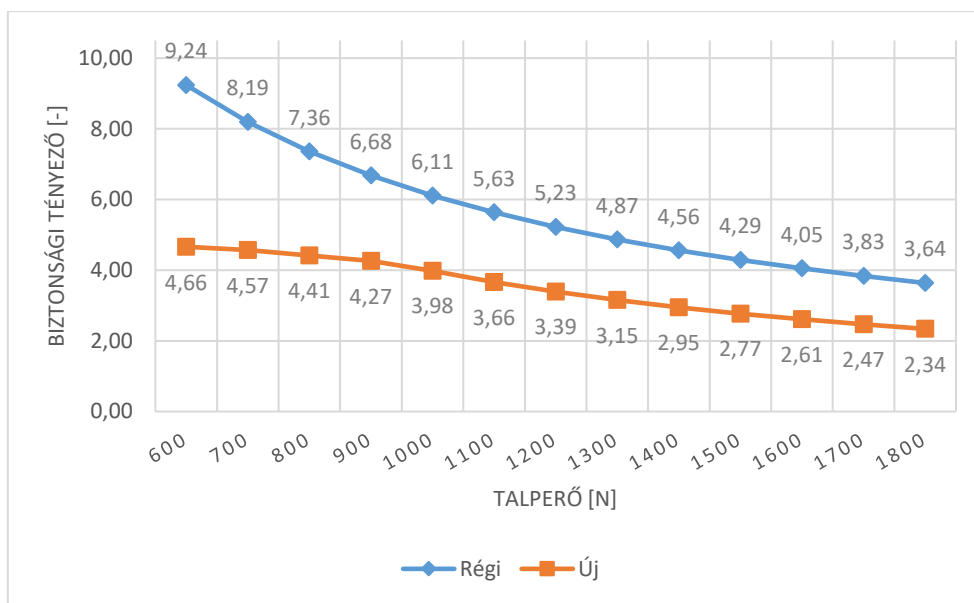


5. ábra: Fékezés esete 3°-os kerékdőléssel (optimalizált geometria) (saját szerkesztés)

A kormányzás esetének, valamint a kerékdőlés hatásának vizsgálataiból hasonló következtetéseket lehetett levonni. Összességében az alumínium 7075 T6 magasabb folyáshatára és szakítószilárdsága fontosabbnak bizonyult, mint a berillium-alumínium ötvözet nagyobb rugalmassági modulusa. Annak ellenére, hogy berillium-alumínium esetén a maximális elmozdulások nagyjából harmad akkora, mint alumínium 7075 T6 esetén, nem jelent számottevő előnyt, mivel alumínium 7075 T6 esetében is 0,35 mm-nél kisebb elmozdulásokról beszélünk. A berillium-alumínium másik előnyös tulajdonsága, a sűrűsége, melynek köszönhetően mindösszesen 44 gramm lenne az alkatrész tömege, döntő tényező lehetne, azonban az anyag relatív ritkaságát és beszerzésének nehézségét figyelembe véve, az alumínium 7075 T6 az ideális kompromisszum. [8]

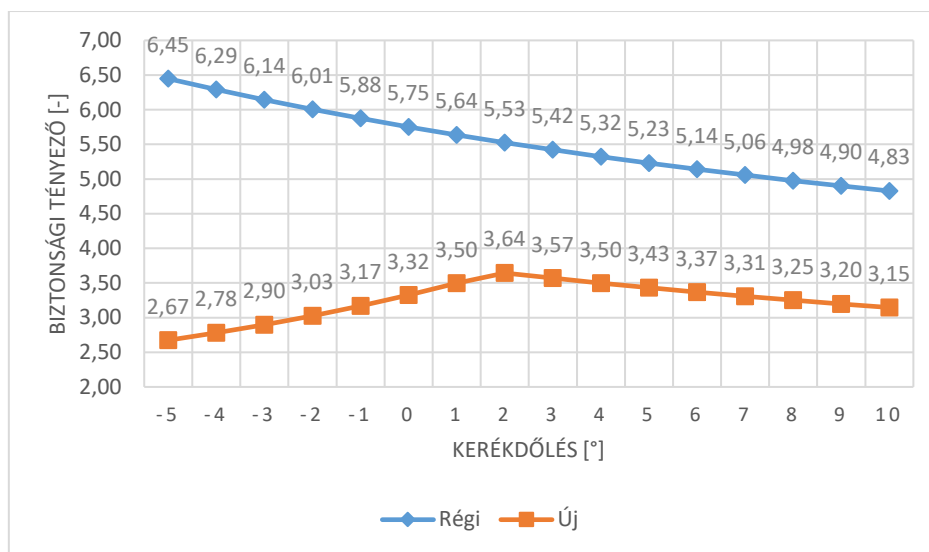
Az új és a régi koncepció összehasonlítása egy szilárdsági vizsgálattal kezdődött, mely az optimalizálás során használt peremfeltételekkel hasonlítja össze a két konstrukciót. Ez alapján látszik, hogy a maximális redukált feszültség az eddigi geometriánál 215,25 MPa, míg az újnál 240,7 MPa, a maximális elmozdulás pedig 0,11617 mm, illetve 0,24455 mm. Ez alapján a két konstrukció között nincs olyan jelentős eltérés, azonban így is indokolt az érzékenység vizsgálat, mivel ezzel lehet biztosítani az alkatrész megfelelőségét minden körülmény között.

A fékezés esetét kerékdőlés nélkül vizsgálva, kiderül, hogy a régi tengelycsenkállvány jelentősen túlméretezett, azonban a szélsőséges igénybevételi helyzetekben számottevően romlik a biztonsági tényező értéke, megközelítve az új konstrukciónál tapasztalt értékeket. Ebből is következik, hogy az új konstrukciót kevésbé érinti a talperő változása. A biztonsági tényező értékének változása a talperő függvényében a 6. ábrán látható.



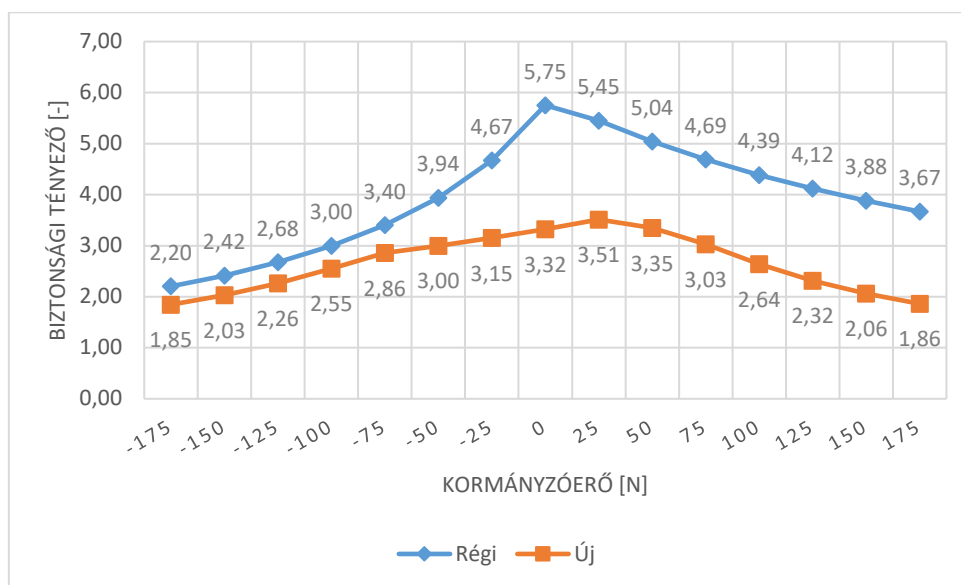
6. ábra: Fékezés esete kerékdőlés nélkül (saját szerkesztés)

Kerékdőléssel hasonló eredmények születtek, azaz fékezés esetét vizsgálva az optimalizált alkatrész megfelel. A fékezéshez kapcsolódóan a konstans 1200 N értékű talperővel végzett, a kerékdőlés hatását figyelembe vevő vizsgálat eredményei alapján, az eddigi konstrukcióban negatív kerékdőlés esetén ébred a legkisebb feszültség, míg az újban 2-3° esetén. Az optimalizált geometria biztonsági tényezője ebben az esetben is jelentősen kevesebbet változik, mint a régi konstrukcióé. Az 7. ábrán látható a kerékdőlés függvényében ábrázolva a biztonsági tényező.



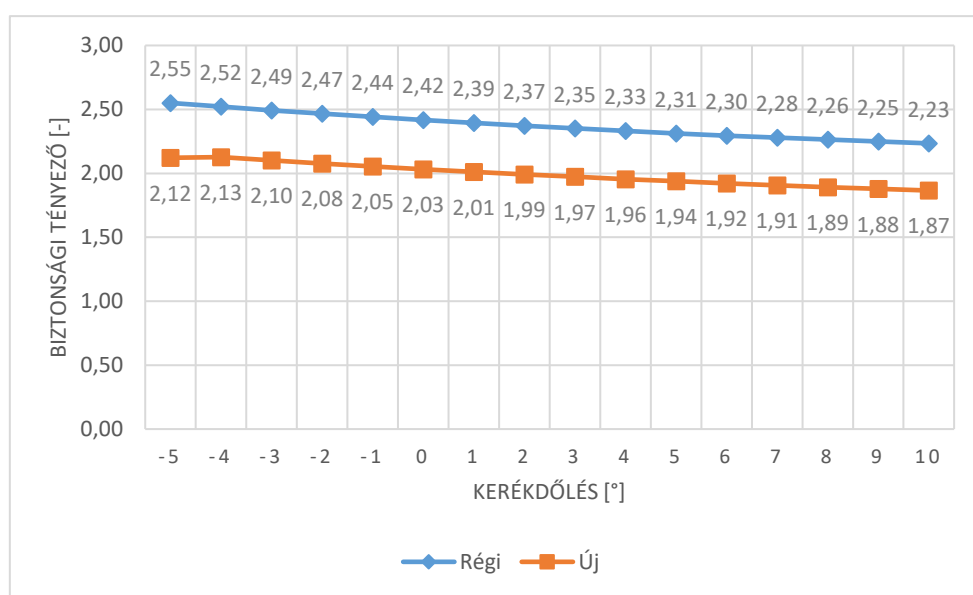
7. ábra: A kerékdőlés hatása fékezés esetén (saját szerkesztés)

Kormányzás esetén negatív erőknél a biztonsági tényezők között mindössze pár tizedes eltérés van, míg pozitív erőknél már bőven egy egész feletti eltérések vannak. Továbbá ennél az esetenél is megfigyelhető, hogy az új geometria biztonsági tényezője kevesebbet változik az erő változásával, míg a régi konstrukció 0 N-nál kirívóan magas biztonsági tényezővel rendelkezik. Kerékdőlés nélkül, illetve kerékdőléssel minimális eltérések vannak, így mindkét esetre elmondható, hogy az alkatrész megfelel. Az elmozdulás az új koncepciónál szélsőséges kormányzási erőknél számottevően magasabb, mint az eddigi konstrukció esetében, azonban még így sem érik el az 1 mm-t, ezért megfelelően merevnek tekinthető az alkatrész. Ennek a vizsgálatnak az eredményei a 8. ábrán láthatóak.



8. ábra: Kormányzás hatása kerékdőlés nélkül (saját szerkesztés)

A kerékdőlés hatását kormányzás esetében vizsgálva, egyértelműen látszik, hogy nincs jelentős különbség az új és a régi tengelycsonkállvány között. Ez azt jelenti, hogy a kerékdőlés nem befolyásolja számottevő mértékben a biztonsági tényező értékét, mint ahogy az a 9. ábrán is látható. A végzett vizsgálatok alapján elmondható, hogy az optimalizált geometria megfelel a vizsgált esetekre, valamint a szélsőséges terhelési esetek nem befolyásolják jelentős mértékben az alkatrész biztonsági tényezőt, a régi geometriával ellentétben. Továbbá az új tengelycsonkállvány a várható terheléseknek megfelelően lett méretezve, mely az optimalizálás eredményességét jelenti.



9. ábra: Kerékdőlés hatása kormányzás esetén (saját szerkesztés)

4. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NKTA-48 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] Shell Eco-marathon, “About Shell Eco-marathon.” Accessed: Nov. 04, 2023. [Online]. Available: <https://www.shellecomarathon.com/about.html>
- [2.] SZEenergy Team, “A SZEenergy team-ről...” Accessed: Nov. 05, 2023. [Online]. Available: <https://szenergy.hu/about/>
- [3.] E. Tyflopoulos and M. Steinert, “A comparative study between traditional topology optimization and lattice optimization for additive manufacturing,” *Material Design & Processing Communications*, vol. 2, no. 6, Dec. 2020, doi: 10.1002/mdp2.128.
- [4.] Ansys Learning, Utilizing Remote Points Properly Using Ansys Mechanical — Lesson 4, (Dec. 30, 2021). Accessed: Mar. 25, 2024. [Online Video]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=MefaK1vpUYY&t=310s>
- [5.] ANSYS Inc., Mechanical User’s Guide. ANSYS Inc., 2021.
- [6.] ANSYS Inc., ANSYS Meshing User’s Guide. 2010.
- [7.] D. L. Trueman and P. Sabey, “Beryllium,” in *Critical Metals Handbook*, G. Gunn, Ed., John Wiley & Sons, Ltd, 2014, pp. 99–121. doi: 10.1002/9781118755341.ch5.
- [8.] IBC Advanced Alloys Corp., “Product Data Sheet - Beralcast® 363,” Jun. 2019. Accessed: Nov. 04, 2023. [Online]. Available: <https://ibcadvancedalloys.com/products/beryllium-aluminum-castings/beralcast/beralcast-363/>

Tömörített képek zajmentesítésének lehetőségei autoenkóder hálózatok alkalmazásával

Noise reduction in compressed images using autoencoder networks

Hollósi János

Széchenyi István Egyetem, Informatika Tanszék; Járműipari Kutatóközpont

hollosi.janos@sze.hu

Absztrakt

Ma már léteznek nagyon hatékony veszteséges képtömörítési technikák, melyek a digitális kép tárterület igényét képesek akár drasztikusan csökkenteni olyan módon, hogy emberi megfigyelő számára a kép információ tartalmának romlása csak nagyon nehezen válik észrevehetővé. Azonban, ha ilyen képeket gépi látás technikákkal, például mesterséges intelligencia eszközökkel szeretnénk feldolgozni további feladatok céljából, akkor nehézségbe ütközhetünk. Azok, az ember számára észrevehetetlen, vagy nem zavaró zajforrások, melyek a tömörített képeken megjelennek, a mesterséges intelligencia módszerek hatékonyságát képesek csökkenteni. A kutatás célja annak vizsgálata, hogy autoenkóder típusú mesterséges neurális hálózatokkal az ilyen tömörített felvételek zajmentesítése milyen módon és mekkora hatékonysággal lehetséges. A munkában bemutatásra kerül a vizsgálathoz kialakított egyedi adatkészlet, valamint a cél érdekében létrehozott autoenkóder hálózat. A kutatás eredményéből láthatóvá válik az elképzelés hatékonysága és alkalmazhatósága, amely jövőbeli kutatásokhoz járulhat hozzá.

Kulcsszavak: neurális hálózat, autoenkóder hálózat, képtömörítés, zajcsökkentés

Abstract

Nowadays, there are very efficient lossy image compression techniques that can reduce the storage space requirements of a digital image drastically, such that the degradation of the information content of the image is hardly noticeable to a human observer. However, if we want to process such images using machine vision techniques, such as artificial intelligence tools, for further tasks, we may encounter difficulties. Noise sources that are imperceptible or not disturbing to humans and that appear in compressed images can reduce the effectiveness of artificial intelligence methods. The aim of this research is to investigate how and with what efficiency it is possible to de-noise such compressed images using autoencoder-type artificial neural networks. The work presents the custom dataset developed for the study and the autoencoder network created for this purpose. From the results of the research, the efficiency and applicability of the concept can be seen, which may contribute to future researches.

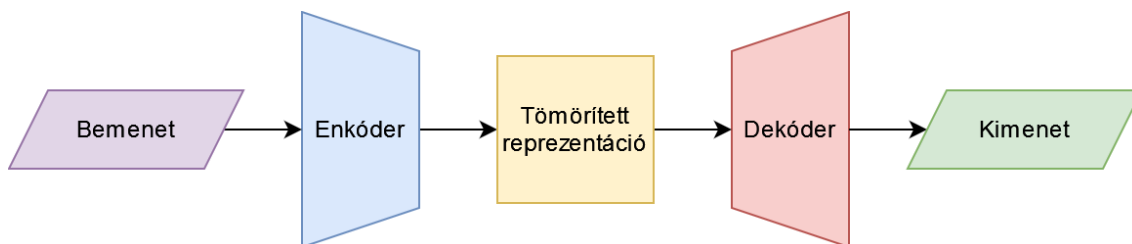
Keywords: neural network, autoencoder network, image compression, noise reduction

1. Bevezetés

A digitális képek tömörítése régóta kutatott terület, ahol alapvetően beszélhetünk veszteséges és veszteségmentes tömörítési eljárásokról. Azonban a gyakorlatban elsősorban a veszteséges tömörítési eljárások kerülnek előtérbe. Ezek a megoldások ma már alkalmasak arra, hogy emberi mércével tekintve észrevehetetlen torzítások és zajterhelések árán képesek akár több nagyságrenddel csökkenteni a digitális kép háttértár igényét [1-4]. Mindez az önvezető járművek területén fontos tulajdonság, hiszen az ilyen járművek fedélzetére integrált kamera szenzorok másodpercenként rengeteg mérési adatot generálnak, ami önmagában is hangsúllyal bíró terhelést jelenthet a jármű informatikai rendszere számára. Ha figyelembe vesszük, hogy jellemzően több kamera is található az ilyen járműveken, valamint a többi szenzor által generált adatokat is számításba vesszük, akkor könnyen belátható, hogy a generált adatok mennyisége és sűrűsége komoly problémát is okozhat, amennyiben azt nem kezeljük kellő körültekintéssel. Mindezt enyhítendő a kamerák által generált képek veszteséges tömörítése nagy mértékben mérsékli ezt a helyzetet. Ezzel azonban egy másik probléma kerülhet előtérbe. A tömörítési algoritmusok jellemzően arra vannak kialakítva, hogy emberi résztvevő számára a tömörítés után kapott eredmény vizuálisan minél inkább közelítse a nyers képfolyam látványát. Holott az önvezető járművek esetén a képek generálásának célja, hogy mesterséges intelligencia alapú neurális hálózatok és más képfeldolgozásra vagy gépi látásra épülő rendszerek képesek legyen megbízható módon feldolgozni ezeket az adatokat és elvárható szinten megfelelő következtetéseket hozni. A mesterséges neurális hálózat működése bár a biológiai neurális hálózat működését hivatott utánozni, ez azonban csak részben van így. Emiatt nyugodtan kijelenthető, hogy a működésük eltérő. Több fronton bizonyosságot nyert, hogy a mesterséges neurális hálózatok megtéveszthetők akár olyan minimális fokú zajterheléssel is, amelyek esetén emberi résztvevő számára fel sem merül annak a gyanúja, hogy rosszul ítéli meg a látottakat [5-8]. Emiatt különösen fontos annak vizsgálata, hogy a veszteségesen tömörített adatok milyen hatással lehetnek a neurális hálózatok hatékonyságára. Kutatásom során ezzel a területtel szeretnék mélyrehatóan foglalkozni, melynek egy kezdeti lépését mutatja be a jelen tanulmány, ahol a cél a veszteségesen tömörített vizuális adatok módosítása olyan módon, hogy annak minősége minél közelebb kerüljön a tömörítetlen, nyers képfolyamhoz.

2. Autoenkóder hálózatok

A kutatásban vizsgált problémakör, valamint az ilyen jellegű feladatok esetén jól bevált eszköztár az úgynevezett autoenkóder neurális hálózatok. Az autoenkóder hálózatok két fő egységből állnak: enkóder és dekóder alhálózatok. Az enkóder alhálózat feladata, hogy fogadja a neurális hálózat bemenetét, ahol tipikusan előrecsatolt, sűrűn kapcsolt rétegeken keresztül az alhálózat kimeneti oldalán jelenik meg az úgynevezett tömörített reprezentáció, ami az enkóder alhálózat kimenetének tekinthető. A dekóder alhálózat bemenete az enkóder által generált tömörített reprezentáció. Ez alapján a dekóder hálózatnak kell előállítania az autoenkóder kimenetét. Az ilyen jellegű hálózatok célja, hogy a bemenet alapján az enkóder képes legyen egy olyan általában egyszerűsített dimenziószámú és összetételű adat generálására, amely adat alapján a dekóder hálózat képes visszaállítani az eredeti bemenetet, vagy bizonyos esetekben az eredeti bemenet dimenzió méreteivel megegyező kimenetet képes létrehozni. Ezt a felépítést szemlélteti az 1. ábra.



1. ábra: Autoenkóder hálózatok általános felépítése (saját szerkesztés)

Az ilyen jellegű hálózati felépítés számtalan feladat esetén értelmezhető és használható nagy hatékonysággal. Akár egyszerűbbnek mondható feladatok esetén, mint az osztályozás is alkalmazhatók az autoenkóder hálózatok, ahol jellemzően a tömörített reprezentáció alapján lehetséges a kívánt osztálykategória előrejelzése [9-13]. Hasonló módon klaszterezési feladatok esetén is adaptálható. Ilyen esetekben a lehetséges osztálykategóriák nem ismertek, az autoenkóder hálózatnak a bemeneti jellemzők alapján kell hasonlóságokat és különbségeket felfedezni a minták között [14-16]. Anomália detektálásról akkor beszélünk, ha az előre definiált normális mintázattól eltérő tulajdonságok vannak jelen a vizsgálat során, melyeket a hálózatnak detektálni szükséges. Ilyen feladatok esetén is több esetben találkozhatunk autoenkóder típusú hálózatok alkalmazhatóságával [17-20]. Ajánlórendszerek esetén szintén kiválóan felhasználhatók az autoenkóder hálózatok. Ebben a tekintetben a feladat, hogy a hálózat az előre realizált preferenciák alapján képes legyen az idealizált elvárásokhoz leginkább

igazodó kimenetet generálni [21-24]. Fontos terület az adatok bonyolultságának vagy dimenziójának csökkentése, ahol a cél az adatok egyszerűsítése olyan módon, hogy azok továbbra is elvárható hatások mellett felhasználhatók maradjanak [25-28].

3. Adatkészlet

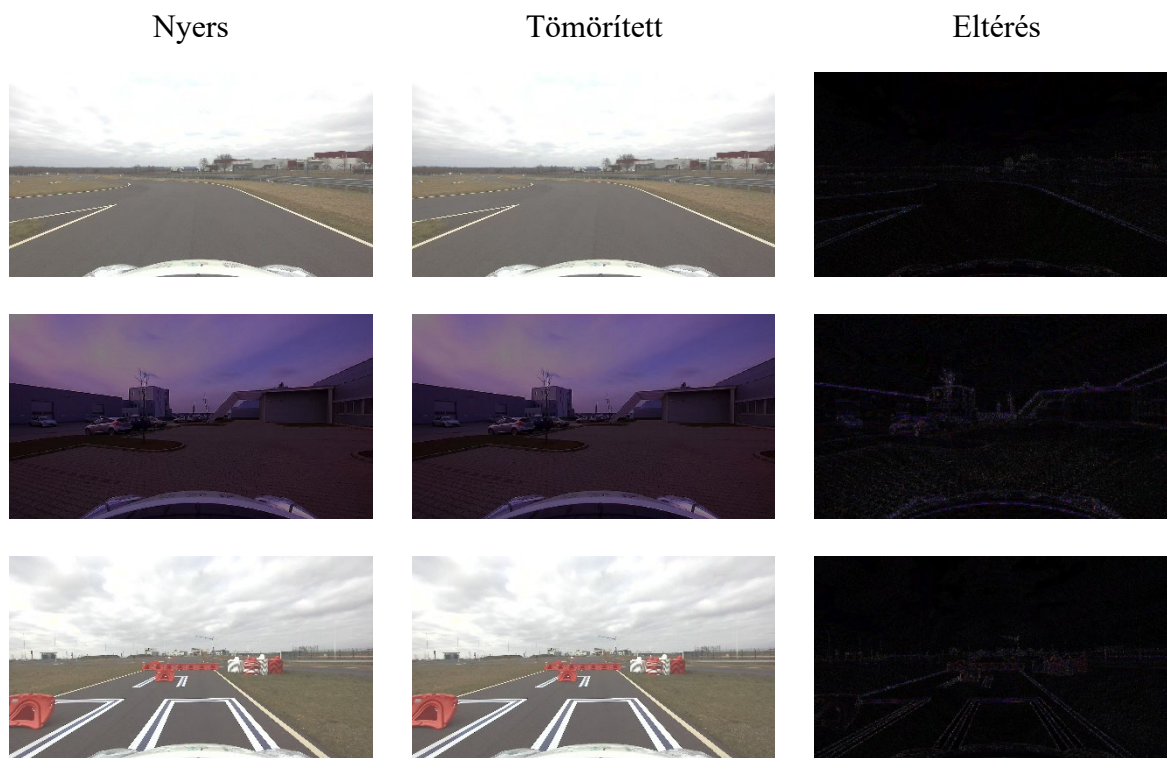
A kutatás során saját adatkészlet generálása történt meg, melynek több oka is van. Egyrészt elsődlegesen arra vagyunk kíváncsiak, hogy a saját rendszerünk esetén miként lehet a tömörített vizuális adatok minőségén javítani. Itt fontos, hogy elsődlegesen nem általános megoldást szeretnénk kínálni, hanem olyat, ami az általunk használt eszközök esetén képes a leginkább optimális közeli hatásfokot elérni. Másrészt az általunk alkalmazott szenzor képes olyan mérési adatok generálására és gyűjtésére, amely gyakorlatilag már a kész adatkészletet eredményezi. Az általunk használt autonóm jármű fedélzetén Stereolabs ZED 2[29] típusú passzív sztereó kamera került integrálásra, melyet a 2. ábra szemléltet. A kamerával történő kommunikációhoz és adatrögzítéshez a ROS 2[30] keretrendszer felhasználása történt meg. A kamera segítségével lehetőség van többféle üzemmódban rögzíteni felvételeket. Ezek közé tartozik a nyers és a veszteségesen tömörített adatfolyam is, melyeket képes a kamera egyszerre, szinkronban szolgáltatni. A kutatás során különféle felvétel készítése történt olyan módon, hogy a nyers és a tömörített adatfolyam is rögzítésre került.



2. ábra: A mérésekhez alkalmazott Stereolabs ZED 2 kamera (saját szerkesztés)

Az adatkészlet kialakításához a felvételek több különböző rögzítésből kerültek kiválogatásra annak érdekében, hogy a minták minél változatosabbak legyenek. Így azok különböző napszakban, különféle időjárási viszonyok között kerültek rögzítésre. Ezekből mutat néhány mintát a 3. ábra, ahol látható a nyers és a tömörített felvétel. A szemléltetés végett a két kép eltérése is vizualizálásra került. Az eltérések láthatóbb kiemelése végett az eltérés kép a nyers és a tömörített kép különbségének abszolút értékét tartalmazza normalizált formában. Jól látható a kamera által generált zajforrás jellege és hogy a legnagyobb eltérések ott mutatkoznak,

ahol a kép deriváltja is kiemelkedő. Ilyen felvételekből összesen 811 darab képpár került kijelölésre, melyek közül 647 minta alkotja a tanítókészletet és a maradék 164 képpárból épül fel a tesztkészlet. Az adatkészletben szereplő képek több különböző mérésből származnak. Ezért a képek mérete nem egységes. Megtalálható 2208×1242 méretű, valamint 1280×720 méretű minták. Azonban a kialakított hálózati architektúra minden esetben 256×256 képpont mérettel rendelkező képeket vár a bemeneti oldalán. Így a képek egységesen átméretezésre kerültek a tanítási folyamat során. A képek minden esetben 3 színcsatornával rendelkeznek, ahol a vörös, a zöld és a kék árnyalatok eltárolása történt meg. A hálózat kialakítása végett a képek szürkeárnyaltos konverziója történt meg.

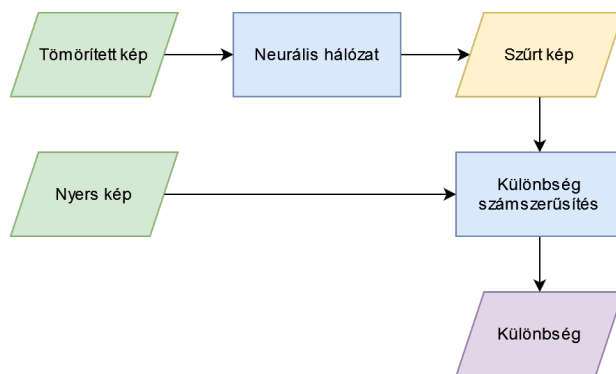


3. ábra: Mintaképek az adatkészletből és azok különbségtérképe (saját szerkesztés)

4. Hálózati architektúra

A kutatás során egy autóenkóder típusú neurális hálózati architektúra megkonstruálása történt meg, ahol a kialakítás során a kezdeti cél az volt, hogy minél egyszerűbb felépítés esetén vizsgáljuk meg, hogy milyen eredmény érhető el ilyen megközelítéssel. A 4. ábra a vizsgálat felépítését mutatja. Itt azt látjuk, hogy az adathalmazból érkező tömörített és nyers képpár

érkezik, melyek közül a tömörített minta kerül az neurális autoenkóder hálózat bemenetére. Ez alapján, a dekóder alhálózat kimeneteként születik meg a szűrt kép, ami a neurális hálózat kimeneteként tekinthető. A cél nem az, hogy az autoenkóder hálózat dekóder alhálózata a tömörített reprezentáció alapján egy olyan kimenetet legyen képes generálni, ami minél közelebb áll az enkóder alhálózat bemenetéhez. Ebben a speciális esetben a cél az, hogy a dekóder hálózat, a tömörített kép alapján generált reprezentációból egy olyan kimenetet legyen képes létrehozni, amely minél inkább hasonlít az eredeti tömörítetlen, nyers képre. A rendszer hatékonyságát az adja meg, hogy az autoenkóder hálózat kimenete és az adatkészletből érkező nyers kép mekkora eltérést mutat. Az eltérés alatt itt az intenzitás különbségek szummáját értjük. Tehát képkockáinként került meghatározásra, az intenzitás eltérés, majd ezek összegzése adja meg az adott képpár esetén az eltérést, amely minél inkább közelebb van a nullához, annál magasabb a hatékonyság. Ha az eltérés nulla, akkor az azt jelentheti, hogy a két kép teljes mértékben megegyezik, tehát az algoritmusnak minden zajt sikerült eltávolítania és előállítani az eredeti tömörítetlen képet. Természetesen ez csak elméleti lehetőség, nem elvárható, hogy az algoritmus ilyen hatásfokkal dolgozzon.



4. ábra: Vizsgálati rendszer terve (saját szerkesztés)

A kutatás során kialakított autoenkóder típusú mesterséges neurális hálózat felépítését az 5. ábra mutatja. A hálózat bemeneti oldalán egy $n \times 1 \times 256 \times 256$ méretű tenzort vár, ahol n a kötegben szereplő tömörített minták száma, 1 a színcsatornák száma, a kép szélessége és magassága pedig egyaránt 256. Ez után következik a hálózat enkóder szakasza, amely 3 további egységre bontható. Az egységek egy-egy konvolúciós rétegből, ReLU [31] aktivációs függvényből és köteg normalizációs elemből épülnek fel. Ezeket a struktúrákat egy-egy maximum összevonó réteg választja el, ahol a tenzorok mérete mindig a felére csökken. Így a kezdeti 256×256 méretből 64×64 méretű tömörített reprezentáció születik. A hálózat

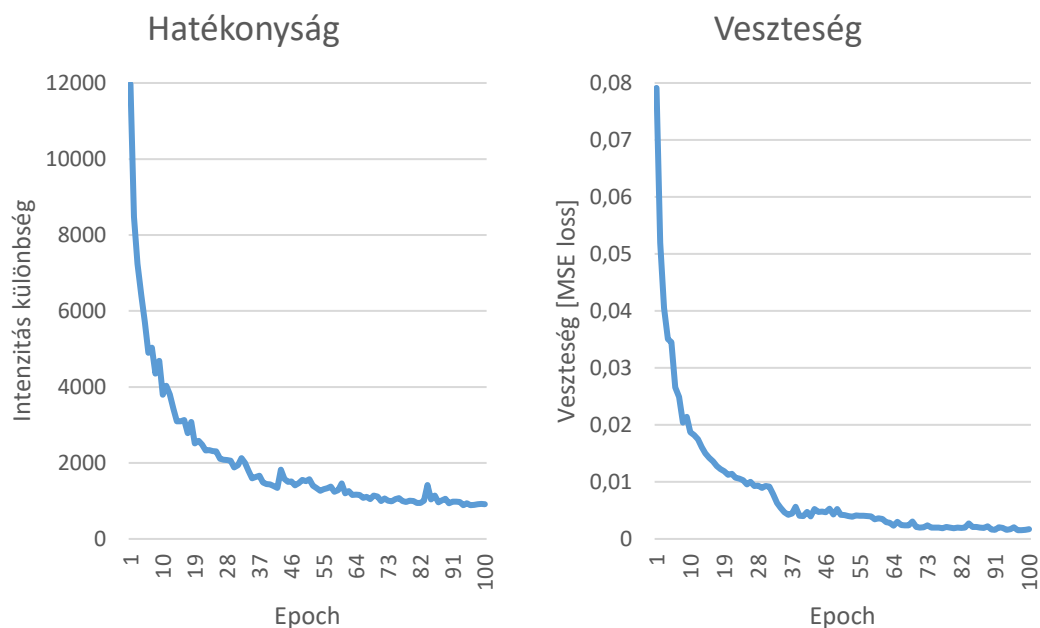
The diagram illustrates the U-Net architecture, which is a type of convolutional neural network (CNN) designed for image segmentation. It consists of an encoder, a bottleneck, a decoder, and skip connections.

- Encoder (Left):** The input image is processed by a series of convolutional layers (Conv), followed by ReLU activation functions, and then Batch Normalization (BatchNorm) layers. This sequence is repeated multiple times to extract features at different scales.
- Bottleneck (Center):** The encoder's output is passed through a MaxPool layer, followed by a Conv layer, a ReLU layer, and another Conv layer. This results in a "Tömörített reprezentáció" (Reduced representation).
- Decoder (Right):** The reduced representation is processed by a series of convolutional layers (Conv), followed by ReLU activation functions, and then Batch Normalization (BatchNorm) layers. This sequence is repeated multiple times to reconstruct the image.
- Skip Connections:** The diagram shows skip connections between the encoder and the decoder, which help to preserve spatial information and improve the quality of the reconstructed image.

5. Eredmények

55

mutatja az eredmények használhatóságát. A tanítás során az Adam [34] optimalizációs algoritmus került felhasználásra, a veszteség számításához pedig az átlagos négyzetes hiba (MSE Loss) metrika alkalmazása történt meg.



6. ábra: Mérési eredmények (saját szerkesztés)

A veszteségen kívül mérésre került a hálózat hatékonysága is. Ehhez a nyers, tömörítetlen kép, és a hálózat által szolgáltatott kimeneti kép közötti összes intenzitás eltérés meghatározása történt meg. Ebben az esetben a hálózat annál hatékonyabb, minél inkább a 0-hoz közelít ez az érték. A 0 hatékonysági érték jelenti az elméleti maximális hatékonyságot. Ebben az esetben a hálózatnak sikerült az eredeti nyers képpel teljes mértékben megegyező kimenetet előállítania. A leírt módon véghez vitt tanítás eredményét a 6. ábra szemlélteti, ahol az intenzitás különbségekből számított hatékonyság és az átlagos négyzetes hibából eredő veszteség görbáját láthatjuk a tanulási folyamat során. Mindkét függvény alapján azt vehetjük észre, hogy az iterációk során a hálózat hibája egyre kisebb lesz, ezzel pedig a hatékonyság is fokozatosan növekszik, végül kellően alacsony értékre csökken mind a mérhető hiba, mind az intenzitás különbségek.

1. táblázat: Mérési eredmények a tömörített és a szűrt képek esetén (saját szerkesztés)

Átlagos intenzitás eltérés a nyers és a tömörített képek között	Átlagos intenzitás eltérés a nyers és a szűrt képek között	Javulás mértéke
11 971	887	92,59%

A legjobb eredményeket az 1. táblázat mutatja részletesen. Itt azt láthatjuk, hogy az adatkészlet teszt készlete esetén, amely összesen 164 képpárból épül fel, átlagosan 11 971 intenzitás eltérés volt megfigyelhető képenként. Azaz a nyers és a tömörített kép különbségének abszolút értékének a szummája átlagosan ennyit mutatott. Ezzel szemben ugyanez az eltérés a nyers kép és az autoenkóder hálózat kimenete között 887 volt, mely értéket pusztán a bemeneti, tömörített kép alapján volt képes előállítani a hálózat. Mindezek alapján azt mondhatjuk, hogy a vizsgált adatkészlet esetén a javulás mértéke 92,59%-ra tehető. Így kijelenthető, hogy a hálózat képes olyan kimenet előállítására, amely nagyságrenddel jobban hasonlít a tömörítetlen bemenetre, mint annak tömörített, zajterhelt párjára.

6. Összegzés

Jelen tanulmányban a digitális képek esetén alkalmazott veszteséges tömörítési eljárásokból eredő zajterhelés kérdésével foglalkoztam. Megmutattam, hogy a Stereolabs ZED 2 kamera által szolgáltatott nyers és tömörített vizuális adatfolyam között milyen eltérés fedezhető fel. Kísérletet tettem egy autóenkóder alapú mesterséges neurális hálózat létrehozására, mellyel arra kívántam rávilágítani, hogy az ilyen jellegű hálózati kialakítások alkalmasak veszteséges tömörítésből eredő zajterhelések korrigálására. A vizsgálat során a cél annak feltárása volt, hogy mekkora határfok érhető el egy minél egyszerűbb felépítésű hálózat esetén. Az eredmények tekintetében különösen fontos volt, hogy kifejezetten a Stereolabs ZED 2 kamerája esetén vizsgáljam a méréseket, hiszen a megvalósítás alatt álló önvezető járműveink fedélzetén is ilyen szenzor egységek találhatók, ahol elérendő cél, hogy magasabb, megbízható határfokot lehessen garantálni még a tömörített adatfolyam esetén is. A korábbi mérések alapján generált adatkészlet alapján tanításra került a megalkotott autoenkóder hálózat. A prezentált tanítási eredmények alapján látható, hogy a kérdésben érdemes mélyrehatóbban vizsgálni az ilyen

jellegű hálózatok alkalmazhatóságát, hiszen kellően magas hatékonysági eredményt produkált a neurális hálózat. A kutatás következő szakaszaiban szeretném a hálózatot tovább fejleszteni olyan módon, hogy az nagyobb bemeneti minták esetén, valamint színes képek vizsgálata során is képes legyen kellő hatékonyság elérésére.

7. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NKTA-48 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] S. Jamil, M. J. Piran & MuhibUrRahman, “Learning-Driven Lossy Image Compression; A Comprehensive Survey.” arXiv, Jan. 23, 2022. doi: 10.48550/arXiv.2201.09240.
- [2.] Rehman, Mehwish & Sharif, Muhammad & Raza, Mudassar, “Image Compression: A Survey.” Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology. 2024, 7. 656-672. 10.19026/rjaset.7.303.
- [3.] K. Marlapalli, R. S. B. P. Bandlamudi, R. Busi, V. Pranav & B. Madhavrao, “A Review on Image Compression Techniques,” in Communication Software and Networks, S. C. Satapathy, V. Bhateja, M. Ramakrishna Murty, N. Gia Nhu, and Jayasri Kotti, Eds., Singapore: Springer, 2021, pp. 271–279. doi: 10.1007/978-981-15-5397-4_29.
- [4.] G. Garg & R. Kumar, “Analysis of Different Image Compression Techniques: A Review.” Rochester, NY, Feb. 10, 2022. doi: 10.2139/ssrn.4031725.
- [5.] S. Dodge & L. Karam, “Understanding how image quality affects deep neural networks,” in 2016 Eighth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX), Jun. 2016, pp. 1–6. doi: 10.1109/QoMEX.2016.7498955.
- [6.] G. K. Dziugaite, Z. Ghahramani & D. M. Roy, “A study of the effect of JPG compression on adversarial images.” arXiv, Aug. 02, 2016. doi: 10.48550/arXiv.1608.00853.

- [7.] A. E. Aydemir, A. Temizel & T. T. Temizel, “The Effects of JPEG and JPEG2000 Compression on Attacks using Adversarial Examples.” arXiv, Mar. 31, 2018. doi: 10.48550/arXiv.1803.10418.
- [8.] M. Ehrlich, L. Davis, S.-N. Lim & A. Shrivastava, “Analyzing and Mitigating JPEG Compression Defects in Deep Learning,” in 2021 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshops (ICCVW), Oct. 2021, pp. 2357–2367. doi: 10.1109/ICCVW54120.2021.00267.
- [9.] M. Chen, Z. Xu, K. Weinberger & F. Sha, “Marginalized Denoising Autoencoders for Domain Adaptation.” arXiv, Jun. 18, 2012. doi: 10.48550/arXiv.1206.4683.
- [10.] Erhan, Dumitru, Courville, Aaron, Bengio, Y. & Vincent, Pascal, “Why Does Unsupervised Pre-training Help Deep Learning?” Journal of Machine Learning Research - Proceedings Track. 9. 201-208.
- [11.] M. Gogoi & S. A. Begum, “Image Classification Using Deep Autoencoders,” in 2017 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC), Coimbatore: IEEE, 2017, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICCIC.2017.8524276.
- [12.] L. Le, A. Patterson & M. White, “Supervised autoencoders: Improving generalization performance with unsupervised regularizers,” in Advances in Neural Information Processing Systems, Curran Associates, Inc., 2018.
- [13.] Y. Zhang, K. Lee & H. Lee, “Augmenting Supervised Neural Networks with Unsupervised Objectives for Large-scale Image Classification,” in Proceedings of The 33rd International Conference on Machine Learning, PMLR, Jun. 2016, pp. 612–621.
- [14.] X. Guo, X. Liu, E. Zhu & J. Yin, “Deep Clustering with Convolutional Autoencoders,” D. Liu, S. Xie, Y. Li, D. Zhao & E.-S. M. El-Alfy, Eds., Cham: Springer International Publishing, 2017, pp. 373–382. doi: 10.1007/978-3-319-70096-0_39.
- [15.] C. Song, F. Liu, Y. Huang, L. Wang & T. Tan, “Auto-encoder Based Data Clustering,” in Progress in Pattern Recognition, Image Analysis, Computer Vision, and Applications, J. Ruiz-Shulcloper and G. Sanniti di Baja, Eds., Berlin, Heidelberg: Springer, 2013, pp. 117–124. doi: 10.1007/978-3-642-41822-8_15.

- [16.] K. Wagstaff, C. Cardie, S. Rogers & S. Schrödl, “Constrained K-means Clustering with Background Knowledge,” in Proceedings of the Eighteenth International Conference on Machine Learning, in ICML’01. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., Jun. 2001, pp. 577–584.
- [17.] D. Gong et al., “Memorizing Normality to Detect Anomaly: Memory-augmented Deep Autoencoder for Unsupervised Anomaly Detection.” arXiv, Aug. 06, 2019. doi: 10.48550/arXiv.1904.02639.
- [18.] M. Hasan, J. Choi, J. Neumann, A. K. Roy-Chowdhury & L. S. Davis, “Learning Temporal Regularity in Video Sequences.” arXiv, Apr. 15, 2016. doi: 10.48550/arXiv.1604.04574.
- [19.] Y. Zhao, B. Deng, C. Shen, Y. Liu, H. Lu & X.-S. Hua, “Spatio-Temporal AutoEncoder for Video Anomaly Detection,” in Proceedings of the 25th ACM international conference on Multimedia, Mountain View California USA: ACM, Oct. 2017, pp. 1933–1941. doi: 10.1145/3123266.3123451.
- [20.] B. Zong et al., “Deep Autoencoding Gaussian Mixture Model for Unsupervised Anomaly Detection,” presented at the International Conference on Learning Representations, Feb. 2018.
- [21.] J. L. Herlocker, J. A. Konstan & J. Riedl, “Explaining collaborative filtering recommendations,” in Proceedings of the 2000 ACM conference on Computer supported cooperative work, in CSCW’00. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, Dec. 2000, pp. 241–250. doi: 10.1145/358916.358995.
- [22.] F. Ricci, L. Rokach & B. Shapira, “Introduction to Recommender Systems Handbook,” in Recommender Systems Handbook, F. Ricci, L. Rokach, B. Shapira, and P. B. Kantor, Eds., Boston, MA: Springer US, 2011, pp. 1–35. doi: 10.1007/978-0-387-85820-3_1.
- [23.] S. Sedhain, A. K. Menon, S. Sanner & L. Xie, “AutoRec: Autoencoders Meet Collaborative Filtering,” in Proceedings of the 24th International Conference on World Wide Web, in WWW ’15 Companion. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, May 2015, pp. 111–112. doi: 10.1145/2740908.2742726.

- [24.] F. Strub, R. Gaudel & J. Mary, “Hybrid Recommender System based on Autoencoders,” in Proceedings of the 1st Workshop on Deep Learning for Recommender Systems, Sep. 2016, pp. 11–16. doi: 10.1145/2988450.2988456.
- [25.] G. E. Hinton and R. R. Salakhutdinov, “Reducing the Dimensionality of Data with Neural Networks,” *Science*, vol. 313, no. 5786, pp. 504–507, Jul. 2006, doi: 10.1126/science.1127647.
- [26.] J. B. Tenenbaum, V. de Silva & J. C. Langford, “A global geometric framework for nonlinear dimensionality reduction,” *Science*, vol. 290, no. 5500, pp. 2319–2323, Dec. 2000, doi: 10.1126/science.290.5500.2319.
- [27.] W. Wang, Y. Huang, Y. Wang & L. Wang, “Generalized Autoencoder: A Neural Network Framework for Dimensionality Reduction,” 2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, pp. 496–503, 2014, doi: 10.1109/CVPRW.2014.79.
- [28.] Y. Wang, H. Yao & S. Zhao, “Auto-encoder based dimensionality reduction,” *Neurocomputing*, vol. 184, pp. 232–242, Apr. 2016, doi: 10.1016/j.neucom.2015.08.104.
- [29.] Stereolabs Inc., “Stereolabs Docs: API Reference, Tutorials, and Integration.” [Online]. <https://www.stereolabs.com/docs>
- [30.] S. Macenski, T. Foote, B. Gerkey, C. Lalancette & W. Woodall, “Robot Operating System 2: Design, architecture, and uses in the wild,” *Sci. Robot.*, vol. 7, no. 66, p. eabm6074, May 2022, doi: 10.1126/scirobotics.abm6074.
- [31.] A. F. Agarap, “Deep Learning using Rectified Linear Units (ReLU).” arXiv, Feb. 07, 2019. doi: 10.48550/arXiv.1803.08375.
- [32.] G. Van Rossum and F. L. Drake, *Python 3 Reference Manual*. Scotts Valley, CA: CreateSpace, 2009.
- [33.] A. Paszke et al., “PyTorch: An Imperative Style, High-Performance Deep Learning Library.” arXiv, Dec. 03, 2019. doi: 10.48550/arXiv.1912.01703.
- [34.] D. P. Kingma & J. Ba, “Adam: A Method for Stochastic Optimization,” in 3rd International Conference on Learning Representations, ICLR 2015, San Diego, CA, USA, May 7-9, 2015, Conference Track Proceedings, Y. Bengio and Y. LeCun, Eds., 2015.

Emberszerű Sávtartó Funkció Megvalósítása Prototípus Járőmőben

The Implementation of a Human-Like Lane Keep System in a Prototype Vehicle

Ignéczi Gergő Ferenc^a, Józsa Dávid^b

^aSzéchenyi István Egyetem, Jármőipari Kutatóközpont

gergo.igneczi@ga.sze.hu

^bSzéchenyi István Egyetem, Jármőipari Kutatóközpont

jozsa.david@ga.sze.hu

Absztrakt

A sávtartó automatikák fejlesztése jó pár éve zajlik. A legtöbb piacon lévő rendszer képes a járművet aktívan az úton tartani. A funkció érzékeli a sáv széleket, majd a sáv közepét követve kormányozza a járművet. Ez azonban sokszor nem természetes, hiszen a járművezetők előszeretettel térnek el a sáv közepétől (pl., sávlevágás, elhúzódas...stb.). Munkánk során egy korábban azonosított emberszerű útvonal tervező algoritmust integráltunk két járműbe. Az egyik megoldás során kizárólag a járműben megtalálható kamera és a sávfelismerő algoritmus által adott sávinformáció alapján végezzük el a tervezést, míg a másik járműben nagy pontosságú lokalizációt és statikus térkép információkat használtunk fel. Egyrészt megmutattuk, hogy a kialakított vezetői modell és tervező jól integrálható több rendszerbe is. Ezzel a funkció későbbi gazdasági értéke növelhető. Másrészt megmutattuk, hogy habár a kizárólag járműben található szenzorok alapján végzett tervező egyszerűbb (nincs szükség térkép adatokra), a sávfelismerés pontatlansága nagyban befolyásolja a tervezett útvonalat. Ez a pontatlanság épp a funkció emberszerűségét csökkenti, hiszen a szabályzó nem képes robosztusan lekövetni az útvonalat. A térkép alapú megvalósítás sokkal pontosabb, így a funkció működése is kielégítőbb. Ugyanakkor megmutattuk, hogy nagyban befolyásolja a pontosságot a lokalizáció, azon belül is a jármű orientáció mérési hibája, illetve a térkép adatok pontatlansága. Összeségében a térkép alapú tervezést ajánljuk, figyelembe véve a hatásanalízis során tapasztalt gyenge pontokat.

Kulcsszavak: vezetői modell, útvonaltervezés, sávtartás, megvalósítás

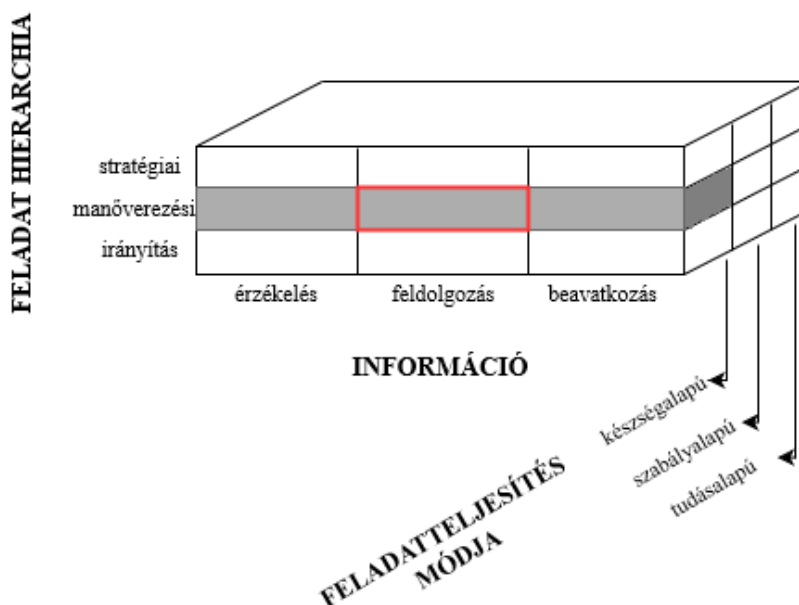
Abstract

The development of the lane keep systems has been ongoing for many years. Most of these systems can track the vehicle on road. The function senses the edges of the lane, then following the center of the lane it steers the vehicle. However, this is often not naturalistic, as drivers like to keep an offset to the lane center (e.g., curve cutting, shift to one side...etc.). In our paper we have integrated a human-like path planning algorithm into two different vehicle platforms. On one of these platforms the in-vehicle perception sensors have been used exclusively, while on the other high accuracy localization and pre-recorded map were also utilized. First, we have shown that the driver model and path planner could be integrated smoothly into multiple platforms. By this, the later market value of the function can be increased. Secondly, it has been proven that even though using only in-vehicle sensors highly simplifies the system, the inaccuracy of the lane detection impairs the planned path. This inaccuracy will finally lead to decrease the human-likeness of the path, as the controller will not be able to follow it properly. The map-based solution is of higher accuracy, hence the complete function works better. On the other hand, it has been also revealed that the localization problems also highly affects the function, especially the orientation error of the vehicle. It is concluded, that the map based solution is preferred, considering the aforementioned weak-points.

Keywords: driver model, path planning, lane keeping, implementation

1. Bevezetés

Korábbi munkánk során megalkottunk egy olyan vezetői modellt, amely az út geometriája alapján képes leírni az emberi járművezetők ívválasztási preferenciáit [1] [2]. Ezt a modellt Lineáris Vezetői Modellnek (Linear Driver Model, LDM) nevezzük. A modell kizárólag a jármű szintű tervezés feladatához kapcsolódik, azon belül is az útvonal geometriáját tervezi meg statikus (út) információk alapján. Ez a megközelítés a vezetői modellezés terén ismert Theeuwes-féle 3-dimenziós vezetői modell [3] rendszerében a manőverezés – feldolgozás – készség alapú vezetés metszéspontban helyezhető el. A modell rendszer illusztrációját az 1. ábra mutatja.



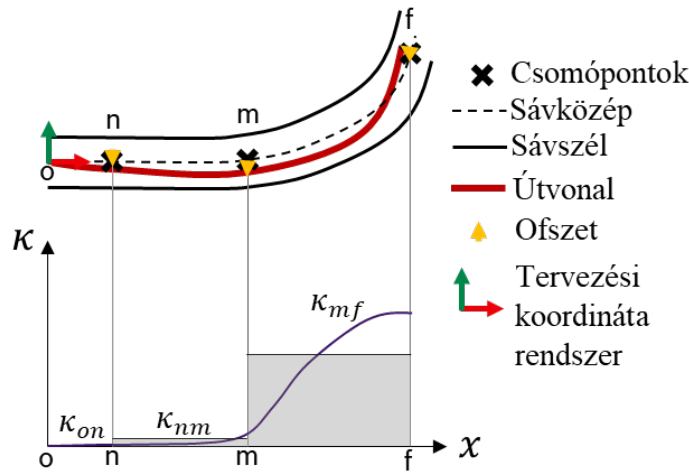
1. ábra: A 3-dimenziós vezetői modellrendszer szemléltetése, forrás: [3]

Az LDM modell egy lokális tervezést támogató modell. Alapjait a következő feltételezések alkotják:

- a vezetők érzékelik az előttük lévő teret egy bizonyos előretekintési távolságon belül, majd az érzékelt információkat felhasználva útvonalat terveznek.
- A vezetők rendelkeznek egy ösztönös környezeti modellel, amely az érzékelt valóságot egy leegyszerűsített modellje.
- A sávközépet tekinthetjük referencia vonalnak, az attól való eltérés az alapja az útvonaltervezésnek.

Folyamatos tervezés zajlik, bizonyos időközönként a vezetők újra-és-újra terveznek.

Ezeket a feltételezéseket figyelembe véve alkottuk meg modellt, mely három csomópont által definiált szegmenseken alapszik. A 3 csomópont különböző távolságokban, az előretekintési távon belül helyezkedik el. Ezeket az angol terminológia szerint near (közeli), mid (középtávoli) és far (távoli) pontoknak nevezzük. Távolságuk szabadon megválasztható paraméter. A csomópontok és a tervezés kezdőpontja (o – origin) által kijelölt három szegmensen belül mérjük az út átlagos görbületét. Ez összesen 3 átlaggörbület értéket ad meg, ez tekinthetjük a környezet modelljének. Ezen átlagos görbületek lineáris kombinációja adja meg a csomópontok eltolását a sáv közepétől.



2. ábra: A Lineáris Vezetői Modell működésének illusztrációja (saját szerkesztés)

A működés illusztrációját egy adott időpillanatra, egy adott helyzetben a 2. ábra mutatja. Ebben a példában a jármű egy bal kanyar előtt jár, még egyenes szakaszon, azaz $\kappa_{on} \cong 0$. Ezek után a bal kanyarba folyamatosan nő az útgörbület, $0 \ll \kappa_{nm} < \kappa_{mf}$.

$$\delta_i = P_{left} \max\{0, \kappa_i\} + P_{right} \min\{\kappa_i, 0\} + \delta_0 I \quad (1)$$

Az LDM modell egyenletét (1) adja meg. $I \in \mathbb{R}^3$ egységvektor, $\kappa_i = [\kappa_{on} \ \kappa_{nm} \ \kappa_{mf}]_i^T$ a bemeneti vektor az i^{th} számítási ciklusban, κ_{on} , κ_{nm} és κ_{mf} az említett átlag útgörbületek, $\delta_i = [\delta_{n_i} \ \delta_{m_i} \ \delta_{f_i}]_i^T$ a csomóponti eltolások vektora. $P_{left}, P_{right} \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$ a bal és a jobb kanyarokra jellemző paraméter mátrixok, δ_0 az egyenes béli eltolások. A modell összefüggéseit, és a 2. ábra látható példát alapul véve megfelelő paraméter választással elérhető a pirossal jelzett útvonal.

A paramétereket megválaszthatjuk közvetlenül a vezetők adatai alapján, modell illesztéssel. Ezt megtehetjük pl. a legkisebb négyzetek módszerével, átalakítva (1)-et:

$$\mathbf{D} = \mathbf{D}_{left} + \mathbf{D}_{right} + \delta_0 \mathbf{I} = \mathbf{P}_{left} \mathbf{U}_{left} + \mathbf{P}_{right} \mathbf{U}_{right} + \delta_0 \mathbf{I} \quad (2)$$

Ahol $\mathbf{D}_{left} = [\delta_j \dots \delta_M] \in \mathbb{R}^{3 \times M}$ és $\mathbf{U}_{left} = [\kappa_j \dots \kappa_M] \in \mathbb{R}^{3 \times M}$, ahol $j \in I_{left}$, és I_{left} azon i indexek csoportja, melyekre $\bar{\kappa}_i > \kappa_{min}$ és κ_{min} egy tetszőlegesen választott görbület. Hasonlóan $j \in I_{right}$, és I_{right} azon i indexek csoportja, melyekre $\bar{\kappa}_i < -\kappa_{min}$. (2)-t szétbonthatjuk két részre, melyek paramétereit külön-külön illeszthetjük: $\mathbf{D}_{left} = \mathbf{P}_{left} \mathbf{U}_{left}$ és $\mathbf{D}_{right} = \mathbf{P}_{right} \mathbf{U}_{right}$ alakokban. Ezeket tovább alakíthatjuk (elhagyva a 'left' és 'right' indexeket, érvényes mindkettő modellrészre ugyanúgy):

$$\mathbf{D} = \mathbf{P} \mathbf{U} + \boldsymbol{\varepsilon}, \quad (3)$$

ahol $\boldsymbol{\varepsilon} \in \mathbb{R}^{3 \times M}$ az illesztés hiba mátrixa. A legkisebb négyzetek módszere esetén cél (4) minimalizálása, a paraméterek megfelelő megválasztásával.

$$\boldsymbol{\varepsilon}^T \boldsymbol{\varepsilon} = (\mathbf{D} - \mathbf{P} \mathbf{U})^T (\mathbf{D} - \mathbf{P} \mathbf{U}) \quad (4)$$

(4)-ből deriválás, és átrendezés után megkapjuk a megoldás Moore-Penrose féle pszeudóinverz alakját:

$$\mathbf{P} = \mathbf{D} \mathbf{U}^T (\mathbf{U} \mathbf{U}^T)^{-1} \quad (5)$$

(5) egyenletet megoldva tetszőleges vezető adatára megkapjuk a rá jellemző modell paramétereket.

Egy nagyobb (19 vezetőt tartalmazó) adatbázison minden vezetőre meghatároztuk a rá jellemző összesen 19 paramétert (9 bal, 9 jobb és 1 egyenes béli paraméter). Ezeket a MATLAB 'kmeans' klaszterező algoritmusának segítségével 3 klaszterre bontottuk [4]. Ezekhez a klaszterekhez egyben vezetési attitűdöket is társítottunk ezzel bizonyítva, hogy a klaszterek egyben vezetési típusokat is jelentenek.

Jelen cikkben ennek a vezetői modellnek az integrációját és egy valódi járművön elvégzett validációját mutatjuk be. Először a megvalósítás során használt integrációs környezetet részletezzük. Kitérünk az algoritmus architektúrájára, az interfészekre és két célkörnyezetre.

Ezek után megmutatjuk a megvalósítások eredményeit, felfedve azok gyenge pontjait. A modell és a tervező az aktív sávtartási funkcióhoz kapcsolódik [5].

2. Algoritmus megvalósítási környezetei

2.1 Rendszerarchitektúrák

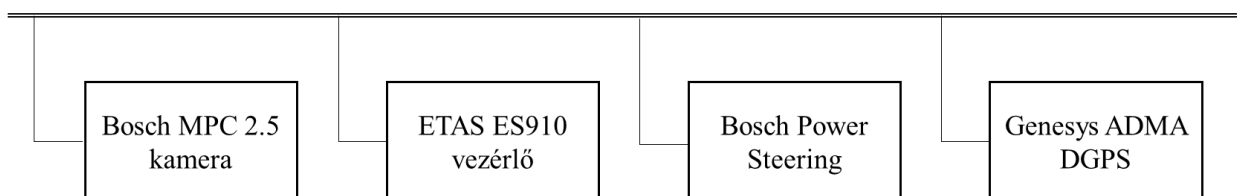
Az algoritmus korábban MATLAB szkript formájában lett megvalósítva. Ahhoz, hogy a modellt járműben is tesztelni tudjuk, olyan programozási nyelvet kell használni, mely futtatható a járműben található hardvereken is. Két járműplatformot használunk:

- Volkswagen Golf Bosch fejlesztési tesztautó, mely tartalmazza egy sávtartó rendszer mozgástervezési és szabályzási szoftverkomponenseit,
- Nissan Leaf / Lexus egyetemi platform, prototípus irányítási rendszerekkel, mely elsősorban az Autoware Auto [6] irányítási komponenseit tartalmazza.

A Bosch fejlesztési autójának rendszerarchitektúráját a 3. ábra mutatja. A rendszer tartalmaz egy szériagyártott MPC 2.5 névre hallgató mono-kamerát, amely a sávszélek felismeréséért felel. Kimenete egy Euler-görbe halmaz, annak paramétereit CAN hálózaton küldi a többi vezérlőnek. 4 sávszélet képes felismerni a kamera: a jármű saját sávjának (az a sáv, ahol a jármű tartózkodik) bal- és jobb oldalát; a járműtől balra elhelyezkedő sávszél baloldalát, illetve a járműtől jobbra elhelyezkedő sáv jobb oldalát. A sávok pozícióját minden esetben a jármű hátsó tengelyéhez rendelt koordinátarendszerben adja meg. Hasonló Euler-görbe alapú sávmodell sok más megvalósításban is szerepel [7] [8] [9] [10], illetve saját munkák során is használtunk ilyen sávmodelleket [11]. Ebben a cikkben implementáltunk egy olyan Kalman-szűrőt, mely segítségével képesek vagyunk a felismert sávszél stabilizálására. Ugyanilyen megoldást alkalmaz a fentebb említett kamera szoftvere is, így a felismert sávszél pontossága olyan körülmények között, ahol nincs nagy görbület változás, illetve elágazás (kereszteződés), kifejezetten pontos, ± 2 cm tartományban van. Továbbá a kamera az ún. párhuzamos-sávok modelljét használja, azaz a felismert 4 sávszél feltehetőleg párhuzamos, a paraméterek is ezt tükrözik. Ezáltal lehetséges a sávok egymáshoz vett pontosítása is (pl. 3 sávszél pontos felismerése esetén a 4-et igazítjuk a többihez). A fő vezérlő az ETAS cég által gyártott ES910

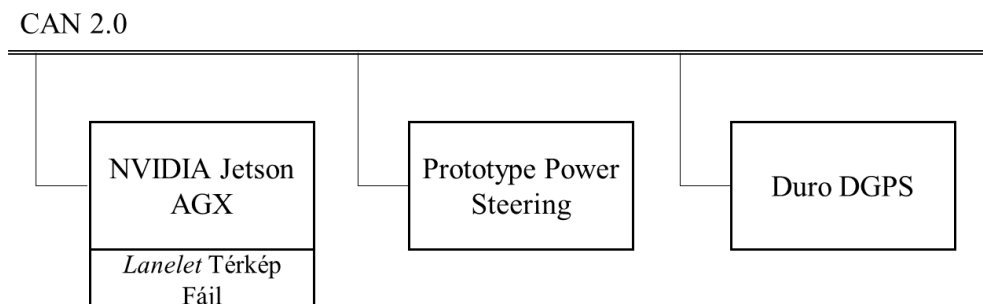
vezérlő egység, mely egy folytonos-idejű mikroprocesszort tartalmaz. Ez a vezérlő támogatja a C illetve C++ nyelveken írt kód fordítását, a hozzátartozó eszközlánc segítségével. Az ezen futó szoftver egy korábbi (2021-es gyártási évű) sávtartó rendszer szoftverkomponenseit tartalmazza. A belső szoftverarchitektúráról később szólunk. A járműszintű irányítás egy szintén szériagyártott kormányaszervó vezérlőnek továbbítódik. Az interfész a járműirányítás és az alacsony szintű kormányaszög szabályzás között maga a kormányaszög. A járműben elérhető egy, a Genesys cég által gyártott ADMA Differenciális GPS rendszer, RTK pontosítással, két Novatel antennával. RTK pontosítás esetén a pozíció becslés pontossága +/- 2 cm. Az ADMA tartalmaz egy Kalman-szűrőt, melynek segítségével a pozíció jelek időbeli felbontása a GPS rendszer használt 20 Hz-ről 100 Hz-re nő.

CAN 2.0



3. ábra: Volkswagen Golf fejlesztési jármű rendszerarchitektúrája (saját szerkesztés)

Az egyetem által használt prototípus irányítási rendszer architektúrája a **4. ábra** látható. A fő vezérlő egység *Nvidia* által gyártott ún. *Jetson AGX* vezérlő, mely egy Ubuntu alapú számítógép. Ezen fut a Robot Operating System nevű *middleware*, amely tartalmazza a járműszintű irányítás komponenseit. Ezek a komponensek a korábban említett Autoware Auto fejlesztései. A Jetsonon található az osm kiterjesztésű térkép adatokat tartalmazó, xml formátumú file, amiből elérhető a tesztpálya nagyfelbontású ún. *High-Definition* (HD) térképe [12]. A járműirányítás kimenete ebben az esetben is a célkormányaszög, melyet egy prototípus kormányaszög szabályzás valósít meg. Megjegyezzük, hogy ez a kormányaszög szabályzás jóval nagyobb pontatlansággal és kisebb működési tartománnyal rendelkezik, mint a Bosch által kínált szervóhajtás. Ez a későbbi teszteken problémát okoz, hiszen így a kis célkormányaszögeket (egyenesen haladás), továbbá nagy sebességeket (nagyobb visszaható nyomatékok a kerekek felől) nehezebben tudja ez a szabályzás kezelni. Ezen kívül a rendszerben elérhető egy *Duro* típusú, RTK pontosított DGPS rendszer, amely szintén tartalmaz egy Kalman-szűrőt, így az elérhető időbeli felbontás itt is 100 Hz.



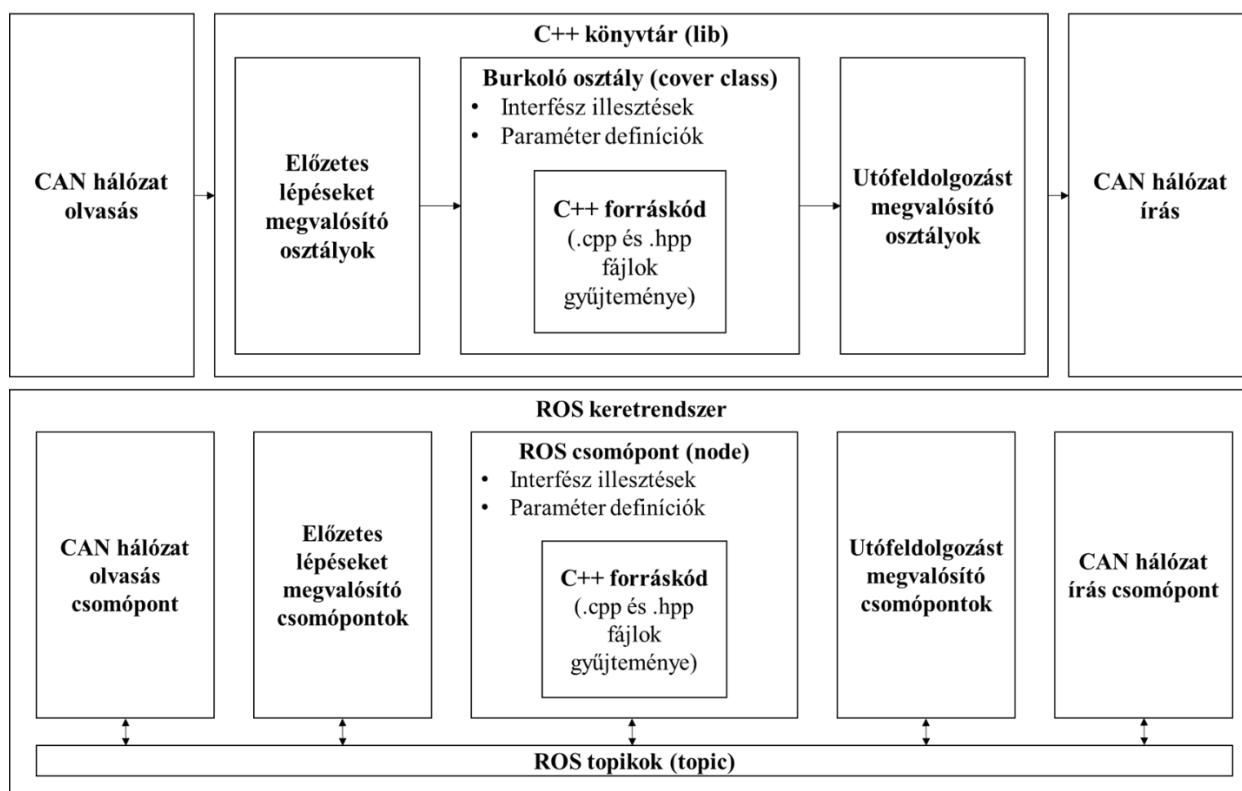
4. ábra: Nissan Leaf / Lexus prototípus jármű rendszerarchitektúrája. (saját szerkesztés)

Ahogy a rendszerarchitektúrákból látjuk, mindkét platform rendelkezik egy-egy fő vezérlővel, amelyen a járműszintű irányítás komponensei futnak. Ez a Bosch tesztautó esetében egy valós idejű mikroprocesszoros vezérlő C ill. C++ nyelv támogatásával, az egyetemi prototípus rendszer esetén pedig az Nvidia Jetson, elsősorban ROS támogatással, ami viszont szintén kompatibilis a C++ nyelvvel (emellett Pythonban is programozható). Figyelembe véve ezeket az adottságokat, egy olyan megvalósítási koncepció mellett döntöttünk, amelynél a lehető legjobb az átjárás a két rendszer (avagy további rendszerek) között. Ennek a következő tulajdonságokkal kell rendelkeznie:

- a kommunikációs réteg és az applikációs réteg szétválasztása,
- szabványosított programnyelv használata,
- általános funkcionális interfészek használata, azaz a bemenetek és kimenetek megválasztása úgy, hogy a lehető legkevésbé függjön az azokat előállító és fogadó komponensek tulajdonságaitól,
- a szoftver elemek felépítése, hogy a fenti szempontokat támogassa (azaz pl. definíciós fájl dependenciák minimalizálása (ún. header fájlok struktúrált elosztása)).

Ezen szempontok szerinti alap szoftverarchitektúrát az 5. ábra mutatja. A felső ábrán látható a Bosch platform architektúrája, az alsón az egyetemié. Mindkét esetben a C++ forráskód megegyezik, azaz ugyanaz a fájl állományt használjuk, ezzel biztosítva a könnyű átemelést, illetve validációt (a forrás fájlokat egység és szoftver tesztekkel még számítógépes környezetben validáltuk). A Bosch platformon a tervező és a vezetői modell osztályát egy ún. burkoló osztályba (*cover class*) integráljuk. Hasonló osztályokkal (pl. felismerés, lekövetés...stb.) belső interfészekon keresztül kapcsolódunk. Az egész forráskódot egy C++

könyvtárba integráljuk, ezt a könyvtárat már az ETAS eszköztára támogatja. Szintén az ETAS biztosítja a hardverhez szükséges CAN vezérlőket, amelyen keresztül fogadjuk és küldjük az üzeneteket. Az egyetemi platformon az ún. Robot Operating System (ROS) *middleware* biztosítja a keretrendszert. A többi komponens is külön-külön ROS csomópontként (*node*) van definiálva, ezek az ún. ROS topikokon (*topic*) keresztül kommunikálnak. Ugyanígy ROS csomópontok biztosítják a CAN írás/olvasást.



5. ábra: Az integrált rendszer általános szoftverarchitektúrája, a kommunikációs és az applikációs rétegek külön feltüntetve (saját szerkesztés)

A Bosch által kínált komponensek a következők:

- Sávközép számítás / referencia vonal számítás: a kamera által biztosított Euler-görbe modell paramétereinek alapján sávközép számítás, majd egy polinom modell illesztése (egy db. harmadfokú polinom illesztése). Hasonló megoldást találunk az irodalomban is sok helyen [13] [14] [15].
- Optimális trajektória tervezés: egy olyan tervező, amely a referenciavonalra tervez egy ötödfokú polinomot abban az esetben, ha a jármű túl messzire sodródik a vonaltól. Ennek alapját [14] foglalja össze.

- Lekövető szabályzás: egy PID alapú zárthurkú szabályzó, mely előállítja a célkormányászóget. Alapjait [16] foglalja össze. A szabályzó bemenete vagy a harmadfokú polinom (referencia vonal) vagy ötödfokú polinom (optimális trajektória).

Az egyetemi infrastruktúrában a *Lanelet* térkép alapján határozzuk meg a sávközép helyzetét. A szükséges adatokat a lokális tárolásnak köszönhetően külső tényezőktől függetlenül le lehet kérdezni, ezáltal csökkentve az esetleges késleltetéseket. Lekérdezés során mindig a jármű előtt található útvonalat kapjuk meg. Így a következő komponensek futnak a rendszerben:

- *Lanelet* térkép számítás – megadja a sávközép pontjait, majd egy harmadfokú polinomot illeszt rájuk a legkisebb négyzetek módszerével. Ezzel előáll ugyanaz a bemenet, mint a Bosch rendszerében.
- Lekövető szabályzás: az Autoware Auto által kínált MPC algoritmust, mely szintén széles körben elterjedt irányítási megoldás [17] [18].

Ezen komponensek közé illesztjük a saját útvonal illesztési és vezetői modell szoftvereinket. A vezetői modell és a hozzá kapcsolódó tervező algoritmus interfészei a következők:

- lokalizáció: $\mathbf{p} = [X_{ego} \ Y_{ego} \ \Theta_{ego}]^T$ – a jármű pozíciója és orientációja az $[X \ Y]$ globális síkon, forrása Duro vagy ADMA DGPS rendszerek,
- sávközép paraméterei: $\mathbf{c} = [c_0 \ c_1 \ c_2 \ c_3]^T$ – egy harmadfokú polinom együtthatói,
- paraméterek: $\mathbf{P}_{npDistances} = [d_n \ d_m \ d_f]^T$ és $\mathbf{P}_{LDM} \in \mathbb{R}^{19}$ – a vezetői modell paraméterei.

A következő fejezetben részletezzük a fentebb említett komponenseket és azok működését.

2.2 Valós idejű érzékelés – Bosch sávtartó rendszer

Az általunk használt Bosch sávtartó rendszer a 2. pontban bemutatott architektúrát követi. A sávmodell egy harmadfokú polinom. Mint azt a 3. fejezetben látni fogjuk, ez az egyszerűsített modell jelentős hibát visz a rendszerbe. A sávmodell kimenetét adjuk át az LDM modellnek és a hozzá kapcsolódó útvonal tervezésnek. A szoftver ezen kívül tartalmaz még egy optimális útvonal tervezőt, mely kifejezetten akkor aktív, ha a jármű – pl. a szabályzás hibájából adódóan

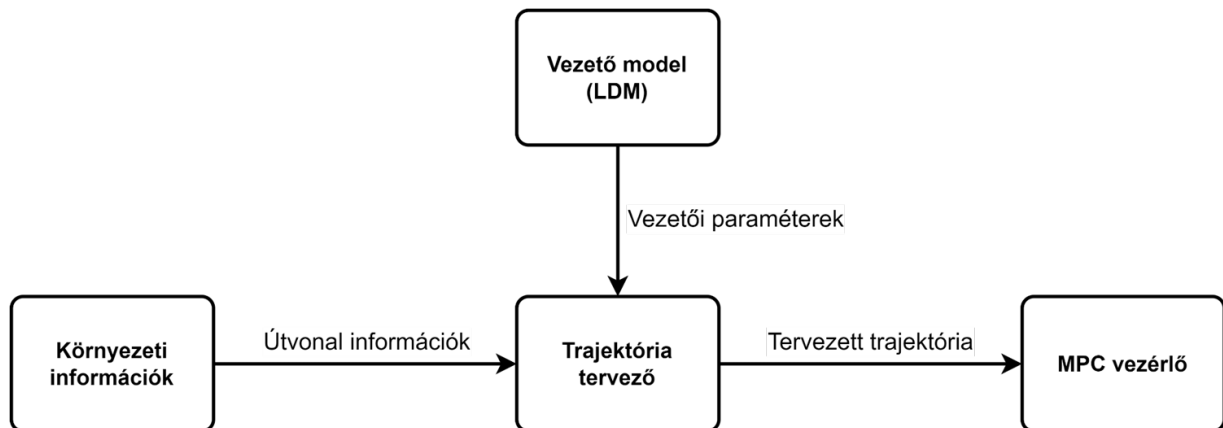
– nagy mértékben eltér a tervezett útvonaltól. Ennek működése [14] által javasolt megoldáson alapszik. Ezt a komponenst is kihasználjuk, bár megjegyezzük, hogy az LDM-hez kapcsolt tervező kimenete közvetlenül átadható a lekövető szabályzásnak. Ugyanakkor a kifejezetten nagy szabályzási hibák leküzdésére jónak találtuk megtartani az optimális tervezőt is. A lekövető szabályzás többszintű, azonban a legfontosabb a jármű szintű szabályzás, mely előállítja a jármű cél-szögsebességét. Ennek felépítése [16] ajánlásán alapszik. A szabályzó hangolásával jelen munka során nem foglalkoztunk. Ugyanakkor megjegyezzük, hogy a paraméterek értéke megegyezik a Bosch által kínált platform alap paramétereivel, melyeket az ide vonatkozó szabályzások és komfort követelmények alapján szériaérettségre készen állítottak be. Ez alapján feltételezzük, hogy a szabályzó működése bizonyos körülmények között optimális.

Ugyanakkor azt is tudjuk, hogy a beállítások kifejezetten autópályán történő aktív sávtartásra lettek hangolva. Ez azt is jelenti, hogy alacsony sebesség és/vagy nagy görbület (pl. országút) mellett a szabályzó teljesítménye nagyban romlik. Emiatt ezzel a rendszerrel kizárólag autópályás környezetben teszteltünk. A teszt útvonal az M4 autópályán Gyömrő és Cegléd közötti szakasza. Megfontolva az irányítás többi elemét, a következő kritikus pontokra hegyezzük ki az elvégzett teszteket:

- a szabályzó hibájából eredő szórás,
- a sávmodellből és a hozzá csatlakozó szűrésből eredő hiba, késés.

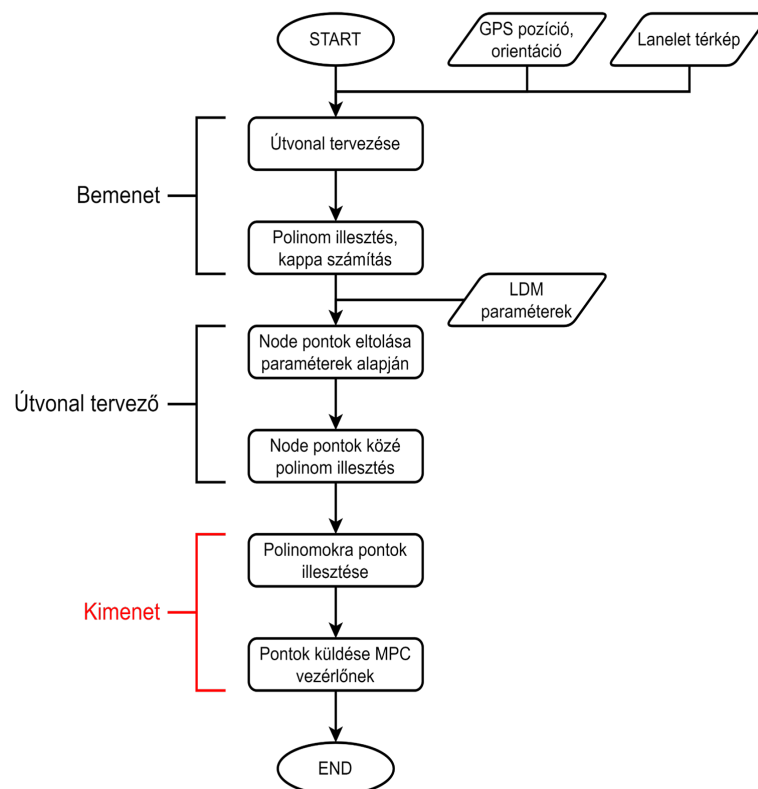
2.3 Térkép alapú érzékelés – Egyetemi prototípus rendszer

Az egyetemi prototípus megvalósításban a legnagyobb különbség a Bosch platformhoz képest, hogy a referencia vonal adatai nem kamerából érkeznek, hanem egy térképes forrásból. Az interfészt már a térkép lekérdező komponens igazítja, így a modell és a tervező ugyanazt a harmadfokú polinomot használhatja. Az egyszerűsített belső szoftverarchitektúra a 6. ábra látható. A környezeti információk érkeznek a térkép adatokból. Itt feltüntettük a vezetői modellt és a tervezőt külön. Ez az architektúra megfelel a korábban bemutatottnak annyi különbséggel, hogy a tervezett trajektória, melyet az MPC vezérlőnek biztosítunk nem polinom alakot vesz fel, hanem kiértékelt poligon pontok 1 méteres felbontással.



6. ábra: Az egyetemi platformon megvalósított belső szoftverarchitektúra. (saját szerkesztés)

Az MPC korábban behangoltuk úgy, hogy a 0-70 kph sebességtartományon stabilan (oszilláció nélkül) működjön. A részletes architektúrát a 7. ábra mutatja. Látható, hogy azért, hogy közös interfészt tudjunk használni mindkét integrációs platformon, külön komponensként bekerült a láncba a polinom illesztés, illetve a polinomokra pontok illesztése. Az ilyen illesztő funkciókra szükség van ahhoz, hogy az integráció könnyű legyen.

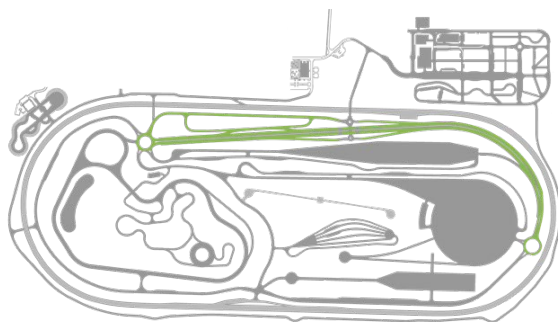


7. ábra: A megvalósított szoftver részletes architektúrája. (saját szerkesztés)

Az egyetemi prototípus rendszerrel elvégzett tesztek a ZalaZONE tesztpálya autópálya szakaszán hajtottuk végre. A tesztautó a Nissan Leaf típusú átalakított jármű. Ezekről szemléltetést a 8. ábra mutat. Az autópálya szegmens elején egy egyenes szakasz található, amelyen a szabályzó állandósult állapot béli hibáját tudjuk meghatározni (nulla görbület). Az éles jobb kanyarban a különböző paraméterezéssel az LDM működését tudjuk validálni. A következő tesztek hajtottuk végre:

- egyenes haladás 50 cm-es negatív eltolással, a szabályzó pontosságának mérése,
- sávközépen haladás kanyarban,
- kanyarlevágás,
- külső íven haladás.

A következő fejezetben ezen tesztek eredményét ismertetjük.



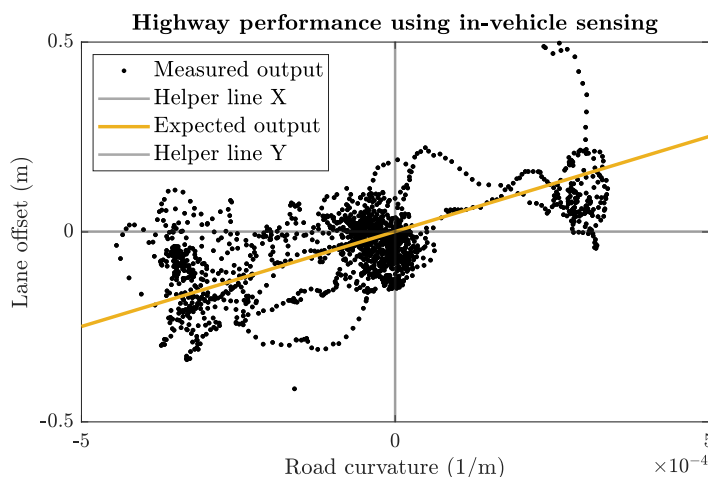
8. ábra: Az egyetemi tesztek végrehajtása a tesztpályán (balra) és a Nissan Leaf tesztautó (jobbra) (saját szerkesztés)

3. Eredmények

3.1 Bosch platform használatával elért eredmények

A kizárólag járműben elérhető tervezés eredményét mutatja a 9. ábra. Ezen az ábrán egy olyan teszt eredménye látható, mely során a tesztautóval átlagosan 110 km/h sebességgel haladtunk az M4 autópályán egy szakaszán, összesen nagyjából 20 km-t. A teszt során mértük a jármű távolságát a sávközéptől (Lane offset). Emellett mértük az út görbületét (Road curvature). A teszt során a sávtartó rendszer aktív volt, a vezető nem avatkozott bele a kormányzásba. Az modell paramétereket a következő értékeknek választottuk:

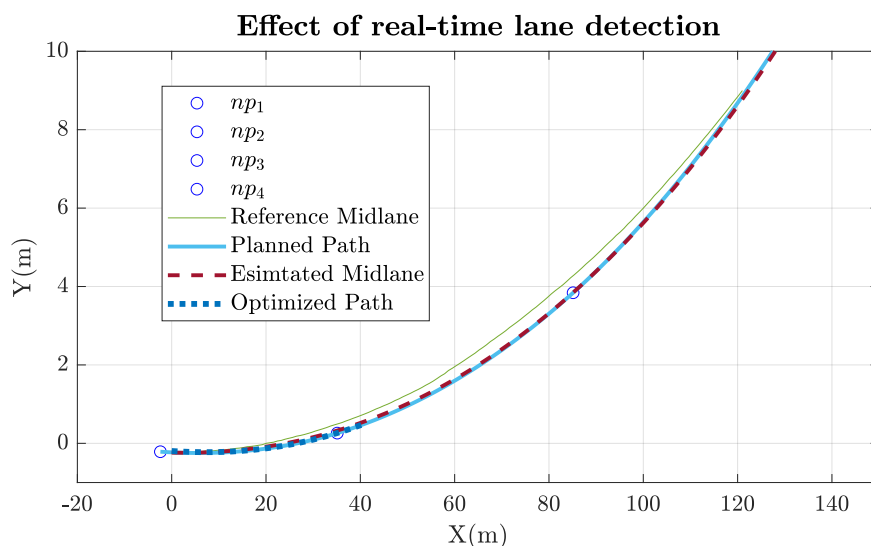
$$\mathbf{P}_{\text{left}} = \begin{bmatrix} 5 & 0 & 0 \\ 0 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & 5 \end{bmatrix} \quad \mathbf{P}_{\text{right}} = \begin{bmatrix} 5 & 0 & 0 \\ 0 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & 5 \end{bmatrix} \quad \delta_0 = 0 \text{ [m]} \quad (6)$$



9. ábra: Korrelációs ábra - sáveltolás vs. útvonal görbület, kizárólag autóban elérhető szenzorok alapján (saját szerkesztés)

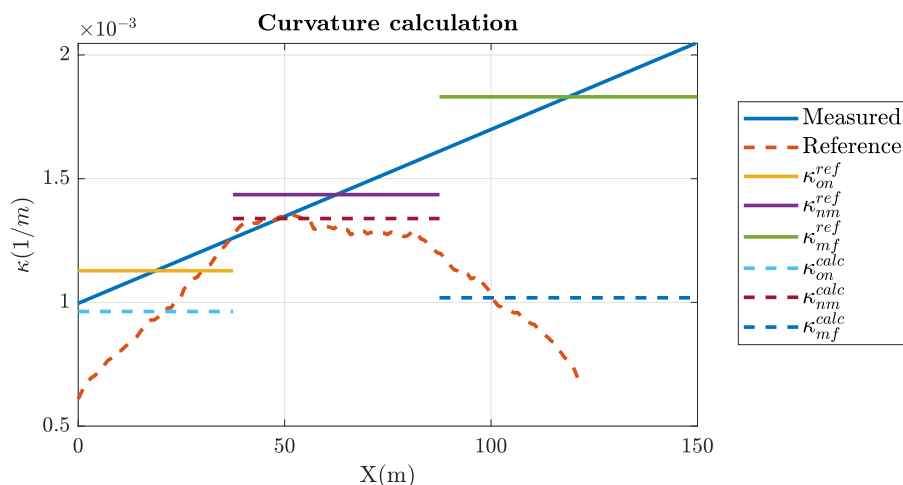
Látható, hogy a paramétereknek megfelelő eltolás értéket tudott ugyan tartani a jármű (a diagonális viselkedésből adódó kanyarlevágás), ugyanakkor a szabályzó miatt kifejezetten nagy a szórás az útvonal körül. Emellett az is említésre méltó, hogy a bemeneti útgörbület tartománya viszonylag kicsit, $\pm 0.0005 \text{ 1/m}$. A modell azonosításakor korábban országúti szakaszon felvett méréseket használtunk, ahol az út görbülete nagyobb tartományban mozgott, $\sim \pm 0.005 \text{ 1/m}$. Így a modell hatása autópályán nem érezhető annyira, illetve a modell paramétereit (6) fel kellett skálázni. (6) egyenletben adott paraméterekkel a $\pm 0.005 \text{ 1/m}$ görbület tartományon ± 5 méteres eltolást érünk el, ami természetesen nem megfelelő.

Emellett vizsgáltuk a valós idejű érzékelésből adódó hatásokat is. Ennek egy példáját mutatja a 10. ábra. Látható, hogy egy ball kanyarban a tényleges (*Reference*) sávközép hol helyezkedik el. A kamera alapú sávfelismerés viszont csak időbeli, és így térbeli késéssel követi le a tényleges útgeometria változást. A tervezett útvonal is ehhez hasonlóan, ezáltal a bal kanyarban a valódi sávközéphez képest 'kívül' fut a tervezett útvonal. Ha ehhez még hozzá vesszük a szabályzó túllendüléséből eredő hibát, hamar belátható, hogy a kanyarlevágás hatást csak késve, a kanyarbejárat után tudjuk megvalósítani. Ezzel torzul a modell által leírt kép. Ennek megoldása lehet természetesen a térkép alapú sávszámolás, amely esetén teljesen pontos képet kapunk a referencia vonalról.



10. ábra: A valós idejű sávszél detekció hibájának szemléltetése (saját szerkesztés)

A sávszél detekció nem csak a bázispontokat jelöli ki a csomópontok meghatározásához, hanem a modell bemeneteit, azaz az átlagos útgörbületeket is biztosítja. Mivel a sávot egy harmadfokú polinom írja le, így annak második deriváltja – amely megadja az út adott pontban vett görbületét – egy egyenes fogja megadni. Emiatt kifejezetten pontatlanná válik a görbület becslés olyan esetekben, ahol az út görbülete az előretekintési távolságon belül nagyban megváltozik. Erre mutat példát az 11. ábra. Ez ugyanaz a helyzet, mint a 10. ábra látható szcenárió. Azaz, egy bal kanyarban jár a jármű, emiatt a sávszél detekció növekvő pozitív görbületet érzékel. Ez igaz is, hiszen a referencia görbe is nő, nagyjából 50 m-ig. Utána viszont az út kiegyenesedik, ami a sávszél detekció az egyszerűsített sávmodell miatt már nem képes lekövetni. Így κ_{mf} értéke (lásd (1)) nagyban eltér a valóságtól. Ez azt is jelenti, hogy a távoli információ hibásan épül be az eltolás választásba, adott esetben nagyobb eltolást határoz meg a modell, mint azt valójában kéne. Ennek megoldása lehet a már korábban említett térképalapú megközelítés, de jó megoldás lehet a nagyobb komplexitású sávmodell. Például harmadfokú polinom helyett magasabb fokszám használata, vagy több polivonal alkalmazása.



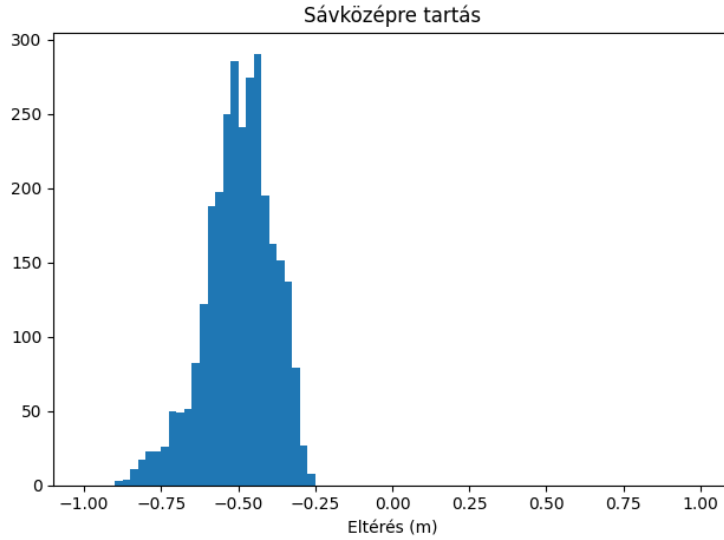
11. ábra: A valós idejű detekció alapján számolt modellbemenetek (saját szerkesztés)

3.2 Egyetemi prototípus platformmal elért eredmények

A 2.3. pontban említett tesztek közül először az egyenes vonalú haladást végeztük el, ezzel azonosítottuk a szabályzó hibáját. Az LDM kanyar ívválasztási stratégiáját ebben az esetben nem kívánjuk mérni, így az ide kapcsolódó paramétereket nullának választottuk, míg az egyenes béli eltolást -50 cm-nek választottuk, (7) szerint.

$$\mathbf{P}_{\text{left}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \mathbf{P}_{\text{right}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \delta_0 = -0.5 \text{ [m]} \quad (7)$$

Az eredményekből látszik, hogy a szabályzó +/- 25 cm hibával képes lekövetni az egyenes útvonalat. Ez a bizonytalanság hasonló a 9. ábra látható szabályzás hibájával, annál némileg nagyobb. Mivel a teszteket minimum 75 kph-val végeztük el, a hiba minden bizonnyal csökkenthető a szabályzó áthangolásával. Az eredményeket a 12. ábra mutatja.



12. ábra: MPC hibája egyenesbeli haladás esetén, -50 cm-es egyenes béli eltolás esetén. (saját szerkesztés)

A kanyar ívválasztási tesztek szintén 75 kph-val hajtottuk végre. Ezen tesztek paramétereit (sávközépre tartás, kanyarlevágás és külső íven fordulás) (8-10) mutatja, sorrendben.

$$\mathbf{P}_{\text{left}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \mathbf{P}_{\text{right}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \delta_0 = 0.0 \text{ [m]} \quad (8)$$

$$\mathbf{P}_{\text{left}} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 \end{bmatrix} \quad \mathbf{P}_{\text{right}} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 \end{bmatrix} \quad \delta_0 = 0.0 \text{ [m]} \quad (9)$$

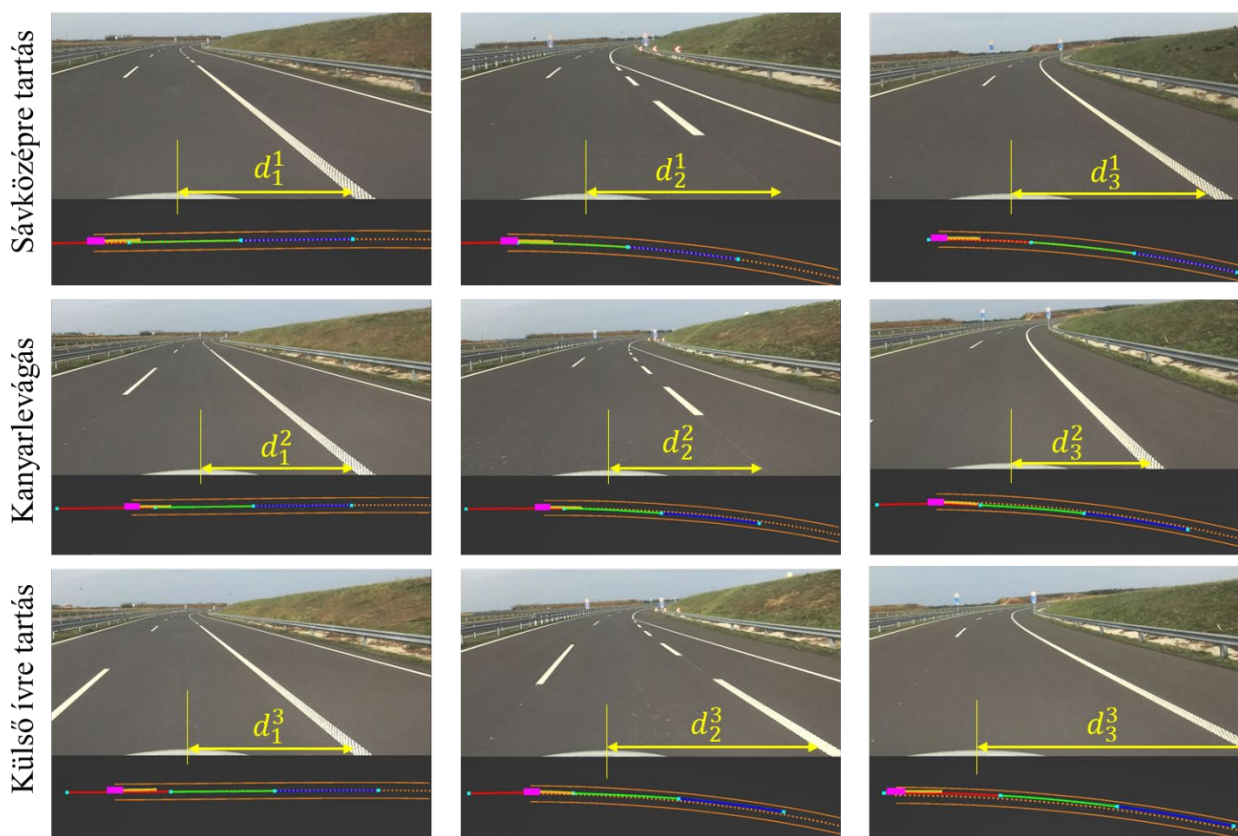
$$\mathbf{P}_{\text{left}} = \begin{bmatrix} -0.5 & 0 & 0 \\ 0 & -0.5 & 0 \\ 0 & 0 & -0.5 \end{bmatrix} \quad \mathbf{P}_{\text{right}} = \begin{bmatrix} -0.5 & 0 & 0 \\ 0 & -0.5 & 0 \\ 0 & 0 & -0.5 \end{bmatrix} \quad \delta_0 = 0.0 \text{ [m]} \quad (10)$$

Az eredményeket a 13. ábra szemlélteti. Megjegyezzük, hogy a számszerűsített kiértékelésre a lenti ábrák nem alkalmasak, hiszen egy fedélzeti videó képeit láthatjuk, a kanyar különböző pontján (balról jobbra haladva: kanyar előtt, kanyar bejárat, kanyar csúcspont). Azonban a következő egyszerűsített megállapításokat tehetjük:

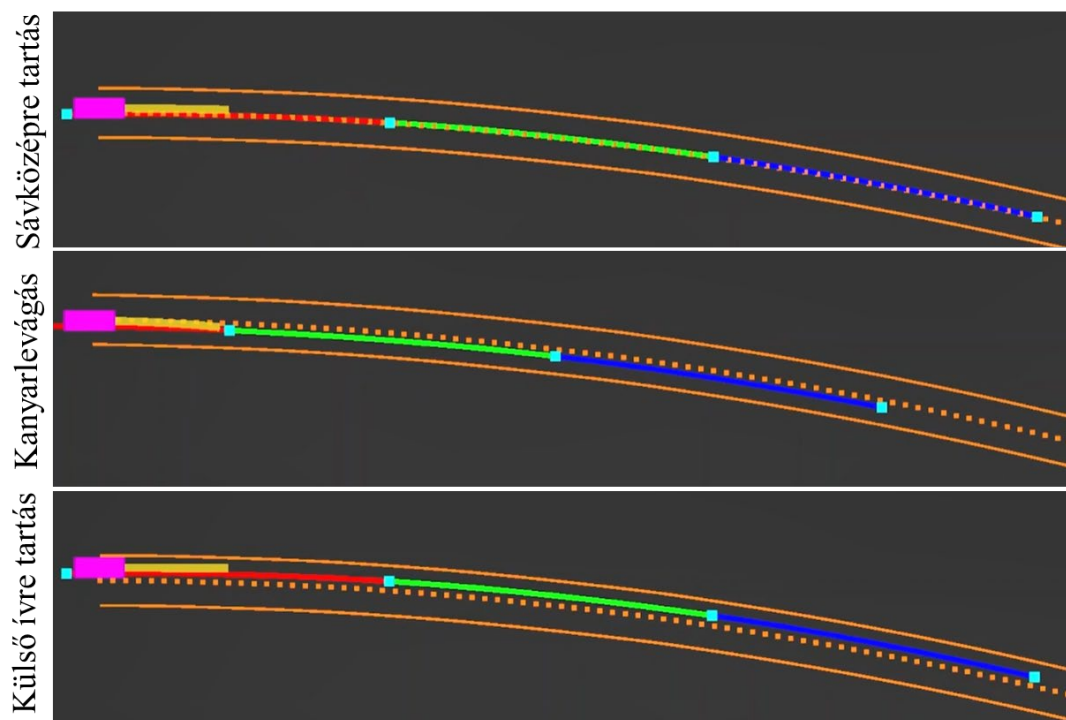
- $d_1^1 \cong d_1^2 \cong d_1^3$, azaz az egyenes szakaszon (ahol a kanyarok leírására alkalmas paraméterek még hatástalanok) a három beállítás ugyanúgy viselkedés, az eltérés oka kizárólag a szabályzás hibája,
- $d_2^2 < d_2^1 < d_2^3$, azaz a kanyar bejáratán már érezhető a különböző beállításokból eredő különbség,

$d_3^2 \ll d_3^1 < d_3^3$, a kanyarcsúcsponton a beállítások különbsége drasztikusan érezhető.

A jobb érthetőség érdekében a tervezett útvonalakat a kanyarsúcspontra külön is megjelenítjük a 14. ábra. Látható, hogy a legnagyobb görbületi szakaszon szemmel látható a kanyarlevágás, sávközépre tartás és a külső íven fordulás a tervezett útvonalban. A videó alapú validációban látható, hogy a lekövetés hibájának ellenére sikerült megjeleníteni ezeket az egyszerű stratégiákat. A szabályzó hibáján kívül más bizonytalanság a rendszerben nincs, a sávmodell nem tartalmaz késleltetést, mint azt a 10. ábra szemléltettük a Bosch platform esetén.



13. ábra: Az egyetemi járművel elvégzett három tesztet szemléltetése. (saját szerkesztés)



14. ábra: A kanyarcúsponton járó autó előtt tervezett útvonal, három tesztesetre külön megjelenítve.
(saját szerkesztés)

4. Összegzés

Ebben a cikkben egy applikáció orientált témát dolgoztunk fel. A korábban azonosított Lineáris Vezetői Modellt megvalósítottuk, és integráltuk két különböző rendszerbe. Ezen rendszerek legnagyobb különbsége, hogy a modell alapját adó sávgeometriai információ máshonnan származik: a Bosch által kínált tesztplatformon ez egy kamera alapú sávdetekciót jelent, míg az egyetemi platformon egy statikus térkép adatait használjuk. Megmutattuk, hogy a kialakított szoftverarchitektúra alkalmas arra, hogy könnyen integráljuk különböző platformokra (beágyazott rendszerek és Robot Operating System alapú környezet). Azt is megmutattuk, hogy bár megkötésekkel, de a modell által megvalósított ívválasztási preferenciák a teljes zárthurkú rendszerben is megjelennek. A tesztek során kanyarlevágást, sávközépen haladást (alap sávtartási viselkedés) és külső íven fordulást teszteltünk. Ezek alapján a következő megállapításokat tesszük:

- a valós idejű, kamera alapú sávszél felismerés időbeli késése és térbeli pontatlansága miatt a teljes szabályzási lánc hajlamos a túllendülésre, illetve oszcillációra, ez nagyban torzítja a teljes funkció viselkedését;
- a két rendszerben használt PID, illetve MPC alapú szabályzók alaphangolásukkal közel azonos hibát visznek a rendszerbe, amely szintén torzítja a tervező által kívánt útvonal hatását a vezetőre.

A következőkben szeretnénk hangsúlyt fektetni az MPC alapú szabályzó hangolására, illetve áttervezésére ahhoz, hogy nagyobb sebességtartományon is használni tudjuk. Összeségében azt látjuk, hogy a térkép alapú megközelítés pontosabb tervezést tesz lehetővé, így a továbbiakban ezt részesítjük előnyben. A térképtől való nagymértékű függőség enyhítése érdekében kompenzációt illesztünk a rendszerbe. Ez a gyakorlatban a sávok transzformációját jelenti a jármű mozgásállapotát figyelembe véve.

5. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NKTA-48 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] G. Ignéczi, E. Horváth, R. Tóth és K. Nyilas , „Curve Trajectory Model for Human Preferred Path Planning of Automated Vehicles,” *Automotive Innovations*, 2023.
- [2.] G. Igneczi, E. Horvath és K. Nyilas, „A Linear Driver Model of Local Path Planning for Lane Driving (in press),” in *IEEE 21st International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY 2023)*, Pula, Croatia, 2023.
- [3.] J. Theeuwes, „Visual attention and driving behaviour,” in *In Proceedings of the International Seminar on Human Factors in Road Traffic*, Braga, Portugal, 1993.
- [4.] G. Ignéczi és T. Dobay , „Vezetői modellek tipizálása klaszterezési módszerek segítségével,” in *Járműipari Kutatóközpont*, Győr, Magyarország, 2023.

- [5.] SAE International, „Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles,” 2021.
- [6.] Autoware Auto, „<https://autoware.org/>,” 2023. [Online]. Available: <https://autoware.org/>. [Hozzáférés dátuma: 05 12 2023].
- [7.] B. Enrico és F. Marco, „Fast and accurate clothoid fitting,” Optimal control applied to human motion and physiology, September, 2012.
- [8.] M. Fatemi, L. Hammarstrand, L. Svensson és G.-F. Ángel F. , „Road Geometry Estimation Using a Precise Clothoid Road Model and Observations of Moving Vehicles,” in *17th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, Qingdao, China , 2014.
- [9.] C. Gacksatter, P. Heinemann, T. Sven és K. Gudrun, „Stable Road Lane Model Based on Clothoids,” in *Advanced Microsystems for Automotive Applications 2010*, 2011.
- [10.] E. Lambert, R. Romano és D. Watling, „Optimal Path Planning with Clothoid Curves for Passenger Comfort,” in *5th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems*, Heraklion, Crete, 2019.
- [11.] G. Igneczki és E. Horvath, „A Clothoid-base Local Trajectory Planner with Extended Kalman Filter,” in *Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI 2022)*, Poprad, Slovakia, 2022.
- [12.] V. Tihanyi, T. Tettamanti, M. Csonthó, A. Eichberger, D. Ficzer, K. Gangel, L. B. Hörmann, M. A. Klaffenböck, C. Knauder, P. Luley, Z. F. Magosi, G. Magyar, H. Németh, J. Reckenzaun, V. Remeli, A. Rövid, M. Ruether, S. Solmaz, Z. Somogyi and G. Soós, "Motorway Measurement Campaign to Support R&D Activities in the Field of Automated Driving Technologies," *Sensors*, vol. 21, no. 6, 2021.
- [13.] P. Iakovos és T. Masayoshi , „Fast Lane Changing Computations using Polynomials,” in *Proceedings of the American Control Conference*, Denver, USA, 2003..
- [14.] W. Moritz, Z. Julius, K. Sören és T. Sebastian, „Optimal trajectory generation for dynamic street scenarios in a Frenét Frame,” in *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2010.

- [15.] N. Winston, „Continuous-Curvature Paths for Autonomous Vehicles,” in *Proceedings, 1989 International Conference on Robotics and Automation*, Scottsdale, USA, 1989.
- [16.] C. Rathgeber, F. Winkler, D. Odenthal és S. Müller, „Lateral trajectory tracking control for autonomous vehicles,” in *European Control Conference (ECC)*, Strasbourg, France, 2014.
- [17.] C. C. McAdam, „An Optimal Preview Control for Linear Systems,” *Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control*, %1. kötet102, %1. szám1, pp. 188-190, 1980.
- [18.] P. Björn és L. Nilsson, „Modelling the Driver in Control,” *Modelling Driver Behaviour in Automotive Environments*, pp. 85-104, 2007.

Energiahatékony versenyjármű hajtáslánc adapter tervezésének előkészítése

Designing drive chain adapter for an energy-efficient racing vehicle

Krecz Dávid

Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

krecz.david@ga.sze.hu

Absztrakt

Az energiahatékony versenyjármű hajtáslánc adapter tervezése kiemelkedő fontosságú a hatékonyság szempontjából. A kutatás célja egy olyan megoldás előkészítése, mely a legmodernebb technológiák alkalmazásával készült. A tervezési folyamat összetett, és magában foglalja a tervezés alatt alkalmazott szimulációkat, a gyártástechnológia helyes megválasztását és az anyagválasztást, azonban a tervezés megkezdése előtt egy átfogó irodalomkutatást kell végezni, az imént felsorolt témakörökben, hogy a számtalan megoldás közül a legjobbat ki tudjuk választani. Ebben a fázisban elemezni kell a meglévő technológiákat, valamint az új innovációkat és lehetőségeket. A projekt részeként kiemelt figyelmet kell fordítani az alacsony tömegű anyagok és komponensek kiválasztására a tömegcsökkentés érdekében.

Kulcsszavak: hajtáslánc, adapter, additív technológia, kompozit

Abstract

The design of an energy-efficient race vehicle powertrain adapter is of paramount importance for efficiency. The aim of this research is to prepare a solution using state-of-the-art technologies. The design process is complex and involves simulations during the design, the correct choice of manufacturing technology and the choice of materials. However, before starting the design process, a comprehensive literature search should be carried out on the topics just listed in order to select the best solution from the many. This phase should include an analysis of existing technologies as well as new innovations and opportunities. As part of the project, particular attention should be paid to the selection of low-weight materials and components in order to reduce weight.

Keywords: drive chain, adapter, additive technology, composite

1. Bevezetés

Az energiahatékonyság és a fenntarthatóság iránti növekvő igények közepette a járműiparban egyre nagyobb hangsúlyt kapnak az innovatív megoldások és technológiák, melyek lehetővé teszik a környezetbarát és hatékony közlekedést. Az egyik legfontosabb terület ezen a téren a versenyjárművek hajtásláncainak fejlesztése, melynek célja nem csupán a teljesítmény növelése, hanem a károsanyag-kibocsátás csökkentése és az energiafelhasználás optimalizálása is.

Ebben a cikkben az energiahatékony versenyjármű hajtáslánc adapter tervezésének előkészítése kerül bemutatásra, kiemelve a tervezés fontosságát és a kihívásokat, amelyekkel a fejlesztőknek szembe kell nézniük. Láthatóak lesznek azok a lépések és szempontok, amelyeket figyelembe kell venni a tervezés során annak érdekében, hogy egy hatékony és megbízható adapter kerüljön létrehozásra. A cikk áttekintést nyújt az energiahatékony hajtásláncok tervezési folyamatáról, és segítséget nyújt az olvasónak a tervezési folyamat megértésében és optimalizálásában.

2. Célkitűzések

A tanulmány elsődleges célja az elektromos versenyjármű energiahatékonyságának növelése. Emellett számos másodlagos cél van, melyek ennek a főcélnak az elérését segítik elő. A tanulmány célkitűzései a következők:

- Részletes megértés nyújtása az energiahatékony versenyjárművek hajtásláncainak működéséről és összetevőiről annak érdekében, hogy az adapter tervezése a legmegfelelőbb alapokon nyugodhasson.
- A versenyjármű hajtásláncokban felhasznált legújabb technológiák és anyagok áttekintése annak érdekében, hogy az adapter tervezése a legmodernebb megoldásokat használja fel.
- Az energiahatékony versenyjármű hajtáslánc adapterének tervezéséhez szükséges műszaki specifikációk meghatározása és azok pontos dokumentálása.
- Az adapter tervezése során felmerülő kihívások és problémák azonosítása és megoldási javaslatok kidolgozása a hatékony működés és a megbízhatóság biztosítása érdekében.

- A tervezési folyamat optimalizálása és hatékonyságának növelése céljából eszközök és módszerek bemutatása, amelyek segítenek a tervezőknek az idő- és költség-hatékony munkavégzésben.
- A környezetvédelmi szempontok figyelembevétele és a fenntarthatóság előmozdítása a versenyjármű hajtáslánc adapter tervezése során, az energiahatékonyság és a károsanyag-kibocsátás csökkentése érdekében.

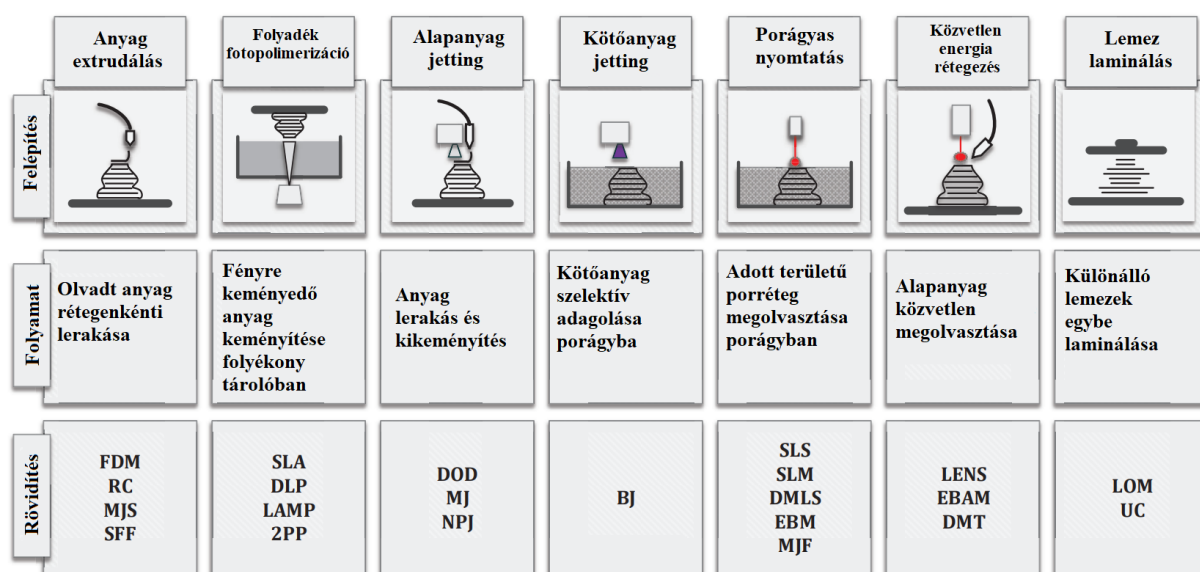
3. Célkitűzések megvalósítása

A célkitűzések megvalósításához számos eszközt és alapelvet kell használni. Ezek később bemutatásra kerülnek, melyek a következők lesznek:

- **Részletes megértés nyújtása az energiahatékony versenyjárművek hajtásláncainak működéséről és összetevőiről:** Részletes műszaki és tudományos kutatások végzése a versenyjárművek hajtásláncainak működési elveiről és a legújabb fejlesztésekről.
- **Legújabb technológiák és anyagok áttekintése:** Kapcsolatfelvétel az iparági szakemberekkel és gyártókkal, valamint részvétel szakmai rendezvényeken és konferenciákon a legfrissebb fejlesztésekről és technológiákról való tájékozódás érdekében.
- **Műszaki specifikációk meghatározása és dokumentálása:** Részletes elemzés és tervezés az adapter műszaki követelményeinek megállapítására, és azok pontos dokumentálása.
- **Kihívások azonosítása és megoldási javaslatok kidolgozása:** Szimulációk és tesztek végzése a tervezési folyamat során felmerülő lehetséges problémák előrejelzésére és megoldási stratégiák kidolgozására.
- **Tervezési folyamat optimalizálása:** Felhasználása CAD (Computer-Aided Design) szoftverek és más digitális eszközök a tervezési folyamat hatékonyságának növelése érdekében, valamint az iterációs folyamatok gyorsítása és a tervezők közötti együttműködés elősegítése.

4. Additív eljárás bemutatása

Az additív gyártás (AM) egy olyan folyamat, mely során az alkatrészek rétegről rétegre történő felépítése révén anyagok összekapcsolásával történik, 3D modelladatok felhasználásával. Ezt szemben állítjuk az anyageltávolító gyártási módszerekkel, mint például a hagyományos forgácsolás. Az AM technológiával olyan bonyolult és összetett geometriájú alkatrészek gyárthatók, melyek minimális utófeldolgozást igényelnek és szinte nulla anyaghulladékot eredményeznek. A módszer többféle alapanyag felhasználását teszi lehetővé, mint például műanyag és fém. Az AM folyamat jelentős tervezési rugalmasságot biztosít, lehetővé téve a tervezőknek és mérnököknek egyedi termékek gazdaságos gyártását akár kis mennyiségben is. Emellett az AM környezetvédelmi és ökológiai szempontból is előnyös lehetőséget kínál. Az additív gyártásnak rengeteg alfaja létezik, melyeknek az eljárás szerinti csoportosítása az alábbi ábrán látható.



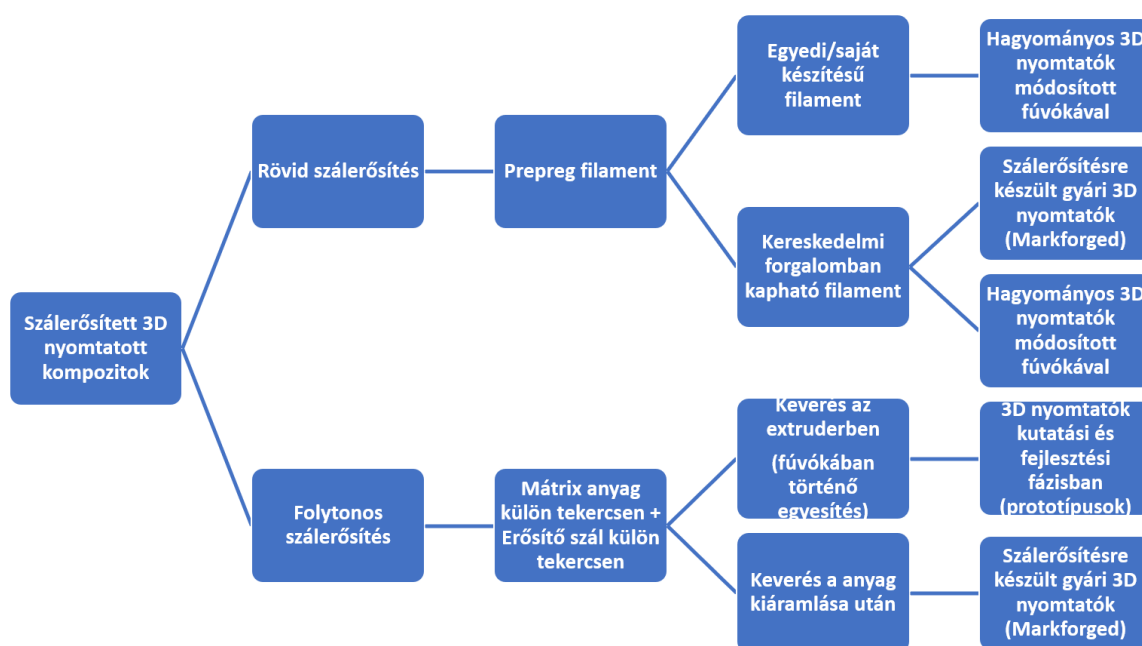
1. ábra: Additív gyártástechnológiák csoportosítása (saját szerkesztés)

4.1. Kompozit 3D nyomtatás

Az additív technológiák közül nem mindegyik alkalmas kompozitok előállítására. A szálhúzásos 3D nyomtatás (FDM) jelenleg az egyik legelterjedtebb additív eljárás a szálerősítésű polimer alkatrészek gyártására. Ennek a technológiának a felhasználási területe széles skálán mozog, a prototípusgyártástól kezdve egészen a nagy mechanikai teljesítményt igénylő funkcionális alkatrészekig. Az első hivatkozások erre a technológiára még az 2000-es

évek előttré nyúlnak vissza, a legtöbb kutatás az elmúlt öt évben készült, azonban a szakirodalmi áttekintések szerint ez a terület még mindig kezdeti fázisában van, és a kompozit 3D nyomtatás számos aspektusa további és részletesebb vizsgálatra szorul.

Az FDM technológián belül is többféle módszer létezik kompozitok előállítására, melyek csoportosítása az alábbi ábrán látható.



2. ábra: Szálerősített 3D nyomtatásos technológiák csoportosítása (saját szerkesztés)

Jelenleg számos vállalat foglalkozik 3D nyomtatással. Általában ezek a cégek nem csupán saját gépekkel, hanem saját márkájú anyagokkal, gyakran saját fejlesztésű technológiákkal és anyagokkal dolgoznak. Egy ilyen példa a Markforged, egy amerikai vállalat, amely tevékenykedik a 3D nyomtatás terén. A cég kiemelkedően jelentős a szénszál erősítésű 3D nyomtatás területén elért áttörései révén. Az általuk gyártott alkatrészek megtalálhatók számos iparágban, beleértve az autóiipart, az egészségügyi szektort, valamint a repülőgép- és űrtechnológiát is.

A Markforged kínálatában számos alapanyag található, többek között néhány saját fejlesztésű is. Az anyagok két fő altípusba sorolhatók. Az első altípus a mátrix anyagok, melyek általában nagyobb arányban találhatók az alkatrészekben. Fő feladatuk, hogy meghatározzák a geometriát és hordozzák a szálerősítést. A másik altípus a szálerősítő anyagok, melyek célja, hogy a már meglévő mátrix anyagot előre meghatározott módon megerősítsék. Mindkét altípusból többféle anyag áll rendelkezésre.

A rendelkezésre álló mátrixanyagokat az alábbi táblázat foglalja össze, mely tartalmazza azok legfőbb tulajdonságait is.

1. táblázat: Mátrixanyagok tulajdonságai (saját szerkesztés)

	Teszt (ASTM)	Onyx™	Onyx FR™	Onyx ESD™	Nylon
Rugalmassági modulus (GPa)	D638	2,4	3,0	4,2	1,7
Szakítófeszültség folyáspontnál (MPa)	D638	40	41	52	51
Szakítófeszültség szakadásnál (MPa)	D638	37	40	50	36
Szakadási nyúlás (%)	D638	25	18	25	150
Hajlítószilárdság (MPa)	D7901	71	71	83	50
Hajlítási modulus (GPa)	D7901	3,0	3,6	3,7	1,4
Terhelés alatti deformáció hőmérséklet (°C)	D648 B	145	145	138	41
Lángállóság	UL94	-	V-0 ²	-	-
Fajlagos ütőmunka (KCV) (J/m)	D256-10 A	330	-	44	110
Felületi ellenállás (Ω)	ANSI/ESD STM11.11 ³	-	-	10 ⁵ -10 ⁷	-
Sűrűség (g/cm ³)	-	1,2	1,2	1,2	1,1

Szálerősítő anyagból szintén többféle áll rendelkezésre. Ezek az alábbi táblázatban láthatók jellemzőikkel együtt.

2. táblázat: Szálerősítő anyagok tulajdonságai (saját szerkesztés)

	Teszt (ASTM)	Szénszál	Szénszál FR	Aramid szál (Kevlar®)	Üvegszál	HSHT üvegszál
Szakítószilárdság (MPa)	D3039	800	760	610	590	600
Rugalmassági modulus (GPa)	D3039	60	57	27	21	21
Szakadási nyúlás (%)	D3039	1,5	1,6	2,7	3,8	3,9
Hajlítószilárdság (MPa)	D790	540	540	240	200	420
Hajlítási modulus (GPa)	D790	51	50	26	22	21
Hajlítási nyúlás (%)	D790	1,2	1,6	2,1	1,1	2,2
Nyomószilárdság (MPa)	D6641	420	300	130	180	216
Nyomódási modulus (GPa)	D6641	62	59	25	24	21
Nyomódási nyúlás (%)	D6641	0,7	0,5	1,5	-	0,8
Terhelés alatti deformáció hőmérséklet (°C)	D648 B	105	105	105	105	150
Fajlagos ütőmunka (KCV) (J/m)	D256-10 A	960	810	2000	2600	3100
Sűrűség (g/cm ³)	-	1,4	1,4	1,2	1,5	1,5

5. Anyagvizsgálat

5.1. Anyagvizsgálati próbatestek

Többféle mátrix anyag és többféle szálerősítő anyag létezik. Ezek kombinálásával többféle kompozitot hozhatunk létre. A gyártóval konzultálva az alábbi vizsgálandó párosításokat határoztuk meg:

- **Onyx+Üvegszál,**
- **Onyx+Karbonszál,**
- **Onyx+Kevlár.**

Az anyagvizsgálatot hagyományos 3D nyomtatásnál használt anyagokkal is elvégeztük. A vizsgált hagyományos anyagok a következők:

- **PLA,**
- **PETG,**
- **ASA.**

Minden anyagtípusból készült két féle próbatest: piskóta alakú a szakítóvizsgálathoz és Charpy próbatest az ütésvizsgálathoz. Minden anyagra három próbatest készült a mérések pontosítása érdekében, így összesen 36 próbatestet alkalmaztunk a vizsgálat során. A próbatestek méretei kulcsfontosságúak a végeredmény tekintetében. A mérések összehasonlíthatósága érdekében szabványok léteznek, melyek pontos méreteket határoznak meg a próbatestek számára. A szakító próbatestek az ISO 527-2-2012 szabvány, míg a Charpy próbatestek az ASTM-D6110-18 szabvány előírásai szerint lettek kialakítva. Az elkészült próbatestek az alábbi képen láthatók.

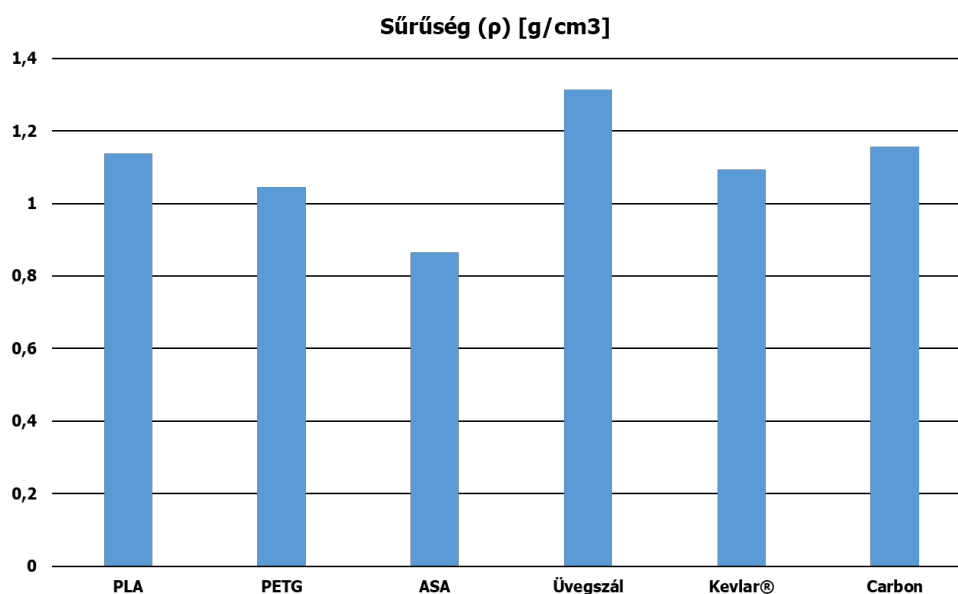


3. ábra: Próbatetek (saját szerkesztés)

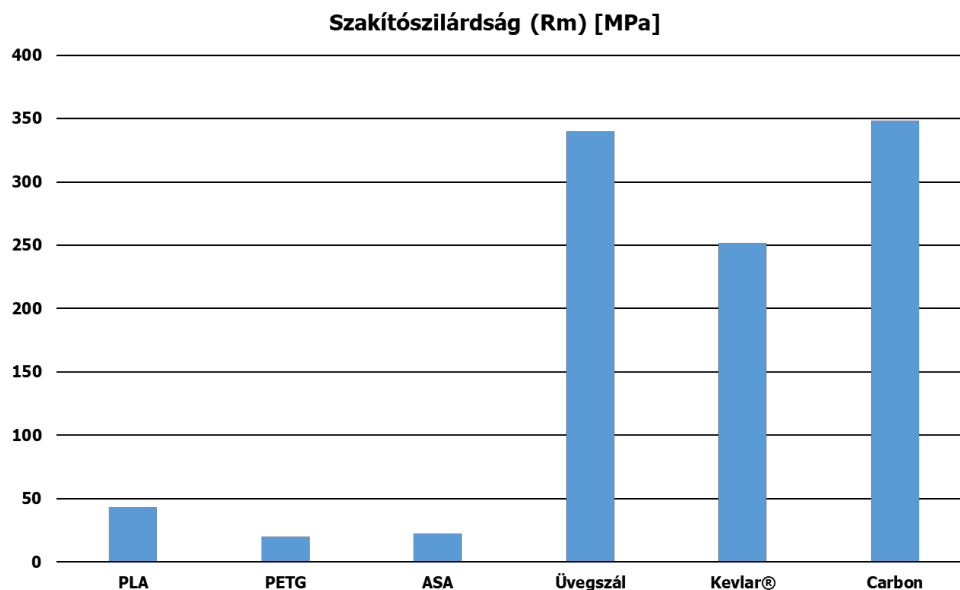
5.2. Anyagvizsgálat eredményei

Az anyagvizsgálat elsődleges célja az említett anyagok összehasonlítása annak érdekében, hogy megtaláljuk a legmegfelelőbbet az alkatrész gyártásához. A vizsgálat két fő részből fog állni: egy hagyományos szakítóvizsgálatból és egy Charpy-féle ütővizsgálatból. A két fő rész előtt az anyagok sűrűségét is meghatároztuk.

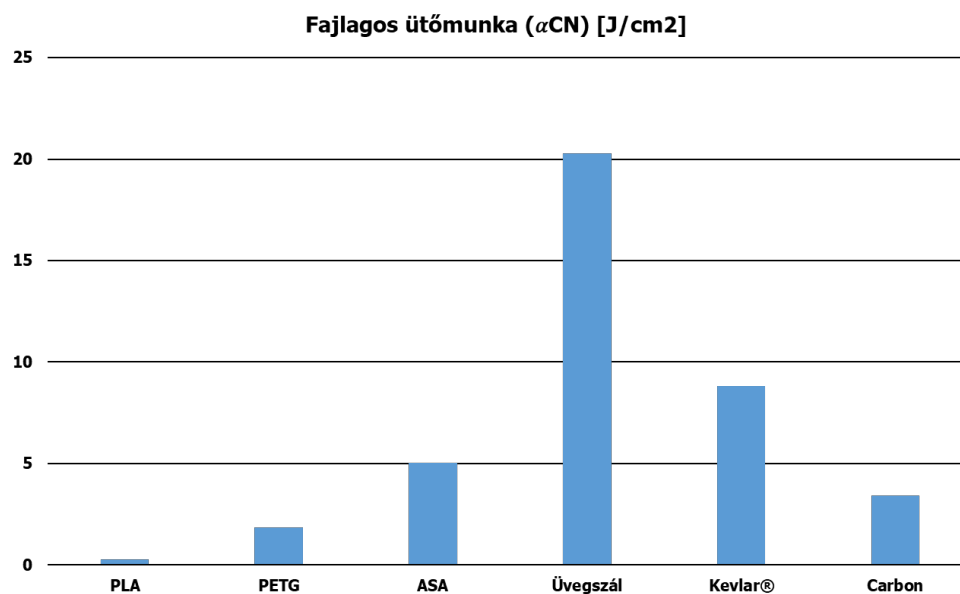
Az anyagvizsgálat eredményeit az alábbi diagramok foglalják össze:



4. ábra: Sűrűség (saját szerkesztés)



5. ábra: Szakítószilárdság (saját szerkesztés)



6. ábra: Ütőmunka (saját szerkesztés)

5.3. Választott anyag

Az adott tulajdonságok és arányok alapján a választás a szénszál (Kevlar) erősítésű kompozitra esett. Később ennek az anyagnak a sűrűségét használjuk majd fel a tervezett alkatrészek tömegének meghatározásához, ami a régi és az új konstrukció összehasonlításához szükséges.

6. Tervezés menete

6.1. Előző konstrukció bemutatása

A jelenlegi tartószerkezet Alumínium 7075-ös ötvözetből készült hagyományos forgácsolásos módszerekkel. A szerkezet több egyszerűbb geometriájú elem összeállításából áll, melyek csavarkötéssel kapcsolódnak egymáshoz. A szerkezet négy ponton kapcsolódik a lengőkarhoz, szintén csavarkötéssel. A hajtáslánc elemekkel való kapcsolódás többféle módon történik, főként csavarkötéssel és illesztett felületekkel. Összesen 13 elemből áll a szerkezet, melyekhez csavarok és alátétek szükségesek. Teljes tömegük, beleértve a saját elemeiket rögzítő kötőelemeket is, 1535 g, ami az új konstrukcióval szemben támasztott elvárások felsőhatára lehet. Ez azt jelenti, hogy az új adapternek könnyebbnek kell lennie ennél, hogy előrelépést jelentsen a fejlesztésben. A jelenlegi tartószerkezet felépítése az alábbi ábrán látható.

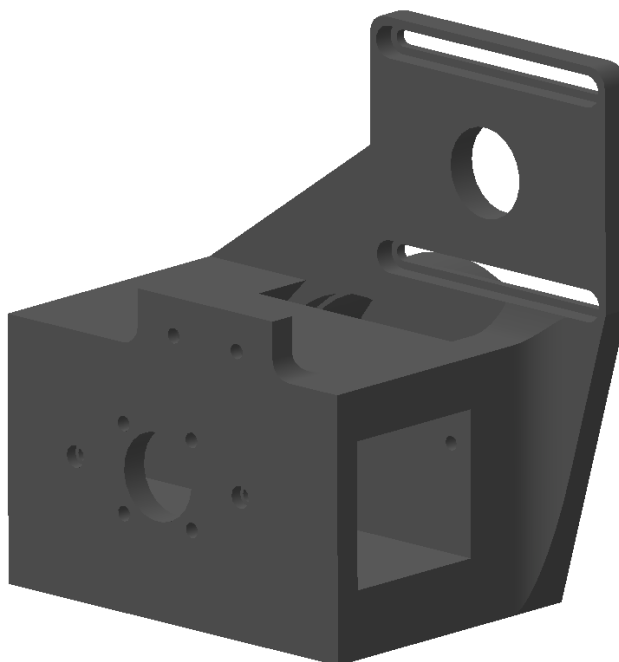


7. ábra: Forgácsolt alumínium tartószerkezet (saját szerkesztés)

6.2. Kiindulási geometria

Az adapter geometriájának tervezésekor szükséges figyelembe venni a korábban említett hajtáslánc elemek pozícióját és a lengőkar elhelyezkedését, mivel az új alkatrésznek ezekkel összhangban kell lennie. Ezért a tervezés kezdetén olyan geometriát határozok meg, amely minden egyes alkatrésszel képes kapcsolódni. Később ezen geometria topológiai optimalizálásával alakítjuk ki az adapter végleges formáját. Az eredeti geometria csatlakozó elemei azonosak maradnak az előző konstrukcióval, egy kivétellel. A féknyereg rögzítése az

alkatrész tetejére került át úgy, hogy a két rögzítőfurat vízszintesen elhelyezkedik. Az eredeti geometria felépítése az alábbi ábrán látható.



8. ábra: Kiinduló geometria (saját szerkesztés)

6.3. Alkatrészt érő terhelés meghatározása

A szimuláció elvégzése során fontos az alkatrészt érő erőhatások. Ezek alapján a szoftver meghatározza, melyek azok a részek, amik elhagyhatók, ezzel csökkentve az alkatrész tömegét.

Azt, hogy a futómű alkatrészeire mekkora erők hatnak a talperőmérés segítségével tudjuk meghatározni. A mérés során erőmérőcellákat helyezünk minden egyes kerék alá, így lemérve az autó menetkész tömegét plusz a pilóta tömegét. Ezzel nem csak a teljes tömeget kapjuk meg, hanem a terhelés eloszlását is a kerekek között. A talperőmérés folyamata az alábbi ábrán látható.



9. ábra: Talperőmérés (saját szerkesztés)

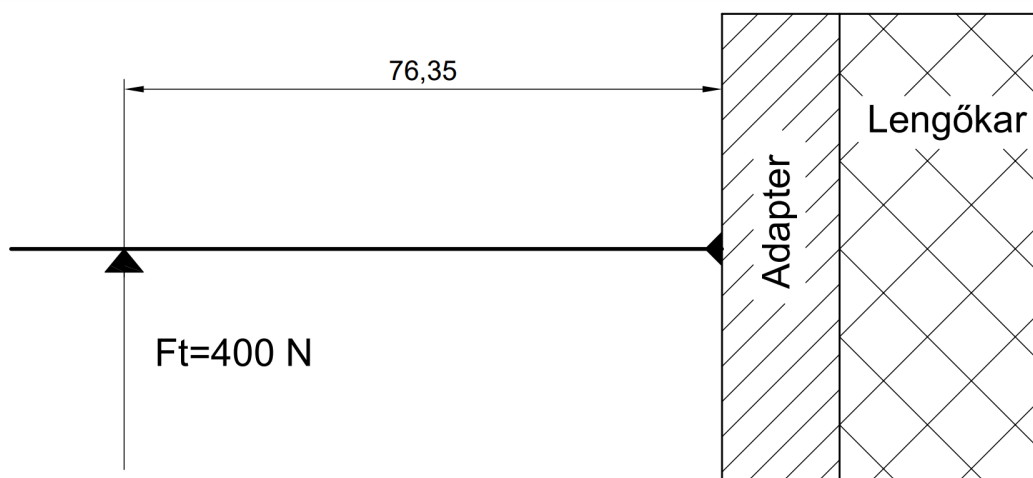
A talperőmérés eredménye, azaz a teljes tömeg, illetve a kerek közötti eloszlás az alábbi táblázatban látható.

3. táblázat: Talperőmérés eredménye (saját szerkesztés)

Bal első kerék:	Jobb első kerék:
45,05 kg	40,5 kg
Bal hátsó kerék:	Jobb hátsó kerék:
38,95 kg	38,6 kg
Teljes tömeg: 163,05 kg	

Az adaptert érő erők szempontjából a bal hátsó kerekre jutó terhelés lesz a mérvadó. A táblázatban látható értéket egészen kerekítem, 40 kg-ra, mely 400 N-nak felel meg. A méretezés során hármassal biztonsági tényezővel fogok számolni.

Az adapter ezen féltengely oldali részének fő igénybevétele hajlítás lesz, mivel a talperő a féltengelyen, mint egy erőkaron keresztül terheli az alkatrészt. Ennek az alkatrészcsoporthoz az egyszerűsített mechanikai modellje egy befalazott tartó lesz, mely az alábbi ábrán látható.



10. ábra: Féltengely oldal egyszerűsített mechanikai ábrája (saját szerkesztés)

A talperőt, mely 76.35 mm-es erőkaron (k) keresztül terheli az alkatrészt, be kell redukálni a befogási pontba. Az erőkar és erő szorzataként megkapjuk a terhelő nyomatékot. Ezt a nyomatékot, illetve a talperőt kell felvenni a befogási pontba a szimulációk alatt. A hajlító nyomaték értéke háromszoros biztonsági tényezővel számolva az alábbi lesz:

$$F_t = 400 \text{ N}$$

$$n = 3$$

$$M_h = F_t \cdot k \cdot n \quad (1)$$

$$M_h = 400 \text{ N} \cdot 0,07635 \text{ m} \cdot 3 = 91,62 \text{ Nm}$$

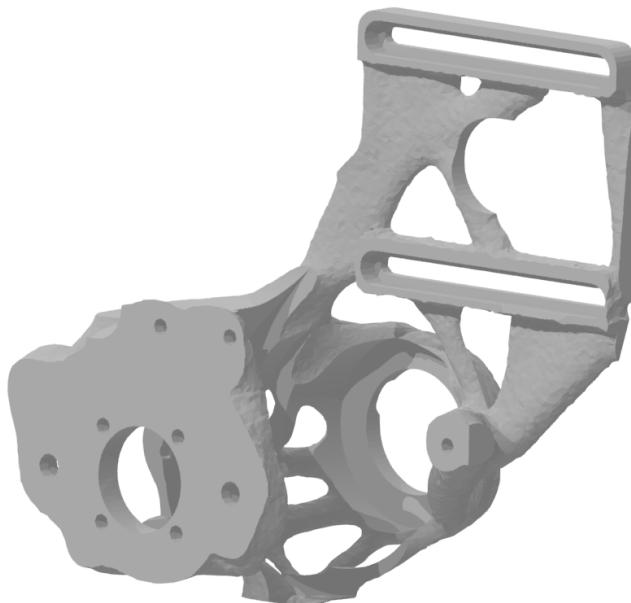
A féltengely csatlakozófelülete körül ébredő terhelések mellett a féknyereg 2 rögzítéspontján, illetve a meghajtómotor 2 rögzítéspontján is ébrednek erők. Ezeknek az értéke 1000-1000 N, melyekkel szintén kalkulál a szimuláció.

A kinyomócsapágy működtetéséhez 1500 N-os erőre van szükség. Ez az erő a kinyomócsapágy tartórészén fog hatni az alkatrésze.

6.4. Topológiai optimalizálás

A kiinduló geometria és az alkatrésze ható terhelések ismeretében topológiai optimalizálás segítségével lehet csökkenteni az alkatrész tömegén. A terhelések és a hálózás beállítása után lefuttatható a végelem szimuláció.

A szimuláció eredményeként kapott forma jóval könnyebb, mint az eredeti geometria, ugyanakkor képes elviselni a rá ható terheléseket. Azonban ez a geometria még nagyon kezdetleges, további finomításra van szükség, bár kiváló kiindulópontot nyújt a további tervezéshez. Az optimalizált, még nyers geometria, melynek tömege 1050 g, az alábbi képen látható.



11. ábra: Optimalizált nyers geometria (saját szerkesztés)

6.5. Végleges geometria kialakítása

Az előző lépésben meghatározott optimalizált, még nyers geometriát felhasználva létrehozhatjuk az adapter finomított geometriáját. Ehhez a reverse engineering módszert alkalmazzuk, ami azt jelenti, hogy újraalkotjuk a megadott nyers geometriát a modelltérben, és tovább finomítjuk annak kialakítását. Az ezzel a módszerrel létrehozott végleges geometria az alábbi ábrán látható.



12. ábra: Adapter végleges geometriája (saját szerkesztés)

7. Összehasonlítás

A hajtáslánc tartóadapter több összetevőből áll össze. Ezek közé tartoznak a 3 fő elem, amelyek 3D nyomtatott kompozitból készültek, valamint a csavarkötéshez szükséges inzeretek, melyek alumínium és réz ötvözetből készültek. Emellett tartalmazza a rögzítéshez szükséges kötőelemeket, csavarokat, alátéteket és anyacsavarokat.

Az adapter teljes tömege a kötőelemekkel együtt 1210 g, a CAD szoftver számításai alapján. Ez a tömeg jelentős csökkenést mutat az előző konstrukció 1535 g-os tömegéhez képest, ami 325 g-os tömegmegtakarítást jelent. Mivel az adapter a lengőkaron helyezkedik el, rugózatlan tömegnek minősül, ezért ennek a tömegcsökkenésnek kiemelt jelentősége van.

További előrelépést jelent, hogy a tartószerkezet jóval kevesebb fő- és kötőelem felhasználásával épül fel, így szerelhetősége is egyszerűbb.

8. Összegzés

A kutatás fő témája az energiahatékony versenyjármű hajtáslánc adapterének áttervezése, melyhez jelentős áttörést hoz az additív gyártástechnológia alkalmazása. Az új technológia lehetővé teszi a kompozit anyagok 3D nyomtatással történő előállítását, ami a fémekkel azonos

szilárdsági tulajdonságokkal rendelkezik, de jóval kisebb sűrűséggel bír, és nem igényel drága formázószerszámot. A választott gyártási technológia a szálhúzásos (FDM) eljárás, amelynek során folytonos szálakkal erősítik meg a mátrixanyagot. Az anyagkiválasztás során a legmegfelelőbbnek a karbonszállal erősített kompozit bizonyult, mely nagyon kis sűrűséggel rendelkezik. Az alkatrész tervezése során topológiai optimalizálást alkalmaztunk, hogy elérjük az ideális geometriát. Az új konstrukció jelentős tömegcsökkenéssel járt, főként a rugózatlan tömeg területén, amely az additív gyártásnak és a karbonszálas kompozitnak köszönhető. Az új anyag és a megfelelő geometria kiválasztása mellett az alkatrész szerkezeti egyszerűsítése is hozzájárult a tömegcsökkenéshez. A fejlesztésnek köszönhetően csökkent az alkatrészek és kötőelemek száma is. Mindezek eredményeképpen az új adapter gyártása és beépítése a versenyjárműbe az elsődleges cél.

9. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NKTA-48 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Csapágyak veszteségmérése

Measureing of bearing losses

Lubinszki Zsombor

Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

lubinszki.zsombor@ga.sze.hu

Absztrakt

A munkám fő célja egy olyan állítható terhelőerejű vizsgálóberendezés tervezése volt, amely segítségével mérhető az egyes csapágyak és a bennük alkalmazott kenőanyagok közti különbségek a fékezőteljesítmény tekintetében. Ezeket a méréseket összehasonlítva kerestem azt a megoldást, amely segítségével csökkenthető a jármű veszteségteljesítménye az üzem során.

Cikkembe ismertettem a vizsgálóberendezés megvalósításának lépéseit a tervezéstől egészen a kivitelezésig. A mérési folyamat reprodukálhatóságára kiemelt figyelmet fordítottam, így a mérési tervet is ennek megfelelően alakítottam ki. A vizsgálati eredmények kiértékelésekor MATLAB környezetben készítettem az egyes ábrákat a könnyebb összehasonlítás érdekében.

A mért értékek alapján kiválasztottam a legalacsonyabb veszteségteljesítményt elérő megoldást, amely segítségével menetellenállás csökkenés érhető el.

Kulcsszavak: veszteség, csapágy, teljesítménymérés, kenőanyag

Abstract

In my article, I described the steps of implementing a test rig from design to implementation. I have paid special attention to the reproducibility of the measurement process, so the measurement plan was designed accordingly. When evaluating the test results, I created the individual figures in MATLAB for easy comparison.

Based on the measured values, I selected the solution with the lowest power dissipation to achieve a reduction in driving resistance.

Keywords: loss, bearing, performance measurement, lubricant

1. Bevezetés

1.1. Csapágyvizsgáló tervezése

A munkámnak ebben a részében a csapágyvizsgálathoz szükséges terhelőberendezés tervezésének a lépéseit mutatom be. Korábban ilyen eszközt még nem épített a csapat, ezért az alaptól kell átgondolni a konstrukció menetét. Irodalomkutatásom során is az a tapasztalat, hogy ehhez hasonló speciális célra tervezett eszközt még korábban nem építettek, így más folyóiratból, internetről további ötletmerítés nem állt rendelkezésre.

Kerékagyra ható terhelés lévén egy forgástestre mindenképpen görgőkön keresztül kell átadni a korábban számszerűsített 400 N terhelőerőt.

Tervezési szempontoknak a következő célok lettek kitűzve:

- egyszerű, gyorsan gyártható készülék,
- fokozatmentes terhelőerő-állítás,
- erőátvitel görgőn keresztül történjen,
- a beállított terhelőerő pontos mérésének a lehetősége,
- villamos fékpadra integrálható legyen,
- kis helyigény,
- a fékpadi hajtás magassága nem állítható, ezért magassága korlátozott.

Továbbá kiemelt szempont, hogy a terhelő előfeszítés beállítása ne igényeljen sok előkészületet, az erő mértéke gyorsan és pontosan állítható legyen, valamint pontosan mérhető.

A konstrukciós tervezés megindításához fontos megismerni, hogy milyen erőmérési lehetőségek állnak rendelkezésre, ugyanis ez alapvetően befolyásolja a készülék geometriáját.

1.2. Terhelőerő mérése

Alapvetően két fajta lehetőséget határoztam meg erre a célra. Az egyik az egységsúlyokkal való terhelés, míg a másik egy húzó-nyomó igénybevétel mérésére alkalmas erőmérő cella. Ilyen erőmérő cella rendelkezésre áll a Járműipari Kutatóközpont tulajdonában.

Az első alkalmazási példa előnye, hogy az egységsúlyok használatával egyidőben pontosan beállítható a kívánt terhelőerő. Hátránya, hogy helyigényes szerkezettel oldható csak meg, mivel az egységsúlyoknak nagy a kiterjedésük azáltal, hogy akár 400 N terhelőerő szükséges. Ez annyit jelent, hogy körülbelül 40 kilogrammnyi egységsúlyt kell egy mérőrendszerre felhelyezni.

Mindenféleképpen a második esetben felsorolt verziónak a kivitelezésére kell törekedni, azaz a húzó-nyomó erőmérő cella közbeépítésére, mely csavarfeszítéssel kerül sorba építésre.

1.3. Sauter FH 2K erőmérő cella

Ez a kereskedelmi forgalomban is kapható erőmérő cella a következő specifikációkkal bír:

- Mérési tartomány: 0-2000 [N]
- Mérési pontosság: 0,5 % - (2000 N erőnél)
- Mérési lépték: 1 [N]

Az erőmérő alkalmas húzó és nyomó erők mérésére (felvételére) egyaránt. Három részből áll, egy mérőcellából, egy adatvezetékkel, valamint egy vezérlő/grafikus megjelenítőből.

A cellában M12 furatok találhatók az erőfolyamba való csatlakoztathatóságért. A 1. ábra ezt a mérőrendszert szemlélteti.



1. ábra: Sauter FH2K erőmérő rendszer (saját szerkesztés)

A tervezés következő fázisában ennek az eszköznek az integrálhatóságára keresek megoldást, valamint egy konzol kivitelezésére, amely a korábban említett fékpadra illeszthető. A mért erőérték a fékpad mérésirányító rendszere által mentésre kerül, így előfeszítési érték mellett a féknyomaték, sebesség adatok is szimultán mentésre kerülnek.

2. Csapágyvizsgáló szerkezete

A villamos fékpad T-hornyait figyelembe véve, mindenképpen olyan készüléket kell tervezni, amely a hornyok használatával lefogatható, azaz biztonságosan rögzíthető. Fontos szempont a vizsgálóberendezés stabilitásának a megőrzése, ezért mindenképpen zárt keresztmetszetű szelvényekből kell, hogy készüljön. Erre megoldásként találtam a könnyen elérhető és szabványos méretekkel rendelkező installációs profilt, hétköznapi nyelven ITEM profilt. Alkalmazásának előnye, hogy a hozzátartozó horonyanyákkal és sarokelemekkel nagyon egyszerű építkezést tesz lehetővé. Mindössze a megfelelően méretre vágott profilelemek és kötőelemek szükségesek egy-egy állvány/szerkezet összeépítéséhez. Ennek köszönhetően rövidebb tervezési idő szükséges a hegesztett szerkezetekhez képest.

Továbbá a szerelhetőség során nincsen szükség semmilyen speciális szerszámmra, se szakképzett személyre (pl.: hegesztő szakember). Az ITEM profilok eloxált felületűek, tehát korrózióállóak, így nem igényel semmilyen felületi kezelést, továbbá használata környezetbarát, mert a szerkezet átépítése, valamint az elemek újrahasznosítása legtöbbször megoldható.

A váz mellett szükség van egy terhelő erő állítására, amely mögött helyezkedik el a korábban említett erőmérő cella.

Az Y irányban való mozgáshoz szükség van egy megvezetésre is a nagyerőhatások miatt. Erre is keresni kell megfelelő megoldást a berendezés tervezése során.

A vizsgálóberendezés alapkoncepciójában a következő elemek szerepelnek:

- ITEM profil váz,
- lineáris megvezetés,
- előfeszítő mechanizmus,
- csapágyazott érintkezőgörgő.

A munkám következő részében az egyes a komponenseknek a tervezését mutatom be.

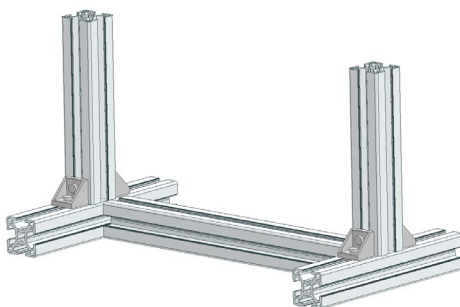
2.1. ITEM profil váz

A vizsgálóberendezés alapjául a 40x40 cm-es keresztmetszetű installációs profilt használtam. Ebben a méretben ez a zárt keresztmetszet már elegendő stabilitást biztosít az alkalmazott terhelőerőkkel szemben. Valamennyi ITEM darab (ahol szükséges) sarokelemmel van egymáshoz rögzítve.

A talperőt egy pontban való érintkezéssel tervezzük átvinni, ezért megtámasztásra van szükség a padon.

Az egy-egy függőleges elem alkalmazása a lineárvezető-rendszer rögzítésére szolgál.

Az Autodesk Inventor CAD program segítségével a következő ábrán (2.) látható modellt terveztem.



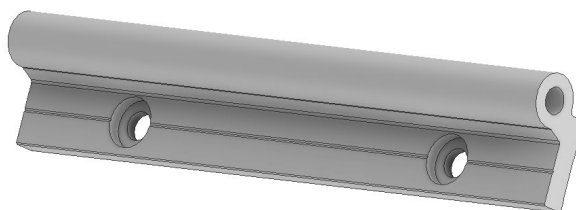
2. ábra: Vizsgálóberendezés ITEM-váz (saját szerkesztés)

2.2. Lineáris megvezetés

A pontos függőleges megvezetésre azért van szükség, mert a terhelőerő is ebben az irányban állítandó. Azért, hogy a legmagasabb terhelőerőnél is függőleges erőfolyam legyen biztosítva, lineáris megvezetésre van szükség.

A legegyszerűbb megoldás egy ipari rendszernek a beszerzése. Erre megfelelő az Igus GmbH német lineártechnikai termékekkel foglalkozó vállalat katalógusának tanulmányozása, melyből egy a számomra alkalmas megvezető-rendszer került kiválasztásra.

A drylin® W szériának a SingleRail sínjét és a hozzá tartozó kocsit került megrendelésre. A sít a 3. ábra szemlélteti.



3. ábra: Igus drylin® SingleRail sín (saját szerkesztés)

Az alkatrész csavarral és horonyanyával kerül rögzítésre az ITEM profil hornyában.

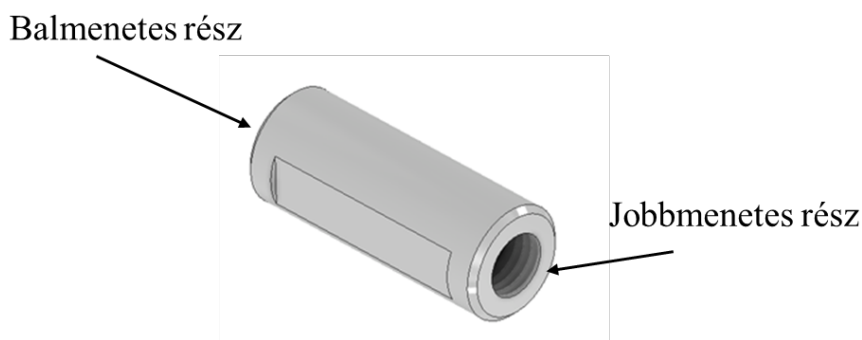
2.3. Előfeszítő mechanizmus

A vizsgálóberendezés előfeszítő mechanizmusa azt a célt szolgálja, hogy a talperő értéket elő tudjuk állítani, mint terhelőerő a mérendő kerékagy felé. Fontos szempont, hogy az erőérték fokozatmentes állítású legyen 0-500 N között. Erre azért van szükség mert több terhelőerő esetén is szeretnénk megismerni a csapágyak veszteség-teljesítményét.

Legjobb megoldás erre egy menetes állítású mechanizmus, amely az ITEM-váz és az erőmérő cella közé kerül beépítésre. A kereskedelembe kapható úgynevezett feszítőzárok hasonló elven működnek, azonban ott egymással megegyező irányba húzzák össze a csatlakoztatott elemeket. Cél tehát, hogy a feszítés irányát megváltoztassuk, amely úgy valósulhat meg, hogy a feszítőzár egyik oldalában balmenetet, míg a másik oldalában jobbmenetet alkalmazunk.

Ilyen paraméterekkel ellátott feszítőzár azonban nem lehet kapni, ezért egyedileg kell egyet tervezni és gyártatni. A kereskedelembe kapható előgyártmány egy acélrúd, amelybe menetfúrással kerülnek bele az M12-es menetek. Egyik oldalról az ITEM profilba rögzül, míg másik oldalban pedig az erőmérő cellába. A henger palástfelületére került egy lapolás is azért, hogy a terhelőerő egy 16-os villáskulcs segítségével könnyedén állítható legyen.

A feszítőzár a 4. ábrán látható.



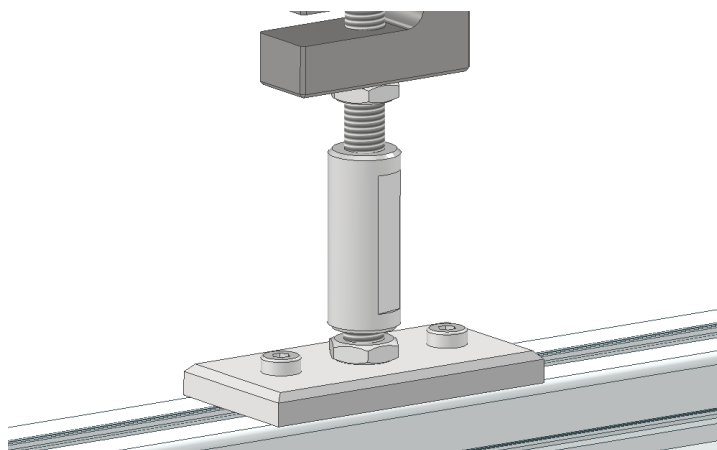
4. ábra: Egyedi tervezésű feszítőzár (saját szerkesztés)

További tervezési feladat volt, hogy az ITEM felőli oldalt hogyan lehetne rögzíteni. Horonyanyából bal menetes nem létezik kereskedelmi forgalomban, ezért egy egyedi megoldást kellett kifejleszteni.

Ezt a legegyszerűbben úgy lehet kivitelezni, hogy egy acél vastaglemezt két helyen rögzíték az ITEM profilba, amely a lemez közepén egy balmenetes furaton keresztül csatlakozik a

feszítőzárból induló szintén balmenetes szárbá. Ezzel a rögzítést a két M8-as furaton keresztül a horonyba rögzülő csavar végzi.

A feszítőzár, az erőmérő és az alsó megtámasztás ITEM profilban való CAD összeállítását az 5. ábra szemlélteti.



5. ábra: Feszítőszerkezet összeállításban (saját szerkesztés)

A feszítőzár hossza (mozgástartománya) úgy lett méretezve, hogy állításával (tekerésével) elérhető legyen a szükséges maximális 500 N terhelőerő.

2.4. Csapágyszorított érintkezőgörgő

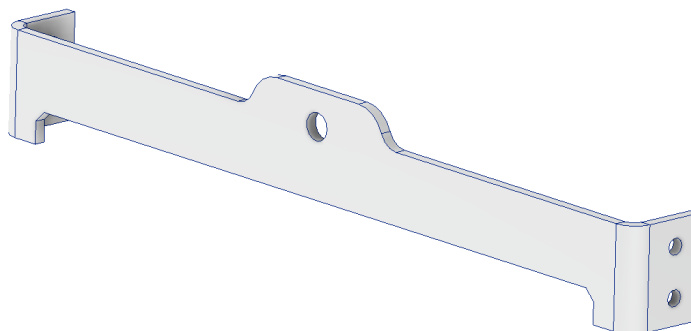
A munkámban már említettem, hogy egy forgástestnek az érintkezését terhelőerő átadása esetén mindenképpen egy másik forgástesttel kell végezni. Erre megoldás lehet csapágyszorított görgőnek az alkalmazása, amit az előzőekben megtervezett feszítőzárral terhelünk.

Önmagában a görgőt nem tudjuk terhelésnek kitenni, mert görgőelemet egy csapra kell rögzíteni. Tehát feltétlenül kell egy közvetítőelem, amely segítségével eljut a beállított talperő a görgőre és onnan tovább a kerékagyra. Tehát fel kell függeszteni egy másik teherviselő elemre.

Erre megoldásként szolgál egy lemezalkatrész, amely a lineáris megvezetőkön keresztül csatlakozik a rendszerbe. Azon egy furat segítségével egy csap kerül elhelyezésre, amelyre fel lehet helyezni a görgőt. Ennek a csapnak az átmérője 8 mm, ez azért fontos, mert nem a lemez síkjában terheljük a kerékagyat, hanem a görgő rögzítése miatt kb. 6 mm-rel párhuzamosan kitérve a szimmetriasíktól, ezért hajlítónyomaték ébred a csapon. Teljes terhelés esetén ez pedig

már jelentős kihajlást eredményezne egy kisebb átmérőjű tengely esetében, amely zavart vinne a mérésbe azzal, hogy a görgő nem a teljes felületén érintkezik a mérés során az aggyal.

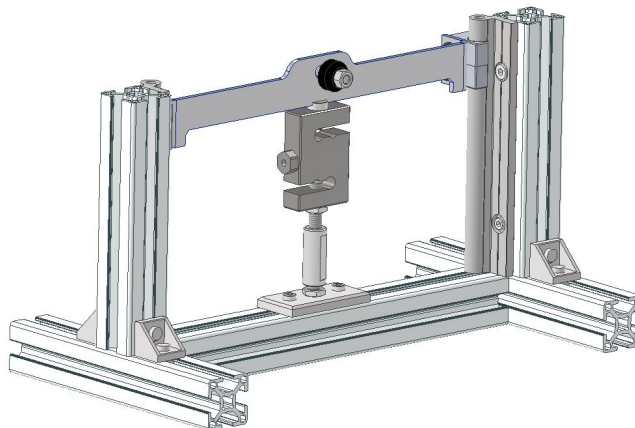
A terhelések elviselésére ezt az acéllemezt 4 mm vastagságúra választottam, és lemezahajlító eljárás útján válik alkalmassá a lineáris vezetőkön közlekedő kocsiknak a csatlakoztathatóságára. A lemez alját pedig az erőmérő cellába csatlakoztatott nyomófejjel terheljük meg az előre beállított talperőértékkel. A 6 ábrán látható ez az alkatrész.



6. ábra: Görgő platformlemez (saját szerkesztés)

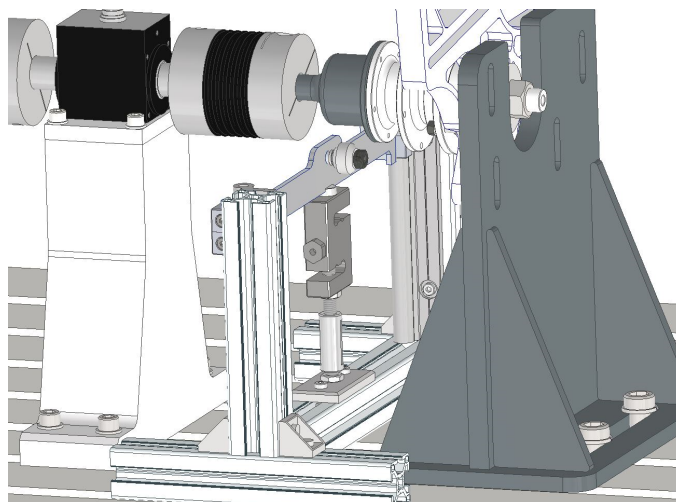
Korábban már ismertettem a tervezési kritériumot, amely során tekintettel kell lenni a vizsgálóberendezés magassági méretére. Ez számszerűen azt jelenti, hogy a görgő felülete a gépalaptól számítva 271 mm magasságban érintkezhet terheletlen állapotában. Önmagában már az erőmérő és az ITEM profil is alaposan csökkenti ezt az építkezési teret az a maguk 40 és 100 mm-es hosszúságukkal. Ebből kifolyólag csak kis átmérőjű görgő választható.

A 7. ábrán a teljes vizsgálóberendezés CAD összeállítása látható.



7. ábra: Görgős terhelőmechanizmus összeállítása (saját szerkesztés)

A villamos fékpadon elhelyezett vizsgálóberendezés teljes összeállítása a 8. ábrán kerül bemutatásra.



8. ábra: Csapágyterhelő berendezés a villamos fékpadon (saját szerkesztés)

Az egyes elemek legyártása a SZEnergy csapat szponzorációjában került sor.

Az vizsgálóberendezés legyártásra során a 4 méteres szállban beszerezhető ITEM alapanyag egy állványos körfűrészsel a modell alapján megtervezett méretek szerint került feldarabolásra. Ebben az esetben kiemelt fontosságú a pontos vágás, az elemek egymáshoz viszonyított merőlegességének a garantálása miatt. Az összeszerelési munkafázis alatt sarokösszekötő elemeket és belső kulcsnyílású csavarokat alkalmaztam. Valamennyi csavar 6-os belsőkulcs nyílású volt, hogy egy szerszámmal könnyen szerelhető legyen.

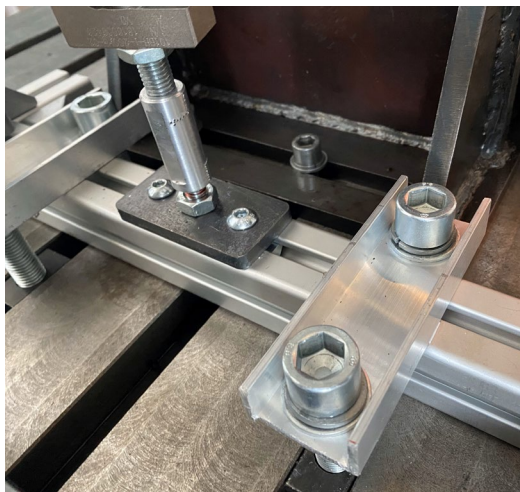
2.5. Rögzítés a villamos fékpadhoz

A nagy erőhatások közvetítésekor biztosítani kell a padot elmozdulás ellen. Egy mérési blokk során az elégtelen rögzítésből adódó probléma azonnal megghiúsítaná a vizsgálatot.

A gépalap T-hornyaiknak a nagysága miatt nem megvalósítható az, hogy a sarokkelemmel rögzüljön a terhelőberendezés hornyába. Ezért a gépalap horonyanyáival kell rögzíteni, valamilyen lefogató elemmel, ami vizsgálóberendezés talpát odaszorítja a gépalaphoz hornyokon keresztül.

Erre megoldásként született az U-profillal való lefogatás. Egy-egy 150 mm hosszúságú U-profil szorítja le keresztbe a csapágyvizsgáló item-elemét és az U-profilokban egy-egy furat kap

helyet, amin keresztül a megfelelő csavar segítségével rögzíteni lehet a gépalap T-hornyaiban elhelyezett horonyanyákban. A rögzítést a 9. ábra szemlélteti.



9. ábra: U-profilos rögzítés a gépalapban (saját szerkesztés)

A vizsgálóberendezés gépágyon való megfelelő elhelyezése után annak tesztelési fázisa következik. Ez azért fontos, hogy megbizonyosodjunk arról, hogy a valósmérések ciklusai mindenféle üzemi hiba és mérési pontatlanság nélkül kivitelezhetők. Elsősorban azokat a hibákat kell kiküszöbölni, amelyek megakadályoznák a mérés reprodukálhatóságát.

3. Mérési terv

Egy vizsgálatnak nélkülözhetetlen része a mérési terv készítése. Erre azért van szükség, hogy a benne lévő követelmények és szempontok mentén bármikor megismételhető és nyomon követhető legyen a vizsgálati folyamat.

3.1. Mérés célja:

A kutatás-fejlesztés fő célja a gördülési ellenállás csökkentési lehetőség feltárása a gördülőcsapágyban alkalmazott különböző típusú kenőanyagok és mennyiségének vizsgálata során. A legkisebb teljesítményvesztéset generáló vizsgálati darab alkalmas lehet arra, hogy a SZEnergy Team energiahatékony versenyautójában csökkentse a menetellenállást, ezzel párhuzamosan javítva az energiamérleget.

3.2. Mérési technológia időbeni változása:

Folyamatos ciklikus. Egy-egy mérési ciklus kb. 20 percig tart. Egy adott fordulatszámon 60 másodpercig tart a nyomatékatok rögzítése.

3.3. Mérési mintavételezés:

100 Hz frekvencián történik a mintavételezés nagysága.

3.4. Vizsgálati fordulatszám tartomány:

0-450 1/min között történik, 25 1/min emelési lépcsővel.

3.5. Vizsgálati terhelőerő tartomány:

100 N – 400 N közötti erőérték, 100 N emelési lépcsővel.

3.6. Mérendő mintadarabok száma:

8-8 darab kerékcsapágy került beszerzésre, ezeknek a specifikációja a következő táblázatba kerül bemutatásra.

1. táblázat: Csapágyak mérési terve (saját szerkesztés)

Mérési terv				
Csapágy sorszáma	Vizsgált kenés	Jellemző	n [1/min]	F [N]
Csapágy 1.	száraz, megtisztított	gördülőelemek zsírtalanítása	0-450	100-400
Csapágy 2.	gyári zsír	gyárilag ellátott zsírral alkalmazás	0-450	100-400
Csapágy 3.	OKS 571 PTFE	szárazteflon csúszólakk	0-450	100-400
Csapágy 4.	MOTIP üregelő spray	alacsony konzisztenciájú olaj	0-450	100-400
Csapágy 5.	Eneos 0W-30 olaj	alacsony viszkozitású olaj	0-450	100-400
Csapágy 6.	Klüber Molykombin + 0W-30 olaj	grafitalapú lakk és olaj keveréke	0-450	100-400
Csapágy 7.	SKF non-contact csapágy	érintkezésmentes tömítésekkel ellátva	0-450	100-400
Csapágy 8.	Motorex White Grease	félfolyékony csapágyzsír	0-450	100-400

3.7. Mérési adatok feldolgozása és ellenőrzése:

Valamennyi mérés után vizsgálati jegyzőkönyv készül. Ezeknek a következő pontokat kell tartalmaznia:

- mérési idején érvényes üzemállapotok,
- alkalmazott vizsgálati módszerek,
- mért értékek veszteségteljesítmény-elemző grafikonja,
- konklúzió megfogalmazása a mérés eredményéből a vizsgált kenőanyagra vonatkozóan.

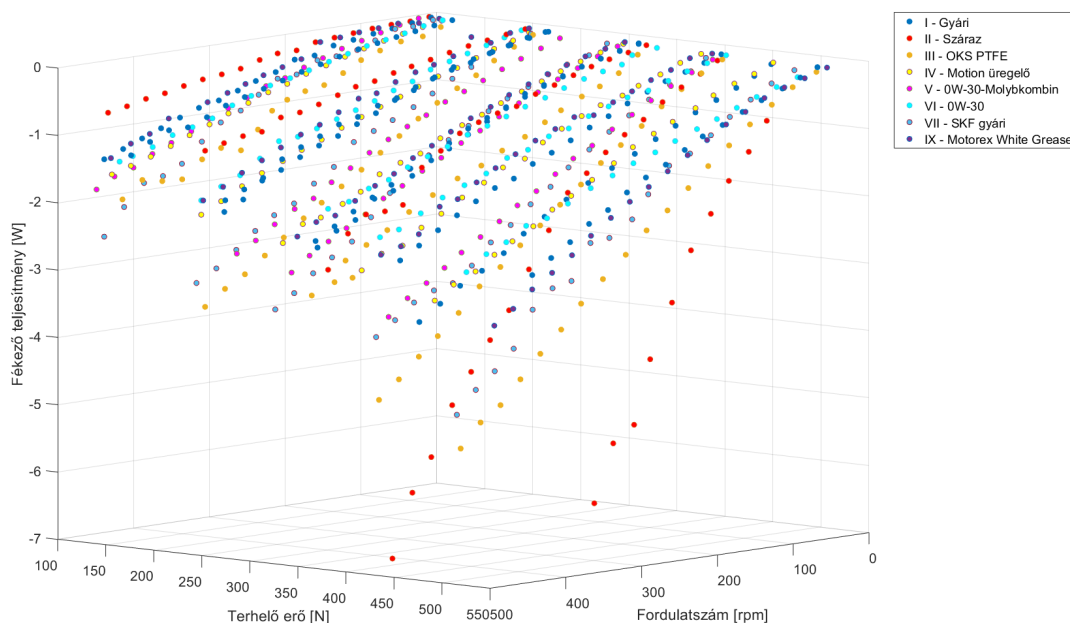
A villamos fékpad számítógépes programja a fordulatszám, erő és nyomaték értékeket folyamatosan szimultán rögzíti!

4. Mérések összehasonlítása

Az összes mérés befejeztével pedig vizuálisan szemléltetésre kerül a valamennyi vizsgálat során mért teljesítményérték adatai egy grafikonon, amely megkönnyíti a legjobb kenőanyag kiválasztását. A mérések kiértékelése MATLAB R2019b és MSF Excel szoftverekkel történik.

Az összes mérés szemléltetésképpen egy ábrába került elhelyezésre. Ezen valamennyi anyag összes mért munkapontja található. Ez összesen több mint 700 mérési pontot jelöl. Ebből az adatsokaságból nehéz meghatározni, hogy melyik mérés során sikerült a legkisebb veszteségteljesítmény elérni.

A 47. ábra ezt a mérési jelleggörbe ponthalmazt ábrázolja.



10. ábra: Az összes mérés pontthalmaza (saját szerkesztés)

Az egyes megoldások összehasonlítása érdekében készült egy eredmény összegző-táblázat. Ez az egyes kenőanyagokhoz rendelt veszteségteljesítményt ábrázolja 400N-os erőérték és 275 f/min fordulatszám mellett. A 2. táblázatban látható ez az eredmény összehasonlítás négy tizedesjegy pontosságig.

2. táblázat: Mérési eredmények összehasonlítása (saját szerkesztés)

Mérés sorszáma	Fékezőteljesítmény [W]	Mérés sorszáma	Fékezőteljesítmény [W]
I. mérés	1,284	V. mérés	1,0828
II. mérés	2,8571	VI. mérés	1,9265
III. mérés	2,5141	VII. mérés	2,2289
IV. mérés	1,3881	VIII. mérés	1,1686

Az értékek alapján az látható, hogy a legkisebb veszteséget a V. sorszámú mérés hozta a gyári kenőanyaggal ellátotthoz képest.

Ez azt jelenti, hogy a 0W-30 viszkozitású olaj 20%-kal jobb futási tulajdonságokkal bír vesztségek tekintetében azonos fordulatszám és terhelés mellett.

5. Összegzés

Az elvégzett mérések eredményeképpen elmondható, hogy a tömítést eltávolítva, a gyári kenőolajat 0W-30-as viszkozitású olajjal helyettesítve negyedjárműre vetítve $\sim 0,2$ Watt veszteségteljesítményt csökkenést lehet elérni. Ez összesen teljes járműre számítva 0,8 W.

A jelenleg alkalmazott kerécsapágyakhoz képest még ennél is nagyobb az elérhető veszteségcsökkenés, mert a vizsgált munkaponton 1,5465 W fékezőteljesítménnyel bír. Ebben az esetben tehát negyedjárműre vetítve 0,462W teljesítménycsökkenés érhető el, amely összesítve 1,85 Wattot jelent. Ez a közel 2W-os érték, a jármű ~ 70 W-os teljes fékezőteljesítményének a 3%-a. A mérés során bemutatott csapágyak alkalmazásával a csapat autója jövő évi versenyen akár elérheti a 300 km/kWh energiamérleget is.

6. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NKTA-48 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] SZEnergy Team, „Belső forrás,” Győr, 2023.
- [2.] Kőrös P., „Energiahatékony versenyautó szélcsatonás mérése,” Járműipari Kutatóközpont, Győr, 2023.
- [3.] Kőrös P., Pusztai Z, „Elektromos hajtásláncok fékpadi méréseinek vizsgálata,” *XXVIII. NEMZETKÖZI GÉPÉSZETI KONFERENCIA*, pp. 248-249, 2020.

Mélytanulás Alapú Jármű-lokalizációs Modell Paraméterezése

Deep Learning-Based Vehicle Localization Model Parameterizations

Markó Norbert

Széchenyi István Egyetem – Járműipari Kutatóközpont; HUN-REN SZTAKI

marko.norbert@ga.sze.hu

Absztrakt

A jelen tanulmány egy AI-alapú, long short-term memory-n (LSTM) alapuló lokalizációs megközelítést mutat be és értékeli annak teljesítményét a ground truth felvételekhez képest. A kísérletek során kiemelt figyelmet fordítottunk a paraméterezésre, amely során az LSTM rejtett rétegének méretét, az MLP head méreteit, a bemeneti MLP méretét, a dropout értékét, a szekvenciák hosszát, valamint az optimalizálási algoritmust és a tanulási rátát állítottunk be. Az alkalmazott paraméterezés lehetővé teszi a modell hatékony működését, még korlátozott paraméterszám mellett is, ami különösen előnyös a valós idejű alkalmazások szempontjából. Az eredmények alapján az LSTM alapú megközelítés hatékonynak bizonyult a pozícióbecslés terén, és ígéretes lehet a jövőbeli fejlesztések és valós idejű kísérletek szempontjából.

Kulcsszavak: lokalizáció, neurális hálózatok, paraméterezés

Abstract

This paper proposes an AI-based localization approach based on long short-term memory (LSTM) and evaluates its performance compared to ground truth. In the experiments, we paid special attention to the parameterization by adjusting the size of the hidden layer of the LSTM, the size of the MLP head layer, the size of the input MLP, the dropout value, the length of the sequences, and the optimization algorithm and learning rate. The parameterization used allowed the model to run efficiently even with a limited number of parameters, which is particularly beneficial for real-time applications. The results show that the LSTM-based approach is effective in position estimation and represents a promising avenue for future developments and real-time experiments.

Keywords: localization, neural networks, parameterization

1. Bevezetés

A kortárs autonóm járműkutatás egyik kulcsfontosságú területe a lokalizációs módszerek fejlesztése [1-4]. A pozícióbecslés során a hibák idővel felhalmozódnak: már egy kis hiba is gyorsan, a másodperc tört része alatt tönkre teheti a becslés minőségét. Az olyan hagyományos módszerek, mint a kiterjesztett Kálmán-szűrő (EKF), a nem illesztett Kálmán-szűrő (UKF) és a részecskeszűrő (PF) szilárd megközelítéseként szolgáltak a nemlineáris rendszerek kezelésében, amelyeket mind a rendszerben, mind a becslési modellekben lévő zaj befolyásol. Ezek a megközelítések azonban szükségessé teszik az érzékelők nemlineáris modell zajjellemzőinek alapos megértését. Az ilyen típusú rendszerek megfelelő hangolásához jelentős idő- és munkabefektetés szükséges. Például a különböző Kálmán-szűrő modellparaméterek, pl. a folyamat zaj kovarianciája, a nem fehér zajra vonatkozó előfehértő szűrőmodellek hangolásához, sőt gyakran még optimalizálási módszereket is alkalmaznak [5-8]. Ezzel szemben a neurális hálózat alapú algoritmusok ígéretes alternatívát kínálnak, amely megkerüli ezeket a szigorú követelményeket. Fontos megkülönböztetni két, neurális hálózatokkal (NN) kapcsolatos megközelítést. Az első a neurális hálózatokat optimalizálási megközelítésként használja, és csak a Kálmán-szűrő megfelelő paramétereinek meghatározására használja a hálózatot. A második a problémát egy fekete dobozként érzékeli, előre létező szűrő nélkül. Ez a cikk a második megközelítést alkalmazza, és egy neurális hálózaton alapuló lokalizációs módszert mutat be, illetve az optimális paraméterezés eredményeit prezentálja.

2. Metodológia

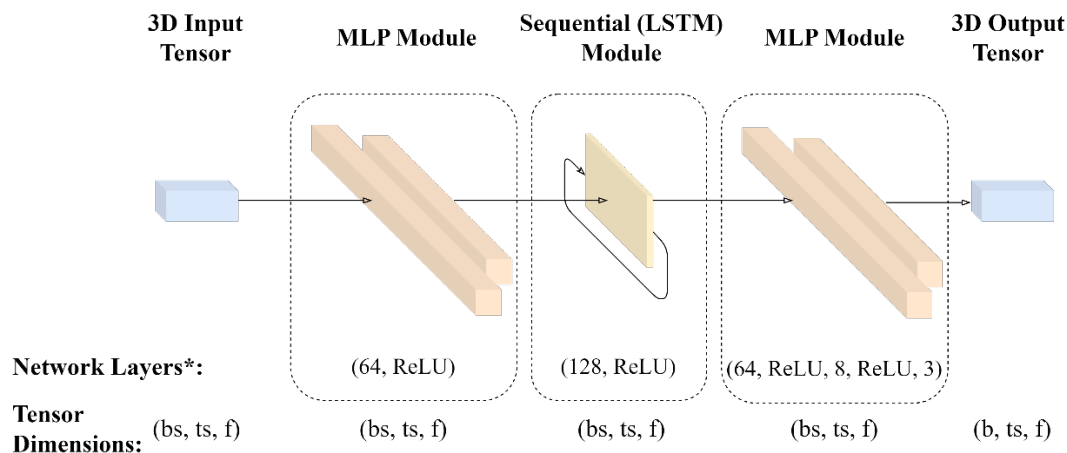
A problémát a mélytanulás szemszögéből közelítettük meg. Az inerciamérő egység (IMU) egy jelentősen zajos érzékelő. Ennek ellenére nagy mennyiségű hasznos információt tartalmaz a becslendő pálya tekintetében. Ha a hálózatot elég nagy adathalmazon tanítjuk a lokalizációra vonatkozó általánosított mintákon, akkor elhagyhatjuk a manuálisan meghatározott dinamikus járműmodelleket és egy modellfüggetlen hálózathoz juthatunk.

A lokalizációs minták megtanulásához címkékként GNSS-pozíciós adatokat használtunk, amelyek koordinátái egy bizonyos origóból számított koordinátákkal rendelkeznek. Ezek a koordinátaértékek a tanulási algoritmus számára sajnos értelmezhetetlenek. Például egy azonos görbejellemzőkkel és azonos IMU-adatmérésekkel rendelkező trajektóriarészlet teljesen különböző GNSS-címkéknek felelhet meg. Ennek kiküszöbölése érdekében szabványosítottuk

a címkéket. A tanulási algoritmus fő célja, hogy megtanulja a két időlépés közötti relatív változást két egymást követő szenzor időlépés bemenetére. Ez rekurrens neurális hálózatok megfelelő alkalmazásával több időlépésre is kiterjeszthető.

Hálózatunkat a reprodukálhatóság szempontjából legfontosabb szempontok vizsgálatával mutatjuk be. Ezek a következők: a hálózat felépítése, a pipeline, amelyben a hálózatot használjuk, és a tanulási folyamat, amelyen keresztül a hálózat pipeline-t használjuk a modell tanítására. A hálózat mögött álló elképzelés az volt, hogy a hálózati paraméterek számát a lehető legnagyobb mértékben csökkentjük a pontosság csökkenése nélkül. Ez előnyös, mivel a paraméterek alacsony száma elősegíti az általánosítást, ha az alulilleszkedésre (underfitting) közben kiemelt figyelmet fordítunk. Ezenkívül egy kisebb hálózatot könnyebb valós idejű környezetben használni az alacsonyabb számítási igények miatt, ami az egyik jövőbeli célunk.

A mélytanuláson alapuló megoldásunk (1. ábra) egy long short-term memory (LSTM) modulból és két multi layer perceptron-ból (MLP) áll. Ez a három hálózati rész különböző célokat szolgál a tanulási folyamatban. A hálózat magja az LSTM modul. Ez a rekurrens modul, amely az időbeli jellemzők megtanulásáért felelős. Ebben az esetben ezek a jellemzők a bemeneti szenzoradatok változásai, amelyek megfelelnek a címkék közötti relatív változásoknak. Ahhoz, hogy a bemeneti szenzorméréseket az LSTM számára megfelelő formátumban adjuk meg, egy MLP modult használunk. Ez a nyers szenzorbemenetet a hálózat számára értelmezhetőbb jellemzőkké alakítja át. A második MLP modul célja a rekurrens rész után kettős. Egyrészt átalakítja a rekurrens rész kimenetét a tanuláshoz és következtetéshez megfelelő formátumba (ebben az esetben három kimeneti neuronba), másrészt további jellemző átalakításokat végez, amelyek segíthetnek az általánosításban. A hálózati dimenziók összeillesztése érdekében az MLP-k háromdimenziós bemeneteket vesznek fel. Ez azt jelenti, hogy az időlépések is a bemeneti dimenzió részét képezik. Ezáltal a bemenet is háromdimenzióssá válik. A kimenet kétdimenziós, a három releváns pózértékünk változását adja meg minden egyes időlépéshez.



1. ábra: Az említett megközelítésben használt modellarchitektúra. A réteg a modul tetején van in-dikálva, a hálózati réteg sorban a méreteket és az aktiválási függvényeket sorrendben mutatjuk. Rövidítések: bs: batch size, ts: timesteps, f: feature-ek száma. (saját szerkesztés)

A rekurrens hálózatoknak van még egy másik aspektusa is, amelyet feltétlenül meg kell vitatnunk a megoldás szempontjából melyet állapotfüggőségnek nevezünk. A hálózat állapottartó (stateful) módon történő használata lehetővé teszi, hogy a hálózat rejtett állapotát a batchek között továbbítsa. Ha az architektúra nem stateful, akkor az állapot az egymást követő batchek között visszaáll. Kísérleteink alapján úgy döntöttünk, hogy a hálózatunk stateless megoldással fog működni. Ennek oka az, hogy az állapotfüggő megvalósítás számos megkötést igényel a tanítással és a tanítási adatok sorrendjével kapcsolatban. Például nagyobb, 32-es batchméretet és adatkeverést használtunk, de ez nem lett volna lehetséges a stateful változattal, mivel az rendezett adatokat és 1-es batchméretet igényel, hogy az állapotot a szekvenciák között tovább lehessen adni.

Ami a tanítási pipeline-t illeti, bemenetként inerciális, kormányzási és sebességadatokat vesz fel, és kimenetként a becsült pózadatokat (x , y , ψ) adja vissza. A hálózat betanítása vagy következtetésre való felhasználása előtt van egy offline előfeldolgozási fázis, ahol a korábban rögzített adatok bányászása, szűrése és átalakítása történik az adott feladathoz. Maga a tanulási folyamat a relatív címkéket egy a sokhoz (many-to-one) módon kezeli, és megjósolja a következő relatív változást. Ezeket a relatív változásokat a tesztelés során integráljuk. A hálózat LSTM rejtett mérete 128 volt, az MLP fejrétegek mérete 64, 8 és 3. A bemeneti (kódoló) MLP mérete 64 volt. Az MLP-rétegek között 0,5 értékű kieséseket alkalmaztunk. Az alkalmazott szekvencia hossza 5 volt. 10^{-4} -es tanulási rátával Adam optimalizálót alkalmaztunk.

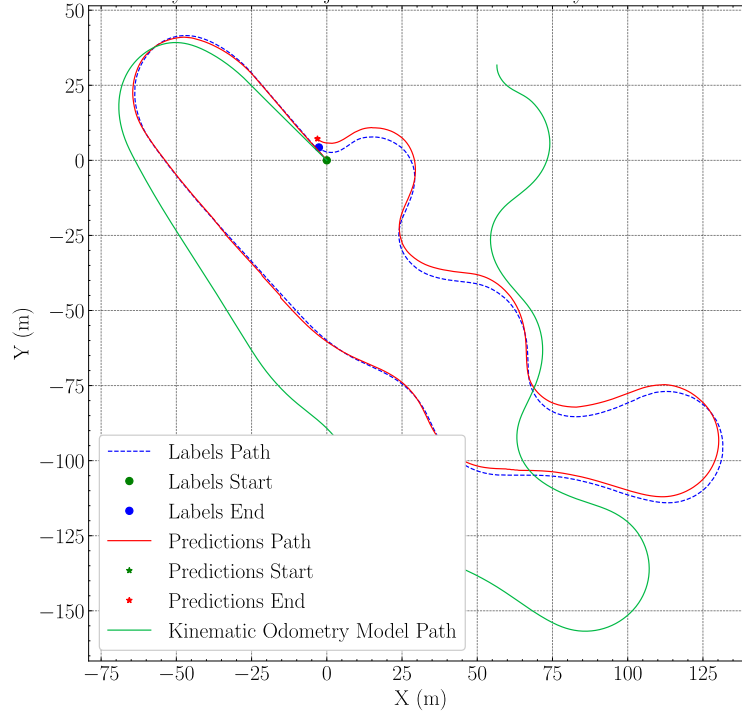
3. Eredmények

A kísérletek során a Multi Layer Perceptron (MLP) és szekvenciális modulokat paramétereztük különböző kombinációkba. A szekvenciális modulok esetében az LSTM rejtett rétegének méretét 128-ra állítottuk be. Az MLP fej réteg méretei 64, 8 és 3 voltak, míg a bemeneti (kódolási) MLP mérete 64 volt. Az MLP rétegek közötti dropout értékét 0,5-re állítottuk. A szekvenciák hossza 5 volt. Az optimalizálásra az Adam algoritmust használtuk, a tanulási ráta pedig 10^{-4} volt. Ezekkel a paraméterekkel 20 kísérletet futtattunk le, melyek alapján értékeltük a modellek teljesítményét és hatékonyságát. Az eredmények alapján részletesen megvizsgáltuk a paraméterek hatását a modell pontosságára és stabilitására.

Az értékelés fő módszere a mért és a becsült pozíció vizuális összehasonlítása volt. A tesztelési adatoknál szekvenciális feldolgozást alkalmaztunk, mivel a keverés hiánya nem befolyásolja a súlyokat, ha azok már be vannak hangolva és be vannak fagyasztva. A tréningadatok vizualizálásához gondoskodtunk arról, hogy a kevert tételek minden szekvenciája legalább egyszer látható legyen, ezt követően az adattároláskor megadott nevük és szekvenciaazonosítójuk alapján gyűjtöttük össze őket.

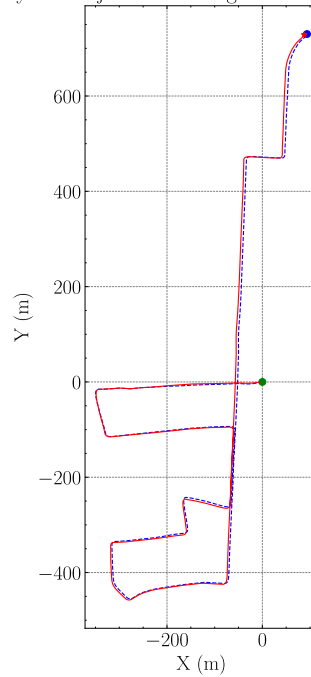
A 2. és 3. ábrán látható eredmények a tesztelési és tanítási eredményeink grafikonjai. A tesztelés során használt egyik pályánk, amit itt is bemutatunk, egy zárt hurok. A 2. ábra azt mutatja, hogy a hurok zártsága nem tökéletes, de a mérésekhez így is nagyon közel van, a biciklimodell eredményeit pedig jóval felülmúlja. A tanítást szemléltető ábra egy éles irányváltásokat tartalmazó pálya (3. ábra). A különbség abból fakad, hogy az éles irányváltásokat nehezebben követi le bármilyen lokalizációs hálózat, így szemléltetésként tettük ide, hogy bemutassuk a hálózat potenciálját.

Kinematic Odometry Model for Traj ID: nissan_uni_60_1856_dynamic_v2.2023.07.11-11.12.0



2. ábra: A hálózat eredményei egy tesztkészletből választott pályán. A kék pálya a mérés, a piros a teszt eredmény, a zöld pedig a biciklimodell eredménye. (saját szerkesztés)

Vehicle Odometry for Traj ID: nissan_zeg_50_1856_hilly_2023.07.11-10.04.0



3. ábra: A hálózat eredményei egy tanítókészletből választott pályán. A kék pálya a mérés a piros pedig a tanítási predikció. (saját szerkesztés)

A 20 kísérlet során az alább látható, választott metrikák segítségével értékeltük ki a modellek teljesítményét. Az alkalmazott metrikák közé tartozott az Abszolút Pozíció Hiba (APE), a Relatív Pozíció Hiba (RPE), az átlagos négyzetes gyökeltérés (RMSE), valamint az adott veszteségfüggvény számított értéke (Loss). Az alábbiakban bemutatjuk a kvantitatív eredményeket ezen metrikák alapján, amelyek részletesen tükrözik a modellek hatékonyságát és pontosságát a paraméterezett beállításokkal végzett kísérletek során.

1. táblázat: Kvantitatív eredmények a választott metrikák alapján (APE: Abszolút Pozíció Hiba, RPE: Relatív Pozíció Hiba, RMSE: átlagos négyzetes gyökeltérés, Loss: az adott veszteségfüggvény számított értéke).
(saját szerkesztés)

<i>Dataset</i>	<i>RPE (pos)</i>	<i>APE (pos)</i>	<i>APE (angle)</i>	<i>RMSE</i>	<i>Loss</i>
training	0.031	0.03	0.025	0.126	0.016
test	0.045	0.013	0.025	0.163	0.027

4. Összegzés

A fenti eredmények alapján megállapítható, hogy a választott paraméterekkel konfigurált LSTM architektúra hatékonyan teljesített a pozícióbecslés terén, még korlátozott paraméterszám mellett is. Ez az alacsony paraméterszám kedvező a valós idejű alkalmazások szempontjából, ugyanakkor korlátozhatja az általánosítási képességeket.

A jövőbeli munkák során tervezzük egy transzformátorhálózat bevezetését, amely megoldást nyújthat a szekvenciális feldolgozás lassúságára, és képes több időbeli információt tárolni, így javítva az általánosítási képességeket a hagyományos szekvenciális hálózatokhoz képest. Bár a transzformátorhálózatok feldolgozási sebessége lassabb lehet, célunk, hogy javítsuk a megközelítés valós idejű alkalmazhatóságát, miközben növeljük a pontosságot és a stabilitást a különböző kísérleti körülmények között.

5. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NKTA-48 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] Andreas Chalvatzaras, Ioannis Pratikakis, Alexandros A. Amanatiadis: A Survey on Map-Based Localization Techniques for Autonomous Vehicles, *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles* 8 (2023), 1574–1596.
- [2.] Yu Lu, Hui Ma, Edward Smart, Hui Yu: Real-Time Performance-Focused Localization Techniques for Autonomous Vehicle: A Review, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 23 (2022), 6082–6100.
- [3.] Julien Laconte, Aniss Kasmi, Romain Aufrère, Matthieu Vaidis, Rodolphe Chapuis: A Survey of Localization Methods for Autonomous Vehicles in Highway Scenarios, *Sensors* 22 (2022), 247.
- [4.] Chen Chen, Xiang Pan: Deep Learning for Inertial Positioning: A Survey, *arXiv* (2023), arXiv:2303.03757.
- [5.] Huan Q. Cao, Huy X. Nguyen, Thanh T. Nguyen, Van Q. Nguyen, Jong W. Jeon: Robot Calibration Method Based on Extended Kalman Filter–Dual Quantum Behaved Particle Swarm Optimization and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, *IEEE Access* 9 (2021), 132558–132568.
- [6.] Zhaohui Huo, Feng Wang, Hui Shen, Xiang Sun, Jiawei Zhang, Yilong Li, Hongwei Chu: Optimal Compensation of MEMS Gyroscope Noise Kalman Filter Based on Conv-DAE and MultiTCN-Attention Model in Static Base Environment, *Sensors* 22 (2022), 7249.
- [7.] Mohammad Sheibani, Guanghui Ou: A Bayesian Optimized Framework for Successful Application of Unscented Kalman Filter in Parameter Identification of MDOF Structures, *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control* 40 (2021), 1712–1730.
- [8.] Ziang Chen, Craig Heckman, Simon Julier, Naveed Ahmed: Weak in the NEES?: Auto-Tuning Kalman Filters with Bayesian Optimization, In *Proceedings of the 21st International Conference on Information Fusion*, Cambridge, UK, 10–13 July 2018.

A járművek és a közlekedési infrastruktúra közötti kommunikáció megoldásai és lehetséges hatásai

Solutions and potential impacts of communication between vehicles and transport infrastructure

Saly Gábor

Széchenyi István Egyetem, Közúti és Vasúti Járművek Tanszék – Győr;

Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont – Győr

saly.gabor@ga.sze.hu

Absztrakt

Napjaink autóiipari kutatásainak fontos részét képezik az autonóm járművek vizsgálatai. Az utóbbi évtizedek során a rendszerszemlélet térnyerésének köszönhetően a járművekkel kapcsolatos kutatások során egyre fontosabb szerepet kapott a gépkocsik környezetének, valamint a jármű és környezet egymásra hatásának vizsgálata is, mind környezetvédelmi, mind gazdasági, mind pedig infrastrukturális szempontokból. A járművek környezetükkel történő kommunikációs lehetőségei új lehetőségeket teremtenek a közúti infrastruktúra és a gépkocsik közötti adatcserére, így az autonóm járművek a szenzorok mellett újabb forrásból is információt nyerhetnek a körülöttük elhelyezkedő területekről. A megbízható információcsere megvalósításához számos fejlesztésre lesz szükség a közúti infrastruktúrában. A jövőben többek között lehetőség nyílhat a kereszteződésekbe érkező autonóm járművek áthaladási sorrendjének meghatározására a helyi közúti szabályokat ismerő hálózat segítségével, ezzel akár a kereszteződések közlekedési lámpáit is ki lehetne váltani, ugyanakkor fontos figyelembe venni, hogy előre láthatólag évtizedes távon együtt közlekedhetnek majd hagyományos és autonóm járművek az utakon, így a humán vezetők számára megszokott közlekedési jelzések még hosszú évekig velünk fognak maradni.

Munkámban megvizsgálom a tématerület kapcsán megírt legfontosabb és legfrissebb kutatási eredményeket tartalmazó tudományos írásokat, annak érdekében, hogy ismertessem a jelenlegi tudományos helyzet és a jövőben várható fejlesztési tendenciákat.

Kulcsszavak: V2X, V2I, ITS, autonóm jármű, VANET, OBU, RSU, szimuláció, teszt

Abstract

Research into autonomous vehicles is an important part of today's automotive studies. In the last decades, the focus on systems thinking has led to an increasing role of vehicle research in the environment of the vehicle and the interaction between vehicle and environment, from environmental, economic and infrastructural perspectives. The ability of vehicles to communicate with their surroundings opens up new possibilities for data exchange between road infrastructure and vehicles, allowing autonomous vehicles to gain information about their surroundings from new sources in addition to sensors. To achieve reliable information exchange, a number of improvements to road infrastructure will be needed. In the future, it may be possible, for example, to determine the order of passage of autonomous vehicles at intersections using a network that knows the local road rules, even replacing traffic lights at intersections, but it is important to consider that it is expected that conventional and autonomous vehicles will be on the road together for decades to come, so that the traffic signals familiar to human drivers will be with us for many years to come.

In my work I will examine the most important and recent research on the subject and recent scientific papers, in order to present the current scientific situation and future development trends.

Keywords: *V2X, V2I, ITS, autonomous vehicle, VANET, OBU, RSU, simulation, test*

1. Bevezetés

A járművek a közlekedési infrastruktúrát használják mozgásuk során, a járművezetők pedig a közúti jelzésekből szereznek információkat az útszakaszok jellemzőiről. Az autonóm járművek elterjedésével célszerű lesz kommunikációs kapcsolatot kialakítani a járművek vezérlését végző informatikai rendszer és a közúti infrastruktúra között, hogy az előzőekben említett információkat a jármű irányításáért felelős központi számítógép is megkapja, ezzel növelve a közlekedés biztonságát és csökkentve a járművek energiafogyasztását. Munkámban összegzem a közlekedési infrastruktúra és a járművek közötti kommunikációval foglalkozó kutatások, szimulációs és valós körülmények között elvégzett tesztek elméleti háttérét és eredményeit.

2. Az autonóm járművek kommunikációs lehetőségei

Cikkemben fontosnak tartom bemutatni a járművek egymás közötti és környezetükkel történő kommunikációjának lehetséges megoldásait, a következő fejezetben ismertetem ezek típusait és legfontosabb jellemzőit.

2.1. V2V kommunikáció

A V2V-kommunikáció lehetővé teszi, hogy az egyes járművek képesek legyenek információkat megosztani egymással mozgásállapotukról, forgalmi helyzetükről, balesetekről és a szenzoraik által szerzett adatokról, ezáltal megelőzve a veszélyes közlekedési helyzeteket. A V2V-kommunikáció során az autonóm járművek kommunikációs csomópontként működnek. Alkalmazása számos előnnyel jár, az intelligens közlekedési rendszerekben (ITS) részt vevő járművek esetében a V2V-kommunikációból származó információk felhasználhatók a forgalomirányítás javítására. A V2V-kommunikáció és az ITS megvalósításához az autógyártóknak közös szabványok szerint kell majd kialakítaniuk kommunikációs rendszereiket. [1, 2]

2.2. V2I-kommunikáció

A V2I-kommunikáció lehetővé teszi, hogy a járművek kapcsolatba lépjenek a közlekedési infrastruktúrába beépített kommunikációs egységekkel. Ez különösen fontos lehet a kereszteződésekben lévő közlekedési lámpák és a szabályokat előíró jelzőtáblák esetében. A járművek és az infrastruktúra közötti kommunikáció kétirányú és vezeték nélküli módon kell történnie. Az infrastruktúra a begyűjtött adatok felhasználásával nyomon tudja követni a forgalmat, és irányítani tudja a közlekedést, a járművek számára a V2I kommunikáció a biztonság és az energiahatékonyság javításának érdekében hasznos, illetve olyan információkhoz is hozzájuthat így a jármű, ami a környezetérzékelő szenzorainak hatótávolságán kívül esik. 2017 januárjában az Egyesült Államok Közlekedési Minisztériuma az intelligens közlekedési rendszerek kiépítésének felgyorsítása érdekében V2I-iránymutatásokat adott ki a Szövetségi Autópálya-felügyelet számára. [3-6].

2.3. Járművek kommunikációja a környezetükkel (V2X)

A V2X-kommunikáció lehetővé teszi, hogy a jármű kommunikálni tudjon a környezetében lévő vezeték nélküli kommunikációs eszközökkel, a gyalogosokkal (V2P) elsősorban az okostelefonjaik segítségével, az út menti eszközökkel (V2D) és a különböző hálózatokkal (V2N) is. Közlekedésbiztonsági szempontból a gyalogosok, kerékpárosok és motorkerékpárosok védelmét segíti elő, a velük történő közúti balesetek megelőzését szolgálja. Az előzőekben bemutatott V2V és V2I kommunikáció szintén a V2X kommunikáció speciális altípusai. [3, 7, 8]

3. A járművek és az infrastruktúra közötti kommunikációt megvalósító hálózatok

A következő fejezetben a járművek és az infrastruktúra közötti kommunikációt megvalósítani képes hálózatok fő típusait és alkotóelemeit ismertetem.

3.1. Jármű Ad-Hoc hálózat

A VANET-ek (VANET - Vehicle Ad-Hoc Network) olyan ad-hoc kommunikációs hálózatok, amelyek a mobil eszközök és a járművek közötti kommunikáció megvalósítását teszik lehetővé. A VANET-ek fő célja a biztonságos közlekedés elősegítése a járművek és a jármű-infrastruktúra (V2I) között, valamint a többi úthasználóval és rendszerrel való kommunikáció lehetővé tétele (V2X). A VANET-ek alacsony késleltetésüknek köszönhetően nagy sebességű adatforgalmat is képesek kezelni. A rendszer működéséhez a következő egységek szükségesek: [9-11]

- Fedélzeti egység (OBU): GPS-alapú, vezeték nélküli kommunikációval rendelkező, járműbe épített nyomkövető eszköz. Kommunikál a környező OBU-kkal és a közúti egységekkel (RSU-k) [9].
- Út menti egység (RSU): Az RSU-k az út mentén, főként parkolóban és keresztezésekben elhelyezett számítástechnikai egységek, amelyek lehetővé teszik az autonóm járművek kommunikációját a közlekedési infrastruktúrával [9].
- Megbízható hatóság (Trusted Authority, TA): A VANET-ek beszerzéséért, működésének biztosításáért és ellenőrzéséért felelős szervezet. [9]

3.2. LTE (Long-Term Evolution)

Az LTE rendszernek néhány módosításra van szüksége ahhoz, hogy a VANET rendszerként tudjon működni. Ennek érdekében csökkenteni kell a késleltetési időket. A mobil csomópontok nagy száma gondos konfigurációt igényel ennek a kommunikációs rendszernek a használata esetén. [12].

3.3. 5G hálózat

Az 5. generációs (5G) hálózat már működik, és a rendelkezésre álló erőforrások hatékony felhasználásával ultraalacsony késleltetési idejű kommunikációt tesz lehetővé. A korábbi cellás hálózatoknak adatátviteli problémái és korlátai nem merülnek fel az 5G hálózat esetén a járműkommunikációval kapcsolatban. [12].

A jövőben az 5G hálózat kiépítése nagyobb szerepet játszhat a V2X technológia kiépítésében, mint a hardveres erőforrások.

4. A járművek és a közúti infrastruktúra közötti kommunikáció felhasználási esetei

Az előző fejezetekben bemutatott fejlesztések közúti forgalomba történő bevezetése előtt fontos megvizsgálni ezek lehetséges alkalmazási területeit és a technológiák alkalmazásának korlátait. A munkám következő részében a fent említett rendszerek várható hatásait vizsgáló kutatások eredményeit mutatom be.

4.1. A járművek és közlekedési rendszerek kommunikációjának lehetséges hatásai

Zawodny és Kruszyna tanulmánya megállapította, hogy a kereszteződések biztonsága jelentősen javítható azáltal, hogy az autonóm járműveket figyelmeztetik a gyalogosokkal vagy járművekkel való lehetséges ütközésekre. A V2I-képes forgalomirányítási rendszerek felismerhetik a veszélyes helyzeteket, és figyelmeztetést küldhetnek az érintetteknek. A járművek és a közlekedési lámpák közötti kommunikáció növeli az utak kapacitását és csökkenti az üzemanyag-fogyasztást. Ha minden jármű képes lenne V2I-n keresztül kommunikálni, az intelligens forgalomirányítás átvehetné a jelenlegi épített fizikai infrastruktúra helyét. [13]

A közúti kereszteződések mellett a jövőben a közúti-vasúti kereszteződések fejlesztésére is szükség lesz. A jelenlegi szabályozás szerint a vasúti átkelőket fokozott óvatossággal és lassított sebességgel kell megközelíteni, mivel nem lehet biztosan tudni, hogy érkezik-e vonat az átkelőhöz, de a vasúti forgalom jellemzően sokkal ritkább, mint a közúti járművéké. A vasúti átjárók kommunikációs területi rendszerével való felszerelése lehetőséget nyújt az közúti járművek állásidejének és a lassítás miatt fellépő energiaveszteségeinek minimalizálására. A biztonsági megfontolások különösen fontosak ezen a területen a vasúti szerelvények nagy tömege és lendülete miatt. [13, 17]

Egy 2022-ben megjelent tanulmányban Yan Huang, Yun Wang és munkatársai V2V és V2I alapú ütközésre figyelmeztető rendszereket vizsgáltak jelöletlen kereszteződésekben. Kísérleteiket járművezetők és egy vezetésszimulátor-rendszer segítségével végezték, az eszközben jelölés nélküli kereszteződést és két, ellentétes irányból közeledő járművet szimuláltak. 256 járművezető-párt vontak be kutatásukba. A szimulátorban a látótávolság 50 méter volt, az ütközésre figyelmeztető jelzés pedig ennek háromszorosa, így a járművezetők a

látótávolságon túl észlelhették a kereszteződésbe érkező járművet, és ennek megfelelően tudtak racionális döntéseket hozni, illetve sebességüket megválasztani, csökkentve ezzel az ütközés kockázatát. Tesztjeik során figyelmeztetés nélkül a 256 sofőrpár közül 40 km/h sebességgel 42 ütközést szenvedett el, míg a V2V és V2I kommunikációval létrehozott figyelmeztetéssel a balesetek száma 6-ra csökkent a hosszabb felkészülési időnek köszönhetően. Az eredmények azt mutatják, hogy a V2V és V2I kommunikációt támogató úthálózat kiépítése jelentősen csökkentheti a keresztezésekben bekövetkező balesetek számát. Ez a kutatás releváns az autonóm járművek szempontjából, mert bemutatja a V2I és V2V kommunikáció pozitív hatását a hagyományos járművek vezetőire, akik az autonóm járművek megjelenése után még hosszú évekig a forgalom részesei lesznek. [16]

Olaverri-Monreal és munkatársai a járművek és a közlekedési lámpák közötti kommunikációra alapozva olyan asszisztenszt fejlesztettek ki a hagyományos járművek vezetői számára, amely segít a megfelelő sebesség megválasztásában a lámpákhoz közeledve, így csökkentve az energiafogyasztást. Az asszisztens jól teljesített a szimulátoros teszteken. Véleményem szerint ez a kutatás azért fontos, mert az autonóm járművek még évekig a hagyományos gépjárművek mellett fognak közlekedni, és a hasonló kutatások által a legújabb fejlesztések eredményei a régebbi járművek vezetőinek is hasznára válhatnak. [15]

Namazi és kutatótársainak cikke összefoglalta a területen végzett kutatásokat, és megállapította, hogy a tanulmányok mindössze 7,62 százaléka használt fizikai tárgyakat a vizsgálatok során, beleértve a modelleket és a valódi járműveket is. A jövőben hasznos lenne ezen az arányon változtatni, hiszen a kutatások legfontosabb célja az új technológiák valós környezetben történő alkalmazásának vizsgálata. Kutatásukból kiderült, hogy a tanulmányok több mint 93 százaléka csak autonóm járművekkel számolt a forgalomban, viszont az önvezető járművek megjelenésekor minden jelenleg létező közlekedési mód jelen lesz. [14]

4.2. A cellás és az 5G hálózatok közötti kommunikáció tesztelése szélsőséges időjárási körülmények között

Muhammad Naeem Tahir, Pekka Leviäkangas és Marcos Katz kutatók 2022-ben Finnországban a Sodankylä tesztpályán vizsgálták a jármű és a közúti infrastruktúra közötti kommunikáció teljesítményét és működési hatékonyságát olyan kísérleti mérések során, ahol a

jármű-jármű és jármű-infrastruktúra közötti kommunikációt használták a közúti, időjárás és közlekedési információk valós idejű továbbítására. Méréseik során vizsgálták a cellás alapú Long Term Evolution (LTE) és 5GTN (5G teszhálózat) viselkedését is szélsőséges időjárás körülmények között. A teszt során mindkét kommunikációs hálózat megfelelő működést mutatott. 2016-ban Timo Sukuvaara, Kari Mäenpää és Riika Ylitalo a Sodankylä tesztpályán hasonló vizsgálatot hajtott végre a 3G technológiát működésével kapcsolatban, amely szintén sikeresen zárta a tesztet. Ezek a kutatások azért is fontosak, mert az önvezető járműveken elhelyezett érzékelők többségének működését befolyásolja az időjárás. Az autonóm jármű az időjárás információk alapján dönthet arról, hogy megváltoztatja-e a haladási irányát vagy sem. [12, 18]

4.3. Magyar kutatások az intelligens közlekedési infrastruktúra területén

Bódi és kutatótársai cikkükben az ITS rendszer lehetséges hatásait vizsgálták Magyarország a közlekedésbiztonságára, kiemelve az ellenőrizhetőség jelentőségét. A járművek közlekedési adatai dokumentálhatóvá válnak, ezeket az üzemeltetők adataival egyeztetve a közlekedési vétségek ellen hatékonyabb fellépés valósulhat meg, emiatt a humán járművezetők szabálykövetése is nagyobb mértékűvé válik. A rendszer megvalósításánál fontos figyelembe venni az adatvédelmi szabályokat és a kiberbiztonságot is.[19] Török és Pauer az ITS rendszerek a magyar utakon jelenleg is működő elemeit vizsgálta, ezek egyes elemei a közlekedési szabályok betartását segíti elő, ilyen például a jelenleg is használatban lévő VÉDA közúti intelligens kamerarendszer. A járművezetők magatartását az OBD csatlakozóhoz kötött, mobiltelefonos applikációként működő VEMOCO szolgáltatással lehet követni, és tanácsokat adni a fogyasztás csökkentése és a biztonságos közlekedés érdekében, ezt a technológiát például a Magyar Posta is használja. Az SITRAFFIC közlekedésirányító rendszer képes változtatható jelzésképű táblák segítségével, illetve a közlekedési lámpák váltásainak megfelelő ütemezésével jelentős mértékben javítani a közlekedésbiztonságot és a károsanyag kibocsátás értékeit is, ehhez a torlódásokat és az időjárás változásokat is figyelembe tudja venni. Az ITS rendszerek megvalósításánál fontos lesz ezek nemzetközi szabványosítása, hogy az egyes államok határain átlépve a rendszer működése ne változzon. [20]

A közúti infrastruktúra további fejlesztésével Magyarország útjait elő lehet készíteni az önvezető járművek megjelenésére és a V2I kommunikáció állandó megvalósítására.

5. Összegzés

Az elmúlt évtizedek autóiipari és informatikai fejlesztései lehetővé tették, hogy az önállóan közlekedő autonóm járműveket ma már valós körülmények között is tesztelhessék elsősorban tesztpályákon, ellenőrzött körülmények között. Az autóiiparban az önvezető járművekkel kapcsolatos kutatás két fontos területe a közúti biztonság javítása, valamint az környezet és a közlekedés közötti információcsere fejlesztése. A V2V, V2I, V2P és V2X kommunikációs rendszerek bevezetése és alkalmazása nagy szerepet fog játszani ezeknek a céloknak az elérésében.

Az intelligens közlekedési rendszerek, az intelligens városok, a kommunikációs rendszerek és a mobilhálózatok elméleti háttere az elmúlt évek kutatásainak köszönhetően napjainkban már rendelkezésre áll, és ezeken a területeken most a különböző technológiák együttes alkalmazásának lehetőségeire és tesztelésére kell összpontosítani. Az általam bemutatott kutatások egy része szimulátorok segítségével vizsgálta a járművek közötti kommunikáció különböző hatásait, ami a valós körülmények között végrehajtott tesztek megelőző folyamat, az LTE és 5G hálózatok megbízhatóságát pedig valós körülmények között is vizsgálták már kutatók.

Az autonóm járművek várhatóan a következő évtizedben jelenhetnek meg a kereskedelmi forgalomban, ezért fontos, hogy minél több előzetes kutatást végezzünk, és ne csak a gépkocsikat, hanem a közlekedés más felhasználóit és az épített infrastruktúrát is fel tudjuk készíteni a közlekedés új korszakára. A járművek és az infrastruktúra közötti kommunikáció javításával az autonóm járművek költséges érzékelőit az infrastruktúrából származó adatokkal támogathatjuk vagy szükség esetén helyettesíthetjük, de ennek megvalósításához az épített környezetet is fel kell szerelni a megfelelő érzékelőkkel és kommunikációs eszközökkel.

6. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NKTA-48 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] Fabio Arena, Giovanni Pau: An Overview of Vehicular Communications, Future Internet 2019, 11(2), 27; DOI: <https://doi.org/10.3390/fi11020027>
- [2.] Dongyao Jia, Dong Ngoduy: Enhanced cooperative car-following traffic model with the combination of V2V and V2I communication, Transportation Research Part B: Methodological Open Access Volume 90, Pages 172 – 191 DOI:10.1016/j.trb.2016.03.008
- [3.] M. Nadeem Ahangar, Qasim Z. Ahmed, Fahd A. Khan and Maryam Hafeez: A Survey of Autonomous Vehicles: Enabling Communication, Sensors, 2021, <https://doi.org/10.3390/s21030706>
- [4.] Emmanuel Ndashimye, Sayan Kumar Ray, Nurul Sarkar, Jairo A. Gutiérrez: Vehicle-to-infrastructure communication over multi-tier heterogeneous networks: A survey, 2017, Computer Networks Volume 112, Pages 144-166, <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2016.11.008>
- [5.] US Department of Transportation: V2I guidelines to the Federal Highway Administration, 2017, <https://www.its.dot.gov/v2i/>
- [6.] Joshua E. Siegel, Dylan C. Erb, Sanjay E. Sarma: A Survey of the Connected Vehicle Landscape - Architectures, Enabling Technologies, Applications, and Development Areas, 2018, IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS, VOL. 19, NO. 8, 2018, DOI: 10.1109/TITS.2017.2749459
- [7.] Souaad Boussoufa-Lahlah, Fouzi Semchedine, Louiza Bouallouche-Medjkoune: Geographic routing protocols for Vehicular Ad hoc NETWORKS (VANETs): A survey, 2018, Vehicular Communications Volume 11, Pages 20-31, <https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2018.01.006>
- [8.] Parag Sewalkar, Jochen Seitz: Vehicle-to-Pedestrian Communication for Vulnerable Road Users: Survey, Design Considerations, and Challenges, 2019, Sensors, 19(2), 358; <https://doi.org/10.3390/s19020358>

- [9.] Muhammad Sameer Sheikh, Jun Liang: A Comprehensive Survey on VANET Security Services in Traffic Management System. *Wirel. Commun. Mob. Comput.* 2019, 2423915. <https://doi.org/10.1155/2019/2423915>
- [10.] Min He, Zheng Guan, Liyong Bao, Zhaoxu Zhou, Marco Anisetti, Ernesto Damiani, Gwanggil Jeon: Performance Analysis of a Polling-Based Access Control Combining with the Sleeping Schema in V2I VANETs for Smart Cities, 2019 *Sustainability*, 11(2), 503; <https://doi.org/10.3390/su11020503>
- [11.] Prashant Kumar Shrivastava, L.K. Vishwamitra: Comparative analysis of proactive and reactive routing protocols in VANET environment, 2021, *Measurement: Sensors* Volume 16, 100051, <https://doi.org/10.1016/j.measen.2021.100051>
- [12.] Muhammad Naeem Tahir, Pekka Leviäkangas, Marcos Katz: Connected Vehicles: V2V and V2I Road Weather and Traffic Communication Using Cellular Technologies, *Sensors* 2022, 22, 1142, <https://doi.org/10.3390/s22031142>
- [13.] Michał Zawodny and Maciej Kruszyna: Proposals for Using the Advanced Tools of Communication between Autonomous Vehicles and Infrastructure in Selected Cases, *Energies* 2022, 15, 6579, <https://doi.org/10.3390/en15186579>
- [14.] Elnaz Namazi, Jingyue Li, Chaoru Lu: Intelligent Intersection Management Systems Considering Autonomous Vehicles: A Systematic Literature Review, *Digital Object Identifier*, 10.1109/ACCESS.2019.2927412
- [15.] Cristina Olaverri-Monreal, Javier Errea-Moreno, Alberto Díaz-Álvarez: Implementation and Evaluation of a Traffic Light Assistance System Based on V2I Communication in a Simulation Framework, *Hindawi Journal of Advanced Transportation*, 2018, Volume, Article ID 3785957, 11 pages, <https://doi.org/10.1155/2018/3785957>
- [16.] Yan Huang, Yun Wang, Xuedong Yan, Xiaomeng Li, Ke Duan, Qingwan Xue: Using a V2V- and V2I-based collision warning system to improve vehicle interaction at unsignalized intersections, 2022, *Journal of Safety Research* 83 282–293, <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2022.09.002>

- [17.] Ashkan Gholamhosseinian, Jochen Seitz: A Comprehensive Survey on Cooperative Intersection Management for Heterogeneous Connected Vehicles, IEEE Access Volume 10, 2022, Pages 7937 – 7972, DOI:10.1109/ACCESS.2022.3142450
- [18.] Timo Sukuvaara, Kari Mäenpää, Riika Ylitalo: Vehicular-networking- and road-weather-related research in Sodankylä, 2016, Geosci. Instrum. Method. Data Syst., 5, 513–520, DOI:10.5194/gi-2015-23
- [19.] Antal Bódi, Dóra Maros, László Gáspár: A közlekedésbiztonság javítása Komplex ITS Ökoszisztémával, I. KÖZLEKEDÉSBIZTONSÁGI KONFERENCIA, Győr, Széchenyi István Egyetem, Közlekedéstudományi Egyesület (KTE), Magyar Közlekedéstudományi és Logisztikai Intézet (2023). pp. 32-41. 9 p. ISBN: 9786156443205
- [20.] Árpád Török, Gábor Pauer: Assessment of the Current Status of Intelligent Transport Systems Serving the Improvement of Road Safety in Hungary, 2017, Periodica Polytechnica Transportation Engineering, Vol. 45 No. 2 pp. 77-83., <https://doi.org/10.3311/PPtr.9279>

Bója-kihelyező robot diagnosztikai adatainak webes megjelenítése

Web-application for diagnostic data monitoring of traffic cone placement robot

Dr. Speiser Ferenc Péter

Széchenyi István Egyetem, Audi Hungária Járműmérnöki Kar,

Teljesítményelektronika és Villamos Hajtások Tanszék

speiser.ferenc.peter@ga.sze.hu

Absztrakt

A fejlett vezetéstámogató és autonóm járműipari rendszerek teszteléséhez kulcsfontosságú a megfelelő infrastruktúra kialakítása. A ZalaZone tesztpálya a különböző menetdinamikai tesztek megvalósításához folyamatos pályaépítési feladatokat végez, amely erőforrásigényes feladat. Ennek a feladatnak az automatizált megoldása, sok energiát takaríthat meg. A közlekedési bóják kihelyezését az előre elkészített terveknek megfelelően erre a célra kialakított autonóm robotok is el tudják végezni. Ez a tanulmány az alkalmazott eszközök koordinálásához szükséges keretrendszer elméleti kialakítását és lehetséges fizikai felépítését tárgyalja. Bemutat egy lehetséges a szoftverkörnyezetet, amely alkalmas az adatok kezelésére és publikálására olyan formában, hogy azokhoz illeszthetők legyenek a különböző térképi vetületi rendszerben reprezentált térképi adatok is.

Kulcsszavak: GIS, ROS2, autonóm robot, tesztpálya, járműtesztkörnyezet

Abstract

The ZalaZone test track is a resource-intensive and continuous track construction task for the various vehicle dynamics tests. Automating this task can save a lot of energy. The placement of traffic cones can also be carried out by autonomous robots designed for this purpose according to pre-designed plans, which are under development at University of Győr. This paper discusses the theoretical design and possible physical architecture of a framework for the coordination of the devices used. It presents a possible software framework to manage and publish the data in a form that can be matched with the map data represented in different map projection systems.

Keywords: GIS, ROS2, autonomous robot, test track, vehicle test environment

1. Bevezetés

A problémák megoldására sok esetben a térbeli adatok és információk felhasználása új szempontokat nyit az eredmények értékelésében. Az adatbázisokban kezelt információk nagy része térbeli kiterjedésű. Ennek a dimenzióknak a használata a legtöbb esetben egyértelművé teszi az egyébként nem érzékelhető összefüggéseket. Az egyik legkorábbi ismert példa a földrajzi információk problémamegoldásra való felhasználására a járványkezelésből származik. John Snow egy ponttérképen ábrázolta a megbetegedéseket az 1854-es londoni kolerajárvány idején, ennek segítségével azonosítani tudta a járvány kiindulási helyét [5].

Manapság nehéz olyan területet találni, ahol ne kerülne szóba az adatok térbeli összefüggése is. Néhány terület általánosságban, de a teljesség igénye nélkül: mezőgazdaság (pl. termékenységelemzés), környezettudomány (pl. a szennyezés terjedése [4], társadalomtudományok (pl. a munkanélküliség eloszlása), járványtan (pl. a fertőzés terjedése egy adott területen [1], üzleti intelligencia (pl. a vásárlóerő térbeli függése). Az autópárházban az elsődleges és nyilvánvaló felhasználási terület a navigáció. Ez a feladat több paraméter optimalizálásával valósítható meg. A klasszikus cél egyszerűen a két pont közötti legrövidebb útvonal, az egyetlen kritérium ebben az esetben a megtett távolság.

Ha az úton elfogyasztott energia mennyiségét is figyelembe vesszük, akkor a jármű fogyasztását valamilyen módon meg kell becsülni. Ehhez tudni kell, hogy a járműnek milyen terepviszonyok között kell közlekednie – ez az információ egy terepmodellből nyerhető –, és hasznos ismerni a jellemző környezeti hőmérsékletet és általános időjárási viszonyokat is. Az elektromos autók esetében a rekuperáció maximalizálása és a töltőhálózat pontjainak az útvonalba való integrálása is kérdéses lehet. A legismertebb földrajzi információszolgáltatások a webes térképek, amelyek térképen jelenítik meg kereséseink eredményét, azonnal megmutatva a pozíciót, a távolságot és a navigációs lehetőségeket. A Széchenyi István Egyetemen folyó fejlesztési projekt célja egy olyan robot kifejlesztése, amely automatikusan képes közlekedési bójákat célba juttatni és az útestre helyezni [2]. Erre azért van szükség, mert a járműfejlesztési feladatokhoz folyamatosan különböző ideiglenes tesztpályákat kell építeni, és a tesztek elvégzése után az azokat alkotó közlekedési bójákat össze kell gyűjteni. Ez egy ismétlődő feladat, amely idő- és energiaigényes, az ilyen típusú problémák automatizálása növelheti a költséghatékonyságot. Ez segíthet a próbapálya üzemeltetésében, mivel egyszerűbb a próbapálya használóinak különböző pályaépítési követelményeit teljesíteni. A munka célja

egy olyan térkép kifejlesztése, amely támogatni tudja az autonóm bója-kihelyező robotok feladatait. Ha a pályaépítést egy robot végzi, nem pedig egy operátor a feladat elvégzése gyorsabb, olcsóbb és pontosabb lehet. Az első lépés a robotok helyzetének és aktuális állapotának megjelenítése a tesztpályán a web-térképes felület segítségével. Az automatizálás és az eszközök energiahatékony működtetése, azaz a környezetvédelem szem előtt tartása társadalmi szempontból fontos kérdések, amelyeket a fejlesztéssel elősegíthetünk.

2. A kutatás célja és a felhasznált módszerek

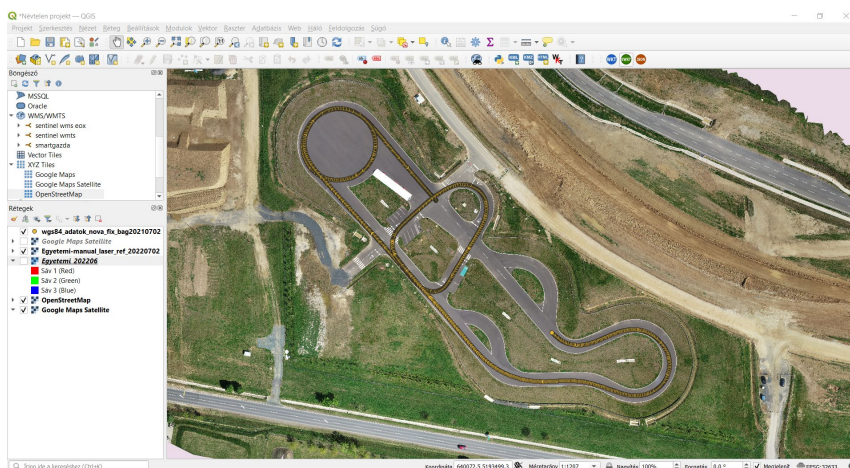
A munka célja a ZalaZone bója-kihelyező robot autonóm vezérlését támogató webalapú térképezési szolgáltatás megvalósítása. Ehhez meg kell vizsgálni, hogy milyen alapadatok állnak rendelkezésre a területen. Ezután meg kell vizsgálni azt a szoftverkörnyezetet, amely az adatok kezelésére és közzétételére alkalmas olyan formában, amely integrálható a különböző térképi vetületi rendszerekben ábrázolt adatokkal. E célok eléréséhez elő kell állítani a megfelelő alapadatokat. A fejlesztés a ZalaZone egyetemi tesztpálya területén valósul meg, minél több és minél pontosabb térbeli adatot kell gyűjteni a területről a szolgáltatás alapjául szolgáló térképszerverre. Ezek az adatok a különböző szolgáltatási igényekhez igazíthatók. A térképszerver elsődleges feladata, hogy pontos alapinformációkat szolgáltatasson a térképes felülethez (pl. ortofotó a tesztpályáról), így az autonóm módon mozgó robotok helyzetét pontosan meg tudja jeleníteni. Ezen kívül a térképszerver más funkciókat is elláthat (pl. útvonaltervezés, vagy az útfelület minőségének meghatározása a pozíció alapján). Ezeknek az információknak a meghatározásához azonban megfelelő alaptérképekre van szükség. A webtérkép lehetővé teszi a regisztrált objektumok mozgásának nyomon követését és megjelenítését az interneten keresztül. A robotok kommunikációját a széleskörben használt ROS2 (Robot Operating System 2) keretrendszerben valósítjuk meg [3].

A ROS2 olyan szoftverkönyvtárak és eszközök összessége, amelyek segítenek robotikai alkalmazások létrehozásában. Az illesztőprogramoktól kezdve a legkorszerűbb algoritmusokon át a nagy teljesítményű fejlesztőeszközökig a ROS2 rendelkezik az autonóm robotok vezérléséhez szükséges funkciókkal. Ebben az implementációban a ROS2 Foxy disztribúciót használjuk, a felhasználói felületet ehhez kell csatlakoztatni. Ahhoz, hogy a feladatok végrehajtásában részt vevő robotok információit egy webes rendszerben lehessen

megjeleníteni, egy interfészt kell kialakítani. Ez az interfész képes a ROS2 hálózaton kommunikáló résztvevők pozícióját és egyéb leíró adatait megfelelő sebességgel továbbítani a térkép-szolgáltatást futtató webszerverre.

2.1. Az egyetemi tesztpálya alaptérképei

A rendelkezésre álló adatok tekintetében fontos, hogy a célnak megfelelő, pontos alaptérképet használjunk. A robot működési területe a ZalaZone tesztpálya és a bóják kihelyezésének elvárt pozicionálási pontossága kb. 20 cm (ez az érték javítható). A fedélzeti RTK GPS alapján centiméternél kisebb pontossággal lehet meghatározni a pozíciót. A rendelkezésre álló légi felvétel egy nagy pontosságú drón légi felvétele, amelyet az 1. ábrán látható módon utófeldolgoztak. A légi felvétel UTM33N vetületben készült, felbontása körülbelül 5 cm/pixel. Ez a térkép további származtatott adatok előállítására is felhasználható.

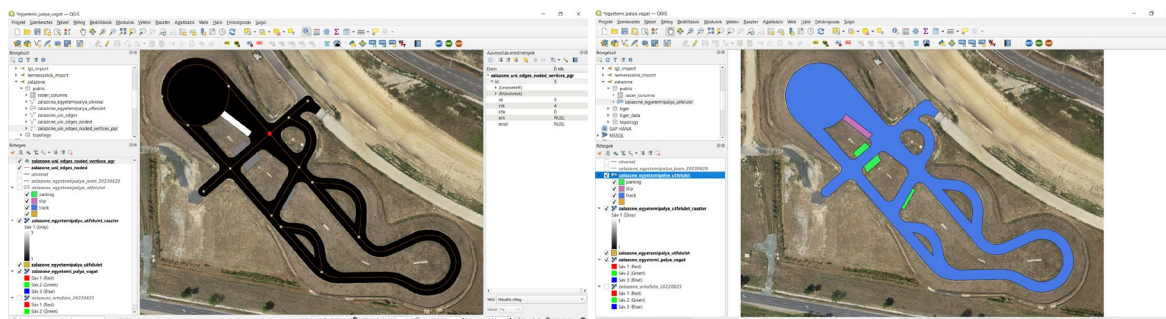


1. ábra: Ortofotó térkép a ZalaZone egyetemi pálya területére a Quantum GIS-ben (saját szerkesztés)

Az első felmerülő igény annak meghatározása, hogy egy adott pont az útfelületen van-e vagy sem? A légifotó raszteres osztályozása felhasználható erre a feladatra, de egyszerűbb az útfelület vektoros poligonjait a terület mérete alapján, térinformatikai szoftverrel szerkeszteni.

A ZalaZone Egyetemi tesztpályájának útadatai az OpenStreetMap szerveren is elérhetők. Ezek letöltése után kiderült, hogy nem pontosak, ezért a középvonalakat a rendelkezésre álló pontos ortofotó alapján korrigálni kellett. A művelet után egy GeoJSON formátumú, vonaltípusú adatréteg állt rendelkezésre, amely a 2a. ábrán látható módon tartalmazta az útvonalak középvonalait. Ezekből az útszélességekből zónagenerálással egy közelítő útfelületet lehet létrehozni. Megkülönböztetjük a parkolóhelyek burkolatát, az aszfaltozott felületet és a csúszós

útszakaszt a 2b. ábrán látható módon. Ezek az adatok lehetővé teszik további szolgáltatások fejlesztését az egyetemi tesztpályán.



2. ábra: ZalaZone egyetemi pályaterület a) útvonalgráf és b) útfelületi poligonok Quantum GIS-ben (saját szerkesztés)

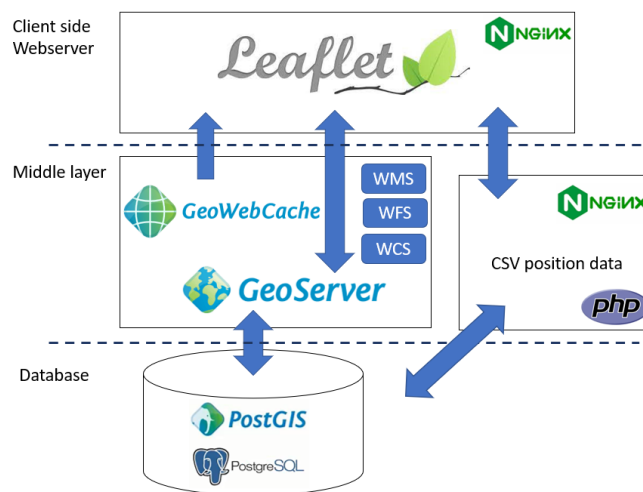
2.2. GeoServer – spatial data service

A GeoServer egy nyílt forráskódú szerver különböző szabványos formátumokban tárolt térbeli adatok feldolgozására és közzétételére. A Java-alapú szoftver képes az OGC szabvány szerinti Web Map Service (WMS), Web Feature Service (WFS), Web Coverage Service (WCS) és Web Processing Service szolgáltatás nyújtására vektoros és raszteres adatokon egyaránt. A térbeli adatok tárolása PostgreSQL adatbázisban a PostGIS kiterjesztés segítségével történik. A tervezett alkalmazásban felhasználható szolgáltatások:

- a ZalaZone terület ortofotója (WMS)
- az egyetemi tesztpálya területére vonatkozó területlefedettség adatok (WFS)
- útvonaltervezés az egyetemi tesztpálya területére (WFS)

2.3. Felhasználói felület – front-end oldali technológiák

A Leaflet JavaScript keretrendszert használjuk a webes térképrendszer fejlesztéséhez. A térképi vetületek közül várhatóan a WGS84, a Web Mercator és az UTM lesz a leggyakrabban használt, de szóba jöhet az EOVS (Magyar Egységes Országos Vetületi Rendszer) is. Ezeket a GeoServer a PostGIS-ben és a Leafletben is tudja kezelni. A térbeli adatok tárolására a 3. ábrán látható közös kliens-szerver architektúrát használjuk. A középső réteg a kliensoldal és az adatbázis közötti térbeli adatcseréért felelős.



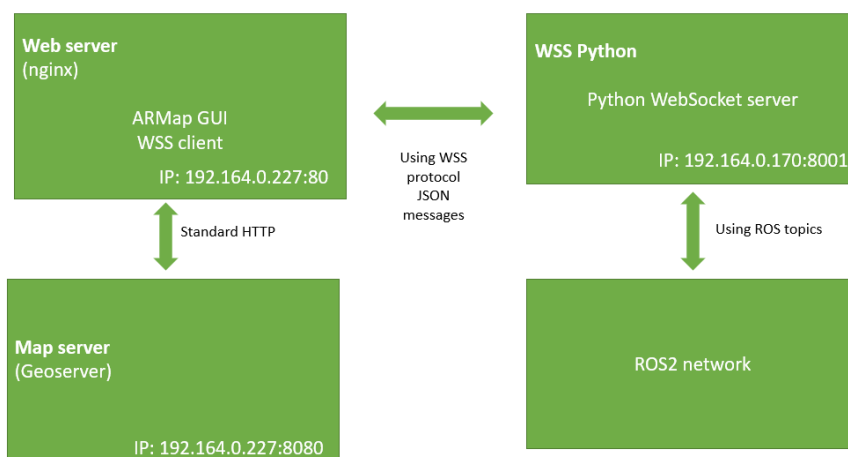
3. ábra: A térképszolgáltatást megvalósító szoftverek kapcsolatai (saját szerkesztés)

A felhasználói felület felelős az alkalmazás adatainak megjelenítéséért és a felhasználó felé történő információközlésért. Az elsődleges cél a vizsgálati területhez kapcsolódó térképi és alfanumerikus adatok kezelése és megjelenítése. Három fő modul azonosítható: térkép, zoom, adat- és rétegkezelés.

A térképek kezelése a rendszerben lévő térképrétegeken keresztül történik, a földrajzi információs rendszerekhez hasonlóan. A képernyő jobb oldalán található rétegkezelő lehetővé teszi a felhasználók számára, hogy kiválasszák a használni kívánt alaptérképet. A térképen a szokásos térképműveleteket lehet használni: a térkép mozgatása a billentyűzet és az egér segítségével, nagyítás és kicsinyítés, térképi objektum kiválasztása és célpozíciók meghatározása. Az alkalmazás JSON formátumban várja a beérkező információkat.

A térképes felület kialakításakor az egyszerűségekre kell törekedni. A térképvezérlőkön kívül minden funkció egy ikonsávon keresztül érhető el. A szolgáltatói oldalon egy, a ROS2 hálózathoz csatlakozó Python szerver küldi a megjelenítésre kiválasztott információkat. Kliens oldalról egy WSS (Web Socket Server) kapcsolatot kell megvalósítani, amely a jelenleg elterjedt böngészőkben biztonságos módon van megvalósítva. A kliens jelenleg két parancsot tud küldeni a szervernek. Az egyik lekérdezi az összes aktív objektum pozícióját (`get_positions`), majd feldolgozza a választ, és a beérkező adatok alapján frissíti az objektumok pozícióadatait a térképen. A másik parancs a kiválasztott objektum célpozíciójának elküldésére szolgál (`set_positions`), amikor a felhasználó a térképen a küldés gombra kattint. Itt fontos megjegyezni, hogy a kapcsolat inicializálása után a kliens előre meghatározott időközönként adatokat kér a kiszolgálótól. A jelenlegi beállítások mellett ezt a `getDevicePositions()`

JavaScript függvény valósítja meg 600 ms ciklusidővel. A tervezett rendszer komponensei a következőképpen kapcsolódnak egymáshoz.



4. ábra: A prototípus rendszer felépítése (saját szerkesztés)

Az alkalmazás kétféleképpen működhet:

- A webservert és a ROS2 átjárót (WSS Python) ugyanazon a helyi hálózaton fut, ahogy a 4. ábrán látható. Ebben az esetben a komponensek egyetlen számítógépen is futhatnak, de a térkép csak a helyi hálózaton érhető el. (Ebben az esetben a helyi webservert megfelelő portja közzétehető egy, az internetről fix IP-n keresztül elérhető routeren, de ugyanígy kell eljárni a WebSocket szerver kommunikációs portjával is.)
- A webkiszolgáló mindig elérhető az interneten, a WebSocket-kiszolgáló pedig az internethez csatlakozó helyi hálózaton található, egy dedikált, kívülről elérhető porttal. Ennek megfelelően a webes térkép betöltésekor a Python-kiszolgáló és a webkiszolgáló között egy duplex kommunikációs csatorna inicializálódik, így az információáramlás biztosított.

A WSS Python-kiszolgálónak kell ellátnia a webkiszolgáló és a ROS2 hálózati összetevők összekapcsolásának feladatát. Ezek a komponensek olyan eszközök, amelyek a teszt pályán autonóm módon közlekednek, a hálózaton keresztül kommunikálnak, és folyamatosan adatokat szolgáltatnak magukról, valamint ezen a csatornán keresztül vezérlési információkat is fogadnak.

A feladat tehát kettős:

- A ROS2 hálózaton lévő objektumokról kiválasztott információkat kell továbbítani a webserverre, és megjeleníteni a webes felületen.
- Másrészt a webes felületről küldött parancsokat (pl. a kiválasztott eszköz célpozíciójának megadása) el kell juttatni a ROS2 hálózat megfelelő objektumához értelmezés és végrehajtás céljából.

A fenti ábrán látható kapcsolatokat kell megvalósítani. A böngésző és a ROS2 hálózaton regisztrált szerver közötti állandó kapcsolat létrehozásához a WebSocket technológia használható.

A WebSocket egy szabványos technológia, amely teljes duplex kommunikációs csatornát valósít meg a webböngészők számára TCP-kapcsolaton keresztül. Ennek a megoldásnak a használatával a felhasználói felület folyamatos kapcsolatot tarthat fenn a ROS2 átjáróval. Az átjáró megvalósítása többszálú implementációt igényel a folyamatos ROS2-kommunikáció olvasásához és az információk WebSocket oldalon történő párhuzamos továbbításához. Ez a programszál felelős a külvilággal való kommunikáció megvalósításáért. Felelős a webes alkalmazásból érkező üzenetek fogadásáért. Az üzenetek tartalma testre szabható, általános kliens-szerver kommunikációt valósít meg. A kliens egy paranccsal adja meg, hogy milyen műveletet szeretne végrehajtani a szerveren, a szerver pedig a megfelelő formátumban válaszol a lekérdezésre. A kommunikációs csatorna biztosítása egy handshake folyamattal kezdődik, ha érkezik egy kérés, a szerver fogadja azt, és visszajelzést küld az ügyféloldalnak a csatorna megnyitásáról, majd megkezdődhet a kommunikáció. A csatorna mindaddig nyitva marad, amíg az ügyfél munkamenet fennmarad, így folyamatos adatáramlás megvalósul a frontend és a backend között. A fizikai csatorna és a protokoll rendelkezésre áll, de olyan üzenetstruktúrát kell kidolgozni, amelyben az adatok a fogadó oldalon lévő webservertől érhető módon továbbíthatók. Erre a célra általában XML vagy JSON formátumú üzeneteket használnak a webfejlesztésben. A JSON konvertálás után a ROS2 hálózati üzenetektől generált leíró adattömböt a webes megjelenítőhöz küldjük, ahol JavaScript segítségével értelmezzük.

3. Eredmények

A munka eredménye egy nyilvánosan elérhető szerver, amely az egyetemi hálózaton fut. A szerver jelenleg képes a helyi ROS2 hálózaton rögzített adatok térképi megjelenítésére. Megvalósítja a ROS2 hálózatról származó, előre elmentett adatok interneten keresztül történő megjelenítését az 5. ábrán látható módon.



5. ábra: A felhasználói felület (saját szerkesztés)

További cél egy könnyen mozgatható eszköz létrehozása, amely lehetővé teszi a teljes tesztkörnyezet egyszerű telepítését. Ez úgy valósítható meg, hogy az egyes komponenseket egy hordozható számítógépre, jelen esetben egy Raspberry Pi eszközre telepítjük. Amikor ez az eszköz csatlakozik a hálózathoz, minden szolgáltatás automatikusan elérhetővé válik a helyi hálózaton keresztül.

4. Összegzés

A munka eredménye egy olyan szerver és kliens alkalmazás, amely egy autonóm bója-telepítő robot működéséhez kapcsolódó térképezési szolgáltatásokat nyújt, amely képes a hálózaton regisztrált eszközök (robotok) mozgásának követésére, diagnosztikai információk megjelenítésére, vezérlési információk továbbítására (a telepítendő bóják pozícióinak elküldésére). Elkészült egy komplex térképszerver, amely könnyen adaptálható bármely helyi hálózathoz, könnyen mozgatható mobil számítógép formájában. Ez segített leegyszerűsíteni a helyszíni tesztek előkészítését. A szerver hálózathoz való csatlakoztatásával a térképi szolgáltatások és a felhasználói felület a helyi hálózaton is elérhetővé válik. További feladat a

ROS2 hálózaton futó WebSocket szerverhez való webkapcsolat megvalósítása, hogy közvetlen kapcsolatot lehessen létesíteni a ROS2 hálózaton regisztrált eszközökkel. Így adataik folyamatosan kezelhetők a térképen, lehetővé téve a diagnosztikai adatok megjelenítését több jogosultsági szinten. Amint ezek az információk az adatbázisban rendelkezésre állnak, megtervezhető az eszközmozgások optimalizálása és a kiválasztott bója-konfigurációk optimális elhelyezése. Ez javítja a hatékonyságot és fenntarthatóbbá teszi a próbapálya működését. Gazdasági szempontból vizsgálva a térképi rendszer és a bója-kihelyező robot alkalmazása lehetővé teszi a járműipari tesztpálya üzemeltetésének egyszerűsítését az emberi erőforrások átszervezésével, mivel a robotok helyettesíthetik a tesztpálya-építő mérnököket a bójakihelyezés erőforrásigényes feladatának elvégzésénél. Ezáltal a feladatot olcsóbban és gyorsabban lehet megvalósítani. További előny lehet az adminisztrációs terhek csökkentése is, ha a térképen keresztül tesztpálya felhasználói a különböző manőverek teszteléséhez szükséges bója-kihelyezési igényeiket tudják tervezni, illetve leadni.

5. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NKTA-48 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] Ali M., Moses A., Kweku N. E., Punguyire D., Spears N. C. B., Mawupemor A. P., Abdul B. K., 2022, Spatial epidemiology of bacterial meningitis in the Upper West Region of Ghana: Analysis of disease surveillance data 2018–2020, *Clinical Infection in Practice*, 16.
- [2.] Hajdu Cs., Boros N., Ballagi Á., 2021 Development of track-building mobile robot based on cognitive-inspired motion planning architecture, 12th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications Proceedings, Online edition, 781-786.
- [3.] Macenski S., Foote T., Gerkey B., Lalancette C., Woodall W., 2022, Robot Operating System 2: Design, architecture, and uses in the wild., *Science Robotics* vol. 7, Issue 66.

- [4.] Mascherpa M., Haasler I., Ahlgren B., Karlsson J., 2023, Estimating pollution spread in water networks as a Schrödinger bridge problem with partial information, European Journal of Control
- [5.] Tulchinsky TH., 2018, Case Studies in Public Health, Chapter 5, John Snow, Cholera, the Broad Street Pump; Waterborne Diseases Then and Now, 77-99.



TÉMATERÜLETI KIVÁLÓSÁGI PROGRAM 2021

Nemzetvédelem, nemzetbiztonság alprogram – Katonai rendszerek tűrőképességének kutatása a Széchenyi István Egyetemen

TKP2021-NVA-23

Támogatási összeg: 1 600 000 000 Ft

Támogatás mértéke: 100%

A projekt időtartama: 2022.01.01. – 2025.12.31.

Projektismertető:

A Tématerületi Kiválósági Program 2021 projekt célkitűzése a Katonai rendszerek tűrőképességének Kutatása az alábbi területeken:

1. Katonai rendszerek tűrőképességének/állóképességének (resilience) meghatározása, elméleti kutatása
2. 3D Digitális hadszíntér
3. 3D technikák alkalmazása védelmi rendszerekben
4. Hibrid-elektromos meghajtású könnyű páncélozott földi és pilóta nélküli légitűeszközök elektromos meghajtás tűrőképességének kutatása

A tervezett kutatás alapján olyan módszer kidolgozására kerül sor, amely meghatározza egy létező rendszer tűrőképességét. A tűrőképesség indicator meghatározásánál figyelembe veszi mind a belső, mind a külső körülmények nem megjósolható (unpredictable) változásának a lehetőségét. Létrejön a rendszerek tűrőképességi (resilience) tulajdonságának modellje és módszertana, amely támpontot ad olyan fejlesztésekhez, amelyek csökkentik a rendszer kiszolgáltatottságát. A 3D Digitális hadszíntér koncepcióba illeszkedve olyan alternatív valóság (VR/AR) rendszerek jönnek létre, amelyek lehetővé teszik a távoli hadszíntér előzetes felmérését. A 3D Digitális hadszíntér koncepcióhoz illeszkedve kiválasztásra kerülnek és elkészülnek a vizualizációs humán interfészek. A digitális tartalmak térbeli és időbeli összehangolásának biztosításával előáll a digitális harctéri információmenedzsment és kollaboráció, amely megvalósított verzióját széles körben bemutatjuk. A 3D technológiák

alkalmazása védelmi rendszerekben kutatási területen belül különböző fegyverek, védelmi eszközök elemeinek konstrukciós és rekonstrukciós optimalizálása kerül kidolgozásra, korszerű 3D technikák előnyeinek kihasználása céljából. A 3D technikákon alapuló védelmi rendszerekhez kapcsolódóan új védelmi eszközök prototípusai jönnek létre, amelyek alkalmasak ipari alkalmazására. Új, 3D rekonstrukción alapuló diagnosztikai és vizsgálati módszertan jön létre, amely védőburkolatok és fegyverek esetében is alkalmazható. Az elektromos hajtások tűrőképességénél létrejön a kiterjesztett laboratóriumi eszközpark és vizsgálati módszertan, amely a kutatás céljainak megfelelően támogatja a specifikált túlterhelések vizsgálatát és szimulációját. A villamos hajtások esetében létrejön a rendszerek tűrőképességének, adatszimulációs, prediktív elemzésére alkalmas laboratóriumi rendszer és módszertan, amelyet több valós hajtás esetén is bemutatunk.

Univerzális adatmodell és szerkesztő felhasználói felület fejlesztése ellenálló folyamatrendszer tervezéséhez

Development of Universal Data Model and Editor User Interface for the Design of Resilient Process Systems

Bertók Botond^a, Szentes Bálint^a, Mohácsi Mihály^a

^aSzéchenyi István Egyetem

bertok.akos.botond@sze.hu, sz.balint89@gmail.com, mohacsi.mihaly@gmail.com

Absztrakt

Folyamatrendszer tervezéséhez fejlesztett modellező környezetek számos kutatási területen segítik a kutatók munkáját, legyen szó akár fenntartható, megbízható, robusztus, ellenálló, ipari, logisztikai, vagy mezőgazdasági folyamatokról. Ugyanakkor, a fejlődés korlátja volt, hogy egyes feladatosztályok specifikus paramétereit kezelő felületek és azokat figyelembe vevő matematikai modellek csak programozó segítségével voltak beépíthetők. Jelen kutatás és fejlesztés célja egy olyan környezet kialakítása, ahol a kutatók maguk tudnak új feladatosztályokat definiálni, és a kapcsolódó matematikai modellek generálását minták alapján módosítani. Ehhez azonban olyan adatleírásra van szükség, ami egyszerre rugalmas, a szerkesztő felülete automatikusan generálható, ugyanakkor, a definiált feladatokon belüli szemantikai szabályok betartását szigorúan megköveteli, miközben a szerkesztést hatékonyan támogatja az építőelemek prototípusainak megadásával. Az cikkben egy ilyen javasolt adatmodellt mutatunk be annak szerkezeti elemeitől, a minták megadásán át, konkrét feladattípusok leírásáig, és az adatok menedzsmentjét végző szoftver komponensekig.

Kulcsszavak: folyamathálózat szintézis, adatmodell, szemantikai ellenőrzés

Abstract

Modeling environments developed for the design of process systems support the work of researchers in many research areas including sustainable, reliable, robust, resilient, industrial, logistic or agricultural processes. At the same time, the limitation of the development was that the interfaces handling the specific parameters of some problem classes and the mathematical models taking them into account could only be setup with the help of a programmer. The goal of this research and development is to create an environment where researchers can define new problem classes themselves and modify the generation of related mathematical models based on samples. However, this requires a data description that is flexible, the editor's interface can be generated automatically, which guarantees compliance with the semantic rules given in the problem definition by specifying prototypes of the building blocks. In the article, such a data model is proposed, from its structural elements, through the specification of samples, to the software components for data management.

Keywords: process network synthesis, data model, semantic control

1. Bevezetés

Komplex rendszerek elemzéséhez, és lehetséges építőelemekből a legjobb, legellenállóbb, vagy környezeti szempontból leginkább fenntartható rendszerek összeállításához a Friedler és szerzőtársai által bevezetett P-gráf keretrendszer -és annak szakirodalomból ismert kiterjesztései- számos algoritmust és matematikai optimalizálási eljárást adnak [1]. Ugyanakkor ezen eljárások fejlesztését korlátozza, hogy újabb feladatosztályok esetén a modellező és optimalizáló szoftverkomponensek jelentős módosítására vagy újabb implementációjára van szükség [2].

2. Feladat megfogalmazás

Jelen kutatás célja egy olyan optimalizáló szoftverplatform elkészítése mely oly módon segíti a gráf és matematikai optimalizálás alapú algoritmusok és matematikai modellek fejlesztését, hogy közben nincs szükség az adatmodell, a felhasználói felület vagy az elosztott számítási architektúra szoftverkomponenseinek módosítására. Ennek alapja egy olyan univerzális leírónyelv kidolgozása, mely újabb – még nem ismert – feladattípusok számára is lehetővé teszi a tetszőlegesen összetett és egymásba ágyazott rendszerparaméterek kapcsolatainak leírását, és a megadott információk szemantikai ellenőrzését. Eszköze egy olyan web alapú grafikus felhasználói környezet, mely a felhasználói felületet a leírónyelv alapján automatikusan tudja generálni valós időben, minden paraméter és azok kapcsolatainak szerkesztéséhez.

3. Univerzális adatmodell

A tervezés során az adatmodellel szemben több elvárást fogalmaztunk meg. Ilyen, hogy tetszőleges szerkezetű adatot képes legyen tárolni, definiálja saját szerkezetét, és könnyen tárolható és kereshető legyen adatbázisban. A javasolt adatmodell tartalmazza az összes alapvető adatszerkezetet: szekvencia (objektum mezői), iteráció (lista), és szelekció (lista egy kiválasztott eleme).

Minden elem tartalmazza a saját típusát. Egyszerű elemek típusa lehet egész vagy lebegőpontos szám, szöveg vagy logikai érték.

Példa számra: egy kör sugara

```
graphCircle->setObjectMember("radius",db.newReal(10.0),true);
```

Példa szövegre: egy szín neve

```
graphColorWhite->setObjectMember("name",db.newString("White"),true);
```

A típus lehet összetett is, mint a lista (felsorolt elemekkel), vagy objektum (egyedi névvel ellátott mezőkkel).

Példa objektum mezőre: x és y koordináta

```
graphCoordinatePrototype->setObjectMember("x", db.newReal(100.0),true);  
graphCoordinatePrototype->setObjectMember("y", db.newReal(100.0),true);
```

Minden lista kötelezően tartalmaz egy hivatkozást egy alapértelmezett elemre. Új elem beszúrásakor ezt használjuk mintának, ez alapján bővíthető. Így biztosítható, hogy az új elemek is azonos felépítésűek legyenek.

Példa lista létrehozásra: műveleti egységek

```
problem->setObjectMember("OperatingUnits", unitList=db.newList(defaultUnit), true);
```

Az objektumnak lehet szülője, amely mezőket és alapértelmezett értékeket is tárol. Név alapján lekérve egy objektum mezőit, megkaphatjuk a szülőben tárolt értékeket is, pontosan akkor, ha az objektum ugyanolyan névvel nem tárol értéket. Amennyiben a szülőnek is van szülője, akkor a mezők feltárása rekurzívan addig folytatódik, míg az értéke feloldásra nem kerül, vagy hibához nem jutunk.

Példa: anyag létrehozása alapértelmezett tulajdonságokkal, majd nevének módosítása

```
matl1=db.newObject(defaultMaterial);  
matl1->setObjectMember("Name", db.newString("l1"), true);
```

A lista és az objektum ilyen módon biztosítja, hogy minden összetett adatnak is pontosan tudjuk akkor is a szerkezetét, ha még nem létezik: a listába az alapértelmezett elem alapján tudjuk milyen elem szűrhető be, az objektumnál pedig, hogy mely mezőit lehet felülírni, és mi azok induló értéke.

A listák és objektumok tartalmazhatják egymást. Megadhatunk listát, melynek minden eleme egy adott szülővel bíró objektum, és egy objektum mezője pedig lehet adott alapértékű elemekkel bíró lista.

Példa: anyagok listája, ahol minden anyag szülője az alapértelmezett anyag

```
problem->setObjectMember("Materials", materialList=db.newList(defaultMaterial), true);
```

Ha egy lista egy elemére hivatkozunk, akkor hivatkozás tárolja a lista azonosítóját is, tehát ha másik elemet választunk, akkor pontosan tudjuk, hogy az mely elemek közül tehetjük.

Példa: anyag kiválasztott típusa egy előre definiált listából

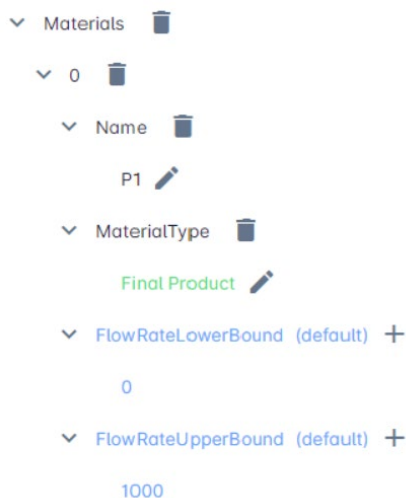
```
matR1->setObjectMember("MaterialType", db.newSelectedElement(materialTypes, rawMaterial), true);
```

Az adatszerkezetnek elkészült a sebességkritikus rendszertervező és optimalizáló algoritmusok számára egy C++ nyelvű implementációja. Ebből láthattunk alkalmazásokat a fenti példákban.

4. Felhasználói felület

A felhasználói felület fejlesztése során célunk volt, hogy a tervezési feladatok feladatosztályainak adattmodelljét akkor is képes legyen szerkeszteni, ha azok paraméterei változnak. Ehhez a felhasználói felület is képessé ettük az univerzális adatmodell kezelésére és szerkesztésére. Komoly feladat volt az univerzális adatmodellnek a feldolgozása typescript nyelven, tudni kellett az objektumot beolvasni, módosítani, létrehozni, adatokat kinyerni belőle a rajzoláshoz szükséges struktúrában.

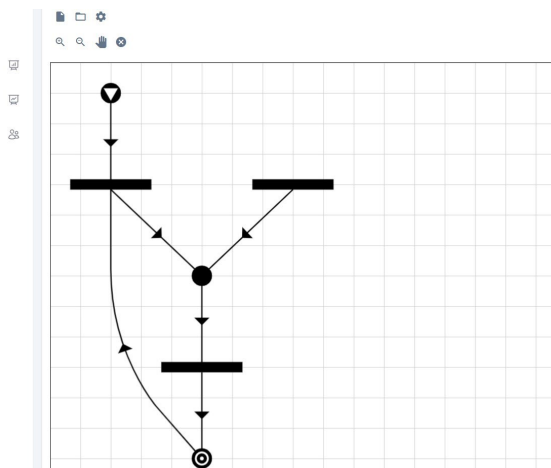
Az adatmodell minden objektumához el kellett készítenem annak typescript nyelvbeli reprezentációját, és a szerkesztésre alkalmas vizuális elemeket is. Az 1. ábrán egy objektum egy elemének lista szerkesztő felületét láthatjuk.



1. ábra: Univerzális adatmodellben adott objektum lista egy elemének szerkesztő felülete (saját szerkesztés)

5. Folyamatgráf rajzolás szabályai

A folyamatgráf vagy P-gráf szabványos megjelenítéséhez annak leírását is elkészítettük adatmodell szintjén, hogy a gráf – mint matematikai modell – egyes elemei hogyan jelennek meg grafikusán. Ezek között szerepel egy folyamat céljainak, erőforrásainak, közbülső eredményeinek és aktivitásainak jelölése, valamint az anyagáramok és ok-okozati összefüggések jelölése. Utóbbiakhoz a tudományos szakirodalomban megszokott módon Bézier görbéket használunk [3], melyek paramétereinek pontos kiszámítása is megadásra került, ugyanúgy, mint az irányítást megadó nyilak/háromszögek forgatása a görbét leíró függvény deriváltjai alapján. Egy univerzális adatmodellben leírt gráf szerkesztő felülete látható a 2. ábrán.



2. ábra: Univerzális adatmodellben adott folyamatgráf szerkesztő felülete (saját szerkesztés)

6. Összegzés

Folyamatgráf vagy P-gráf modellekre épülő algoritmikus tervező eljárásokhoz elkészült egy univerzális adatmodell, amely lehetővé teszi, hogy a feladatosztályok a felhasználók által bővíthetők legyenek, anélkül, hogy támogató szoftver kódját módosítani kelljen. Az időkritikus optimalizáló szoftverekhez egy C++ nyelvű, a grafikus felhasználói felülethez pedig egy typescript nyelvű implementáció készült az adatmodell szerkesztéséhez. A grafikus felület nem csak az adatok, de szabványos P-gráfok megjelenítésére is képes az univerzális adatmodell leírása alapján.

Az elkészült komponensek jövőbeli üzleti hasznosítása kétféle lehet: elsősorban biztosítja a P-gráf alapú folyamattervező eljárásokhoz a kliens oldali felhasználói felületet; másodsorban pedig tetszőleges adatszerkezetnek egy leírónyelv alapú szerkesztéséhez és szemantikai elemzéséhez nyújt szoftver modulokat, tetszőleges webes felületű szoftver fejlesztése során. A webes felület kényelme és esetleges későbbi beépíthetősége online oktatási anyagokba, hatékonyan támogathatja a szigorú matematikai modell alapú döntéstámogató eljárások elterjesztését a társadalom szélesebb rétegeiben.

Irodalomjegyzék

- [1.] Árpád Tóth, Alex Suta, Jean Pimentel, Andres Argoti, A comprehensive, semi-automated systematic literature review (SLR) design: Application to P-graph research with a focus on sustainability, Journal of Cleaner Production, 415, 2023, 137741, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137741>.
- [2.] Friedler, Ferenc, Ákos Orosz, and J. Pimentel Losada. *P-graphs for process systems engineering*. Springer International Publishing, 2022.
- [3.] Botond Bertók, Mate Barany, and Ferenc Friedler, Generating and Analyzing Mathematical Programming Models of Conceptual Process Design by P-graph Software, Industrial & Engineering Chemistry Research, 52(1), 166-171 (2013).

Stop tábla detekció robusztusságának növelése a Shell-Eco Marathon Autonomous Urban Concept versenyére

Increasing the robustness of stop table detection for the Shell-Eco Marathon Autonomous Urban Concept competition

Dobay Tamás

Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

dobayt@gmail.com

Absztrakt

A Shell-Eco Marathon Autonomous Urban Concept hivatalosan 2022-ben került először megrendezésre. Azóta minden évben új szabályzatot adnak ki a feladatokra vonatkozóan. Idén három részfeladatot kellett teljesíteni egy feladatként, ahol az egyes feladatok végén a járműnek egy stop táblával is jelzett narancssárga vonal előtt kellett megállnia. A szabályzatban meghatározott stop tábla mérete, illetve környezete nem egyezik a közúti közlekedésben megszokott stop táblakéhez. Nagysága jóval kisebb, illetve élénk sárga háttérrel rendelkezik. Az objektum detektáló hálózatok rendkívüli fejlődésen mentek keresztül az utóbbi évtizedben, hasonló problémára ma már könnyen alkalmazhatóak. Azonban a publikus adatkészleteken tanított hálózatok nem képesek időben felismerni ezt a típusú stop táblát, mivel a közúti stop táblákra túl illesztettek. Munkám során egy saját adatkészlet elkészítésével, illetve különböző konfigurációkkal való tanítással szeretném bemutatni, miként növelhető egy objektum detektáló hálózat teljesítménye a versenyszabályzat stop tábláinak detektálásában.

Kulcsszavak: stop tábla, neurális hálózat, adatkészlet

Abstract

The Shell-Eco Marathon Autonomous Urban Concept was officially held for the first time in 2022. Since then, new rules for the tasks have been issued every year. This year, three sub-tasks had to be completed as one task, with the vehicle having to stop at an orange line marked with a stop sign at the end of each task. The size of the stop sign and its surroundings, as defined in the rules, are not the same as the ones used in road traffic. It is much smaller and has a bright yellow background. Object detection networks have evolved enormously over the last decade and can now be easily applied to similar problems. However, networks trained on public datasets are not able to detect this type of stop sign in a timely manner because they are over-fitted to road stop signs. In my work, I would like to show how to increase the performance of an object detection network in detecting stop signs described by the competition rules by constructing my own dataset and teaching it with different configurations.

Keywords: stop table, neural network, dataset

1. Bevezetés

A Shell Eco-marathon több évtized óta kerül minden évben megrendezésre. A SZEnergy Team csapat először 2008-ban vett részt a versenyen, azóta minden évben képviselteti az egyetemet. Az elmúlt két versenyen kettő versenyszámban is szerepelt a csapat, név szerint a Battery Electric Urban Concept és az Autonomous Urban Concept versenyszámokban. Amíg az előbbi versenyszámnál a cél a minél energiahatékonyabb versenyjármű építése, addig az utóbbinál a cél a versenyszabályzatban meghatározott feladatok [8] teljesítése egy megadott időn belül. A 2023-as szabályzat alapján egy nagy feladatot kellett teljesíteni a járműnek, ami 3 részfeladatból állt:

- vezethető útfelületen belüli haladás autonóm módon egy megadott hosszon
- akadály elkerülés
- parkolás

A részfeladatok egy narancssárga stopvonalal és egy stop táblával voltak elválasztva, ahol minden részfeladat teljesítése után meg kellett állnia a járműnek. A stop tábla mérete jóval kisebb volt a közútban megszokott stop táblák méreteitől. Amíg egy közúti stop táblát egy minimum 60 cm, maximum 120 cm nagyságú négyzettel lehet befoglalni, addig a versenyen alkalmazott stop tábla befoglaló négyzete 20 cm-es nagyságú. Ahogy az az 1. ábrán is látható, ezen kívül sárga háttérben tűnt fel mindig, ami szintén eltérő a szokványos stop tábláétól.



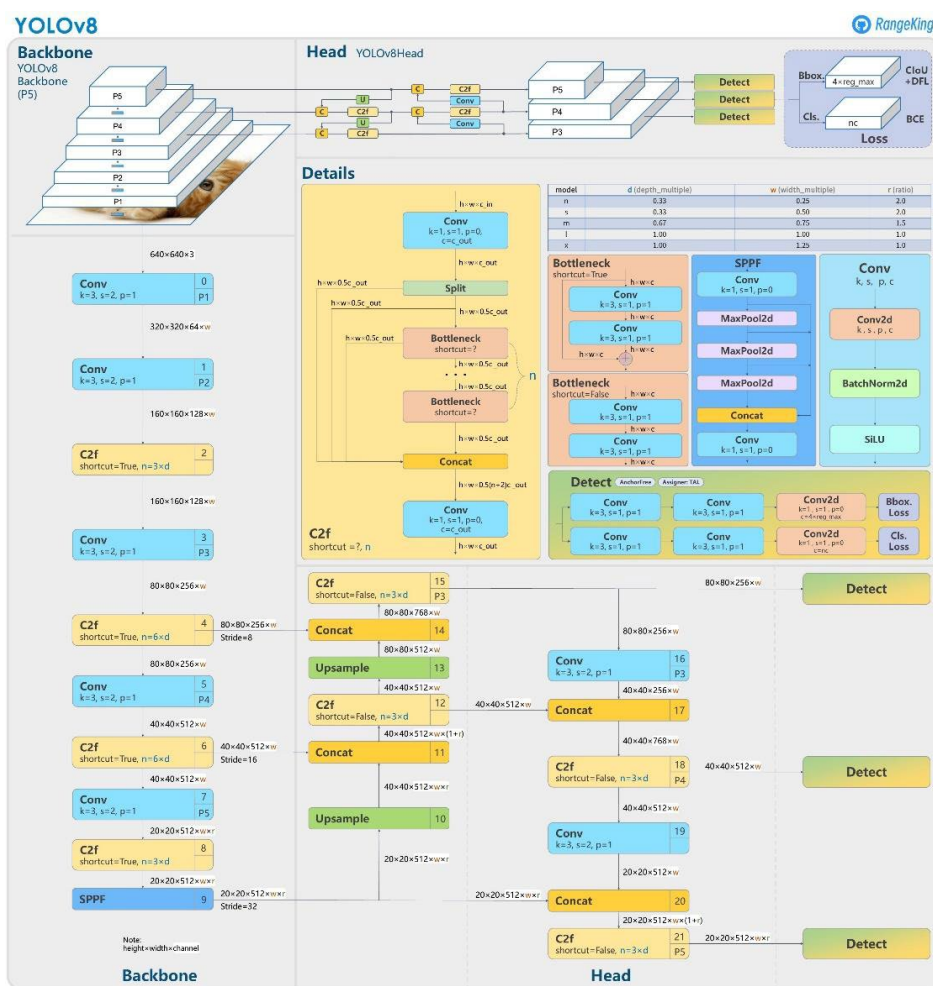
1. ábra: A versenyszabályzat stop táblája (saját szerkesztés)

Mivel a csapat által felhasznált stop tábla detektálásra alkalmas megoldás egy előre tanított objektum detektáló neurális hálózaton alapult, ezért a teljesítménye nem volt megfelelő a kezdetben.

Munkámban a módszer teljesítményének javításán dolgoztam. A módszerhez alkalmazott neurális hálózatot a következő fejeztben fogom bemutatni.

2. YOLOv8

A YOLOv8 a korábbi a You Only Look Once modell korábbi verzióira épül [2]-[7]. A modell egy rendkívül hatékony objektumfelismerő neurális hálózat, amely a valós idejű számítógépes látás területén jelentős fejlesztéseket hozott. A hálózat továbbra is a „one-stage” detektorok közé tartozik, ami azt jelenti, hogy egyetlen tulajdonság térképet hoz létre és azonosítja a rajta levő objektumokat anélkül, hogy azokat többször is feldolgozná. Ennek köszönhetően a futási ideje gyors, ezért jól alkalmazható az önvezető járművekben. Az architektúra komplexebb és mélyebb hálózatrétegeket alkalmaz, mint az előző verziók, lehetővé téve a pontosabb és megbízhatóbb objektumfelismerést. A felépítése a 2. ábrán látható.



2. ábra: A YOLOv8 felépítése (saját szerkesztés)

A stop tábla detektáló algoritmushoz egy előre tanított verzió volt felhasználva, ami a Microsoft Common Objects in Context [1] (COCO) adatkészleten volt tanítva. Ez az adatkészlet több mint 100 000 képet tartalmaz 81 különböző osztályról, köztük stop táblát is. A probléma, hogy az adatkészlet közúti stop táblákat alkalmaz, ezért az algoritmus teljesítménye a Shell Eco-marathon stop tábláin nem megfelelő, a táblákat túl későn veszi észre ahhoz, hogy a narancssárga stop vonalnál megtudjon állni a jármű. Ezért egy új adatkészletet hoztam létre, ami keverve tartalmazza a közúti stop táblákat, illetve a verseny stop tábláit, majd újra tanítottam a modell különböző architektúráit az elkészített adatkészleten. A munkám során az 1. táblázatban látható YOLOv8-nano, illetve YOLOv8-small modelleket használtam fel.

1. táblázat: A YOLOv8-nano és a YOLOv8-small összehasonlítása (saját szerkesztés)

	YOLOV8N	YOLOV8S
Futási sebesség	0.99 ms	1.2 ms
Tanulható paraméterszám	3.2 millió	11.2 millió
Átlagos pontosság (mAP)	37.3	44.9

A következő fejezetben fogom bemutatni az adatkészletem elkészítését.

3. Az elkészített adatkészlet

Az adatkészlet elkészítéséhez ZalaZone-on és a Nogaroi versenypályán felvett mérések rosbag fájljaiból kinyert képeket, illetve a COCO adatkészlet stop táblákat tartalmazó képeit használtam fel. Egy pár minta látható a 3. ábrán az adatkészlet képeiből.



3. ábra: Annotáció nélküli minták az adatkészletből (saját szerkesztés)

Az adatkészletben 3321 kép lett felcímkézve, augmentálás után a végső adatkészlet 8663 db képet tartalmazott. Az alábbi augmentációs technikákat alkalmaztam:

- Tükrözés (horizontális, vertikális)
- Forgatás ($-15^\circ \dots 15^\circ$)
- Fényesség ($-25\% \dots 25\%$)

4. Eredmények

A modell architektúráinak tanítása során 640, illetve 1280 pixel nagyságú bemeneti képeket alkalmaztam, valamint megnéztem, hogy a teljes újra tanítással, vagy a COCO-n tanított modell „transfer-learning” módszerével érek-e el jobb eredményt. Az egyes modellek átlag pontossága, illetve a stop tábla detekciós algoritmus detektálási távolsága voltak a metrikák az összehasonlítás során. A „baseline” modellek a 2. táblázatban csak a COCO adatkészleten előre tanított hálózatokat jelölik.

2. táblázat: A tanítások eredményi a két modell architektúra esetében (saját szerkesztés)

Modell (IOU 0.85/0.4)	AP @50-95	Stop_sign_exists (minimum detekció: 5)
<i>yolov8n-baseline-640</i>	62.1	13.0 m
yolov8n-no-pretrain-640	64.3	15.0 m
yolov8n-no-pretrain-1280	75.1	25.0 m
yolov8n-pretrained-640	66.6	24.0 m
yolov8n-pretrained-1280	76.2	38.0 m
<i>yolov8s-baseline-640</i>	66.8	18.0 m
yolov8s-pretrained-640	77.8	31.0 m
yolov8s-pretrained-1280	78.6	40.0 m

Az eredmények alapján az új hálózatnak a YOLOv8-small „transfer-learning”-el 640-es bemeneti képeken tanított modellt választottam, azért, mert a futási sebessége a 640 pixel nagyságú bementi képen tanított modellnek jelentősen jobbnak bizonyultak, viszont a teljesítménye nem jelentősen rosszabb az 1280 pixel nagyságú képen tanított modelljénél. A táblázatban továbbá jól látszik, hogy a „baseline” modellek detekciós távolsága jelentősen kisebb volt, mint az új adatkészleten tanított modelleké.

A táblázat alapján nem feltétlen látható, azonban a nem „transfer-learning” módszerével tanított modellek több hamis pozitív találattal rendelkeztek.

Összességében az új adatkészlettel sikerült egy robusztusabb modellt tanítani a stop tábla detekció elvégzésére.

5. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NVA-23 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] Lin T., Maire M., Belongie S., Bourdev L., Girshick R., Hays, J., Perona P., Ramanan D., Zitnick C. L., Dollár P.: Microsoft COCO: Common Objects in Context, European Conference on computer vision, Zürich, Svájc, pp. 740-755, 2014
- [2.] Redmon J., Divvala S., Girshick R., Farhadi A.: You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Las Vegas, USA, pp. 779-788, 2016
- [3.] Redmon J., Farhadi A.: YOLO9000: Better, Faster, Stronger, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Honolulu, USA, pp. 6517-6525, 2017
- [4.] Redmon J., Farhadi A: YOLOv3: An Incremental Improvement, 2018
- [5.] Alexey B., Chien-Yao W., Hong-yuan L.: YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection, 2020
- [6.] Xu R., Lin H., Lu K., Cao L., Liu Y.: A Forest Fire Detection System Based on Ensemble Learning, Forests. 12(2):217, 2021
- [7.] C. Y. Wang, A. Bochkovskiy, H. Y. M. Liao, YOLOv7: Trainable Bag-of-Freebies Sets New State-of-the-Art for Real-Time Object Detectors, 2023 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Vancouver, BC, Canada, pp. 7464-7475, 2023
- [8.] Global, Shell. "SHELL ECO-MARATHON 2023 AUTONOMOUS COMPETITION RULES CHAPTER IV." (2022)

Pozíció meghatározás és pontosítás kiterjesztett Kálmán-szűrő alapú algoritmusok segítségével

Position estimation and refinement using extended Kalman-filter based algorithms

Dr. Enisz Krisztián^a, Dr. Szalay István^b, Dr. Horváth Ernő^c

^a Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

enisz.krisztian@ga.sze.hu

^b Széchenyi István Egyetem, Teljesítményelektronika és Villamos Hajtások Tanszék

szalay.istvan@ga.sze.hu

^c Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

herno@ga.sze.hu

Absztrakt

Az autonóm járműkutatás fontos része a pontosabb lokalizációs algoritmusok fejlesztése. A GNSS-alapú (Global Navigation Satellite System) pozícióadatok pontosítására számos eljárás létezik, ugyanakkor a kereskedelmi forgalomban kapható univerzális rendszerek hátránya, hogy csak korlátozott mértékben tudják figyelembe venni a jármű dinamikáját, és általában nem képesek figyelembe venni a jármű belső szenzorait a pontosítási és becslési folyamatban. Ezeket a problémákat a problémákat figyelembe véve olyan algoritmusok kerültek kidolgozásra, melyek, több különböző szenzorrendszertől származó adat figyelembevételével, a pusztán GNSS és IMU adatokat alkalmazó eljárásoknál pontosabb eredményeket szolgáltatnak. A kutatás célja a jármű belső érzékelő rendszereit is felhasználó Kálmán-szűrőkön alapuló robusztus és pontos pozícióbecslő algoritmusok összehasonlítása volt, mely a jármű menettulajdonságait és dinamikáját is figyelembe veszi.

Kulcsszavak: Pozíció meghatározó algoritmusok, kiterjesztett Kálmán-szűrő, jármű dinamika

Abstract

Developing more accurate localisation algorithms is an important part of autonomous vehicle research. There are several methods for the refinement of Global Navigation Satellite System (GNSS) position data, but the drawback of commercially available universal systems is that they have limited ability to take into account vehicle dynamics and are generally unable to take into account the vehicle's internal sensors in the refinement and estimation process. To overcome these problems, efforts have been made to develop algorithms that, by taking into account data from several different sensor systems, provide more accurate results than methods that work solely with GNSS and IMU data. The aim of the research was to compare robust and accurate position estimation algorithms based on Kalman filters using the vehicle's internal sensor systems, taking into account the vehicle's driving characteristics and dynamics.

Keywords: Vehicle localization algorithms, extended Kalman filter, vehicle dynamics

1. Bevezetés

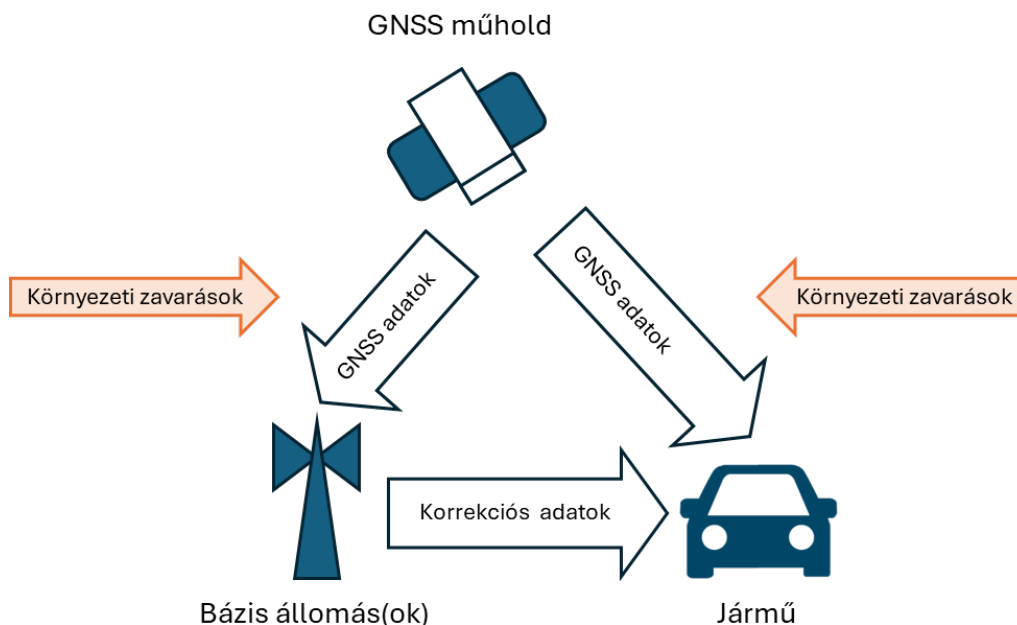
Az autonóm járműkutatás fontos része a pontosabb lokalizációs algoritmusok fejlesztése, illetve a pozíció adatok lehető legjobb pontosítása. A GNSS-alapú (Global Navigation Satellite System) pozícióadatok pontosításával kapcsolatban számos eljárást kidolgoztak, ugyanakkor a kereskedelmi forgalomban kapható, GNSS-en és IMU-n (Inertial Measurement Unit) alapuló univerzális rendszerek hátránya mindig az, hogy csak korlátozott mértékben tudják figyelembe venni a jármű dinamikáját, és általában nem képesek felhasználni a jármű belső szenzorait a becslési folyamatban.

Ezeket a problémákat megoldására lettek létrehozva olyan algoritmusok, melyek több különböző szenzorrendszertől származó adat figyelembevételével, a pusztán GNSS és IMU adatokból dolgozó eljárásoknál pontosabb eredményeket szolgáltatnak. [1-4] A legkorábbi és legelterjedtebb lokalizációs technikák a GNSS, az IMU és az odometria adatok felhasználásával készültek. Vannak olyan szenzorok, amelyeket eredetileg a környezet érzékelésére terveztek, de kiderült, hogy kiváló alapként szolgálnak a lokalizációhoz. A LIDAR, a radar, az ultrahangos és a látórendszerek, mint például a mono- és sztereókamerák kiváló példák ezekre. A szenzorfüzió többféleképpen megvalósítható, többek között Kálmán-szűrővel vagy részecskeszűrővel, melyek segítségével aránylag alacsony számításigény mellett kellő pontosság érhető el [5-8]. A kutatás célja a jármű belső érzékelő rendszereit is felhasználó Kálmán-szűrőkön alapuló robusztus és pontos pozícióbecslő algoritmusok összehasonlítása volt, melyek a jármű menettulajdonságait és dinamikáját is figyelembe veszik.

2. Pozíció meghatározás műholdas rendszerekkel

GNSS alapú pozíció meghatározó rendszerek, mint például a GPS, Galileo, Glonass és BeiDou, számos a Föld körül keringő műhold és földi vevőegységek segítségével valósítják meg a pozíciómeghatározást, ugyanakkor a tisztán műhold alapú pozíciómeghatározás pontossága több 10 m is lehet a környezeti zavarásoktól (pl.: felhők, szmog) és a műholdak láthatóságától függően.[9]

Annak érdekében, hogy a tisztán műhold alapú pozíció meghatározás pontosságát növeljék, különböző eljárásokat alkalmaznak, például ismert pozícióban elhelyezett földi adótornyok segítségével (1. ábra).



1. ábra: Pozíció adatok pontosításának elve rögzített bázisállomások segítségével (saját szerkesztés)

Ezek a módszerek, mint például az SBAS (Satellite-Based Augmentation Systems), DGNSS (Differential GNSS), PPP (Precise Point Positioning) és RTK (Real-Time Kinematic) jelentősen meg tudják növelni a „hagyományos” tisztán műhold alapú helymeghatározás pontosságát (1. táblázat).[9]

1. táblázat: A különböző helymeghatározó eljárások pontossága (saját szerkesztés)

<i>Eljárás</i>	<i>Pontosság</i>
GNSS	10-20 m
SBAS	1-2 m
DGNSS	0,5-5 m
PPP	0,05-0,2 m
RTK	0,01-0,1 m

Ugyanakkor ezeknek a módszereknek a hátránya, hogy időszakos, de a legtöbb technológia esetében inkább folytonos kommunikációt és kapcsolatot igényelnek a jármű és az adótornyok rendszere között. Az előnyük, hogy univerzálisak, azaz bármely járművön alkalmazhatóak, ugyanakkor ebből adódik a hátrányuk is, vagyis, hogy az univerzalitás következtében nem

tudják felhasználni a jármű felépítéséből származó „korlátokat”, illetve nem tudják felhasználni a járműtől származó szenzoradatokat sem.

Ezeket a problémákat orvosolandó korábban már kidolgozásra került általunk több, különböző esetekben alkalmazható szenzorfüziós eljárás melyek eltérő körülmények között alkalmazhatóak. Célunk, ezeknek az eljárásoknak a vizsgálata és integrálása volt egy összevont becslő algoritmusba, mely képes a különböző becslőeljárások közötti automatikus váltásra.

3. Becslő algoritmus

Az alapfelvetés minden eljárás esetében az volt, hogy az elérhető GNSS adatokon túl a járműérzékelők a helymeghatározó algoritmusban nagyon jól hasznosítható mérési adatokat szolgáltatnak. A szenzorfüziót a GNSS és járműszenzorok között egy kinematikai vagy dinamikai modellen alapuló kiterjesztett Kálmán-szűrőt alkalmazó algoritmusok valósítják meg, melyek segítségével lehetővé válik:

- a helymeghatározás pontosítására,
- rövidebb ideig a műholdas helymeghatározás kiváltása.

A rendszer integráció több algoritmus összehangolását és a köztük történő automatikus váltást foglalta magába:

- Kinematikai modell alapú becslőeljárás GNSS nélkül
- Kinematikai modell alapú becslőeljárás GNSS-szel
- Dinamikai modell alapú becslőeljárás GNSS nélkül
- Dinamikai modell alapú becslőeljárás GNSS-szel

A váltás nehézségét az adja, hogy az algoritmusok közötti átmenet nagyobb pozíció ugrás nélkül kell, hogy végbe menjen. Alapvetően a váltás a jármű odometriától érkező sebességétől függ, illetve a GNSS pontosságától, vagyis, hogy milyen pontosítási eljárás érhető el az adott pillanatban. A kinematikai vagy dinamikai modell alapú eljárások közötti váltás akkor történik, ha a jármű sebesség meghaladja a 2 m/s-ot vagy alámegy. A GNSS alkalmazhatóságát, pedig

az dönti el, hogy SBAS vagy annál jobb pontosítási eljárás elérhető-e az adott pillanatban (2. táblázat)

2. táblázat: A különböző becslési eljárások közötti váltások feltételei (saját szerkesztés)

	Kinematikai modell alapú eljárás	Dinamikai modell alapú eljárás
GNSS engedélyezve	A jármű sebesség kisebb mint 2 m/s és minimum SBAS szintű pontosítási eljárás elérhető	A jármű sebesség nagyobb vagy egyenlő mint 2 m/s és minimum SBAS szintű pontosítási eljárás elérhető
GNSS letiltva	A jármű sebesség kisebb mint 2 m/s és minimum SBAS szintű pontosítási eljárás nem elérhető	A jármű sebesség nagyobb vagy egyenlő mint 2 m/s és minimum SBAS szintű pontosítási eljárás nem elérhető

Ezeket felül opcionálisan engedélyezhető minden eljárás esetében a kezdeti pozíció meghatározás. Ennek lényege, hogy rossz minőségű jel esetében is megpróbálja meghatározni, az elmozdulás irányából a jármű hozzávetőleges orientációját, ugyanakkor ehhez egy minimális GNSS jel szükséges az indulási szakaszban.

Az algoritmus megvalósítása ROS (Robot Operating System) csomópontként történt C++ programozásnyelven, annak érdekében, hogy könnyen illeszthető legyen a meglévő, autonóm rendszerek fejlesztését támogató környezetekbe [10-12]. Annak érdekében, hogy ne igényeljen sok erőforrást a kijelölt NVIDIA Jetson Xavier fejlesztőeszközön az algoritmus futtatása, ezért a megvalósítás során optimalizált vektor és mátrixműveletek alkalmaztunk, így az integrált módszer maximális memória igénye 8 MB alatt maradt, maximálisan 5 %-os processzor használat mellett.

4. Mérések végrehajtása

Az algoritmus Nissan Leaf és SZEenergy autóhoz lett optimalizálva, úgy, hogy csak a legszükségesebb szenzorok alkalmazzuk a becsléshez, illetve pontosításhoz (3. táblázat).

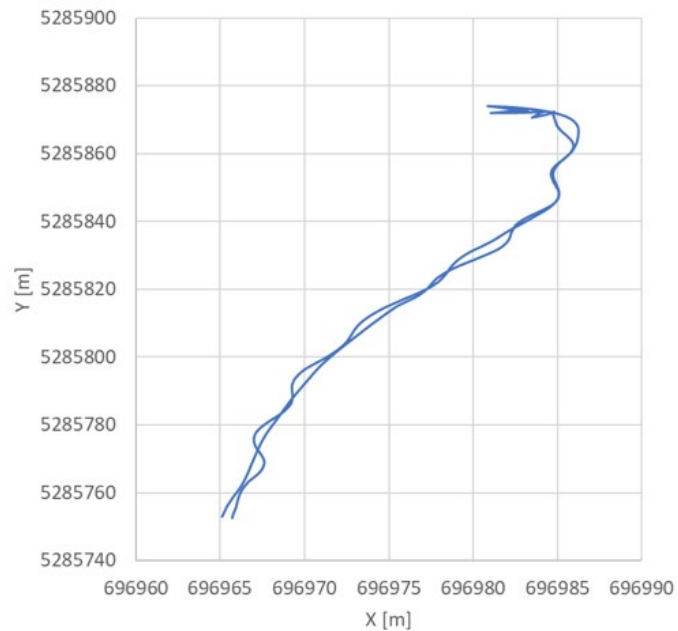
3. táblázat: Az algoritmus futtatása során felhasznált szenzorok és jelek (saját szerkesztés)

Jelforrás	Szenzor
GNSS	Swift Navigation Duro
IMU	Swift Navigation Duro vagy 3DMGX5-AHRS
Odometria	Kormányszög és járműsebesség (hátsó keréksebesség szenzorok jeleinek átlaga)

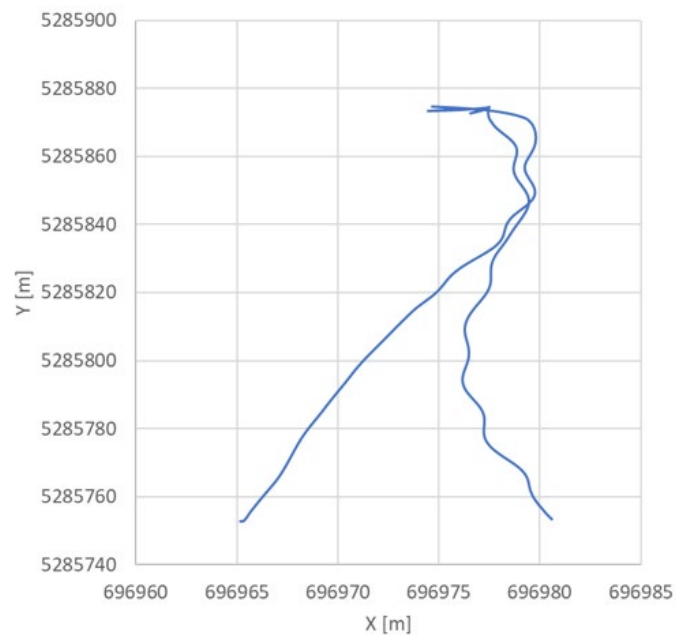
Az itt bemutatott mérések a SZEenergy autóval lettek rögzítve. Az első mérés egy enyhén ívelt útvonalon került rögzítésre, ahol a mérés első fázisában az útvonalat követte a jármű majd egy nagyon alacsony sebességen történő Y manőverekből álló fordulót követően vissz irányban egy szlalom szerű manőver került végrehajtásra. A nehezítő tényező az IMU szándékosan rosszul történő elhelyezése volt (15°-kal meg volt döntve az X és Y tengely körül), azaz az IMU adatokban folyamatosan jelen volt egy eltolás.

Az érdekesség kedvéért a Kálmán-szűrő nélküli, tisztán modell alapú (ugyanazon modellek, melyek a szűrők alapjául is szolgálnak) számításokból származó adatok is bemutatásra kerülnek.

Látható, hogy a tényleges nyomvonalhoz képest (2. ábra) a tisztán modell alapú, azaz a Kálmán-szűrőt és GNSS adatokat is mellőző eredmények jelentősebb eltérést mutatnak (3. ábra), mely nem meglepő a gyorsulás jelekben jelentkező hibának köszönhetően.

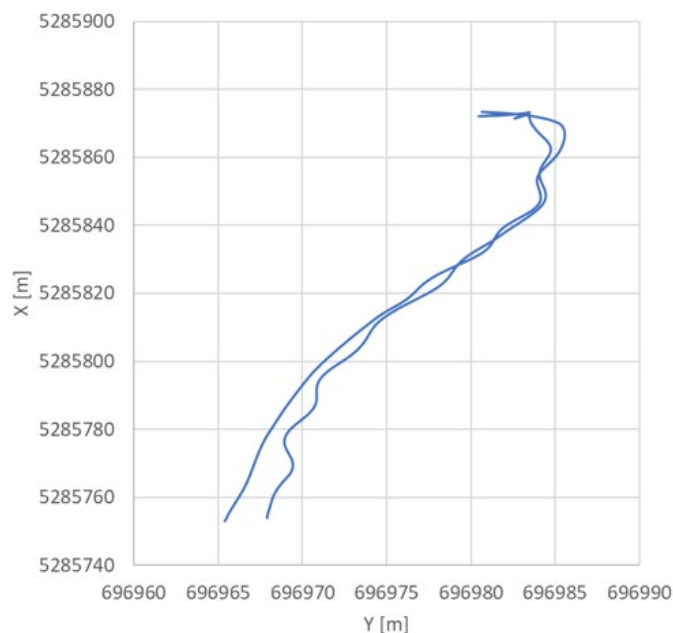


2. ábra: Az első manőver tényleges (referencia) nyomvonala (saját szerkesztés)

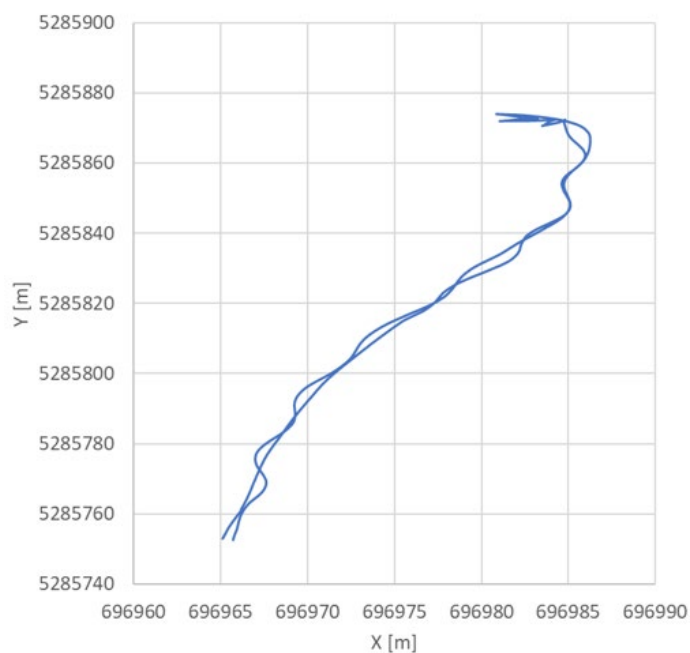


3. ábra: Kálmán-szűrő és GNSS jelek nélküli, tisztán kinematikai és dinamikai modell alapján kapott eredmények az első mérés során (saját szerkesztés)

Az alábbi ábrán (4. ábra) látható, hogy a hiba hatását már önmagában a kiterjesztett Kálmán-szűrő engedélyezése is jelentősen csökkenti, vagyis GNSS nélkül is elég jó eredményre vezet, ugyanakkor a legjobb eredményt a GNSS jelek felhasználásának engedélyezése eredményezi (5. ábra), lényegében minimális eltérésektől eltekintve jól követi a referencia nyomvonalat.

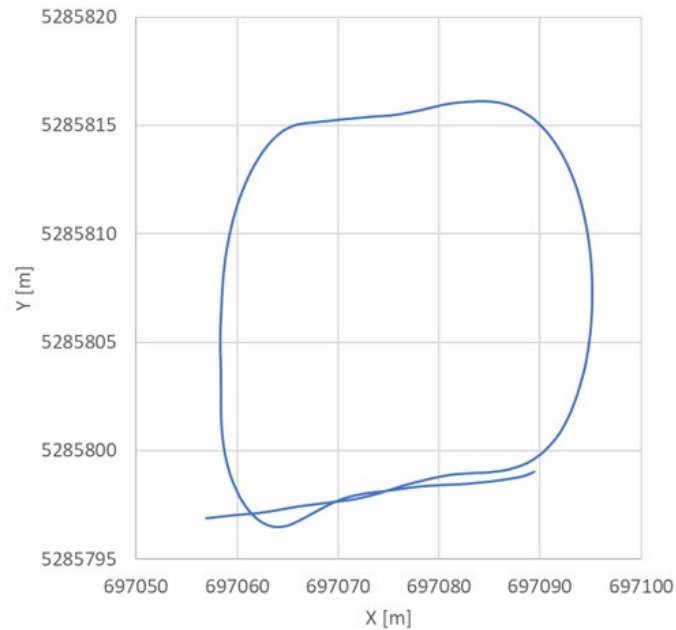


4. ábra: Kálmán-szűrőt alkalmazó, GNSS jelek nélküli, kinematikai és dinamikai modell alapján kapott eredmények az első mérés során (saját szerkesztés)

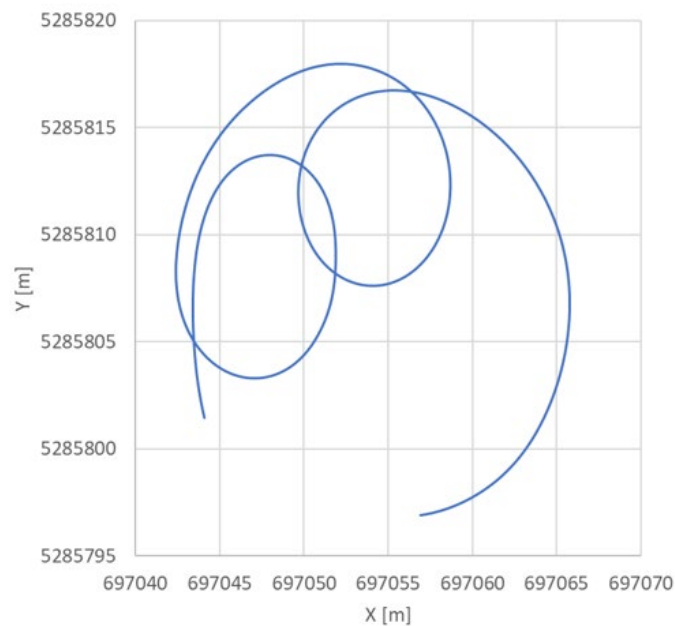


5. ábra: Kálmán-szűrőt és GNSS jeleket is alkalmazó, kinematikai és dinamikai modell alapján kapott eredmények az első mérés során (saját szerkesztés)

A második mérés során egy ovális nyomvonalat (6. ábra) követve került végrehajtásra a manőver, egy 20%-os kormányzög szenzor hibával. A tisztán modell alapú eljárás esetében a szenzorhiba komoly eltérésekhez vezet (7. ábra).

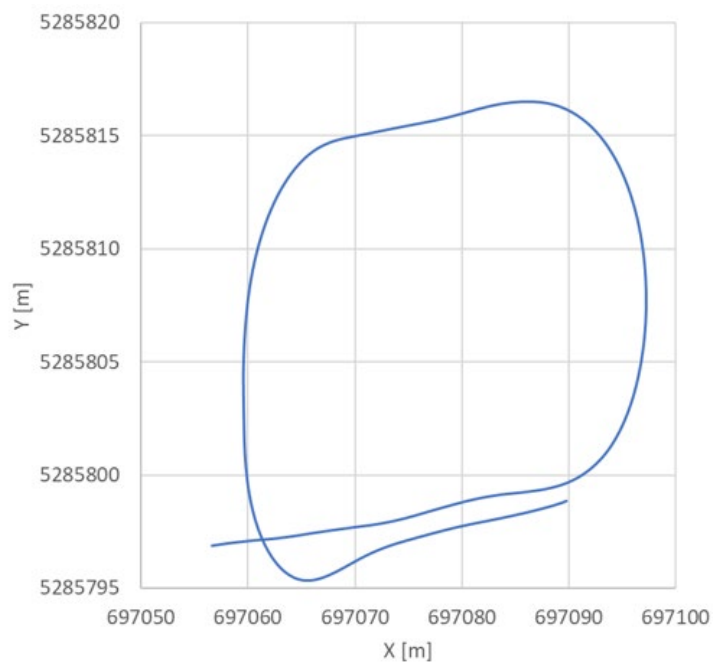


6. ábra: A második manőver tényleges (referencia) nyomvonala (saját szerkesztés)

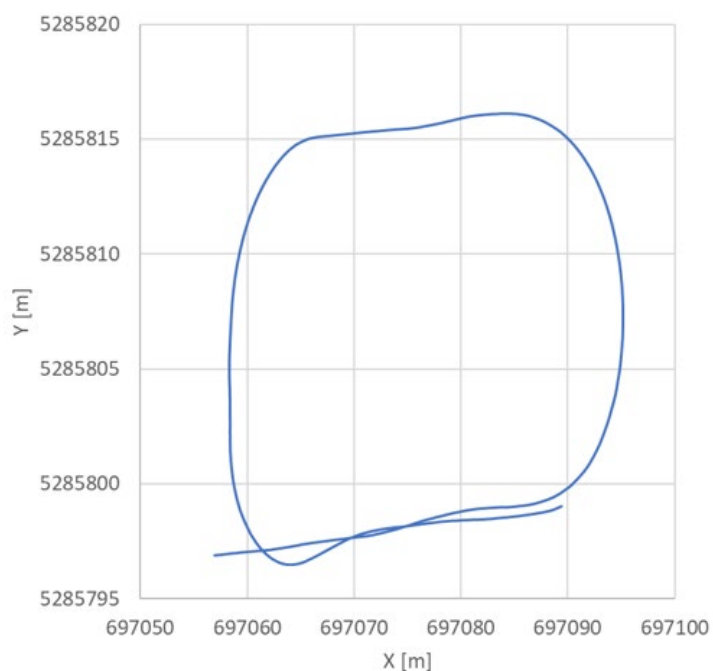


7. ábra: Kálmán-szűrő és GNSS jelek nélküli, tisztán kinematikai és dinamikai modell alapján kapott eredmények a második mérés során (saját szerkesztés)

Az alábbi ábrán (8. ábra) látható, hogy a hiba hatását itt is már önmagában a kiterjesztett Kálmán-szűrő engedélyezése is jelentősen csökkenti, tehát GNSS jel nélkül is elfogadható eredményt kapunk. A GNSS jelek felhasználásának engedélyezése itt is lényegében minimális eltérést eredményez a referencia nyomvonalhoz képest (9. ábra).



8. ábra: Kálmán-szűrőt alkalmazó, GNSS jelek nélküli, kinematikai és dinamikai modell alapján kapott eredmények a második mérés során (saját szerkesztés)



9. ábra: Kálmán-szűrőt és GNSS jeleket is alkalmazó, kinematikai és dinamikai modell alapján kapott eredmények a második mérés során (saját szerkesztés)

5. Összegzés

A kutatás során sikerült a jármű belső érzékelő rendszereit is felhasználó Kálmán-szűrőkön alapuló, robusztus és pontos pozícióbecslő eljárások összehasonlítása és egy algoritmusba történő integrációja. Bizonyításra került, hogy az általunk kidolgozott különböző algoritmusok integrációjával, egy hatékony becslő módszer hozható létre. A kidolgozott eljárás képes a különböző algoritmusok közötti automatikus váltást megvalósítani, úgy, hogy ez ne jelentkezzen ugrásként a szűrt, illetve becsült pozíció adatokban. Továbbá hatékonyságát bizonyítandó egy beágyazott rendszeren is megvizsgálásra került az algoritmusok futtathatósága.

6. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NVA-23 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] Al Malki HH, Moustafa AI and Sinky MH. An improving position method using extended Kalman filter. *Procedia Computer Science* 2021; 182: 28–37.
- [2.] Kim T and Park TH. Extended Kalman filter (EKF) design for vehicle position tracking using reliability function of radar and lidar. *Sensors* 2020; 20(15): 4126.
- [3.] Cramariuc A, Bernreiter L, Tschopp F et al. maplab 2.0 – A Modular and Multi-Modal Mapping Framework. *IEEE Robotics and Automation Letters* 2023; 8(2): 520–527.
- [4.] Kim T and Park TH. Extended Kalman filter (EKF) design for vehicle position tracking using reliability function of radar and lidar. *Sensors* 2020; 20(15): 4126.
- [5.] Culley J, Garlick S, Esteller EG et al. System design for a driverless autonomous racing vehicle. In *2020 12th International Symposium on Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing (CSNDSP)*. 2020.

- [6.] Montani M, Ronchi L, Capitani R et al. A hierarchical autonomous driver for a racing car: Real-time planning and tracking of the trajectory. *Energies* 2021; 14(19): 6008.
- [7.] Schratter M, Zubaca J, Mautner-Lassnig K et al. Lidar-based mapping and localization for autonomous racing. In 2021 International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2021) - Workshop Opportunities and Challenges With Autonomous Racing. 2021.
- [8.] Xiao X, Biswas J and Stone P. Learning inverse kinodynamics for accurate high-speed off-road navigation on unstructured terrain. In 2021 International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2021) – Workshop Opportunities and Challenges With Autonomous Racing. 2021.
- [9.] O. Montenbruck, P. Steigenberger and A. Hauschild, "Comparing the 'Big 4' - A User's View on GNSS Performance," 2020 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS), Portland, OR, USA, 2020, pp. 407-418.
- [10.] Tang X, Li B and Du H. A study on dynamic motion planning for autonomous vehicles based on nonlinear vehicle model. *Sensors* 2023; 23(1): 443.
- [11.] 29. Detta G. Integration of Matlab-based controllers with ROS for autonomous agricultural vehicles. PhD Thesis, Politecnico di Torino, Italy, 2022.
- [12.] 28. Macenski S, Foote T, Gerkey B, et al. Robot operating system 2: design, architecture, and uses in the wild. *Sci Robot* 2022; 7(66): eabm6074.

Izolált akkumulátor felügyeleti vezérlő egység fejlesztése

Design and Implementation of an Isolated Battery Management System

Gulyás Péter

Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont - Győr

gulyas.peter@ga.sze.hu

Absztrakt

Az akkumulátoros elektromos járművek tervezésében kiemelkedő fontosságú az akkumulátor rendszer hatékony és biztonságos kezelése. Az akkumulátor felügyeleti rendszer (BMS) központi szerepet játszik ebben a folyamatban. Ez a cikk bemutatja egy új BMS fejlesztéseit, amely külső áramméréssel és izolált kommunikációs perifériák segítségével optimalizálja az energiafelhasználást és garantálja az üzembiztonságot. A külön panelen, izolált I2C protokollon keresztül megvalósított árammérés lehetővé teszi az akkumulátor csomag összesített és az energiafogyasztók egyéni áramfelhasználásának precíziós – mA mértékű mérését, valamint a mérési pontok dinamikus bővítését is amellet, hogy kizárja a földelési hibákból fakadó problémákat. Az így nyert adatok kulcsfontosságúak az energiaháztartás optimalizálásában és az akkumulátor élettartamának növelésében. A precíziós energiamérés segítségével lehetőség nyílik az akkumulátor töltöttségi szintjének pontos nyomon követésére is és a felsőbb rendszerek fogyasztás optimalizálására is. Az izolált CAN busz lehetővé teszi a különböző járműirányító elektronikai egységek közötti megbízható adatátvitelt anélkül, hogy elektromos zaj vagy potenciálkülönbségek zavarnák. A cellafelügyelet izolált SPI kommunikáción keresztül történik, mely tovább minimalizálja a hibalehetőségeket. Az izolált SPI-on keresztül vezérelt mérő IC lehetővé teszi a cellák egyensúlyának fenntartását mind a töltés, mind a terhelés időszakában, mely tovább növeli az üzembiztonságot. Ez az újításokkal teli BMS rendszer komplex megoldást kínál az akkumulátoros elektromos járművek hatékony működtetéséhez. Az izolált I2C, SPI és CAN kommunikáció segíti a rendszerbiztonság növelését és a megbízható járműkommunikációt, ezzel hozzájárulva a fenntartható mobilitás előmozdításához és az elektromos járművek terjedéséhez.

Kulcsszavak: isoCAN, energiamenedzsment, isoSPI, BMS, isoI2C

Abstract

Efficient and safe battery management is paramount in the design of electric vehicles (EVs). Battery Management Systems (BMS) play a pivotal role in this process. This paper presents the development of a novel BMS that employs external current measurement and isolated communication peripherals to optimize energy usage and ensure system reliability. Current measurement implemented on a separate panel using an isolated I2C protocol enables precise current measurement of the battery pack's total and individual energy consumers down to mA levels, while also allowing for dynamic expansion of measurement points. This eliminates grounding fault issues and provides crucial data for energy management optimization and battery life extension. Precise energy measurement also enables accurate tracking of the battery's state of charge (SoC) and consumption optimization of higher-level systems. The isolated CAN bus facilitates reliable data transfer between various vehicle control units without interference from electrical noise or potential differences. Cell monitoring is implemented via isolated SPI communication, further minimizing error potential. The isolated SPI-controlled measurement IC enables cell balancing during both charging and discharging periods, further enhancing system reliability. This innovative BMS system offers a comprehensive solution for efficient operation of EVs. Isolated I2C, SPI, and CAN communication contribute to enhanced system safety and reliable vehicle communication, promoting sustainable mobility and the proliferation of EVs.

Keywords: *isoCAN, energy management, isoSPI, BMS, isoI2C*

1. Bevezetés

A SZEmission versenyautó a győri Széchenyi István Egyetem hallgatóinak és a Járműipari Kutatóközpont kutatóinak segítségével kifejlesztett különleges jármű, amely a fenntartható és környezetbarát mobilitás népszerűsítését célozza, valamint a nemzetközi Shell Eco-marathon versenyen is részt vesz. Az autó (*lásd 1. ábra*) több olyan kitűnő megoldást is tartalmaz, mely referenciát mutathat az autóipar fele, valamint a városi és e-mobilitási kérdések kutatói számára. Korábban még csak az energiafogyasztás minimalizálása volt a cél, de manapság már az egyedileg fejlesztett szenzor és feldolgozó platform [1] és a személyre szabott irányítási rendszerek segítségével önvezető funkciók tesztelésére is alkalmas.



1. ábra: A SZEmission kísérleti jármű önvezető funkciók tesztelése közben (saját szerkesztés)

A SZEmission alapvető célja az ultra-alacsony üzemanyag-fogyasztás elérése, melynek érdekében a vezetői kényelem és a komfort funkciók teljes mértékben feláldozásra kerültek a tömegcsökkentés, valamint a fogyasztó egységek minimalizálásának oltárán. Az autó tervezésekor és építésekor kiemelt figyelmet fordítottak a könnyűsúlyú és aerodinamikus kialakításra, miközben a karosszéria merevségét a szénszálak kompozit biztosította, valamint a biztonságos energiamenedzsmentre, mely az alkalmazott lítium alapú akkumulátor rendszer miatt elengedhetetlen is egyben. Az autó az elektromos meghajtású, akkumulátoros kategóriában versenyzik és törekszik a fenntartható mobilitás előmozdítására,

Ezen bevezetőt követően a cikk további részeiben részletesen tárgyalom a SZEmission versenyautó új energiamenedzsmentért felelős egységét, főként az izolált kommunikációs szálakra való tekintettel.

2. Felügyeleti rendszer leírása

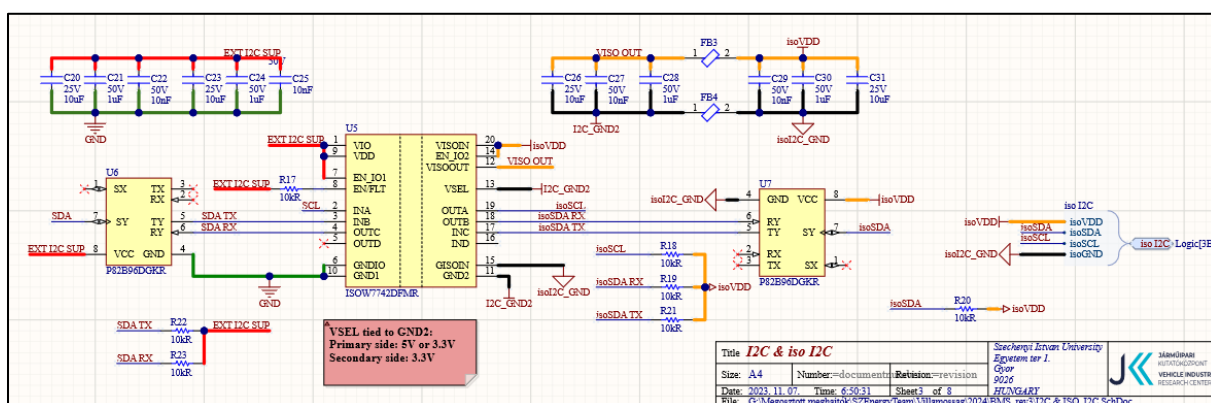
Az akkumulátor felügyeleti rendszer (BMS) elsődleges feladata a nagy kapacitású rendszer akkumulátor celláinak monitorozása és kritikus paramétereinek határértékeken belül tartása.[2] Több architektúra felépítés is jelen van [3] az iparban és a piacon is, melyből két fő csoportot különböztetünk meg felépítését tekintve. ez a passzív és az aktív [4], mely a kiegyenlítés módozatára utal. Részleteit tekintve a cellák feszültsége, az akkumulátor csomag hőmérséklete, valamint a terhelő áram értéke a három fő paraméter, mely állandó vizsgálatot igényel. Jelen cikkben bemutatott BMS egy dsPIC33 alapú mikrovezérlőt tartalmaz, mely a rendszer logikai vezérlőjének tekinthető. A kommunikációt a járműiparban gyakran alkalmazott CAN-buszon [5] végzi a különböző jármű egységekkel, míg a mérések és szenzorok kommunikációjára az SPI és I2C került alkalmazásra. Annak érdekében, hogy a BMS szigetüzemű eszközöket is biztonságosan elérjen az akkumulátor rendszerben, melyek más-más feszültségről működnek, illetve a szigetüzemben fellépő potenciál eltérés ne okozzon problémát, mindenképpen izolált kommunikációs perifériák kialakítása szükséges.

3. Izolált kommunikációs perifériák

A galvanikus leválasztás az izoláció egyik leghatékonyabb és legbiztonságosabb módja, amely fizikailag elválasztja a kommunikációs csatornákat, kizárólag elektromágneses csatolást biztosítva. Ennek megvalósításához integrált vagy diszkrét impulzus transzformátort alkalmaznak a különböző kommunikációs perifériák vezérlő áramkörében. A transzformátor primer és szekunder tekercsei között elektromágneses indukció révén történik az információ átadása. [6] A transzformátor magas izolációs szintet biztosít, ami megakadályozza a hibás áramvonalakat és a zaj terjedését. A nagy teljesítményű transzformátorok súlytöbbletet, veszteségeket és többlet zajt okozhatnak a rendszerben, de a kommunikációs perifériák leválasztásához alkalmazott transzformátorok kis teljesítményűek, így ezek a hátrányok nem jelentősek.

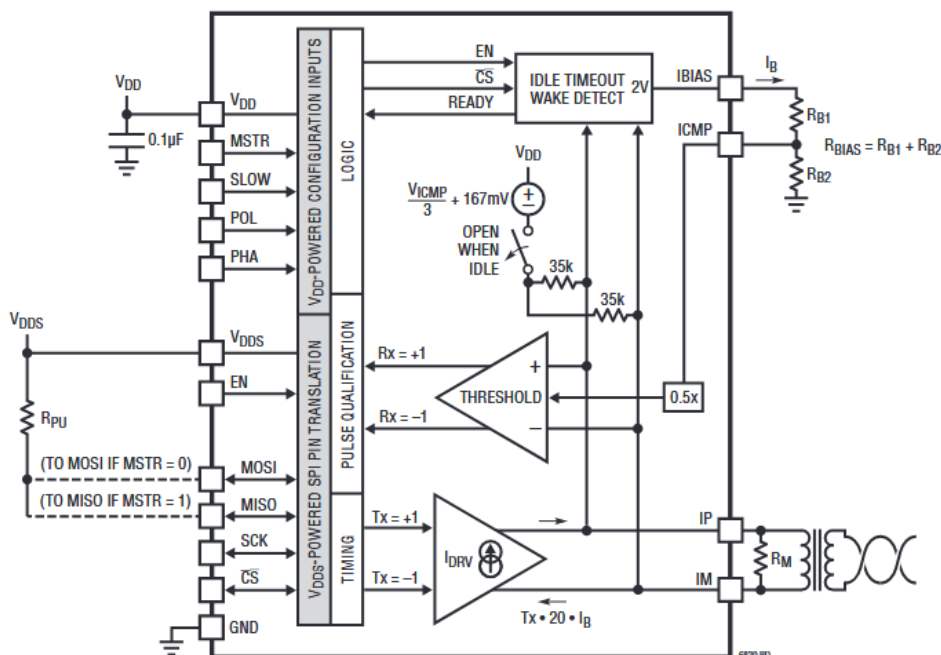
A fejlesztés során a korábban említett három fő kommunikációs vonalat építettem fel kapcsolás szinten, majd végeztem el a kapcsolódó alkatrészek elhelyezését és huzalozását. Mind a három esetben az UL60950-1 szabvány szerinti 250V AC/DC csúcshőfeszültségeknek megfelelő 3,2mm távolságot alkalmaztam az alkatrészek és a réz vezető felületek között.

Az I2C kommunikáció izolációját a Texas Instrument ISOW774x-es áramkörével, valamint I2C specifikus vonali bufferekkal (P82B96DGKR) valósítottam meg az alábbi kapcsolás szerint. (lásd 2. ábra) Az izolátor IC-nek a legnagyobb előnye, hogy integrált DC-DC konverterrel is rendelkezik, mely szintén leválasztott a betáplálás oldaláról, így az I2C buszon működő szenzorok és modulok számára a tápellátást is biztonságosan biztosíthatom. A betáplálás oldalról maximum 5V DC feszültséget képes kezelni, de 5V és 3.3V kimenetet is képes biztosítani a VSEL láb bekötése alapján. Az ISOW774x esetében több konfiguráció is elérhető a gyártónál, aszerint, hogy hány ki-bemenettel rendelkezik az adott IC, melyet az I2C kommunikációhoz megfelelően választottam meg. A megvalósítás során minden kommunikációs szálon elhelyeztem az ajánlott felhúzó ellenállásokat, valamint az IC tápköréhez szükséges puffer kondenzátorokat.



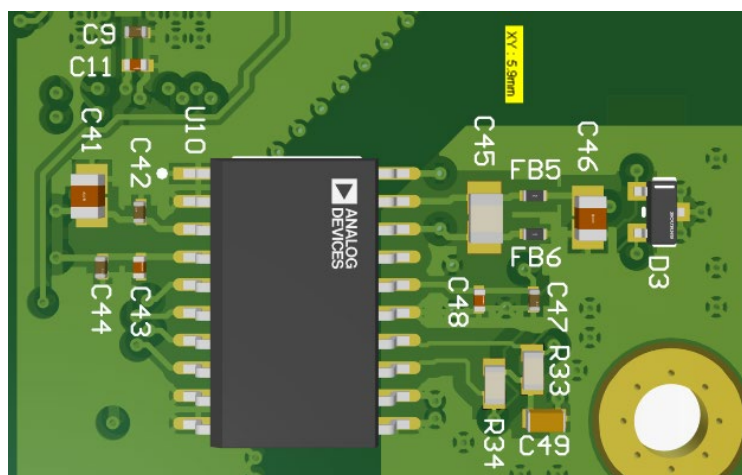
2. ábra: Izolált I2C kommunikációs periféria kapcsolási rajza. (saját szerkesztés)

Az isoSPI megvalósításakor az Analog Devices LTC6820-as IC-jét alkalmaztam [7], mely a normál SPI protokoll szerinti nCS-SCK-MOSI-MISO jeleket impulzusokká alakítja és transzformátoron keresztül, csavartérpáron továbbítja akár 100 m-es távolságba is. Az alább látható blokk diagramon jól látható (3. ábra) a transzformátor áramgenerátoros meghajtó része, valamint az egység logikai felépítése.



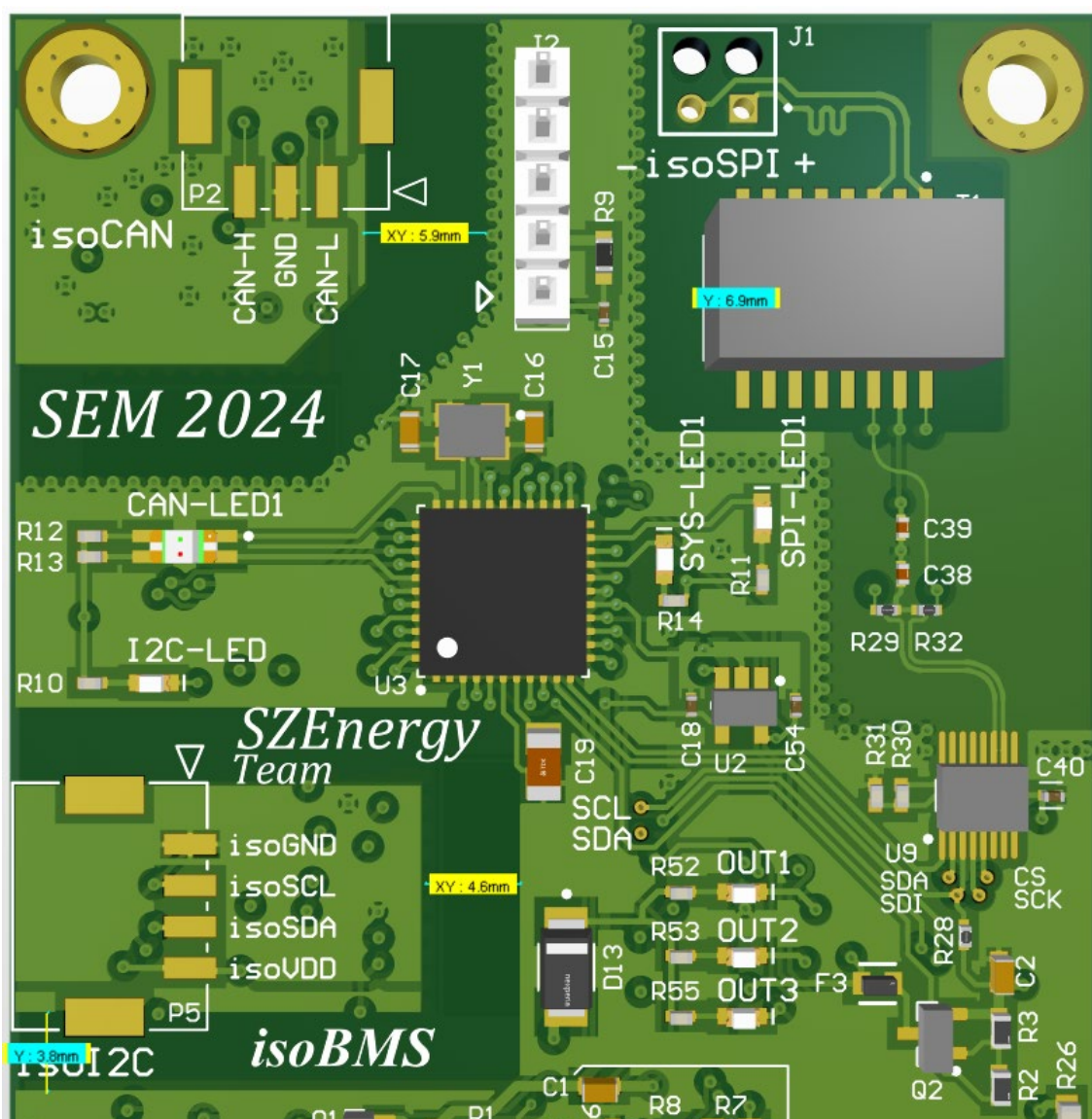
3. ábra: Az Analog Devices LTC6820-as integrált áramkör blokk diagrammja (saját szerkesztés)

Az isoCAN implementálása során (*lásd 4. ábra*) az Analog Devices ADM3057E típusú integrált áramkört alkalmaztam, mely már a CAN FD protokollt is támogatja, ezzel 12 Mbps-ra növelve a CAN buszon elérhető legnagyobb sebességet. Ez a leválasztó IC is tartalmaz egy belső DC-DC konvertert így lehetőség van más CAN buszon szereplő modulok megtáplálására is a későbbiekben. Ennek segítségével mind a CAN mind az I2C esetében lehetőség nyílik a BMS rendszer szigetüzemű kiterjesztésére, mely a cikkben is szereplő könnyű elektromos jármű esetében mérés-technikai előnyökkel jár a versenyzés során.



4. ábra: isoCAN áramköri IC és környezete a fejlesztett BMS alsó oldalán implementálva (saját szerkesztés)

Az alkatrészek és kommunikációs perifériák elhelyezése során a célbeépítés helyét vettem figyelembe. Az alábbi ábrán (lásd 5. ábra) látható a megvalósított huzalozási terv vizualizációja, melyen jól elkülöníthető az I2C, CAN, valamint SPI izolált kommunikációs határa is, a korábbi szabvány szerint megvalósított minimum távolságokkal. Az isoSPI, valamint az isoCAN során is 10% alatti differenciál vonal különbségeket definiáltam szabályszerűen, melynek betartásáról a vonalak hosszának optimalizációjával gondoskodtam. [8, 9] Ennek segítségével 0,75% valamint 9,02% eltéréssel sikerült megvalósítani a differenciál huzalozást.



5. ábra: BMS huzalozási terv részlet, a kommunikációs perifériákkal (saját szerkesztés)

- [2.] K. W. E. Cheng, B. P. Divakar, H. Wu, K. Ding and H. F. Ho, "Battery-Management System (BMS) and SOC Development for Electrical Vehicles," in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 60, no. 1, pp. 76-88, Jan. 2011, doi: 10.1109/TVT.2010.2089647.
- [3.] R. Zhang, J. Wu, R. Wang, R. Yan, Y. Zhu and X. He, "A Novel Battery Management System Architecture Based on an Isolated Power/Data Multiplexing Transmission Bus," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 66, no. 8, pp. 5979-5991, Aug. 2019, doi: 10.1109/TIE.2018.2873143.
- [4.] B. Yildirim, M. Elgandy, A. Smith and V. Pickert, "Evaluation and Comparison of Battery Cell Balancing Methods," 2019 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT-Europe), Bucharest, Romania, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/ISGTEurope.2019.8905588.
- [5.] Boland, Hannah; Burgett, Morgan; Etienne, Aaron; III, Robert: An Overview of CAN-BUS Development, Utilization, and Future Potential in Serial Network Messaging for Off-Road Mobile Equipment. *Technology in Agriculture* 2021, DOI:10.5772/intechopen.98444
- [6.] Bourns: Selecting BMS Transformers for Isolated Communications in High Voltage Energy Storage, 2003, https://www.bourns.com/docs/technical-documents/technical-library/inductive-components/application-notes/bourns-selecting-bms-transformers-for-isolated-communications-in-high-voltage-energy-storage-application-note.pdf?sfvrsn=8f597df6_12
- [7.] Analog Devices: LTC6820 adatlap: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/LTC6820.pdf>
- [8.] Zachariah Peterson: Differential Pair Length Matching: Best Practices for Signal Integrity
Created: April 8, 2020 | Updated: May 11, 2024
<https://resources.altium.com/p/differential-pair-length-matching-best-practices-signal-integrity>
- [9.] Tai-Hung Li, Wan-Chun Chen, Xian-Ting Cai and Tai-Chen Chen, "Escape routing of differential pairs considering length matching," 17th Asia and South Pacific Design Automation Conference, Sydney, NSW, Australia, 2012, pp. 139-144, doi: 10.1109/ASPDAC.2012.6164934.

Kompakt háromfázisú motorvezérlő fejlesztése és tesztelése

Development and testing of a compact three-phase motor controller

Kecskeméti István^a

^aSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

kecskemeti.istvan@ga.sze.hu

Absztrakt

Az elektromos járművek térnyerésével nő az érdeklődés a hajtáslánc szabályzásával kapcsolatos kutatások iránt. Az emelkedő népszerűséggel bővült az elektromos rollerek, robogók, kerékpárok és gördeszkák kínálata is a piacon. Ezeknél a közlekedési eszközöknél elkerülhetetlen egy hatékony hajtásvezérlő jelenléte, amely képes a szükséges teljesítmény biztosítására a nagy hatótávolság megtartása mellett. Olyan alkalmazások esetében, ahol kulcsfontosságú a kompakt méret, a hatásfok és a felhasználóbarát felhasználás, szinte elkerülhetetlen, hogy a VESC nyílt projektbe ne botoljunk. A kezdeményezés célja egy hozzáférhető és testre szabható hajtásláncszabályozó ökoszisztéma létrehozása, hogy segítse az elektromos járművek közösségét a hatékony és testre szabott hajtásláncszabályozók tervezésében és alkalmazásában.

A cikkben bemutatott vezérlőt a tervezés során a VESC projekt alapjaira építettem, azonban a kompakt méret és teljesítmény igények miatt szimulációs vizsgálatokat is végeztem a nyomtatott áramköri panel huzalozásának optimalizálásához a megfelelő hő menedzsment eléréséhez. A kész vezérlőt utána próbapadi méréseken is teszteltük, ahol a saját alkalmazásunknak megfelelő terheléseket szimuláltuk.

Kulcsszavak: motorvezérlő, áramköri szimuláció, hő menedzsment, tesztelés

Abstract

With the rise of electric vehicles, there is growing interest in research on powertrain control. With the increasing popularity of electric scooters, scooters, bicycles and skateboards, the market offerings of electric scooters, bicycles and skateboards have also expanded. For these means of transport, the presence of an efficient drive controller capable of providing the necessary power while maintaining a long range is inevitable. For applications where compact size, efficiency and user-friendliness are key, it is almost inevitable that the VESC open project will not be missed. The initiative aims to create an accessible and customisable powertrain controller ecosystem to help the electric vehicle community.

The controller presented in this paper was designed based on the VESC project, however, due to the compact size and performance requirements, simulation studies were also performed to optimize the wiring of the printed circuit board to achieve proper thermal management. The finished controller was then tested in test bench measurements, where we simulated loads appropriate for our application.

Keywords: motor control, circuit simulation, thermal management, testing

1. Bevezetés

Az elektromos motorok széles körben alkalmazott eszközök az ipari és kereskedelmi szektorokban, mivel számos területen biztosítják a meghajtás hatékony és megbízható működését. Az ipari technológia fejlődése és az energiahatékonyság iránti növekvő igények azonban új kihívások elé állítják a motorvezérlők tervezőit. A kompakt és hatékony vezérlők kiemelt jelentőséggel bírnak, mivel ezek könnyebben integrálhatók a különböző rendszerekbe, és segítenek optimalizálni az energiafelhasználást [1].

Ebben a leírásban egy kompakt háromfázisú motorvezérlő felépítését, fejlesztését és tesztelését mutatom be, amely megfelel a VESC projekt követelményeinek. A fejlesztés során hangsúlyt fektettem a vezérlő méretének csökkentésére, közben biztosítva a megbízhatóságot és a teljesítményt, szimulációs optimalizálással.

A szimulációk célja a megfelelő csíkszélesség elérése a tápvezetéseken, amely biztosítja a megfelelő tápellátást a stabil működés érdekében. A vezérlő fékpados tesztje pedig lehetővé teszi az eszköz működési határainak és biztonsági funkcióinak gyakorlati validációját, biztosítva ezzel a motorvezérlő megbízhatóságát és hatékonyságát valós körülmények között.

2. Blokk diagramm, specifikáció

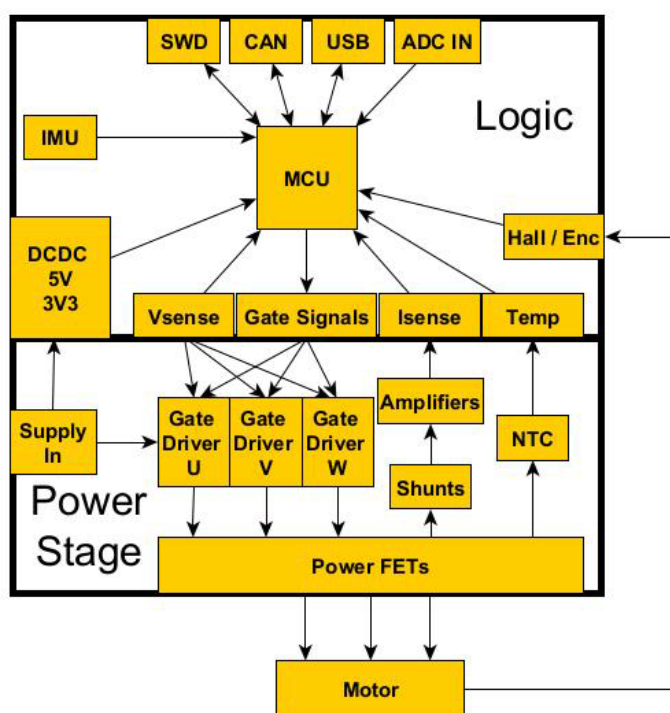
Az egész projekt alapjait a VESC szoftverökoszisztéma képezi, a végleges terméknek meg kell felelnie a szoftver követelményeknek. A már piacon kapható termékek vizsgálata után két részre bontható a motorvezérlő áramkör: logikai és teljesítmény elektronikára [2]. Előbbi központi eleme a mikrovezérlő (MCU), amely kulcsfontosságú szerepet tölt be a rendszerben.

Legfőbb feladata a motorvezérlő algoritmus futtatása, amelyhez számos bemenetre van szükség: referencia és mért értékek (áram, feszültség, hőmérséklet, rotor pozíció). A bejövő adatok alapján kiszámolásra kerül az az impulzusszélesség modulált jel (PWM), amelyet a teljesítmény ágon a kapcsoló elemek vezérlői fogadnak. Emellett a kommunikációs feladatokat is ellát az MCU, legyen az USB, CAN, SPI, BLE vagy más egyéb protokoll.

A logikai részhez tarotnak még azok a szenzorok, amelyek valamilyen fizikai mennyiséget mérnek és küldenek tovább az MCU-nak. Ezek közül az egyik legfontosabb a rotor pozíció

szenzorok, melyek elengedhetetlenek a pontos és hatékony szabályzás megvalósításához. Több ilyen típusú szenzor is létezik, leggyakoribbak a Hall vagy enkóder szenzorok.

A teljesítmény ág foglalja magába azokat a kapcsoló elemeket, amelyek a motor fázisain a megfelelő jelalakot állítják elő. Ezen alkatrészek megfelelő méretezése kulcsfontosságú ahhoz, hogy a vezérlő a specifikációnak megfelelő tartományban tudjon működni. A kapcsolóelemek mellé szükséges Gate-meghajtókat helyezni, amelyek az MCU-tól kapott PWM jeleket fordítják át a teljesítmény elemekre. A teljes blokkdiagramm a 1. ábrán látható.



1. ábra: Blokk diagram a motorvezérlő hardveres elemeiről. (saját szerkesztés)

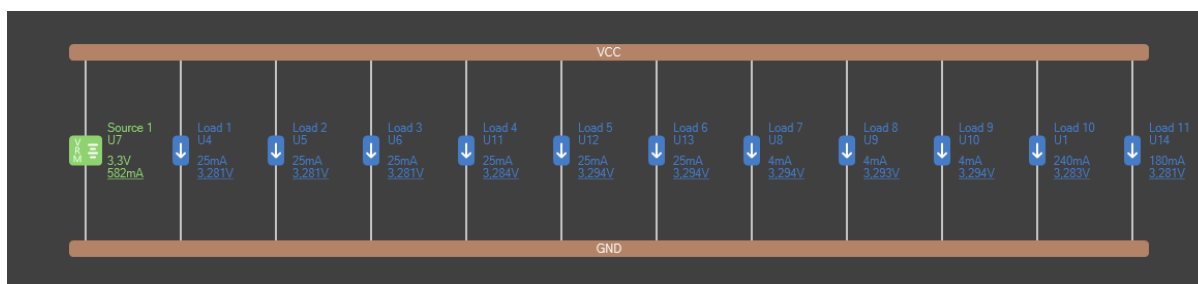
Az áramköri tervek elkészítése előtt szükséges volt specifikálni, milyen teljesítmény igényeknek és egyéb követelményeknek kell megfelelnie az eszköznek, mivel ez jelentősen befolyásolja a tervezési folyamatot. A számunkra szükséges specifikációk az 1. táblázatban láthatóak.

1. táblázat: Tervezési specifikációk. (saját szerkesztés)

Bemeneti feszültség:	36V – 60V
Maximális teljesítmény	~2000W
Szenzor kompatibilitás	Hall szenzor, Inkrementális enkóder
Szoftver kompatibilitás	VESC firmware

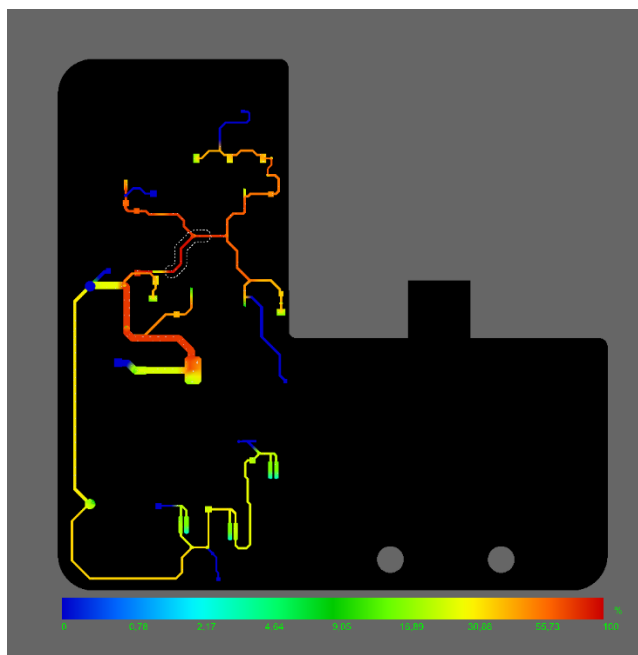
3. Áramköri szimulációk

Az Altium Designer PDN modulja hatékony eszköz a PCB tápellátási hálózatának (PDN) DC elemzésére [3]–[5]. A modul a CST szimulációs technológiát alkalmazza a feszültségesések, a hőmérséklet-emelkedés és az interferencia pontos előrejelzésére a tervezési fázisban [6]. Az áramköri tervek elkészítése után létre kell hozni a PCB DC hálózatát, ahol azonosítani kell a tápvonalakat, DCDC konvertereket és a fogyasztókat. A hálózat több különböző alhálóra bomlik fel, ezeket a feszültség szintek különböztetik meg. A 2. ábra látható a 3,3V hálózata, ahol minden egyes fogyasztó és forrás fel van tüntetve. Az egyes IC-k fogyasztásának megállapításakor mindig a worst-case esetet vettem figyelembe.



2. ábra: 3,3V kör szimulációs hálózata. (saját szerkesztés)

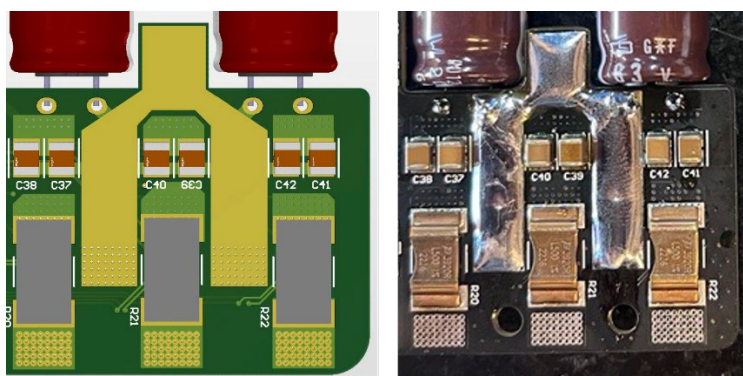
A szimuláció futtatás során kiszámolja a korábban elkészített hálózatokon a feszültséget, az áramsűrűséget és a hőmérséklet alakulását. Az eredmények kiértékelésekor elsősorban a huzalozás megfelelő méretezését ellenőriztem, hogy a tápkörök mindenhol megfelelő keresztmetszettel rendelkezzenek [7]. A következő ábrán látható a 3,3V-os kör eredménye, ahol a PCB huzalozáson látható színskálával jelöli a szoftver az áramterhelést. A problémás keresztmetszeteket a program ki is emeli.



3. ábra: 3,3V hálózat szimulációs eredményei. (saját szerkesztés)

A kiértékelés során az összes hálózatot megvizsgáltam, különös tekintet fordítva a nagyteljesítményű ágra, ahol három fázisú híd ág található. A kapcsolóelemek DIRECTFET tokozással rendelkeznek hasonlóan, mint a személyi számítógépekben található processzorok, ezáltal a hőelvezetés nem a PCB-n kell megoldani.

A szimuláció egyik nagy hiányossága, hogy csak a PCB rétegfelépítését és a huzalok keresztmetszetét veszi figyelembe, azonban a korábban említett kapcsolóelemek is képesek a saját tokozásukon elvezetni a teljesítményt, illetve, ha úgy van kialakítva, a huzalt külső rétegen forrasztóanyaggal fel lehet tölteni, így jelentősen növelve a vezető keresztmetszetet (lásd 4. ábra).



4. ábra: Teljesítmény ág PCB terve (bal) és megvalósítása (jobb). (saját szerkesztés)

A szimulációs eredmények alapján azonosítottam a kritikus pontokat az áramkörön, és ahol nem volt más opció, változtattam az alkatrész elrendezésén, hogy a megfelelő keresztmetszetet el tudjam érni. Azonban, ahogy az előbbi példa is mutatja, más módon is lehet növelni a vezető vastagságát, ezért ilyen esetekben figyelmen kívül hagytam a szimuláció eredményét.

4. Tesztelés

Az elkészített motorvezérlő áramköröket hardveres és szoftveres élesztés után egy villamos fékpádon teszteltük, egy állandó mágneses szinkron géppel. A mérések során a motort először terheletlenül, majd fékgéppel terhelve mértük ki. A tesztek során a villamosgép teljes fordulatszám – nyomaték terét végig mértük, különös figyelmet fordítva a nagy teljesítményű munkapontokra, ahol a kapcsolóelemek a legnagyobb mértékben melegsznek.

A tesztek sikeresen végződtek, a vezérlő a teljes tartományon megfelelően működött. A teljesítmény ágban található hőmérséklet mérő a nagy teljesítményű munkapontokban is maximum 67°C-ot ért el, ami jelentősen alacsonyabb a megengedettnél.

5. Összegzés

A cikkben egy olyan háromfázisú motorvezérlő áramkör lett lefejlesztve, amely kompatibilis a VESC nyílt forráskódú projekttel. A hardveres összeállítás emellett egy szimulációs optimalizáláson is átesett, hogy a kisméretű panel képes legyen a elviselni az áramterheléseket. A kész eszköz egy huzamosabb fékpadi mérésen is átesett,

6. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NVA-23 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] A. De Almeida, J. Fong, C. U. Brunner, R. Werle, and M. Van Werkhoven, ‘New technology trends and policy needs in energy efficient motor systems - A major opportunity for energy and carbon savings’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 115, p. 109384, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.rser.2019.109384.
- [2.] Q. Huang, Q. Huang, H. Guo, and J. Cao, ‘Design and research of permanent magnet synchronous motor controller for electric vehicle’, *Energy Science & Engineering*, vol. 11, no. 1, pp. 112–126, 2023, doi: 10.1002/ese3.1316.
- [3.] B. Goral, C. Gautier, and A. Amedeo, ‘Power Delivery Network simulation methodology including Integrated Circuit behavior’, in *2016 IEEE 20th Workshop on Signal and Power Integrity (SPI)*, Turin, Italy: IEEE, May 2016, pp. 1–4. doi: 10.1109/SaPIW.2016.7496272.
- [4.] G. Benoit, G. Cyrille, and A. Alexandre, ‘Simulation methodology for enhancement of power delivery network decoupling’, in *2015 IEEE 19th Workshop on Signal and Power Integrity (SPI)*, Berlin, Germany: IEEE, May 2015, pp. 1–4. doi: 10.1109/SaPIW.2015.7237400.
- [5.] R. T. Fize and Dan, ‘EFFICIENT STRATEGIES TO OPTIMIZE A POWER DISTRIBUTION NETWORK’, 2011. Accessed: Jul. 09, 2024. [Online]. Available: <https://www.semanticscholar.org/paper/EFFICIENT-STRATEGIES-TO-OPTIMIZE-A-POWER-NETWORK-Fize-Dan/e092acca767fe7be9fda9365b4b2f9e76a4ea0cd>
- [6.] R. Fizeşan and D. Pitică, ‘Pre-layout power integrity analysis in the design flow of a PCB’, in *2011 IEEE 17th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*, 2011, pp. 77–80. doi: 10.1109/SIITME.2011.6102690.
- [7.] S. Zhu, J. Wu, W. Wu, J. Tang, and Z. Chen, ‘Simulation and Experimental Investigation of Temperature-Current Rise in PCB with different electrical current and trace width’, in *2022 International Conference on Cloud Computing, Big Data and Internet of Things (3CBIT)*, 2022, pp. 261–264. doi: 10.1109/3CBIT57391.2022.00061.

Elosztott számítási architektúra folyamatrendszerek tervezését támogató optimalizáló eljárásokhoz

Distributed Computing Architecture for Optimization Procedures Supporting the Design of Process Systems

Mokcsay Ádám^a, Kalauz Károly ^a, Bertók Botond^a

^aSzéchenyi István Egyetem

mokcsayawork@gmail.com, kalauz.karoly@sze.hu, bertok.akos.botond@sze.hu,

Absztrakt

Az optimális folyamatrendszerek tervezési feladatai között szerepelnek elméletileg nehéz problémák, melyek gyors megoldása elvileg nem garantálható. Ugyanakkor, gyakorlati méretű feladatokra praktikusán elég gyors szoftverek készíthetők, ha kellően kihasználjuk a számítási eszközök képességeit a feladatmegoldás minden szintjén.

A folyamatrendszerek tervezési feladatait támogató folyamatszintézis modellek megoldása nagy számítás igényű kombinatorikus feladat. Az erőforrásigény biztosításához a rendszernek megfelelően skálázhatónak kell lennie, vagyis nagy terhelés esetén lehetőséget kell biztosítani az újabb számítási csomópontok rendszerbe csatolására. Erre nyújt megoldást az üzenetsor (Message-Queue vagy MQ), amely egy köztes üzenet tárolóként biztosítja, hogy több számítási csomópont is hozzáférjen a megoldandó feladatokhoz.

Jelen cikkben olyan architektúra elemeket mutatunk be, melyek megbízható rendszerek tervezését támogató keretrendszerben segítik az algoritmusok által megoldandó feladatok, és azok megoldásainak elosztását és a számító egységek kommunikációját. Sok vagy nagyméretű feladatok megoldásakor pedig – a terhelés függvényében –, a számítást végző csomópontok száma is dinamikusan skálázható.

Kulcsszavak: folyamathálózat szintézis, elosztott számítás, számítási komplexitás

Abstract

The design of optimal process systems include theoretically difficult problems, the quick solution of which cannot, in principle, be guaranteed. At the same time, it is practically possible to create fast enough software for problems of a practical size, if capabilities of computing devices are fully utilized at all levels.

The solution of process synthesis models supporting the design tasks of process systems is a combinatorial task that requires a lot of calculations. In order to meet the resource requirements, the system must be properly scalable, that is, in case of high load, it must be possible to connect new computing nodes to the system. The Message-Queue or MQ provides a solution for this, which as an intermediate message store ensures that several computing nodes have access to the tasks to be solved.

In this article, such architectural elements are presented that help the execution of algorithms supporting the design of resilient systems by distribution of their solutions and the communication of computing nodes in a framework. And when solving many or large-scale tasks, depending on the load, the number of nodes performing the calculation can also be dynamically scaled.

Keywords: *process network synthesis, distributed computation, computational complexity*

1. Bevezetés

A Friedler és szerzőtársai által bevezetett folyamathálózat szintézis eszköztár [1] egyedülállóan hatékonyan támogatja mérnöki, üzleti és logisztikai folyamat, vagy akár teljes ellátási láncok tervezését különös tekintettel a fenntarthatósági szempontokra [2]. A P-graph Studio néven ismert korábbi szoftver széles körben alkalmazott a nemzetközi kutató közösségben [3]. A jelen fejlesztés célja újabb feladatosztályok és nagyméretű feladatok megoldásának támogatása korszerű környezetben. Továbbá, hogy a kutatók szabadon határozhassanak meg új feladattípusokat, és testre szabhassák a kapcsolódó matematikai modellek megfogalmazását.

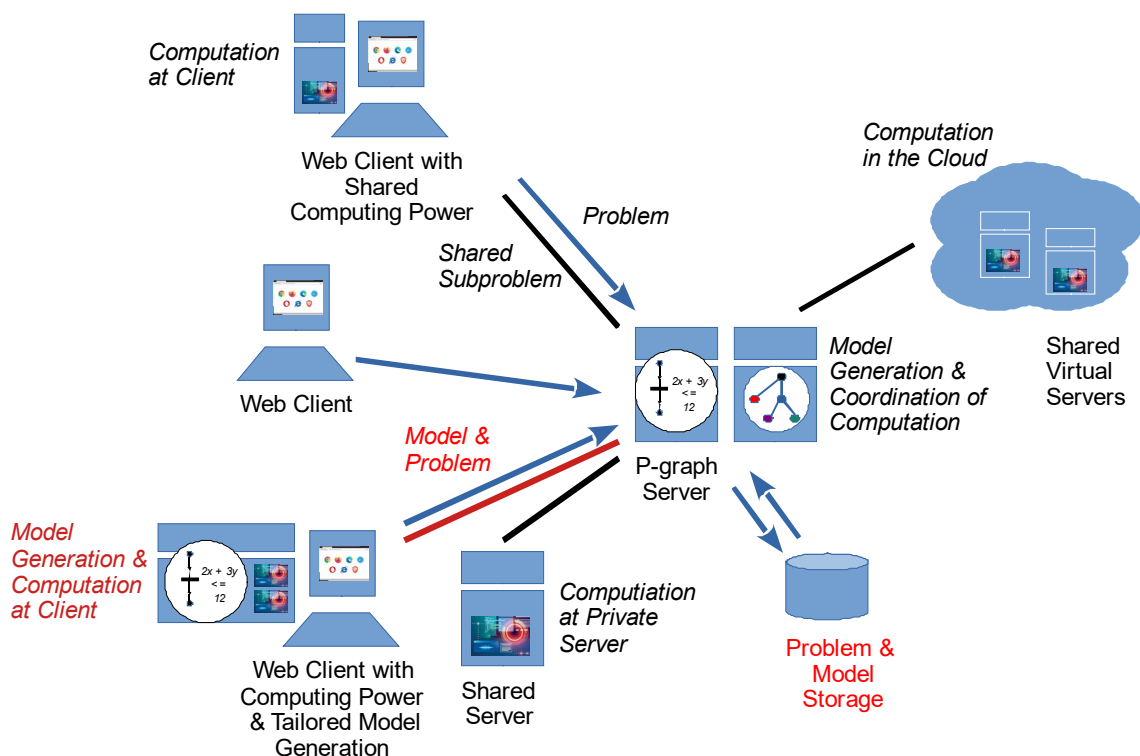
Az ellenálló rendszerek tervezésének támogatására fejlesztett algoritmusok futtatásának tervezett eszköze egy olyan web alapú grafikus felhasználói környezet, mely a minden paraméter és azok kapcsolatainak szerkesztéséhez a felhasználói felületet egy leírónyelv alapján automatikusan tudja generálni valós időben. Tartalmaz egy Python-ban írt modellgeneráló modult, mely a kutatók által könnyen cserélhető. A megoldást támogatja egy terheléselosztó platform, mely a számításokat szét tudja osztani több számítógép szerver, vagy virtuális gép között.

2. Feladat megfogalmazás

A tervezési feladatok megoldását támogató keretrendszerrel szemben elvárásunk, hogy ne kelljen telepíteni, számítási kapacitása skálázható, a feladatosztályok bővíthetők, a modellgeneráló és megoldó komponensek beilleszthetők, feladatok pedig a felhasználók között megoszthatók legyenek. Mindemellett, grafikus felhasználói felülettel bírjon. Az eddigi legjobb ismert megoldás a P-gráf Studio [3], mely egy natív Windows alkalmazás (telepíteni kell), csak helyi gépen fut (számítási kapacitás nem skálázható), a feladatosztályok és azok paraméterei programkódban fixen beépítettek (csak a programkód módosításával bővíthető) a feladatok csak fájlok küldözgetésével oszthatók meg.

3. A javasolt rendszer funkcionális felépítése

Az általunk javasolt rendszer egy web alkalmazás, ahol a számítások felhőben is futtathatók, a feladatosztályok – egy univerzális leíró nyelvnek köszönhetően – bővíthetők, a feladatok pedig felhasználók között megoszthatók a felhőben tárolásnak köszönhetően. Mindemellett, a korábbi grafikus felület előnyeit meg kell őrizni a webes implementációban is. A kidolgozás alatt álló tervező-optimalizáló szoftverplatform funkcionális áttekintését láthatjuk az 1. ábrán.

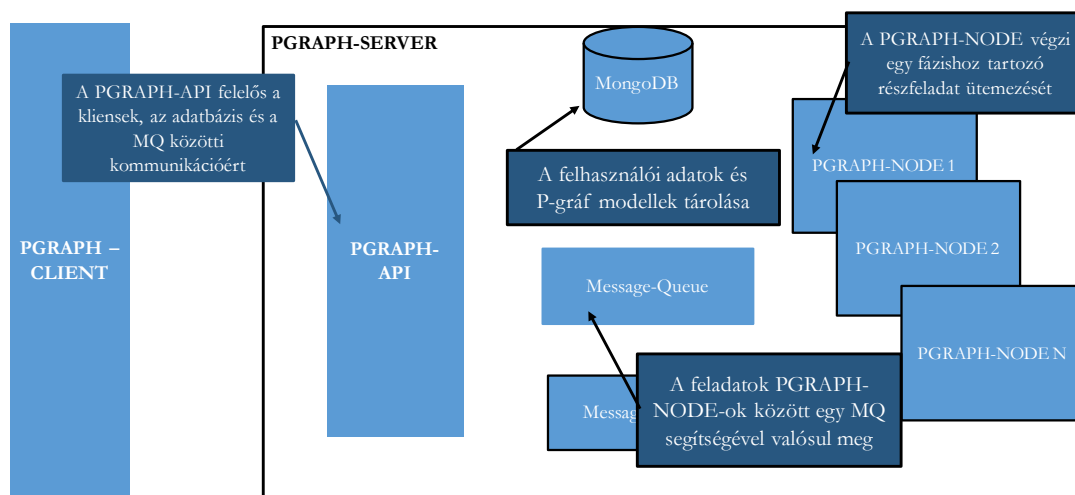


1. ábra: Tervező-optimalizáló szoftverplatform funkcionális felépítése (saját szerkesztés)

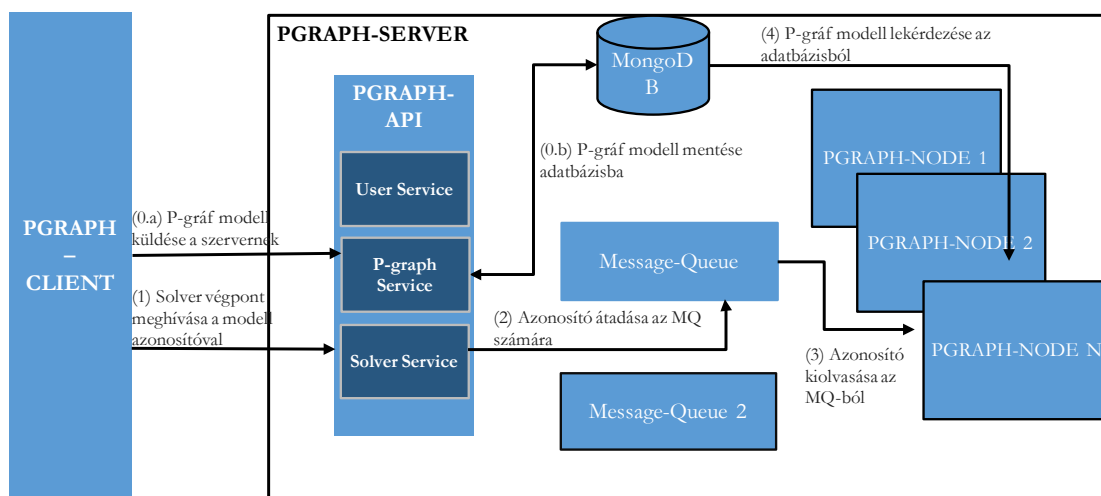
A korábbi Windows asztali alkalmazás helyett, ami csak az adott számítógép számítási kapacitásait tudta igénybe venni, egy webes felhasználói felülettel és szerver oldali számítás elosztó funkcióval bíró keretrendszert terveztünk. A tervezést támogató matematikai modellek megoldására lehetőség van a felhasználó saját számítógépén vagy számítógépjein, de felhőben bérelt kapacitásokon is. Minden számításra alkalmas egységet hozzá kell majd rendelnie a saját a saját profiljához, és a tervezési feladatok megoldása során ezek közül választhat erőforrást.

4. Elosztott számítási platform

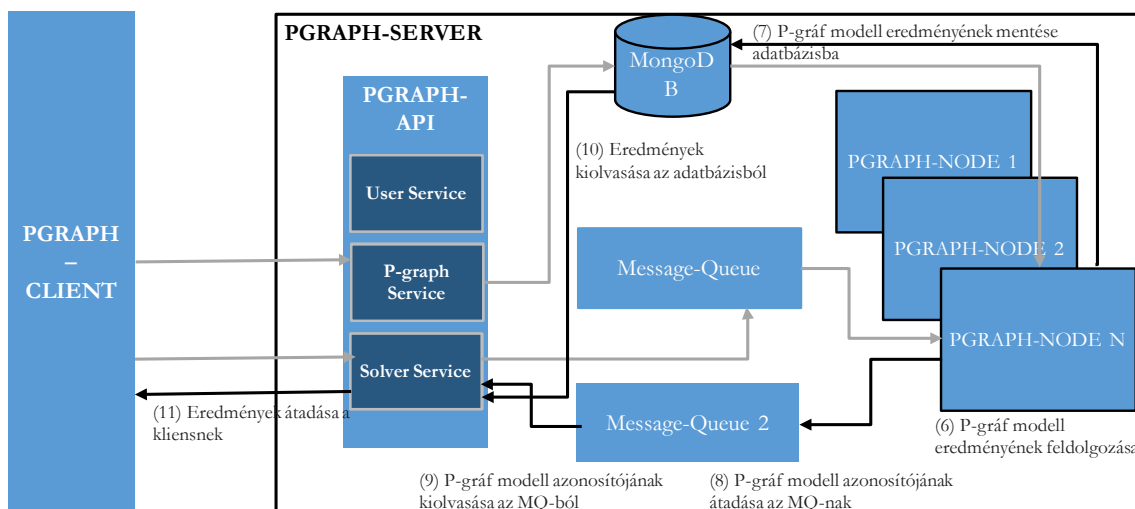
A P-gráf algoritmusok hatékonyan futtathatók elosztott számítási környezetben együttműködő feladatmegosztási modell szerint [4], de az különböző számítási kapacitásoknak szüksége van egy közösen elérhető megosztott feladatlistára. Ennek hatékony megvalósítása az üzenetsor vagy Message-Queue, röviden MQ [5]. A Message-Queue az aszinkron service-to-service kommunikáció egyik formája, amelyet mikroservice architektúrában használnak. Főbb elemei: a Producer: az üzenet küldője, a Queue (sor): üzenetek tárolása, és a Consumer: üzenetek fogadása. Az üzenetsor helyét a 2. ábra mutatja a web alapú P-gráf szoftver architektúrájában. A szerver oldalon az megoldandó feladatokat tároló üzenetsor (Message-Queue) a programoknak elérhető (API) és a megoldást végző számítási csomópontok (Node-ok) között helyezkedik el.



2. ábra: A Message-Queue helye a P-gráfszoftver architektúrájában



3. ábra: A megoldandó feladatok elosztása a P-gráfszoftver architektúrájában (saját szerkesztés)



4. ábra: A megoldások összegyűjtése a P-gráfszoftver elosztott architektúrájában (saját szerkesztés)

A 3-as ábrán azt láthatjuk, hogy a megoldásra váró feladatok hogyan kerülnek elosztásra a tervezett számítási architektúrában. A szerver a megoldandó feladatokat elmenti egy adatbázisban (MongoDB) és az üzenetsorban már csak azonosítóval hivatkozik rájuk. A 4. ábra pedig az elosztott architektúrában megjelenő megoldások összegyűjtésének folyamatát írja le. Itt feladatazonosító szerint kerülnek egymáshoz rendelésre a számítási csomópontok által küldött különböző megoldások.

5. Összegzés

A nemzetközi kutatói hálózatban széles körben használt, összetett rendszerek algoritmikus tervezésének támogatását adó P-gráf keretrendszer számára egy korszerű elosztott számítási architektúra került kidolgozásra. A tervek alapján elkészült egy üzenetsor alapú terhelés elosztó platform a folyamatszintézis és optimalizáló algoritmusok futtatásához.

A platform jövőbeli üzleti hasznosítása kétféle lehet: egyrészt, egy teljes webalkalmazás részeként biztosíthat algoritmusfuttató környezetet oktatási és kutatási P-gráf szoftverhez; másrészt, önálló szolgáltatásként biztosíthat optimalizáló eljárásokat üzleti döntéstámogató rendszerekhez.

6. Köszönetnyilvánítás

A kutatás a Tématerületi Kiválósági Program 2021 – Nemzetvédelem, nemzetbiztonság alprogram – Katonai rendszerek tűrőképességének kutatása a Széchenyi István Egyetemen című TKP2021-NVA-23 azonosítójú projekt támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] Friedler, Ferenc, Ákos Orosz, and J. Pimentel Losada. *P-graphs for process systems engineering*. Springer International Publishing, 2022.
- [2.] Árpád Tóth, Alex Suta, Jean Pimentel, Andres Argoti, A comprehensive, semi-automated systematic literature review (SLR) design: Application to P-graph research with a focus on sustainability, *Journal of Cleaner Production*, 415, 2023, 137741, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137741>.
- [3.] Botond Bertók, Mate Barany, and Ferenc Friedler, Generating and Analyzing Mathematical Programming Models of Conceptual Process Design by P-graph Software, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 52(1), 166-171 (2013).
- [4.] Anikó Bartos, Botond Bertok, Parameter tuning for a cooperative parallel implementation of process-network synthesis algorithms. *Cent Eur J Oper Res* **27**, 551–572 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10100-018-0576-1>
- [5.] IBM, What is a message queue?, <https://www.ibm.com/topics/message-queues>, letöltve: 2024. augusztus 30.

Aszinkron gép lineáris mátrix egyenlőtlenségen alapuló robusztus irányításának fejlesztése

Development of robust induction machine control based on linear matrix inequality

Németh Zoltán

Széchenyi István Egyetem, Teljesítményelektronika és Villamos Hajtások Tanszék

nemeth.zoltan@sze.hu

Absztrakt

Az aszinkron gépek stabil és robusztus irányítása kulcsfontosságú a modern ipari alkalmazásokban. Jelen cikkben egy lineáris mátrix egyenlőtlenségeken (Linear Matrix Inequality - LMI) alapuló robusztus irányítási módszer továbbfejlesztését mutatom be, amely jelentős javulást eredményez az aszinkron gépek stabilitásában és állapotbecslésében. Az LMI alapú szabályozás lehetővé teszi a tenzorszorzat (Tensor Product - TP) transzformáció alapú nemlineáris rendszer paramétereinek és zavarainak hatékony kezelését, miközben biztosítja a kívánt dinamikai és stabilitási követelmények betartását. Az állapotvektor terhelőnyomatékkal történő kibővítésével növelhető az irányítás robusztussága, ahogyan azt bemutatott szimulációs eredmények igazolják. Az elért eredményekkel egy környezetet sikerült kialakítani, amivel becsülhetők a villamos gép paraméterei az LMI típusú megfigyelő alkalmazásával.

Kulcsszavak: aszinkron gép, robusztus irányítás, LMI, tenzorszorzat

Abstract

Stable and robust control of induction machines is key in modern industrial applications. In this paper, I present an enhancement of a robust control method based on linear matrix inequalities (LMI), which leads to significant improvements in the stability and state estimation of induction machines. The LMI-based control allows efficient management of parameters and disturbances of the tensor product (TP) transformation based nonlinear system while ensuring compliance with the desired dynamics and stability requirements. The control robustness can be increased by extending the state vector with load torque, as demonstrated by the simulation results presented. With the results obtained, an environment has been established to more accurately estimate the parameters of the electrical machine using the LMI based observer.

Keywords: induction machine, robust control, LMI, tensor product

1. Bevezetés

Az elektromobilitás növekvő jelenléte a hajtásláncok fejlesztését és optimalizálását vonja magával, amihez a rendszer pontos és átfogó leírására van szükség. A villamos gépek pontos matematikai modelljei nemlinearitásokat tartalmaznak, amik szabályozó és megfigyelő/állapotbecslő tervezés szempontjából nagy kihívást jelentenek. A rendelkezésre álló aszinkron gép modellek [1-5] tetszőleges módosításával és kiegészítésével lehetőség nyílik az irányítás robusztusságának növelésére. A kvázi-lineáris paraméterváltozójú (quasi-Linear Parameter Varying - qLPV) leírást [6, 7] TP modellezéssel [8, 9] teszem kezelhetővé, ahol a klasszikus fuzzy logika segítségével független lineáris rendszereket hozok létre, amelyeket különböző súlyokkal vesznek figyelembe. A TP modellhez LMI-típusú szabályozó és megfigyelő [10] illesztésével a fizikailag nem mérhető paraméterek értéke is becsülhető, amivel a rendszer robusztussága javítható.

2. Aszinkron gép modellezése

Az aszinkron gép modellezésére ötödrendű modellt választottam, aminek állapotváltozós leírása a jól ismert:

$$\dot{\mathbf{x}} = \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \\ \psi_{dr} \\ \omega_r \\ T_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_s}{L_s\sigma} - \frac{R_r L_m^2}{L_s L_r^2 \sigma} & \frac{R_r L_m}{L_r} & \frac{R_r L_m}{L_s L_r^2 \sigma} & i_{qs} & 0 \\ -\omega_r - \frac{R_r L_m}{L_r} \frac{i_{qs}}{\psi_{dr}} & -\frac{R_s}{L_s\sigma} - \frac{R_r L_m^2}{L_s L_r^2 \sigma} & -\frac{L_m}{L_s L_r \sigma} \omega_r & 0 & 0 \\ \frac{R_r L_m}{L_r} & 0 & -\frac{R_r}{L_r} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{3}{2} \frac{N^2}{J} \frac{L_m}{L_r} \psi_{dr} & 0 & -\frac{D_f}{J} & -\frac{N}{J} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \mathbf{x} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_s\sigma} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_s\sigma} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{ds} \\ v_{qs} \end{bmatrix}, (1)$$

ahol R_s és R_r az álló- és forgórész ellenállást, v_{ds} , v_{qs} és i_{ds} , i_{qs} az állórész feszültség és áram térvektorokat, L_s , L_r , L_m rendre az állórész, forgórész és kölcsönös induktivitást, ψ_{dr} a forgórész fluxust, ω_r a forgórész villamos szögsebességét, N a póluspárszámot, D_f a súrlódási tényezőt, J a tehetetlenségi nyomatékot jelöli. A $\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$ visszacsatoló mátrixszal, illetve a $\mathbf{p} = [i_{qs}; \psi_{dr}; \omega_r; 1/\psi_{dr}]$ paramétervektorral előállítható a TP modell [10] megfelelő diszkretizáltság és CNO típusú súlyfüggvény megválasztásával.

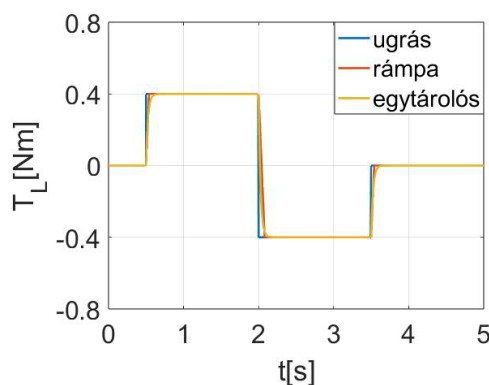
Az aszimptotikus stabilitást és a beavatkozó jel korlátozását megvalósító LMI típusú szabályozó és megfigyelők levezetése megtalálható a korábbi publikációkban [9, 10].

3. Eredmények

Az eddigi munkákhoz képest, ahogyan az állapotter modellből is látható volt, a plusz a terhelőnyomaték becslése volt. Ennek megfelelően ennek becslését fogom bemutatni 3 különböző terhelés esetén:

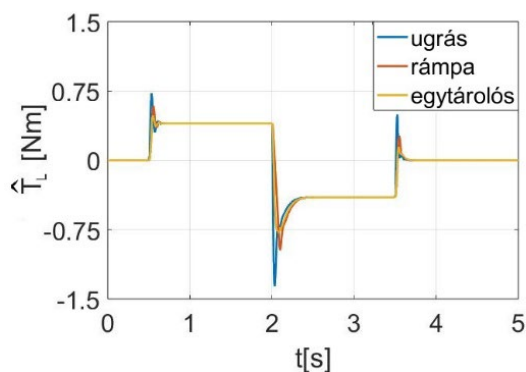
1. egységugrás-szerű,
2. 10Nm/s meredekségű rámpát alkalmazva a fel- és lefutó éleken,
3. egytárolós tagként alkalmazva, aminek időállandója 25ms,

ahogy az 1. ábrán látható.



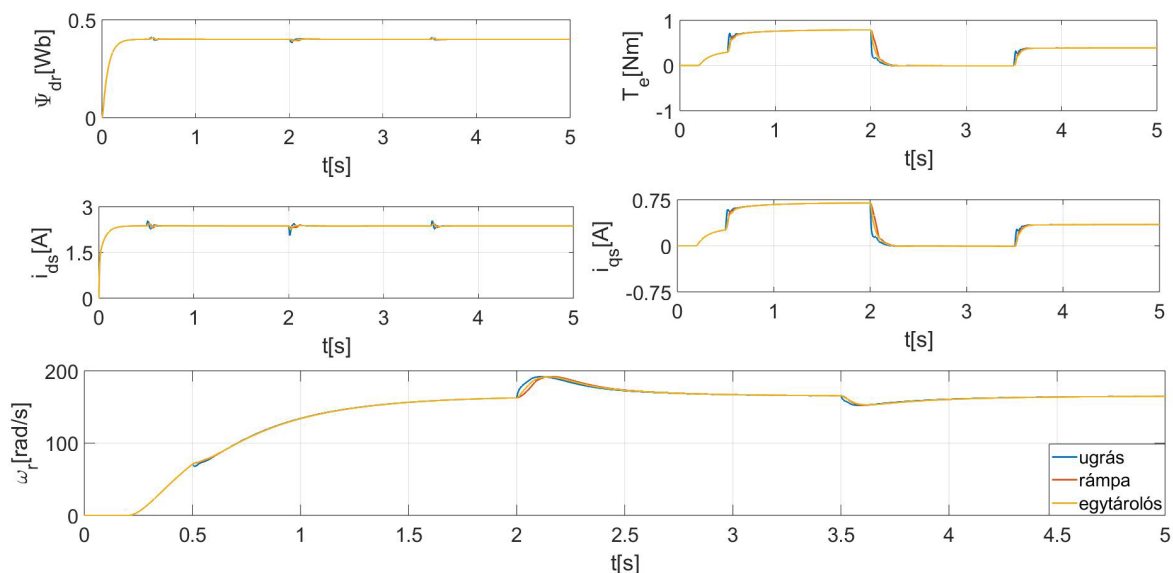
1. ábra: Terhelőnyomaték referenciák. (saját szerkesztés)

A 2. ábrán látható az LMI típusú megfigyelő által számolt terhelőnyomaték értéke. Fontos megemlíteni, hogy a szabályozók és megfigyelő körerősítése együtt hangolható. Tapasztalatok alapján belátható, hogy a szabályozó gyorsítása negatív hatással van a becslő sebességére, ami fordítva is igaz. A gyors becslőhöz általában lassabb szabályozás tartozik. Éppen ezért, az ilyen típusú feladatok minden esetben optimalizálási kérdéseket fognak felvetni. Ahogyan az látható, jelenlegi munkám során a minél gyorsabb becslést részesítettem előnyben, ami jelen esetben jelentős túllövéseket tartalmaz egységugrás-szerű terhelés esetén, míg egytárolós tagként a túllövések drasztikusan lecsökkennek.



2. ábra: Terhelőnyomaték becslése különböző referenciák esetén. (saját szerkesztés)

Végezetül a 3. ábrán látható a fluxus és fordulatszám-szabályozás dinamikus viselkedése különböző terhelések alkalmazása esetén.



3. ábra: Szabályozók dinamikus vizsgálata. (saját szerkesztés)

Ahogy az megfigyelhető, a fluxusszabályozásra minimális hatást gyakorol a terhelőnyomaték alkalmazása, 4%-os túllövés figyelhető meg, aminek a stabilizálása 47ms-ot igényel. Fordulatszám-szabályozásnál mindhárom esetben azonos nagyságú túllövés (17,9%) figyelhető meg, amik kompenzálása is szinte megegyezően 810ms-t igényel. Mindkét esetben elmondható, hogy ezeken a hibákon még lehet csökkenteni a szabályozó gyorsításával, ami viszont a becslés sebességét fogja rontani.

4. Összegzés

Kibővítettem a negyedrendű aszinkron gép állapotter modelljét a terhelőnyomatékkal, amit felhasználva elkészítettem a kibővített TP modellt is. Az integrátort is tartalmazó szabályozási körben a szabályozó és megfigyelő körerősítés mátrixát LMI megoldásával állítottam elő. Az így létrejövő rendszeren megvizsgáltam különböző típusú terhelések esetén a becslés dinamikáját. Az elért eredmények alapján kijelenthető, hogy a becslés dinamikája és a szabályozó sebessége között erős ellentétes hatás figyelhető meg, ezért minden esetben a fizikai rendszer kívánalmai szerint szükséges a LMI-k hangolása.

5. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NVA-23 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] Talla, J.; Leu, V.Q.; Šmídl, V.; Peroutka, Z. Adaptive Speed Control of Induction Motor Drive With Inaccurate Model. IEEE Trans. Ind. Electron. 2018, 65, 8532–8542.
- [2.] Zou, J.; Xu, W.; Zhu, J.; Liu, Y. Low-Complexity Finite Control Set Model Predictive Control With Current Limit for Linear Induction Machines. IEEE Trans. Ind. Electron. 2018, 65, 9243–9254.
- [3.] Yang, Z.; Zhang, D.; Sun, X.; Ye, X. Adaptive Exponential Sliding Mode Control for a Bearingless Induction Motor Based on a Disturbance Observer. IEEE Access 2019, 6, 35425–35434.
- [4.] Zuo, Y.; Ge, X.; Chang, Y.; Chen, Y.; Xie, D.; Wang, H.; Woldegiorgis, A.T. Current Sensor Fault-Tolerant Control for Speed-Sensorless Induction Motor Drives Based on the SEPLL Current Reconstruction Scheme. IEEE Access 2022, <https://doi.org/10.1109/TIA.2022.3204733>.

- [5.] Kuczmán, M.; Horváth, K. Design of Feedback Linearization Controllers for Induction Motor Drives by using Stator Reference Frame Models. In Proceedings of the 2021 IEEE 19th International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC), Gliwice, Poland, 25–29 April 2021; pp. 766–773.
- [6.] Ali, S.M.N.; Hanif, A.; Hossain, M.J.; Sharma, V. An LPV H_∞ Control Design for the Varying Rotor Resistance Effects on the Dynamic Performance of Induction Motors. In Proceedings of the 2018 IEEE 27th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Cairns, Australia, 13–15 June 2018; pp. 114–119.
- [7.] Costa, C.A.; Nied, A.; Nogueira, F.G.; de Azambuja, Turqueti, M.; Rossa, A.J.; Dezuó, T.J.M.; Barra, W. Robust Linear Parameter Varying Scalar Control Applied in High Performance Induction Motor Drives. *IEEE Trans. Ind. Electron.* 2021, 68, 10558–10568.
- [8.] Németh, Z.; Kuczmán, M. Tensor product transformation-based modeling of an induction machine. *Asian J. Control* 2021, 23, 1280–1289. <https://doi.org/10.1002/asjc.2468>
- [9.] Németh, Z.; Kuczmán, M. Tensor Product Transformation Based Robust Control of Induction Machine. In Proceedings of the 2020 2nd IEEE International Conference on Griding and Polytope Based modeling and Control (GPMC), Budapest, Hungary, 19 November 2020; pp. 39–44.
- [10.] Németh, Z.; Kuczmán, M. Linear-Matrix-Inequality-Based Controller and Observer Design for Induction Machine. *Electronics* 2022, 11, 3894. <https://doi.org/10.3390/electronics11233894>

Robosztus GNSS adatfeldolgozó algoritmus fejlesztése energia hatékony versenyjármű menetciklus tervezéséhez

Development of a Robust GNSS Data Processing Algorithm for Planning Driving Cycle of Energy Efficient Race Vehicle

Somogyi Huba

Széchenyi István Egyetem Járműipari Kutatóközpont

somogyi.huba@sze.hu

Absztrakt

Az energiahatékonysági versenyen minden egyes megspórolt joule-nak jelentősége van, az egyik ilyen fogyasztásoptimalizálási lehetőség a menetciklus optimalizálás. A menetciklus optimalizáláshoz szükség van a pálya megfelelő paramétereinek ismeretéhez. A legfontosabb paraméterek a pályaívek vagy kanyarrádusok, illetve a pálya magassági adatai, amelyből a lejtők és emelkedők számíthatók. Ebben a cikkben annak az algoritmusnak a fejlesztését mutatom be, amellyel vagy nagy pontosságú navigációs eszközzel rögzített vagy számítógéppel szerkesztett koordináta pontok alapján visszkapunk egy pályaívet, amelyben minden kanyarhoz rendel egy kanyarodási rádiusz értéket és minden pontban meghatározza a pálya tengerszint feletti magasságát. Az így kapott adatok felhasználhatók a menetciklus optimalizáló algoritmusban, így járulva hozzá a minél jobb eredményhez.

Kulcsszavak: nagy pontosságú navigáció, energiahatékonyság, versenypálya elemzés

Abstract

In the race for energy efficiency, every joule saved makes a difference, and one of the ways to optimize consumption is through driving cycle optimization. For driving cycle optimization, it is necessary to know the right parameters of the track. The most important parameters are the track curves or curve radiuses and the track elevation data from which the gradients and slopes can be calculated. In this paper, I present the development of an algorithm to retrieve a trajectory from coordinate points, either recorded by a high-accuracy navigation device or edited by a computer, in which a turn radius value is assigned to each turn, and the elevation of the trajectory above sea level is determined at each point. The resulting data can be used in the driving cycle optimization algorithm, thus contributing to the best possible result.

Keywords: high-precision navigation, energy efficiency, racetrack analysis

1. Bevezetés

A járműiparban folyamatosan nő az igény az energiahatékonyági megoldások iránt, különösen a versenyautózás területén, ahol minden egyes megspórolt joule közvetlen versenyelőnyt jelenthet. Az energiahatékony versenyjárművek fejlesztésében és tesztelésében a menetciklusok tervezése kulcsfontosságú eleme a teljesítmény optimalizálásának. Ezen menetciklusok pontos tervezése során elengedhetetlen a pálya geometriai és topográfiai paramétereinek precíz meghatározása, amely a jármű üzemanyag-fogyasztását és energiagazdálkodását is befolyásolja. [1, 2]

A Global Navigation Satellite System (GNSS) technológia az egyik legmeghatározóbb eszköz a paraméterek pontos rögzítésére és elemzésére. Azonban a GNSS adatok hagyományos feldolgozási módszerei gyakran nem nyújtanak elegendő pontosságot a versenyautók számára, ahol a kismértékű térbeli eltérések is jelentős hatással lehetnek a verseny eredményére. [3] Ebből kifolyólag a kutatás célja egy olyan fejlett GNSS adatfeldolgozó algoritmus kifejlesztése, amely képes nagy pontossággal rekonstruálni a versenypályák geometriai jellemzőit, beleértve a kanyarráduszokat és a magassági adatokat.

A jelen kutatás jelentősége két fő tényezőben mutatkozik meg: egyrészt lehetővé teszi a versenystratégiai döntések tudományos alapú meghozatalát, másrészt hozzájárul az energiahatékony technológiák gyakorlati alkalmazásának előmozdításához a versenyautózásban. Az algoritmus fejlesztése során többféle adattípus és feldolgozási technika került integrálásra, így biztosítva, hogy az eredmények megbízhatóak és érvényesek legyenek a valós versenykörülmények között is. Az algoritmus implementálása MATLAB programban történt, amely lehetőséget ad különböző GNSS adat feldolgozási technikák gyors megvalósítására. [4]

A következő részekben részletesen bemutatom az algoritmus fejlesztési folyamatát, a használt módszertant, valamint az előzetes teszteredményeket, amelyek alátámasztják az új megközelítés előnyeit és alkalmazhatóságát.

2. Módszertan

Az algoritmus fejlesztésének első lépése egy robusztus GNSS rendszer kiválasztása volt, amely képes magas pontosságú helyzet- és magassági adatok rögzítésére. A mérések elvégzéséhez egy darab nagy pontosságú GNSS vevő került felhasználásra, egy SwiftNav Duro Inertial eszköz, illetve egy Wifi router, melyek Széchenyi István Egyetem Járműipari Kutatóközpontjának Lexus autonóm funkciók tesztelésére alkalmas járműjében került összeszerelésre (1. ábra).



1. ábra: Mérési összeállítás járműre/járműbe szerelve (saját szerkesztés)

2.1. Adatok elő-feldolgozása és hibás adatok szűrése

Az adatgyűjtés folyamatát követően egy szakaszos utófeldolgozási eljárást került elvégzésre, amely célja a nyers GNSS adatok tisztítása és előkészítése volt a további elemzéshez. Tulajdonképpen ez azt jelenti, hogy egy előre meghatározott formában a megfelelő értékek egy CSV fájlban elkészítésre kerültek a későbbi adatfeldolgozási eljárásokhoz. Több iteráció után a MATLAB-os feldolgozó program kétféle bemeneti formátumot is elfogad, az egyik LLH (Longitude-Latitude-Height) rendszerű, illetve az UTM (Universal Transverse Mercator) rendszerű koordináta reprezentációban előkészített adatok, a függvény meghívásakor ezt viszont definiálni kell. A függvényhívásban három bemeneti paraméter szerepel, a betöltendő fájl neve, a koordináta reprezentáció és a magassági koordinátaviszonyítása.

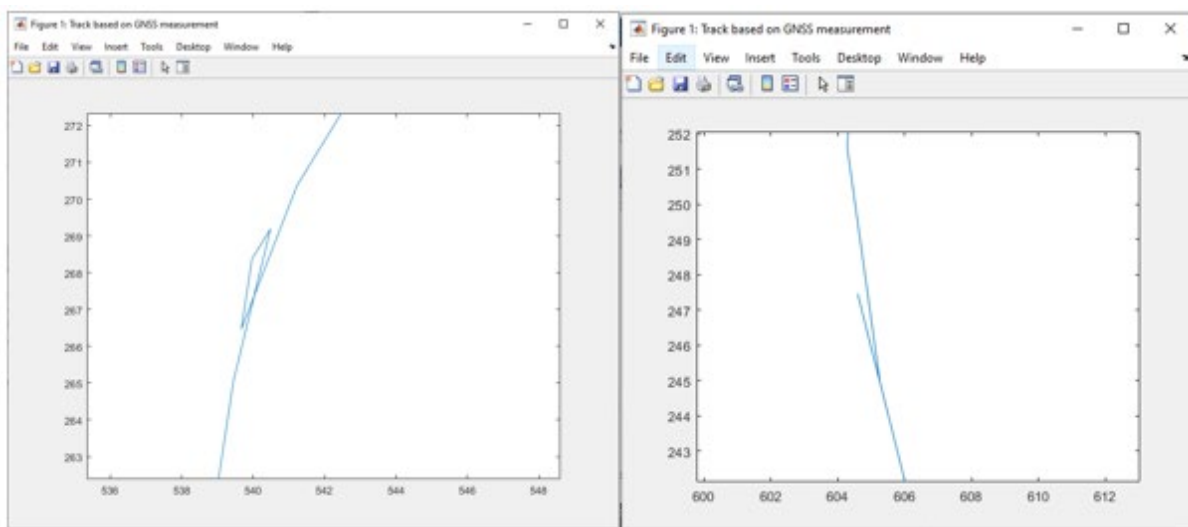
A függvényhívás:

```
function kkp = curv_calc(filename, cord_rep,z_cord)
```

A megtett útvonal egyes szakaszain a GNSS adatok nem teljesen egyenesek a különböző hibák és a pálya természetes görbületei miatt. Ezért a nyomvonal linearizálása alapvető lépés volt az algoritmusban, ami segít kiküszöbölni azokat a torzításokat, amelyek a GNSS jel zavarai vagy a környezeti tényezők következtében keletkeztek. A linearizálási folyamat már MATLAB programban történik, ahogy az azt megelőző lépés, amely az adatokat megvizsgálja feldolgozhatóság szempontjából, illetve, ha szükség és lehetséges, akkor korrigálja azokat.

Negatív koordinátpont akkor fordulhat elő, ha számítógépes programmal szerkesztett útvonalról beszélünk, mert sem az LLA sem az UTM koordinátareprezentáció nem tartalmaz negatív számot. A mi esetünkben viszont mivel kézzel, számítógépes programmal állítjuk elő az útvonal koordinátpontjait, ez előfordulhat és ezt is ki kell szűrni. Ezen kívül az UTM reprezentációban, viszont nagyon nagy számok is előfordulnak, ezt is érdemes nulla közeli értékekre hozni a későbbi könnyebb feldolgozás miatt.

Kézi koordináta pontok szerkesztése közben előfordulhat, hogy apró visszaugrások generálódnak. Erre példa a következő képeken látható, ahol ki lett nagyítva a kritikus pont.



2. ábra: Hibás koordinátpontok a pálya vonalvezetésén (saját szerkesztés)

A pálya magassági profiljának pontos ismerete nélkülözhetetlen az energiahatékony menetciklusok tervezése során. Az algoritmus a GNSS által rögzített adatok alapján számítja ki a magassági koordinátákat az útvonal mentén. Ezzel meghatározhatjuk a lejtők és emelkedők

szögét, amelyek közvetlen hatással vannak a jármű energiafogyasztására. A magassági koordináta egyes esetekben szükséges, hogy a tengerszint feletti magasságot adja vissza, viszont egyes esetekben a szintkülönbségek nulla és az adott szakasz legmagasabb pontja közötti értékekben kerüljenek a kimeneti fájlba, ezért ezt egy paraméterrel a függvény hívásakor beállíthatjuk, amit az egyik előző bekezdésben már bemutattam, azaz a `z_cord` paraméterrel.

Végül a kanyarráduszok meghatározása a kritikus lépés, amely megadja a jármű által követett kanyarok ívsugarát. A pontos kanyarráduszok ismerete nélkülözhetetlen a versenyjármű fizikai dinamikájának modellezéséhez és az energiahatékonyság szempontjából optimális menetciklus kidolgozásához. A kanyarráduszok meghatározásához az útvonalra körívek kerültek illesztésre a Taubin módszer [5] alapján.

Az algoritmus fejlesztése iteratív folyamat volt, amely során folyamatosan finomítottam a modelleket és a számítási módszereket, hogy azok egyre pontosabb képet adjanak a valóságos viszonyokról. Ezen módszerek részletezése és validálása létfontosságú a kutatás hitelességének biztosítása érdekében.

2.2. Paraméterek beállítása optimalizálással

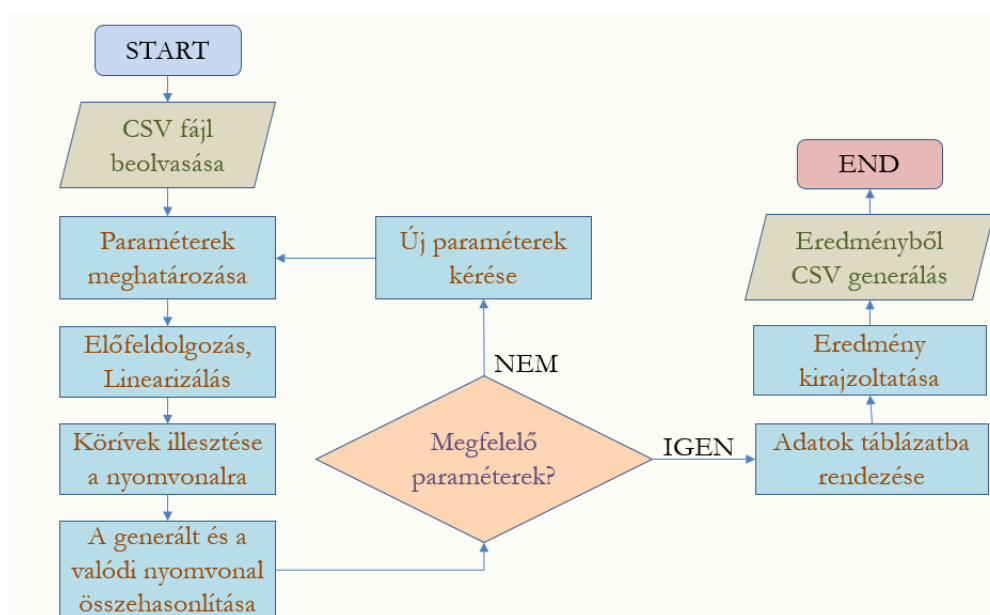
Az program korai verziójánál a függvény meghívásakor manuálisan meg kellett adni egyes paramétereket, amelyek megválasztásával jobb vagy rosszabb eredményt kaphattunk. A jelenlegi változatnál már erre nincs szükség mivel egy beépített optimalizálóval automatikusan választja meg a program ezeket a paramétereket.

Az optimalizálandó paraméterek:

- A ***track_part*** változó segítségével adható meg az adott pálya egyenlő elosztású pontokkal való átszámítása, a mértékegység méter, ennél a paraméternél ajánlott a 0.1, 0.25, 0.5 vagy 1 érték használata.
- A ***currad_limit*** változóval a megadható a legnagyobb megengedett kanyarráduszt méterben kifejezve

- A *movavg_pnt* változóval a magassági koordináták szűréséhez használatos mozgó átlag függvényben használt pontok száma adható meg a pálya hosszától és a *track_part* változó nagyságától függően érdemes megválasztani pl. 200m-es pálya 0.5-ös *track_part* mellett 4 és 8 közötti érték ajánlott 2km-es pálya 0.25-ös *track_part* mellett 20 és 30 közötti érték ajánlott.
- A *track_dev* változóval megadható a pálya és a körívek legnagyobb megengedett távolsága méterben kifejez, ajánlott érték 0.1

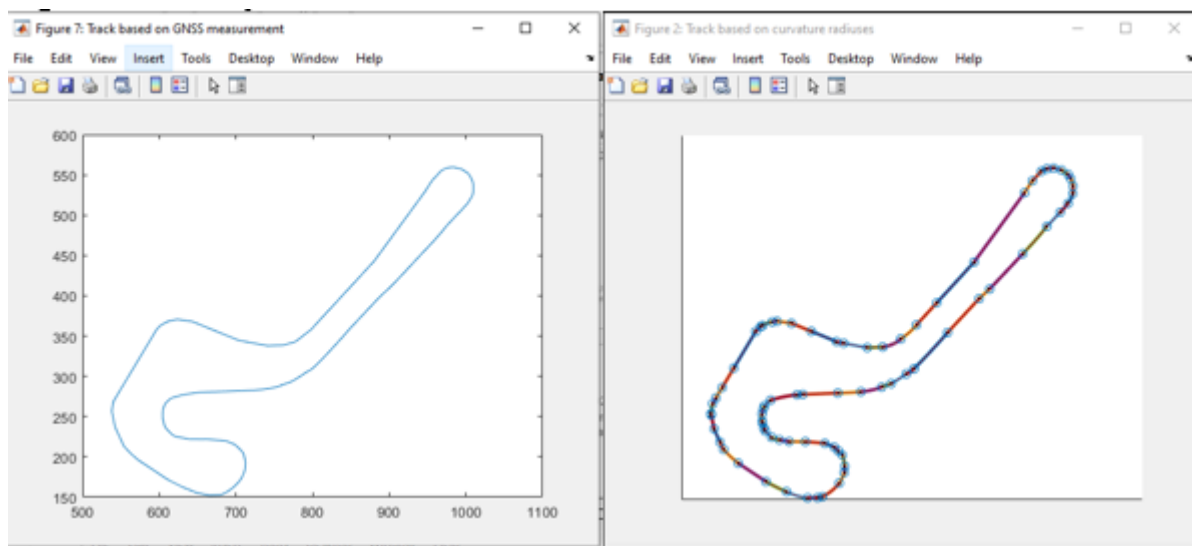
A végeredmény mellett számítódik egy százalékos érték, amely megmutatja, hogy a használt paraméterek mellett a körívekből generált vonalvezetés mennyire egyezik meg az eredeti pályaívvel és ezt az értéket veszi alapul az optimalizáló is.



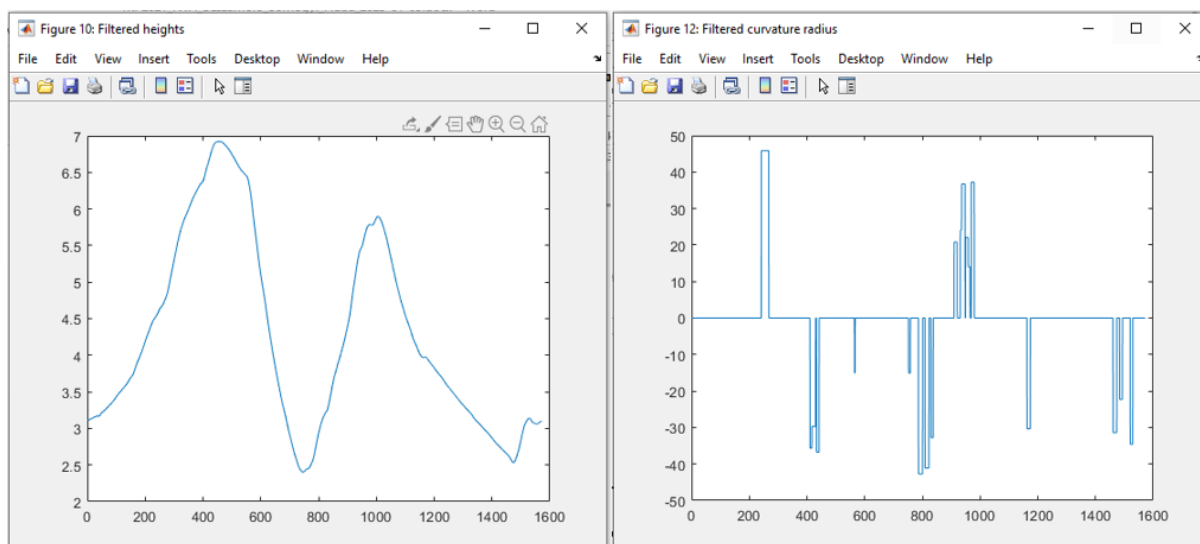
3. ábra: Algoritmus folyamatábrája (saját szerkesztés)

3. Eredmények bemutatása

A program elkészült és képes robosztusan lefutni és a megfelelő paraméterekkel automatikusan előállítani a kívánt végeredményt. Az alábbi MATLAB plot-okról készült képen látható, hogy a kézzel szerkesztett Inventor programból generált pályakoordinátákat is képes feldolgozni és megfelelő eredmény adni.



4. ábra: Jobbról a pálya megadott nyomvonala, balról a szűrt és linearizált nyomvonal körívekből felrajzolva (saját szerkesztés)



5. ábra: Jobbról a pálya magassági adatai, balról a számolt kanyarrádiuszok a pálya vonalvezetésének függvényében (saját szerkesztés)

A program eredményeként kapott ábrák a beolvasott és feldolgozott útvonalak pontos geometriáját és dinamikáját mutatják, biztosítva ezzel a kormányzási stratégia pontos tervezésének lehetőségét. A pálya nyomvonalának, kanyarrádiuszának és magassági adatainak vizualizálása mellett, az algoritmus a kanyarokhoz rendelhető kormánysszögeket is képes kiszámolni és megjeleníteni.

4. Összegzés

A projekt során fejlesztett MATLAB algoritmus sikeresen dolgozza fel a navigációs vevőegységgel felvett, illetve számítógéppel szerkesztett útvonalakat. A felhasznált adatok geodetikus formátumban adhatóak meg, beleértve a magassági koordinátákat, ami lehetővé teszi a jármű kormányzási stratégiájának számítását a felvett útvonal mentén. Összességében a fejlesztett program jelentősen javította a kanyarrádiuszok meghatározásának pontosságát és robosztusságát, lehetővé téve az útvonalak kormányzási stratégiájának pontos meghatározását és így hozzájárulva a versenyjárművek energiahatékonyságának növeléséhez.

5. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NVA-23 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] Melendez-Pastor, C., Ruiz-Gonzalez, R., & Gil, J. (2017). A data fusion system of GNSS data and on-vehicle sensors data for improving car positioning precision in urban environments. *Expert Syst. Appl.*, 80, 28-38. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.03.018>.
- [2.] Li, W., Xu, G., Tong, H., & Xu, Y. (2007). Design of optimal, robust energy management strategy for a parallel HEV. *2007 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, 1894-1899. <https://doi.org/10.1109/ROBIO.2007.4522456>.
- [3.] Toro, F., Lu, D., Manz, H., & Schnieder, E. (2012). Accuracy Evaluation of GNSS for a Precise Vehicle Control. *IFAC Proceedings Volumes*, 45, 78-82. <https://doi.org/10.3182/20120912-3-BG-2031.00015>.
- [4.] Bahadur, B., & Nohutcu, M. (2018). PPPH: a MATLAB-based software for multi-GNSS precise point positioning analysis. *GPS Solutions*, 22, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s10291-018-0777-z>.

- [5.] G. Taubin in article "Estimation Of Planar Curves, Surfaces And Nonplanar Space Curves Defined By Implicit Equations, With Applications To Edge And Range Image Segmentation", IEEE Trans. PAMI, Vol. 13, pages 1115-1138, (1991)
- [6.] Basile, G., Leccese, S., Petrillo, A., Rizzo, R., & Santini, S., 2023. Sustainable DDPG-based Path Tracking For Connected Autonomous Electric Vehicles in extra-urban scenarios. 2023 IEEE IAS Global Conference on Renewable Energy and Hydrogen Technologies (GlobConHT), pp. 1-7.
- [7.] Kim, C., Yi, K., & Park, J., 2023. Hierarchical Motion Planning and Control Algorithm of Autonomous Racing Vehicles for Overtaking Maneuvers. SAE Technical Paper Series. <https://doi.org/10.4271/2023-01-0698>.
- [8.] Pusztai, Z., 2022. Hibrid menetoptimalizálási módszer alkalmazása energiahatékony versenyautónál. In Mobilitás és környezet JÖVŐFORMÁLÓ JÁRMŰIPARI KUTATÁSOK Konferenciakiadvány 2022. novemberi konferencia. pp. 154–160.

Li-ion akkumulátor csomagok tesztelési lehetőségei

Testing possibilities for li-ion battery packs

Szakállas Gábor

Széchenyi István Egyetem - Járműipari Kutatóközpont

szgabor@ga.sze.hu

Absztrakt

A másodlagos lítium-ion akkumulátorokat széles körben használják különféle méretekben, az egycellás, személyes elektronikai eszközöktől kezdve az elektromos járművekben használt nagyobb méretű energiatárolókon át, egészen a nagy rendszerekig a hálózati méretű tárolókban. Az alkalmazások számának növekedésével érthető okokból a lítium akkumulátoros energiatárolók egyre több laboratóriumi vizsgálatot is igényelnek. A cikk egy rövid áttekintést nyújt a lítium akkumulátor csomagok tesztelési lehetőségeivel kapcsolatban a teljesség igénye nélkül, néhány fontosabb területet érintve.

Kulcsszavak: akkumulátor vizsgálat, automatizált tesztrendszer, biztonsági funkciók

Abstract

Secondary lithium-ion batteries are widely used in a variety of sizes, from single-cell consumer electronics to larger energy storage used in electric vehicles to large systems in grid-scale storage. As the number of applications increases, for obvious reasons, lithium battery energy storage devices require more and more laboratory tests. The article provides a brief overview of the testing options for lithium battery packs discussing some important topics.

Keywords: battery test, automated test system, safety functions

1. Bevezetés

Az akkumulátorcsomag tesztelése egy összetett, több lépésből álló folyamat, amely során sok tényezőt kell figyelembe venni. Először is fontos a cellák kémiai összetétele, amely alapvetően meghatározza az akkumulátorcsomag jellemzőit. A tesztrendszer tervezési folyamatban szintén fontos döntés a cellák száma és elrendezése. A lítium-ion akkumulátorok laboratóriumi vizsgálata során a meghibásodási módok széles skáláját tesztelik és vizsgálják, nem elegendő egyetlen használati esetet vagy meghibásodási módot vizsgálni.

Korábbi esetek rámutatnak ezeknek a teszteknek a fontosságára, mivel még egy megfelelően megtervezett és tesztelt rendszerben is lehetnek olyan nem vizsgált körülmények, amelyek katasztrofális meghibásodáshoz vezethetnek.

Az akkumulátorok laboratóriumi tesztelése különösen veszélyes alkalmazást jelent azok rendeltetésszerű használatához képest. Például egy okostelefonban van egy akkumulátor felügyeleti rendszer (BMS), amely szabályozza a töltési folyamatot, így a felhasználónak nem kell folyamatosan felügyelnie az eszközt, adott időpontban csatlakoztatni vagy kihúzni a töltőkábelt. A laboratóriumi tesztelés során azonban előfordulhatnak prototípus akkumulátorok vagy olyan akkumulátorok, amelyek a védelmi áramkör vagy a BMS tekintetében nem teljesek. Tehát nagyon fontos hangsúlyozni, hogy a laboratóriumi és a tesztkörnyezetet nagyon körültekintően kell megtervezni és kialakítani, figyelembe véve minden külső és belső tényezőt az akkumulátorra és a tesztrendszerre (hardver és szoftver) vonatkozóan. [1]

2. Lítium akkumulátor tesztrendszerek

A cellák kialakítását tekintve 3 fő típusról beszélhetünk: hengeres, prizmatikus és tasakos.

Az akkumulátor cella, a modul és a csomag különböző integrációs szinteket jelentenek. Az akkumulátorcella egyetlen kémiai energiatároló eszközt jelent, míg az akkumulátormodul tetszőleges számú cellát tartalmaz csatlakozókkal, elektronikával és további mechanikai csomagolással együtt. Az akkumulátorcsomag pedig tetszőleges számú akkumulátormodult tartalmaz további csatlakozókkal, elektronikával és csomagolással együtt.

A fenti megkülönböztetés azért fontos, mert az akkumulátorcellákat különálló alkatrészekként kezelik, míg az akkumulátormodulokat és a csomagokat szerelvényként, ebből kifolyólag

nagyon eltérő tesztelési célokat alkalmaznak az értékelés során cella szinten, mint a több cellából álló rendszerek esetén.

Az akkumulátortesztelő megoldások az idők során a kézi teszteléstől először az automatizált, majd ezt követően az úgynevezett következő generációs akkumulátorteszt-rendszerekké fejlődtek. A tesztelő és mérőrendszerek egyre magasabb szintű automatizáltsági szinttel rendelkeznek, hogy csökkentsék a felhasználók időráfordítását és felgyorsítsák a tesztfolyamatokat. A szoftverek egyre kritikusabbak az adatok zökkenőmentes kezeléséhez és a piaci követelményekhez való igazodáshoz.

A manuális tesztelés egy olcsó, régóta alkalmazott módszer, amit a mai napig használnak. Az akkumulátor kézi tesztelése két független tesztelési folyamatot foglal magában. A töltéshez az akkumulátort egyenáramú forráshoz kell csatlakoztatni, kisütés esetén pedig egy fizikai ellenálláshoz. Ezenkívül számos külső berendezésre, például digitális multiméterre, relékre és jelátalakítókra van szükség a mérésekhez, valamint más mérési összeállítást kell készíteni a töltéshez és a kisütéshez. A felhasználónak a műszereket manuálisan kell beállítani, vezérelni (indítani és leállítani), függetlenül kell kezelni és manuálisan is kell rögzíteni az adatokat.

Eggyel magasabb szinten a mérnökök gyakran alkalmazzák azt a megközelítést, amikor egy tápegységet és elektronikus műterhelést alkalmaznak akkumulátorok tesztelésére. Ezek az általános célú tesztberendezések a legtöbb teljesítményelektronikai laboratóriumban megtalálhatók, így érthető is a dolog. Ez a módszer lehetőséget biztosít a tesztelés automatizálására is programozható tápegységek és műterhelések alkalmazása esetén. Ezeket a műszereket azonban továbbra is külön kell vezérelni, és külső berendezések is szükségesek a mért adatok gyűjtéséhez.

A legfejlettebb megoldások, az automatizált akkumulátor tesztrendszerek már egyetlen termékbe integrálják az elektronikus tápegységet és műterhelést, valamint fejlett automatizálási lehetőségeket tartalmaznak és továbbfejlesztett mérési képességgel bírnak. Ezek a tesztrendszerek az egyedi tervezésűtől a kereskedelmi forgalomban kaphatókig terjednek (ilyenek például a kétirányú tápegységek). A rendszer viszont továbbra sem skálázható, ami a felhasználási lehetőségeket korlátozza.

A modern akkumulátor tesztrendszerek folyamatosan fejlődnek, új lehetőségeket kínálva a változó technológiai kihívásoknak. A mai kornak való megfelelés érdekében az

akkumulátortesztelő rendszereknek a következőkre van szükségük: szélesebb működési tartományra (különösen feszültség és teljesítmény tekintetében), moduláris konfigurációra skálázható és bővíthető teljesítménnyel, többretegű integrált biztonsági szolgáltatásokkal, gyors tranziens válaszidőkkel, beépített mérésekkel és a külső eszközök egyszerű integrációjának lehetőségével. [1, 2]

3. Meghibásodási lehetőségek

A tesztelési folyamat során különféle meghibásodási lehetőségekkel találkozhatunk, amelyek közül a leggyakrabban előfordulók a cellát érintő hibák, mint például a belső meghibásodás, túlfeszültség, mélykisütés, túlmelegedés, alacsony hőmérséklet, túláram. Akkumulátorcsomag esetén rövidzárlatról, a tápegységet tekintve a tápellátás kieséséről vagy kommunikációs hibáról beszélhetünk. A BMS esetén szintén lehet kommunikációs hiba, megszűnhet a tápellátás vagy nyitva maradhat az áramkör. PC oldalról pedig előfordulhat szoftverhiba vagy mondjuk PC leállás update vagy tápellátás kiesése esetén.

Ezek a hibák külső vagy belső okokból eredhetnek, a rendszert tehát úgy kell felkészíteni, hogy ezeket az esetlegesen előforduló hibás működéseket képes legyen kezelni és a megfelelő beavatkozással a rendszert biztonságosan le tudja állítani az akkumulátor károsodása, vagy súlyosabb esetben kigyulladás nélkül. Legvégső esetben pedig az elszívó és oltó berendezéseket is képes legyen a rendszertől függetlenül külsőleg aktiválni.

4. Meghibásodások elkerülésének lehetőségei

Az akkumulátor meghibásodását általában a megengedett paraméterek túllépése vagy az akkumulátor cella belső hibája okozza. Az üzemeltetés biztonságát növelő lehetőségek célja, hogy megakadályozzák ezen határok túllépését, korlátozzák az akkumulátorba be- és kifolyó áram értékét, vagy végső esetben meghibásodás esetén a károkat enyhítsék. A következő lehetőségek, eszközök állnak rendelkezésre ezeknek a hibáknak a csökkentésére, vagy kivédésére a teljesség igénye nélkül.

- **Biztosító:** A hőbiztosító a túláram megelőzését szolgálja, amely túlmelegedést okozhat a cellában és az elektromos csatlakozásokban. Ennek oka lehet egy helytelenül paraméterezett teszt, amikor a tápegység az akkumulátor meghatározott áramkorlátját meghaladó sebességgel tölti vagy kisüti azt, vagy egy rövidzárlati állapot, amely valahol a tápegység elektromos meghibásodásából eredhet. A biztosítékot úgy kell méretezni, hogy a biztosíték a névleges áramerősség felett oldjon ki – a megfelelő érték tipikusan az akkumulátor folyamatos névleges áramának kétszerese a hőfáradás elkerülése érdekében.
- **BMS (akkumulátor felügyeleti rendszer):** Általában, ha az akkumulátorhoz BMS-t biztosítanak, akkor azt kell használni. A BMS-nek figyelnie kell az összes cella feszültségét, hőmérsékletét, a be- és kifolyó áramot, és felügyelnie kell a cellák kiegyenlítését.
- **Kontaktor:** A BMS-nek mágneskapcsolót kell vezérelnie, amely leválasztja az akkumulátort a tápellátásról, ha hibát észlel. Ezeket használják az elektromos járművekben is az „akkumulátor kikapcsolásának” eszközeként, bár fontos megjegyezni, hogy maga az akkumulátor mindig feszültség alatt marad, még akkor is, ha a kimeneti kapcsok nem. A kontaktor megszakító áramát úgy kell méretezni, hogy meghaladja a maximális töltő/kisütési áramot.
- **Külső védelmi rendszer:** A balesetek kockázatának csökkentése érdekében célszerű egy BMS-től független rendszert is alkalmazni, amely képes egy kontaktort a kimeneti kapcsokkal sorosan kötve vezérelni. Ez különösen fontos olyan cellák tesztelésekor, amelyek nem rendelkeznek felügyeleti elektronikával. Ideális esetben egy védelmi rendszer határérték túllépés után nyitja az áramkört, és azt csak egy manuális kapcsolóval lehet utána visszakapcsolni.
- **Rendszertervezés:** A biztonsági alkatrészekon kívül minden rendszer komponensnek figyelembe kell venni az akkumulátor határértékeit. Ez azt jelenti, hogy a tápegységen be kell állítani az akkumulátorra vonatkozó alsó és felső limiteket. A BMS-nek szintén minden határértéket (feszültség, hőmérséklet és áram) be kell állítani a gyártó specifikációi szerint, és a PC-nek olyan tesztekkel kell futtatnia, amelyeket úgy terveztek, hogy ne lépje túl a határértékeket. Ahol lehetséges, minden alkatrésznek hibabiztosnak

kell lennie; áramkimaradás vagy egy alkatrész meghibásodása esetén pedig az áramkört meg kell tudni szakítani (pl. egy kontaktor nyitásán keresztül).

- **Burkolat és tűzoltás:** Az akkumulátor burkolatát úgy kell megtervezni, hogy az minden meghibásodás esetén megfelelő védelmet nyújtson. Léteznek kifejezetten erre a célra tervezett speciális tűzálló szekrények, amelyek akár automatizáltan is képesek beavatkozni meghibásodás esetén. A tűzoltó anyag olyan szert tartalmaz, amely molekuláris szinten gátolja az égés során létrejövő kémiai láncreakciókat. Speciális, kézi működtetésű lítium akkumulátoros tűzoltó készülékek is rendelkezésre állnak, amelyeket a lángok eloltására és az akkumulátor gyors lehűtésére kell használni. A képen egy kifejezetten akkumulátortesztelésre alkalmas környezetszimulációs kamra látható.
- **Szigetelt szerszámok:** Ha fizikailag feszültség alatt álló akkumulátorokon dolgozunk, olyan eszközöket kell használni, amelyek nem vezetőképesek, hogy elkerüljük a rövidzárlatot. Ezenkívül szigetelt kesztyűt kell viselni az áramütés elkerülése érdekében, és be kell tartani a nagyfeszültségen történő munkavégzés előírásait.

További biztonságot növelő funkciók közé tartoznak a tesztberendezésbe épített biztonsági kontaktorok, a fordított polaritás-ellenőrző és az előtöltő áramkör, amelyek elengedhetetlenek az akkumulátorok biztonságos és hatékony teszteléséhez. Ha ezek közül bármelyik kimarad a rendszerből, azzal a tesztfolyamat sérülékennyé válik. A kétirányú tápegységek nem tartalmazzák ezeket a funkciókat, és ezek hiánya katasztrofális eseményekhez vezethet.

- **Biztonsági kontaktor:** Amikor az akkumulátortesztelő berendezés ki van kapcsolva, egy biztonsági kontaktor biztosítja a fizikai szigetelést, hogy ne folyhasson áram a berendezés felől az akkumulátor felé. A legtöbb esetben, ha a hardver még mindig fizikailag csatlakozik az akkumulátorhoz, akkor előfordulhat, hogy a kivezetésein keresztül a belső ellenállása miatt a tesztberendezés továbbra is áramot vesz fel és kimeríti az akkumulátort, vagy egyéb biztonsági kockázatokat okoz.
- **Polaritás ellenőrző:** A fordított polaritás-ellenőrző megakadályozza a véletlen károsodást azáltal, hogy letiltja a kimeneteket, ha negatív feszültséget észlel a kimeneti kapcsolokon (pl. a felhasználó helytelenül csatlakoztatja az akkumulátort).

- Előtöltő áramkör: Az előtöltő áramkör megakadályozza azt, hogy bekapcsoláskor jelentős áram vagy feszültség túllövés keletkezzen, amelyek egyaránt veszélyesek a tesztelő berendezésre és az akkumulátorra nézve. Ezek a folyamatok a vizsgálóberendezés kimeneti kapacitásai miatt következhetnek be, amikor csatlakoztatáskor azok nem azonos feszültség szinten vannak. Az előtöltő áramkör hozzáigazítja a berendezés belső feszültségét az akkumulátorhoz, így megakadályozza az ívkisülés kialakulását és a nagy áramokat a rendszerben. [2-4]

5. Akkumulátor emulálás

Létezik egy másik lehetőség is, amely a fizikai akkumulátorokat teljes mértékben képes mellőzni olyan esetekben, amikor nem magának az akkumulátornak a paramétereit vizsgáljuk, hanem az, mint energiaforrás vesz részt a rendszerben.

Bár az akkumulátorok általában biztonságosak, ha normál működési tartományon belül működnek, nagy energiájú eszközök, amelyek komoly kockázatot jelenthetnek az akkumulátor vagy a tesztelés alatt álló egység meghibásodása esetén. Ilyen kockázatok közé tartozik a veszélyes gázoknak való kitettség, tüzek, robbanások vagy korrozív vegyszerek.

Számos előnnyel jár az akkumulátorok tesztelése az akkumulátor jellemzőinek emulálásával vagy szimulálásával, valódi akkumulátor használata helyett. Az emulált akkumulátor nagymértékben lerövidíti a tesztelési időt, megismételhető teszteredményekkel szolgál, és biztonságosabb tesztkörnyezetet teremt. Ezenkívül kiküszöbölhető az előkészítési idő, a kezelői hibák és az akkumulátor hőmérséklete vagy elöregedése miatti eltérések a mérési eredményekben. A piacon számos eszközt lehet vásárolni, amelyek ezt a funkciót is képesek biztosítani.

6. Összegzés

Összefoglalva tehát különféle lehetőségek állnak rendelkezésre a mérnökök számára az akkumulátorok tesztelésére és mindig az aktuális feladatnak megfelelő megoldást célszerű használni, amely képes a tesztelési folyamatot végig ellenőrzött, biztonságos körülmények

között végezni, illetve rendelkezik a szükséges kárenyhítő berendezésekkel, ha mégis hiba történne.

Viszonylag egyszerű lépésekkel elkerülhető, hogy az akkumulátor, legyen az egyetlen cella, modul vagy csomag, meghibásodjon vagy elérje valamelyik paramétere a kritikus működési tartományt. A maximális megbízhatóság érdekében az akkumulátorrendszer minden alkatrészének meg kell felelnie a biztonságos üzemeltetés paramétereinek, határértékeinek, ahol lehetséges. A magasabb biztonság költséggel jár, ami a rendszer specifikációjától és különösen a maximális üzemi áramerősségtől függően széles tartományban változhat.

Ha a követelmények megengedik, alkalmazhatunk szimulált energiatárolót is, amely a specifikációjának megfelelően képes egy valós akkumulátor rendszert szimulálni a mérések során, aminek a korábban felsoroltak szerint rengeteg előnye van.

7. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NVA-23 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] Matthieu D.; George B., Perspective on Commercial Li-ion Battery Testing, Best Practices for Simple and Effective Protocols. Electronics 2020, Volume 9, no. 152.
- [2.] Yuqing C.; Yuqiong K.; Yun Z.; Li W.; Jilei L.; Yanxi L.; Zheng L.; Xiangming H.; Xing L.; Naser T.; Baohua L., A review of lithium-ion battery safety concerns: The issues, strategies, and testing standards, Journal of Energy Chemistry 2021, Volume 59, no. 83-89.
- [3.] Andrzej Ł., Electric Vehicle Battery Tester, PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY 2017, 161-165.
- [4.] Polasek M.; Danko M., Testing of batteries used in electric cars, Elektro 2022.

Galvanikusan nem izolált nagyteljesítményű akkumulátor leválasztó rendszer fejlesztése 48V-os elektromos járművek részére

Development of a non-galvanically isolated high-performance battery isolation system for 48V electric vehicles

Szeli Zoltán

Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

szeliz@ga.sze.hu

Absztrakt

Az alacsony feszültségről működő, nagy teljesítményű akkumulátorokkal ellátott közúti járművek, kerékpárok, rollerek, mopedek akkumulátor leválasztása galvanikusan nem izolált berendezésekkel történik a helytakarékosság és a mechanikus alkatrészek meghibásodásának elkerülése érdekében. A terhelés leválasztás során keletkező feszültség csúcsok elleni védekezés mellett a berendezésnek rendelkeznie kell egyéb biztonsági funkciókkal, mint például túláram, hőmérséklet és alacsony feszültség elleni védelem. A cikk egy 48V-os feszültségről üzemelő nagy teljesítményű akkumulátor leválasztó rendszer fejlesztését mutatja be.

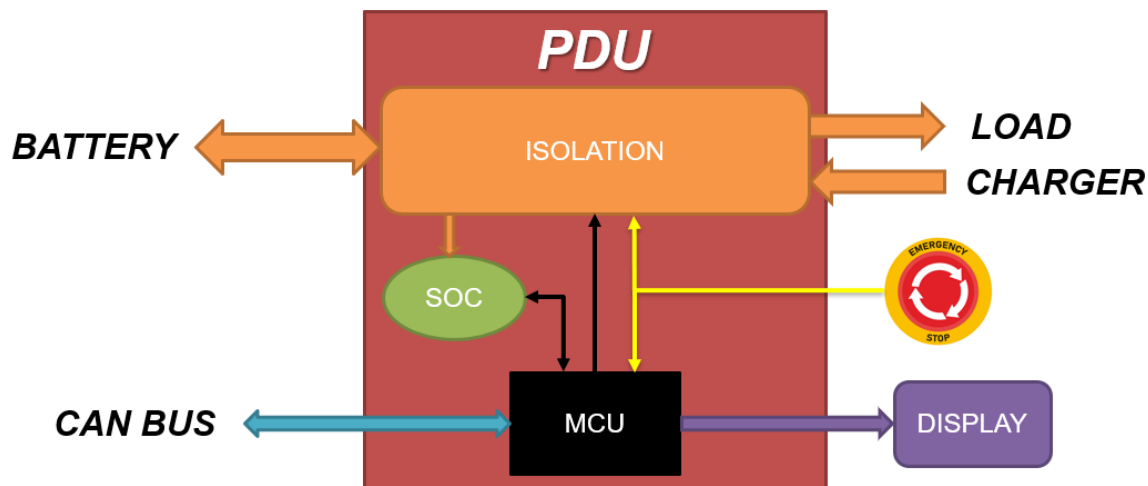
Kulcsszavak: *Lítium akkumulátor, akkumulátor felügyelet, energia menedzsment, MOSFET meghajtó*

Abstract

Road vehicles, bicycles, scooters, and mopeds powered by low-voltage, high-performance batteries are equipped with galvanically non-isolated devices for battery disconnection to save space and prevent mechanical component failures. In addition to protection against voltage spikes during load disconnection, the device must have other safety features, such as overcurrent, temperature, and low-voltage protection. This article presents the development of a high-performance battery disconnect system operating at 48V.

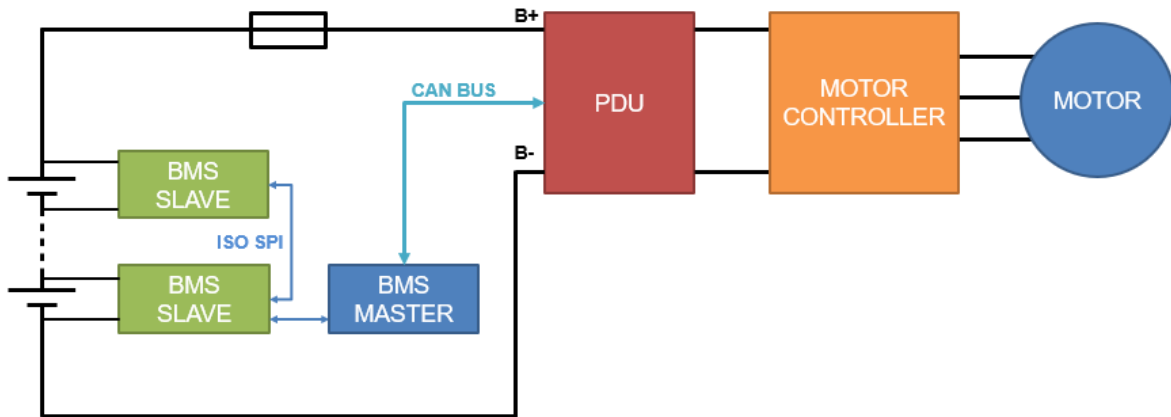
Keywords: *lithium battery, battery management, energy management, MOSFET driver*

1. Rendszer koncepció



1. ábra: Rendszer koncepció [1]

A tervezett rendszer az akkumulátor felügyeleti rendszerrel együttműködve képes meghatározni az energiatároló egység állapotát, a rendszer aktuális üzemállapotait és elsődleges védelemként szolgál a jármű biztonságos üzemeltetéséhez. A Power Distribution Unit (PDU), egy olyan energiaeosztó egység, amely képes leválasztani az energiatároló egységet a töltő vagy kisütő (motorvezérlő) elektronikától, hogy az akkumulátor a gyártó által meghatározott üzemi tartományon belül működjön. Ez egy intelligens vezérlőegység, amely ki van egészítve akkumulátor élettartam, illetve töltöttség becslő elektronikával, amely egy speciális modell alapú és coulomb számláló algoritmus ötvözetéből áll. A PDU képes kezelni mechanikus vészstop kapcsolókat, melyek redundás kivitelben logika segítségével azonnali leválasztást biztosítanak az akkumulátorról, valamint OLED kijelzőt a felhasználó tájékoztatása céljából. A kommunikációs kapcsolat CAN BUS kommunikáció segítségével történik a jármű többi alkomponensével. [1]

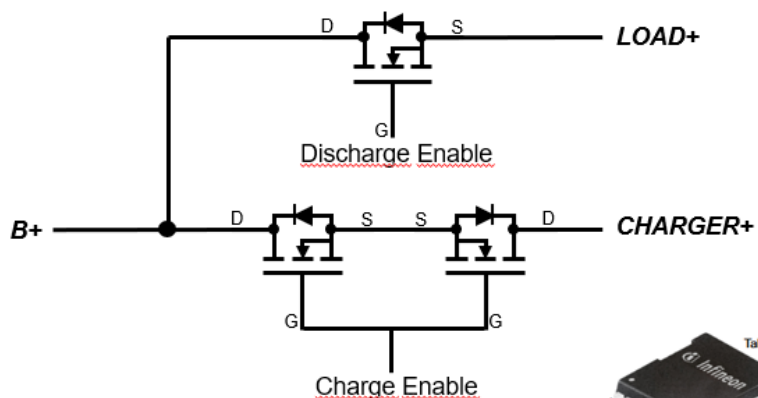
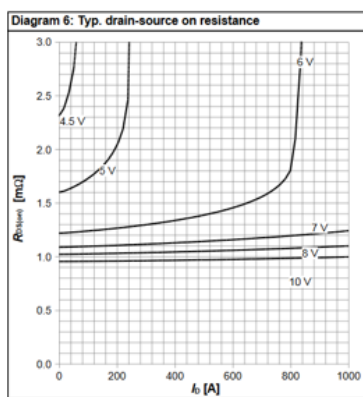


2. ábra: PDU elhelyezkedése a villamos rendszerben [1]

2. Energiatároló leválasztás

Az energiatároló leválasztása félvezetők segítségével történik (3. ábra). Ez nem biztosít galvanikus leválasztást, de az alacsony feszültségű rendszer ezt nem is követeli meg. Előnye az elektromechanikus kontaktorokhoz (4. ábra) képest a hosszú élettartam, a mechanikus alkatrészek hibáinak kiküszöbölése, a kisebb méret, valamint biztosítható a lágy bekapcsolás, amely nagy kapacitív terhelés esetén elengedhetetlen. [8]

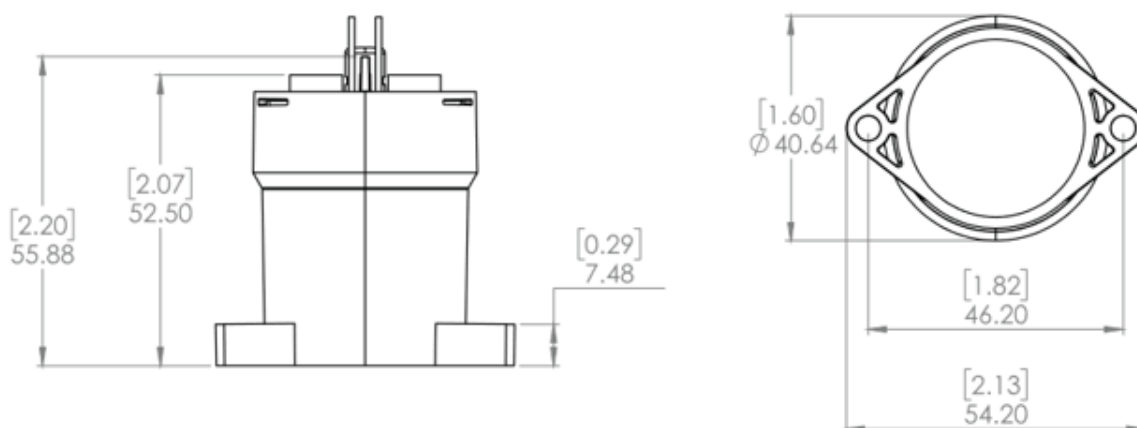
• INFINEON IPT010N08NM5



$$P_d = R_{DS(on)} * I^2 \approx 0,001\Omega * 50A^2 \approx 2,5W$$

3. ábra: Töltés és kisütés leválasztása [2]

Contact Arrangement	Main Contacts SPST-NO (Form X)
Mechanical Life	1 million cycles
Contact Resistance	0.5mΩ (max) @ 100A
Shock, 11ms 1/2 sine (operating)	20G peak
Sine Vibration, 55-2,000 Hz.	20G peak
Weight	6.7 oz (190g)
Voltage Rating: Main Contacts (max)	900VDC
Current Rating: Main Contacts	Continuous (8.4 mm² / 8 AWG)¹ 100A
	Continuous (21 mm² / 4 AWG)¹ 150A
	Short Term -- 3 Minutes² 200A

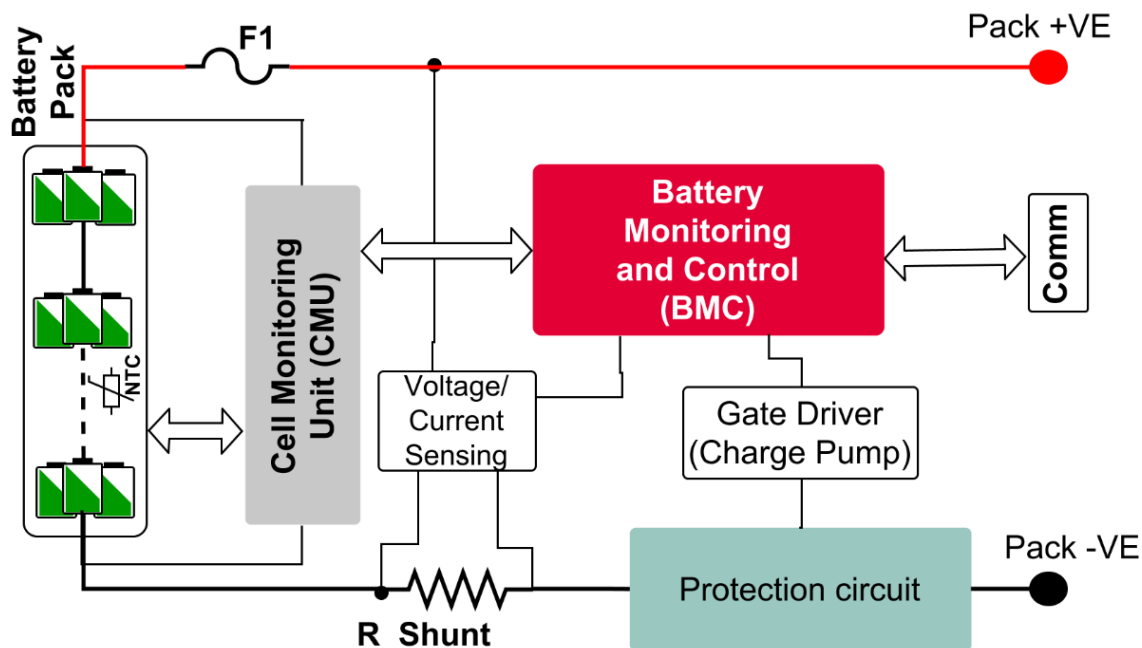


4. ábra: Elektromechanikus kontaktor [3]

3. Galvanikusan nem izolált akkumulátor leválasztási technikák

3.1. Alsó oldali leválasztás

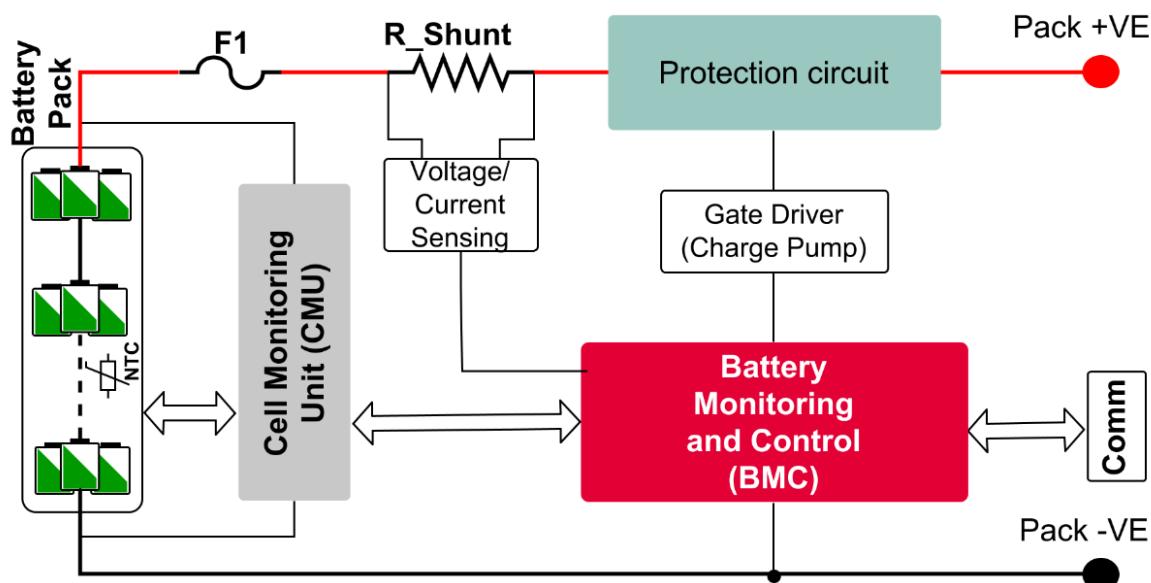
Az alsó oldali leválasztás esetén a leválasztást biztosító teljesítmény félvezető az akkumulátor negatív potenciálját választja le a rendszer egyéb komponenseiről (5. ábra). Ez a technika egyszerű vezérlést tesz lehetővé a kapcsolóelem működtetéséhez. Mivel a kapcsoló elem a legtöbb esetben MOSFET, így annak vezérlése a Gate-Source kivezetések közé kapcsolt feszültséggel történik. Mivel a Source kivezetés az akkumulátor negatív kivezetéséhez csatlakozik, így a vezérlő jelet ezen potenciálhoz képest kell kiadni. A kapcsolat hátránya, hogy a leválasztást követően lebegő 0V potenciál alakul ki a leválasztást működtető és a rendszer egyéb komponensei között, valamint testzárlat esetén további védelem beépítése válhat szükségessé.



5. ábra: Alsó oldali akkumulátor leválasztás [5]

3.2. Felső oldali leválasztás

A felső oldali leválasztás esetén a leválasztást biztosító teljesítmény félvezető az akkumulátor pozitív potenciálját választja le a rendszer egyéb komponenseiről (6. ábra). Felső oldali leválasztás alkalmazásakor a vezérlő jelet az akkumulátor pozitív kapcsának feszültségéhez képest kell kiadni. Ez azt jelenti, hogy a MOSFET meghajtásához segédáramkör kialakítása szükséges, amely leggyakrabban úgynevezett charge-pump áramkör. Ez az áramkör biztosítja az akkumulátor tápfeszültségéhez képest magasabb vezérlő feszültség előállítását. A leválasztó áramkör az akkumulátor leválasztása után is potenciál különbség nélkül csatlakozik a rendszer egyéb komponenseihez, valamint testzárlat esetén is védve marad az akkumulátor. [9, 10]

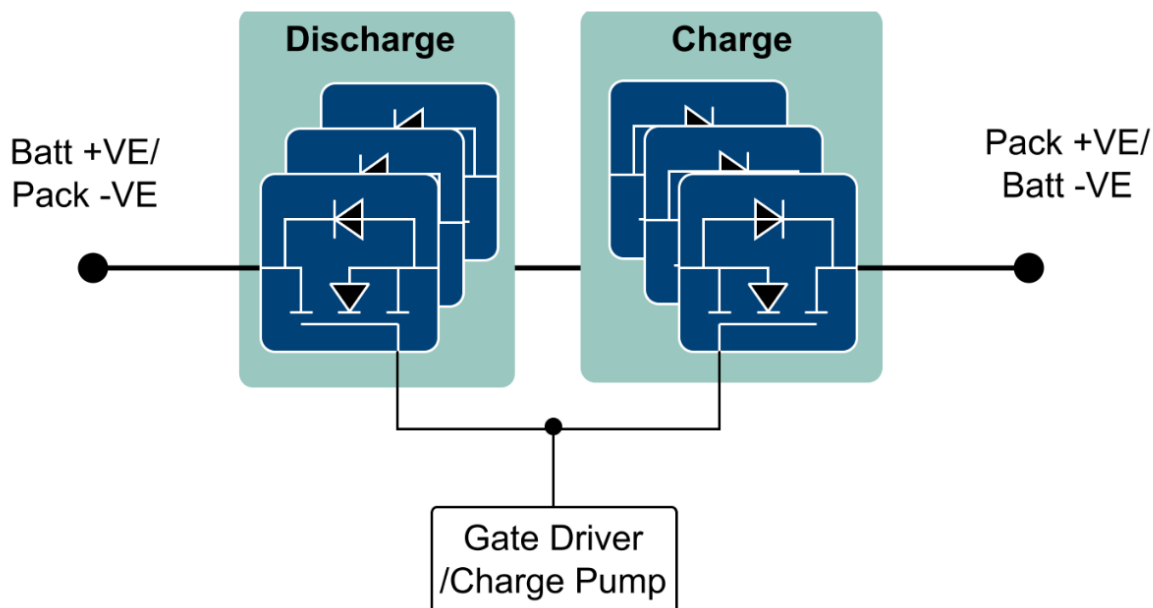


6. ábra: Felső oldali akkumulátor leválasztás [5]

3.3 Source to source elrendezés

Mind alsó, mind felső oldali leválasztás esetén egymással szembe fordított MOSFET elrendezést használunk. Ezt a konfigurációt back-to-back elrendezésnek is nevezzük. Erre azért van szükség, mert a MOSFET tokozásának kialakításából adódóan a Source és Drain kivezetések közötti PN átmenet egy diódát formál.

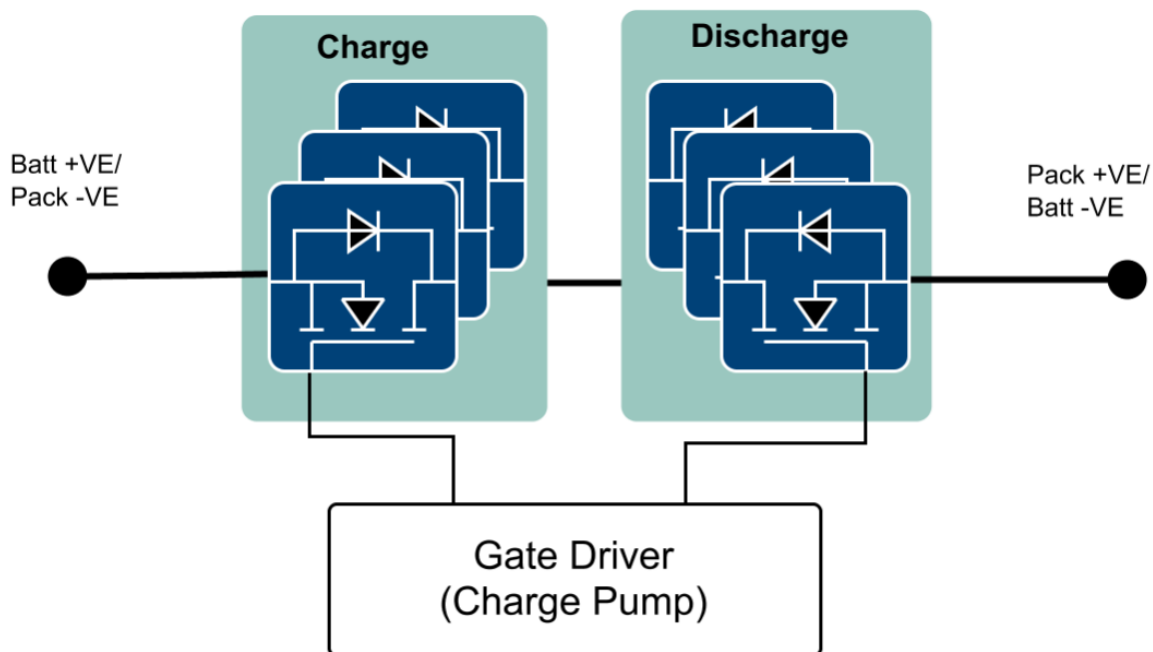
A közös Source konfigurációban a MOSFET-ek sorba vannak kötve a Source kivezetéseiknél közösítve és a Drain kivezetésekhez kapcsolódik a védelmi áramkör be- és kimenete (7. ábra). A kapcsolás előnyei közé tartozik a gyorsabb kapcsolás, az alacsonyabb költség, felső oldali kialakítás esetén a közös charge pump és Gate meghajtó használata és a kisebb komplexitás. Hátrányok között meg kell említeni a hűtési felület elhelyezkedését, amely általában a Drain kivezetésekhez csatlakozik, így a disszipált hő a ki és bemeneti csatlakozásokhoz csatlakozik, amely befolyásolja a vezérlő és a mérő áramkörök hatásfokát, pontosságát. Hiba esetén a közös meghajtó miatt a meghibásodás szimultán jelentkezik mindkét MOSFET-en [5].



7. ábra: Source to Source kialakítás [5]

3.4. Drain to Drain elrendezés

A közös Drain konfigurációban a MOSFET-ek sorba vannak kötve a Drain kivezetéseiknél közösítve és a Source kivezetésekhez kapcsolódik a védelmi áramkör be- és kimenete (8. ábra). A kapcsolás előnyei közé tartozik a független MOSFET vezérlés, a biztonságos kommutációs technika könnyű implementálhatósága és a magasabb biztonsági szabványok teljesíthetősége. Hátránya a kapcsolásnak a komplex kialakítás, valamint a többlet költségek a különálló charge pump és Gate meghajtó áramkörök miatt [5].

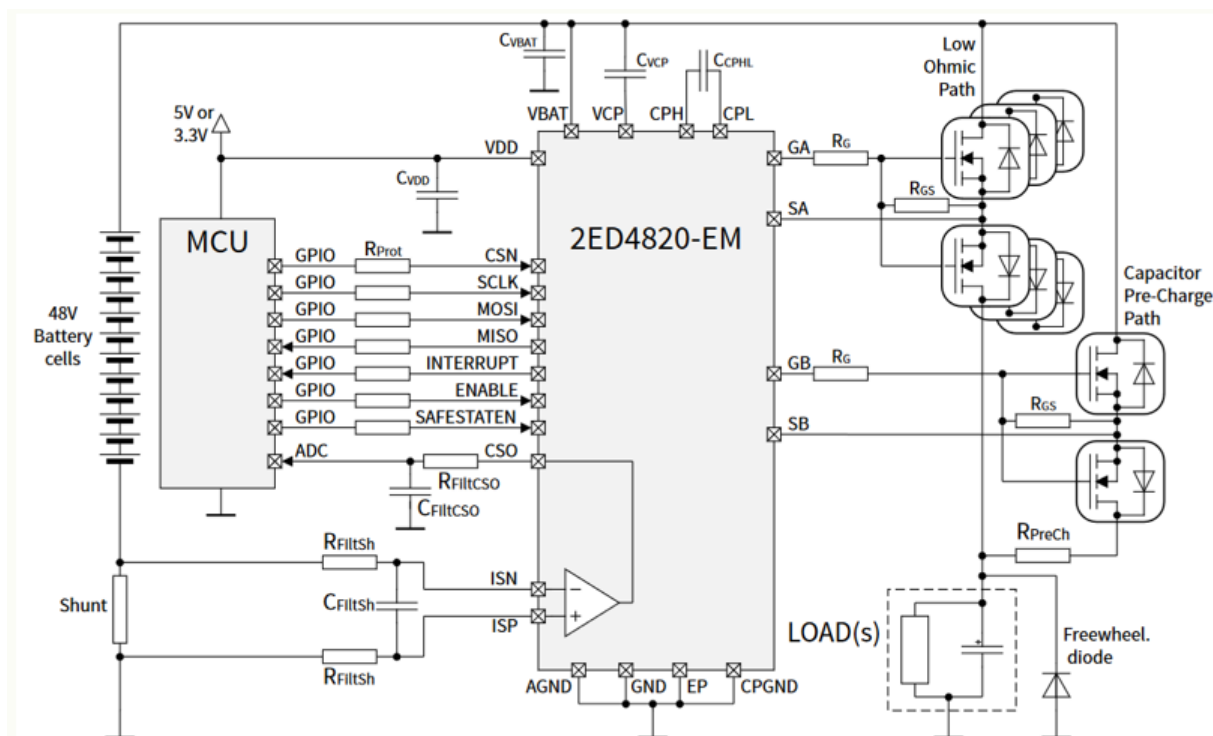


8. ábra: Drain to Drain kialakítás (saját szerkesztés)

4. Rendszer tervezés

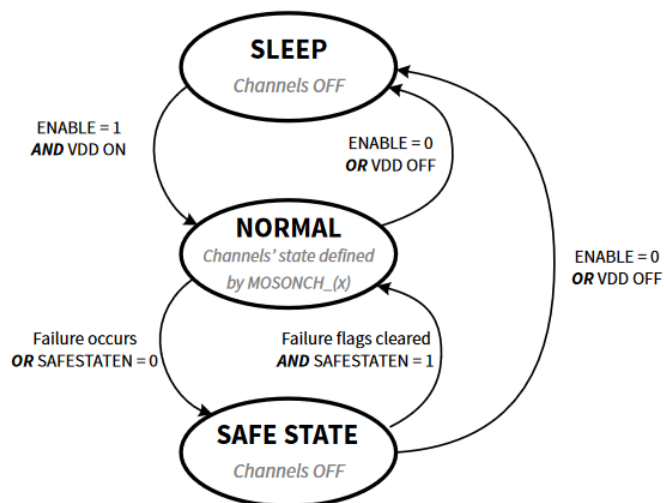
A koncepció kialakítása után elkészítettük a követelmény specifikációt, amelyek a következők voltak:

- Maximális feszültség: 40 VDC
- Maximális folyamatos áram: 100A
- Közös töltési és terhelési útvonal
- Kondenzátor előtöltési lehetőség
- Szabadonfutó dióda kialakítás
- SOC becselő integrálás
- Sönt alapú árammérés és túláram védelem
- Rövidzár elleni védelem
- Alacsony nyugalmi áram
- Source to Source elrendezés



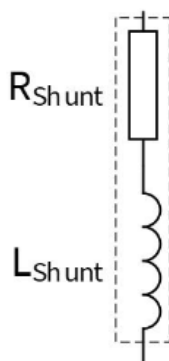
9. ábra: Rendszer kialakítás [6]

Az akkumulátor leválasztó rendszer koncepcionális kialakítását a 9. ábrán láthatjuk. A MOSFET-ek vezérlését egy, az Infineon által gyártott integrált áramkör végzi, amely kifejezetten ilyen típusú alkalmazásokhoz lett kifejlesztve. Számos védelmi és diagnosztikai funkcióval van kiegészítve, többek között rövidzár ellenei védelem, túláram védelem, nyitott áramkör detekció, feszültség és áram mérések. Az áramkör működésének állapotgépét a 10. ábrán láthatjuk.



10. ábra: 2ED4820 állapotgépének működése [6]

Az akkumulátor töltési és kisütési áramának mérése sönt ellenálláson keresztül történik. A ellenállások disszipációjának csökkentése érdekében alacsony ohmikus értékű ellenállásokat használunk, ahol a parazita induktivitások hatása már nem elhanyagolható. A sönt ellenállás helyettesítő képe a 11. ábrán látható.



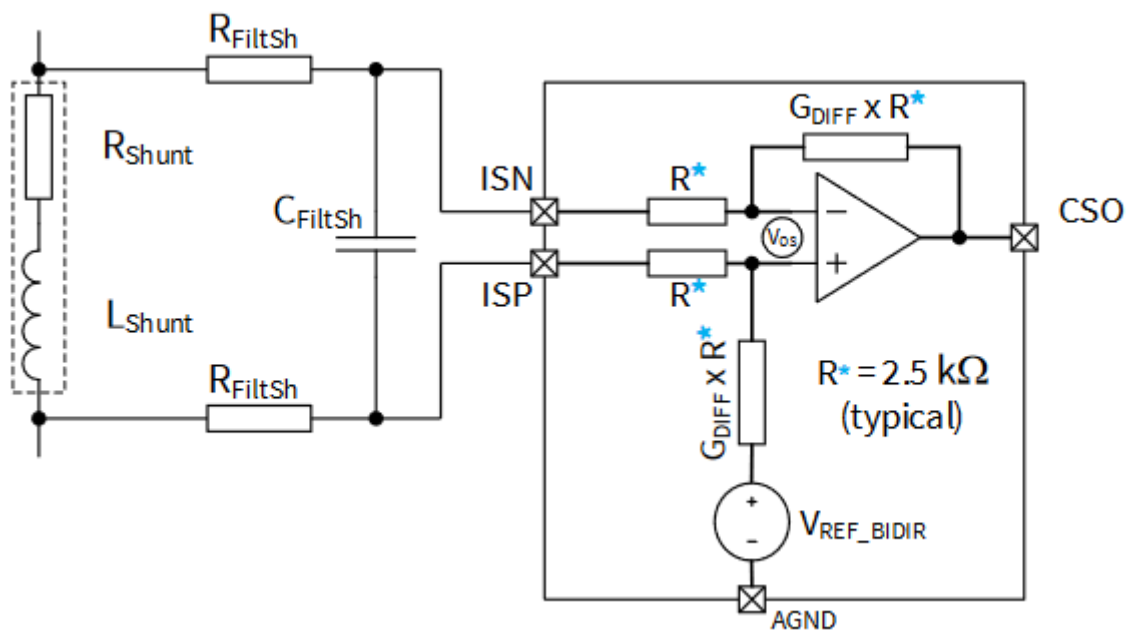
11. ábra: Sönt ellenállás helyettesítő képe (saját szerkesztés)

Amennyiben egy 48V-os rendszerben rövidzár történik és a betápláló kábelek hossza miatti induktivitást $2\mu\text{H}$ -nek állapítjuk meg, úgy az áram meredeksége a következő egyenlet alapján számítható:

$$\frac{dI}{dt} = \frac{U}{L_{\text{vezeték}}} = \frac{48V}{2\mu\text{H}} = 24A/\mu\text{s}$$

Egy $100\mu\Omega$ ellenállású söntön, amely 1nH parazita induktivitással rendelkezik, 240A hibát jelent.

A sönt parazita induktivitása által okozott hiba megszüntetésére a sönttel párhuzamosan egy szűrőt adunk hozzá, amelynek felépítése a 12. ábrán látható.



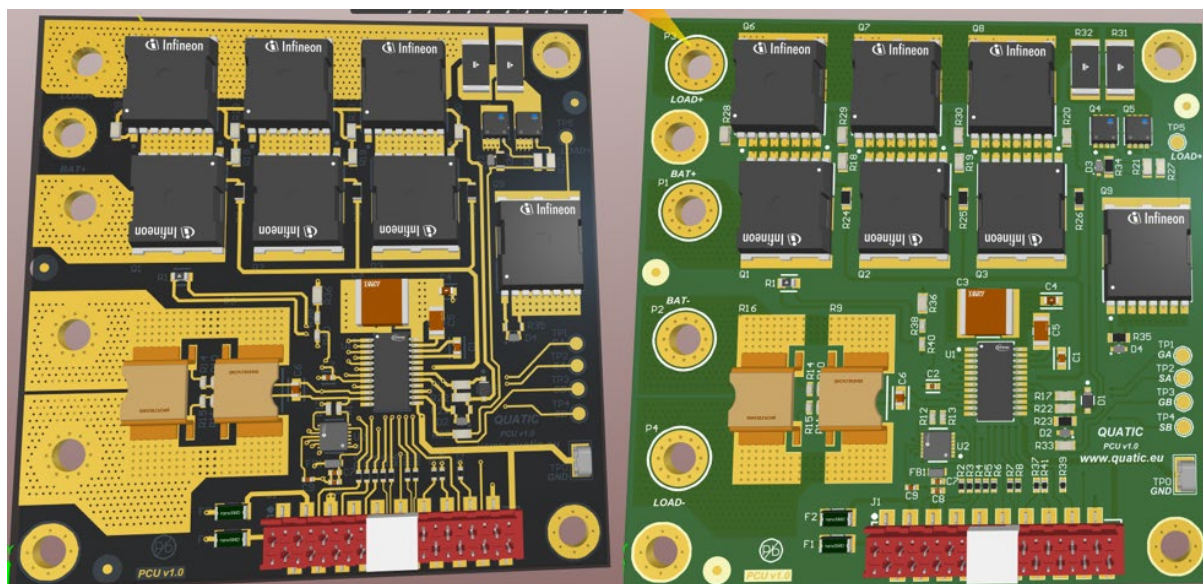
12. ábra: Árammérő sönttel párhuzamos szűrő kialakítása [7]

A szűrő akkor optimális, ha a $(2 \times R_{\text{FiltSh}}) \times C_{\text{FiltSh}}$ időállandó megegyezik az $L_{\text{Shunt}}/R_{\text{Shunt}}$ időállandóval. [7]

5. Összegzés

A számítások elvégzése után elkészítettük a rendszer kapcsolási rajzait és huzalozási terveit, valamint a gyártási dokumentumokat. Az elkészült áramkörön jelenleg funkcionális, majd terheléses tesztek végzünk. A terheléses tesztek során vizsgáljuk a szenzorok pontosságát, a diagnosztikai funkciók működését, valamint túláram és rövidzár állapotokat szimulálunk.

Az elkészült áramkör modelljét a 13. ábra mutatja.



13. ábra: A rendszer áramköri modellje (saját szerkesztés)

6. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NVA-23 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] Szeli Zoltán: Alacsony feszültségű, villamos hajtású jármű energiaszóró rendszerének tervezése, Autonóm járművek - Jövőformáló járműipari kutatások konferencia, 2021
- [2.] Infineon IPT010N08 MOSFET adatlap: https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-IPT010N08NM5-DataSheet-v02_00-EN.pdf?fileId=5546d462766cbe860176761d659d581e
- [3.] Tyco Gigavac adatlap: https://www.gigavac.com/sites/default/files/catalog/spec_sheet/mxsa.pdf
- [4.] Analog Devices LTC7001 IC adatlap: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ltc7001.pdf>

- [5.] Infineon Battery Protection unit (BPU):
<https://www.infineon.com/cms/en/applications/solutions/battery-management-system/industrial-and-consumer-bms/battery-protection/#!/boards>
- [6.] Infineon EiceDRIVER™ APD 2ED4820-EM adatlap:
https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-2ED4820-EM-DataSheet-v01_10-EN.pdf?fileId=8ac78c8c7c72fb9a017c7f5a77c8145e
- [7.] Infineon Getting started with EiceDRIVER APD 2ED4820-EM application note:
https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-Getting_started_with_EiceDRIVER_APD_2ED4820-EM-ApplicationNotes-v01_01-EN.pdf?fileId=8ac78c8c7ddc01d7017e23ec7e081846&da=t
- [8.] Sushrut R. Deshmukh; Krishnan Balaji N. S.; Shridhar Saharabhudhe; Swapnil Khubalkar; Arun P. Parameswaran: Designing of Control Strategy for High Voltage Battery Isolation in an Electric Vehicles, IEEE 5th International Conference for Convergence in Technology (I2CT) 2019, DOI: 10.1109/I2CT45611.2019.9033891
- [9.] Laszlo Balogh: Fundamentals of MOSFET and IGBT Gate Driver Circuits, Texas Instruments Application Report, SLUA618A – March 2017 – Revised October 2018
- [10.] Peter B. Green, Liz Zheng: Gate drive for power MOSFETs in switching applications, AN_2203_PL18_2204_004502, Infineon Technologies, 2022

Alkalmazott MI megoldások az autóiipari gyártási folyamatokban: Szisztematikus szakirodalmi áttekintés

Szilassi Ábel^a, Suta Alex^b

^aSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

szilassi.abel@ga.sze.hu

^bSzéchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont

suta.alex@ga.sze.hu

Absztrakt

A tanulmány szisztematikus szakirodalmi áttekintést alkalmaz az autóiipari gyártási folyamatokban alkalmazott mesterséges intelligencia (MI) megoldások kutatására. Főbb megállapításai szerint a robot folyamatautomatizálás (RPA) és a mélytanulás jelentősen növelik a hatékonyságot és a költséghatékonyságot. A tanulmány hangsúlyozza a további kutatások szükségességét ezen technológiák gazdasági hatásainak átfogó vizsgálatához, és kiemeli az MI átalakító potenciálját a gyártási folyamatok optimalizálásában és a működési teljesítmény javításában.

Kulcsszavak: Mesterséges Intelligencia, Autóiipari gyártás, Szakirodalmi áttekintés

Abstract

This paper systematically reviews the application of artificial intelligence (AI) solutions in automotive manufacturing. Key insights highlight that robotic process automation (RPA) and deep learning significantly enhance efficiency and cost-effectiveness. The study underscores the necessity for further research to explore the economic impacts of these technologies comprehensively. It also emphasizes the transformative potential of AI in optimizing production processes and improving operational performance.

Keywords: Artificial Intelligence, Automotive manufacturing, Literature review

1. Bevezetés

Az elmúlt évtizedekben megjelenő digitális innovációk mára elkerülhetetlen részét képezik a különböző iparágak gyártási folyamatainak is. Ez különösen igaz az autóiparra, amelynél már a kezdetektől elvárt, hogy a gyártás minél több területén csökkentsék a sokszor lassabb és hibázni képes emberi tevékenységek számát. A jelen cikk alapfeltevése, hogy az autóipar számára versenyképesség szempontjából elengedhetetlen, hogy általánosságban nyitott legyen a digitalizált gyártási technológiákra. Az elmúlt években több akadémiai kutatás is alátámasztotta ezt a megállapítást, azonban kétségtelen, hogy további kutatások szükségesek a kérdéskör átfogóbb vizsgálatára. Az ezzel kapcsolatos egyik legrészletesebb elemzést Oduro et al. (2023) készítették, akik 109 tudományos cikket vizsgáltak meg a metaanalízis módszerével, majd végeztek rajtuk meta-regressziós elemzéseket. Az eredmények összesítésekor megállapították, hogy az alkalmazott digitális technológiák (a mesterséges intelligencia [MI], Big Data elemzés, a 3D nyomtatás, valamint a dolgok internete [IoT]), a vállalatok innovációs teljesítményére vannak a leginkább pozitív hatással, azonban a működési hatékonyságaikra, illetve a pénzügyi eredményeikre is mérsékelt befolyással bírnak. A tanulmányban igazolást nyert az a feltételezés, hogy az iparág számára ezek között a leghatékonyabb technológia egyértelműen az MI, amely iránti beruházás a szerzők szerint pénzügyi szempontból is megtérül, azonban több belső tényezőtől is függ, hogy mekkora időtávot követően. Mindezek alapján a jelen cikkben is elsősorban a mesterséges intelligencia autóipari alkalmazásával fogunk foglalkozni, kiegészítve a legújabb, más típusú gyártási technológiákkal.

A téma alaposabb körüljárásához azonban szükséges néhány alapvető ismerettel tisztában lenni ahhoz, hogy az egyes régiók milyen gazdasági mérettel és mozgástérrel rendelkeznek az innovációk befogadásához, illetve, hogy jelenleg milyen szerepet töltenek be az MI alkalmazása terén.

Az ACEA jelentése szerint 2021-ben világszerte összesen 79,1 millió gépjárművet gyártottak. Mindezt regionális felbontásban vizsgálva megállapítható, hogy az előző évi teljesítményhez képest a teljes autóipari termelés 1,3%-kal nőtt, ami elsősorban a feltörekvő régióknak, így Dél-Ázsiának és Dél-Amerikának, valamint a Közel-Keletnek és Afrikának volt köszönhető. Másrészt Európa és az ázsiai tigrisek két legnagyobb autóipari országa (Japán és Dél-Korea) lassan és folyamatosan veszít a világpiaci befolyásából, míg Kína továbbra is vezető

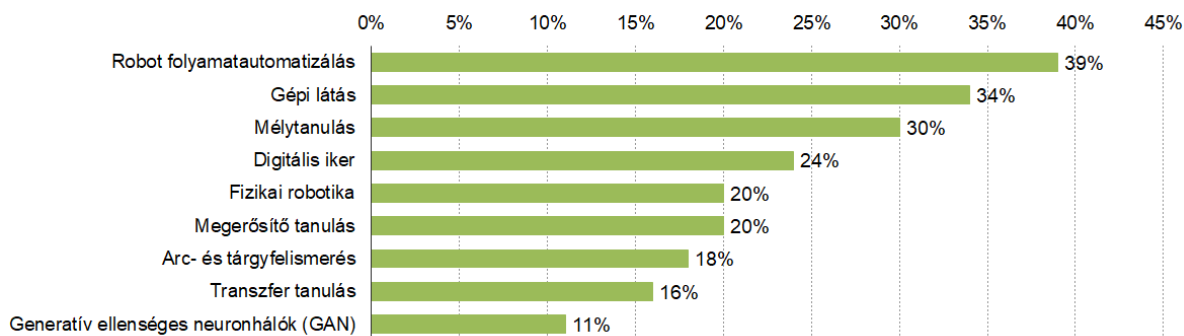
gépjárműgyártó ország marad, szinte változatlan termelékenységgel. Kínához hasonlóan Észak-Amerika is csak mérsékelten tudta növelni termelési kapacitásait.

1. táblázat: Autóipari tevékenység földrajzi megoszlása (ACEA, 2022)

	Legyártott gépjárművek			Eladott gépjárművek		
Régiók	Piac megoszlása (2021)	Piac megoszlása (2020)	Változás	Piac megoszlása (2021)	Piac megoszlása (2020)	Változás
Európa	20,5%	21,9%	-4,8%	20,5%	21,3%	+0,4%
Észak-Amerika	17,1%	17,3%	+0,2%	22,7%	21,9%	+4%
Kína	32,3%	32,7%	+0,1%	30,5%	31,7%	+0,1%
Japán/Korea	13,9%	14,5%	-3,3%	7,4%	8%	-3,4%
Egyéb régiók	16,2%	13,6%	+20,1%	19,8%	17,2%	+19,5%

Amennyiben az értékesítési adatokat tekintjük át, 2021-ben csaknem 84 millió járművet adtak el világszerte, ami jelentős növekedést jelent az előző évhez képest. Dél-Korea és Japán kivételével minden jelentős gazdasági régió bővíteni tudta piacát, ami elsősorban a COVID-19 utáni lassú fellendülésnek köszönhető. Az év legsikeresebb eladóinak azonban egyértelműen a Közel-Kelet és Afrika (18,8%), majd Dél-Amerika (17,5%) tekinthetők.

A McKinsey & Company kutatása alapján a robot folyamatautomatizálás (RPA) vezeti a technológiai elterjedtségi listát, amelyet a vállalatok 39%-a alkalmaz. Ez az eredmény azt tükrözi, hogy az RPA hatékony eszköz a költségek csökkentésére és a hatékonyság növelésére. Emellett a gépi látás (34%) és a mélytanulás (30%) is jelentős szerepet kap, mivel ezek a technológiák alapvetően átalakítják az adatfeldolgozás és elemzés módszereit.



1. ábra: Technológiák elterjedtsége (McKinsey & Company, 2022)

2. Módszertan

Az adatgyűjtéshez szisztematikus szakirodalmi áttekintés alkalmaztunk, melynek során tartalomelemzéssel először az autóiparban alkalmazott MI módszereket gyűjtöttük össze, majd vizsgáltuk azok gazdasági szempontjait. Az akadémiai kutatások kigyűjtéséhez a Web of Science, Science Direct, Scopus valamint a Google Scholar adatbázisokat vettük alapul, amelyeken belül az alábbi keresőkifejezéseket használtuk: (*“automotive”*) AND (*“company”* OR *“corporate”* OR *“business”*) AND (*“applied AI”* OR *“artificial intelligence”* OR *“machine vision”* OR *“computer vision”* OR *“deep learning”*). A kezdeti 499 db publikációs eredményen manuális relevancia-vizsgálattal különböző szűrési feltételeket alkalmaztunk, a kutatási területet a lehetőségekhez mérten kifejezetten gazdasági vonatkozásokban határoztuk meg. A szűrést követően 47 releváns tanulmányt kaptunk, amelyeket Zotero-ban összesítve csoportosítottunk. A vizsgált témakör újszerűségét jól reprezentálja, hogy a kutatásban felhasznált források 74%-át 2020 és 2023 között publikálták.

Mindezekon felül a kutatáshoz piaci forrásokat is felhasználtunk, amelyek részben az MI, illetve a hozzá köthető technológiák alkalmazásával és piaci méretével foglalkoztak, részben egy áttekintést nyújtottak az autóipar aktuális piaci helyzetéről. A két területet csak külön-külön lehetett vizsgálni, ugyanis jelenleg nem nagyon rendelkezünk kifejezetten az autóipar digitális technológiáira vonatkozó, nyilvánosan elérhető piaci felmérésekkel. Mindezekhez az EMIS és a Statista adatbázisait használtuk, amelyeket kiegészítettünk további, elsősorban vezető könyvvizsgáló vállalatoktól származó publikációkkal. Mindezeket összesítve további 26 piaci forrással egészítettük ki kutatásunkat, ezek 88%-a 2022-ben és ‘23-ban jelentek meg különböző, többnyire Q1-es minősítésű folyóiratokban.

3. Eredmények

3.1. Alkalmazási területek

A kutatás első szakaszában egy áttekintés készült az autógyártáshoz jelenleg is gyakran használt MI alapú technológiákról. A legtöbb tanulmány általában csak egy-egy gyártási technológiával és annak hatékonyságával foglalkozik, azonban Demlehner et al. (2021) egy másfél évig tartó Delphi-tanulmányban, 39 szakértővel készített interjúk alapján (akik 25 különböző szervezettől érkeztek), valamint 73 kutatást magába foglaló szakirodalom segítségével nem csak összesítették, hanem rangsorolták és értékelték az MI alkalmazhatóságait a becsült üzleti értékük és megvalósíthatóságuk szerint. A szerzők összesen 20 különböző felhasználási esetet azonosítottak, amelyből négyet a szakirodalom egyáltalán nem, csak a szakértők említettek, ami újabb igazolást ad arról, hogy több kutatásra lenne szükség ebben a témakörben. A felhasználási eseteken először üzleti értékebecslést végeztek, a kutatás a legértékesebb MI beruházások közé sorolja a prediktív karbantartást, a vizuális minőségellenőrzést, az objektumok címkézését és követését, valamint az autógyártás sorrendjének optimalizálását. Legkevesbé üzletileg értékes innovációnak ezzel szemben a festés során használt összetevők szabályozását, a műszaktervezés automatizálását, valamint a munkavállalók útvonalának optimalizálását tartja a szakirodalom, ezen módszereket a szakértők nem is hozták szóba az interjúk során. A második rangsorolás az MI technológiák megvalósíthatóságára vonatkozott, ez alapján a gyáraknál és robotoknál alkalmazott energiafelügyelet, a nyersanyagokból származó melléktermékek minimalizálása, valamint a korábban már említett vizuális minőségellenőrzés, objektumok címkézése, követése és a festés összetevőinek szabályozása viszonylag könnyen kivitelezhető beruházásoknak tekinthetők. Legkevesbé megvalósíthatónak számít ellenben a mátrixos gyártás, valamint a robotok és emberek között fizikai kollaboráción alapuló teljeskörű integráció. A fenti szempontok többségét a szakirodalomban és az interjúkban egyaránt említették. A tanulmányban összegyűjtött MI alkalmazási módszereket az alábbi táblázatban foglaltam össze:

2. táblázat: MI alkalmazhatósága ipari folyamatok során (Demlehner et al., 2021)

Ssz.	Gyártás	Robotika	Logisztika	Menedzsment
1	Nyersanyagokból való kivágások tervezése (melléktermék minim.)	Robotpályák autonóm optimalizálása	AGV-k útvonaltervezése	Minőségellenőrzés vizuális és nem vizuális jeleken
2	Alkatrészgyártás moduláris önszabályozású gyártó- cellákon keresztül (mátrix)	Robotok fogásképpessége	Munkavállalók útvonalának optimalizálása	Modellek az autók optimális sorrendjének kialakítására
3	Gyártás szervezése géppel olvasható szabvánnyelven írt tervezési dokumentumokkal	Robotok és emberek közötti fizikai együttműködés lehetővé tétele	Energiafogyasztás nyomon követése	Előrejelzés a közelgő karbantartási igényekről
4	Nitrátkoncentráció előrejelzése festés során	Objektumok automatikus vizuális felismerése	Gyártócsarnokokban használt drónok útválasztása	Műszaktervezés automatizálása
5	Keresőmotor és tudásmenedzsment rendszer a karbantartás területén	robotoknál lehetséges energiatakarékossági lehetőségek azonosítása		Termelésstervezés előrejelzése

A kutatás második szakaszában néhány olyan technológia kerül bemutatásra, amelyek az autóipar egyes gyártási folyamataihoz kapcsolódnak, illetve megjelenik bennük a mesterséges intelligencia és annak különböző területei.

Az egyik ilyen innováció az önszűrő szegecseles (SPR), amely a könnyűszerkezetes járműkarosszériák gyártásában alkalmazott egyik legfontosabb kötési technológia, amit különböző szegecs- és szerszámkombinációkkal végzett próba-hiba tesztek útján fejlesztenek ki. A tapasztalatokon alapuló fizikai tesztelek helyett adatvezérelt megközelítést alkalmaznak, amellyel a kötési folyamatot alacsony költséggel és nagy megbízhatósággal lehet

optimalizálni. Az eljáráshoz az adatgyűjtés, valamint azok megfelelő jellemzése okozza a legnagyobb kihívást, ehhez alkalmazzák az SPR-t, amely a mélytanulás segítségével azonosítja a geometriai paraméterekkel meghatározott képet a feldolgozás teljes ideje alatt. Egy tanulmány szerint a módszerrel mindössze 10 másodpercre lehet csökkenteni a mérési időt, amely így a manuális méréshez képest 95%-al gyorsabb, miközben átlagos hiba is elhanyagolható mértékű volt (Li et al., 2022).

A másik ígéretes eljárás a fejlett hegesztési gyártás (AWM). A klasszikus hegesztés egy olyan gyártási folyamat, amely során legalább két anyagdarabot kötnek össze melegítéssel és keveréssel, amit időnként nyomással támogatnak, ezt követően a létrejött anyagot hagyják lehűlni és megszilárdulni. Az AWM célja, hogy a költséghatékonyság érdekében mindezt tudományos módszerek alkalmazásával érje el, amely három folyamatot foglal magában. Először a tervezést megelőzően számos szempont figyelembevételével kiválasztja az optimális eljárást. Ezt követően előrejelzi az eredményt és minimalizálja a költségfüggvényt. Végezetül az utolsó lépés már a gyártás alatt történik, valós idejű érzékeléssel és vezérléssel a tervezettől való esetleges eltéréseket hidalja át. Ehhez olyan korszerű eljárások egyvelegét alkalmazza, mint a varratkövetés, gépi látás, hegesztés felügyelete vagy a gépi tanulás (Cheng et al., 2021).

A következő ismertebb eljárás a ResNet-50, amely a minőségellenőr munkáját hivatott segíteni. A kezelő fáradtságából eredő esetleges hibáit tudja azáltal kiküszöbölni, hogy az automatikus minőségellenőrzést neurális hálózattal támogatva végzi el, amely különböző tárgyak meglétét vagy hiányát tudja 99%-os pontossággal észlelni. A ResNet-50 használatával nemcsak a pontosság és a megbízhatóság javítható, hanem az ellenőrzéshez szükséges ciklusidő is rövidíthető. A technológia a jövőben az autóiipari gyártás további innovációhoz köthető projektjeiben is megjelenhet (Hachem et al., 2021).

Az akkumulátoros rendszerek (BPS) tervezésének biztonságosabbá tétele szintén kiemelt jelentőségű a gyártók számára, ugyanis az optimális vastagságuk meghatározása még a legkorszerűbb technológiákkal is nehéz feladat, miközben számos tényező szempontjából ez egy kulcsfontosságú kérdés. Nemcsak az akkumulátorok biztonságát és megbízhatóságát befolyásolja a vastagság, hanem a fejlesztési időt és költséget is jelentősen csökkenteni lehet, amennyiben megfelelő paraméterek alapján történik a gyártás. Ehhez most egy új módszert ajánlanak a kutatók, amelynek lényege, hogy az eddig alkalmazott végelem-elemzést (FEA) egy új keretrendszerrel, egy mély neurális hálózattal (DNN) kell kiegészíteni az előrejelzést.

Az alkalmazásához először egy FE-modellből szerzett adatgyűjtést kell végezni, ezt követően kerülhet sor a DNN modell kidolgozására, amelynek feladata a bemeneti (pl.: legrövidebb élettartam) és kimeneti (alkatrészek vastagsága) értékek közötti nemlineáris kapcsolatok vizsgálata. A legújabb eredmények azt mutatják, hogy a DNN-modell segítségével már sokkal pontosabban meg lehet határozni a BPS alkatrész vastagságát (Zhang et al., 2023).

3.2. Gazdasági vonatkozások

A mesterséges intelligenciához köthető technológiák azonosítását követően érdemes megvizsgálni azok autóiparra gyakorolt hatásait. A továbbiakban olyan kutatások kerülnek bemutatásra, amelyek az autógyártásban használt MI gazdasági vonatkozásaival és esetleges megtérülésével foglalkoznak.

Az egyik ilyen tanulmány azt vizsgálta, hogy amennyiben a modern technológiák beszerzéséhez, fejlesztéséhez és optimális használatához a beszállítókkal való külső tudásmegosztáshoz (nyílt innováció) folyamodnak, akkor az milyen mértékben befolyásolja a gyártó (és szolgáltató) iparágak áruforgalmát. Ezen felül még két további hipotézist is meghatároztak, az egyik az automatizáció mértéke és a forgalom közötti pozitív korrelációról szólt, míg a másik szerint erre a kapcsolatra pozitívan hat a nyílt innováció. Ennek megállapításához 5287 spanyol cég adatait elemezték, ami viszont kevésbé teszi lehetővé az eredmények általánosíthatóságát, hiszen Spanyolország kevésbé számít az innováció terén vezető gazdasági térségnek például az Egyesült Államokhoz vagy más, Kelet-ázsiai országokhoz képest. A kutatásban egyértelmű bizonyítást nyert, hogy a magas fokú automatizáció pozitív hatást gyakorol a forgalomra, valamint az az állítás is alátámasztásra került, hogy ezt a kapcsolatot a beszállítókkal való nyílt innováció csak erősíti. A leíró statisztikai modellek segítségével az is megerősítésre került, hogy a nyílt innováció hatékonysága országon belüli szereplőkkel (például szállítókkal, kutatóintézetekkel) jóval kevésbé eredményesebb, mintha országon kívüli vállalatok és intézmények bevonásával történne. A szerzők ezen felül megjegyzik, hogy számos tanulmány igazolja, hogy a technológiához kötődő döntésekhez nem integrálnak olyan kulcsfontosságú részlegeket például a kontrolling vagy a jogi osztály (Nylund et al., 2020).

Egy másik kutatás szintén egy nagymintás kutatást végzett, 655 különböző feldolgozóipari vállalat képviselőjével végeztek el egy online felmérést, akik 16 vezető ipari országból érkeztek. A válaszok alapján a feldolgozóiparban leginkább nagy mennyiségű adatelemzéshez alkalmazzák (62%), de gyakran használatos még az üzleti folyamatok tervezéséhez, optimalizálásához (59%) de az önálló döntéshozatali kompetenciával rendelkező MI technológiák jelenléte sem elhanyagolható (54%). Ezt követően a kutatók egy úgynevezett MI-indexen keresztül mérték fel, hogy országonként, illetve a vállalat méretéhez viszonyítva mennyire intenzíven használják mindezen technológiákat. Felmérésük szerint vizsgált országaik közül az USA, India, valamint Kína alkalmaz leggyakrabban MI-hoz kötődő technológiákat, ezzel szemben Kanada, Franciaország és Németország a legelmaradottabb e téren. A kutatás során mind a négy vizsgált területen pozitív korrelációt találtak, tehát egy erős versenykörnyezetben lévő, a kutatásokban és fejlesztésekben aktív szerepet vállaló, digitális képességekben magasan jártas nagyvállalatban a legeredményesebb az MI technológiák felhasználása a gyártásban. Megállapították továbbá, hogy elsősorban szervezeti és technológiai korlátai vannak a bővülésnek, illetve megerősítették Nylund et al. (2020) azon feltételezését, hogy a hazai piacra korlátozódott jelenlét rendkívül kedvezőtlenül hat az innovációra (Kinkel et al., 2022).

A Big Data vezérelt és a körforgásos gazdasághoz alkalmazott MI technológiákkal szintén foglalkoztak egy akadémiai kutatásban, amelyhez 219 Dél-Afrikában működő autóipari és ahhoz kapcsolódó gyártóktól gyűjtöttek adatokat, majd végeztek különböző tesztek. Az eredmények alapján az eddig célként megfogalmazott költségcsökkentés és a felhasznált nyersanyagkészletek minimalizálása helyett a Big Data vezérelt MI technológiák alkalmazására kellene helyezniük a hangsúlyt, mivel azok megkönnyítik a műveletirányítást, autonóm döntéseikkel pedig nemcsak javítják az ellátási lánc teljesítményét, hanem képesek megnövelni a felhasznált erőforrások életciklusát és csökkenteni tudják a gyártásból származó hulladék mennyiségét (Bag et al., 2021).

Végezetül néhány további kutatás fontosabb eredményei, megállapításai kerülnek összefoglalásra. Egy amerikai tanulmány az USA robotállományának adatait, valamint a robotokhoz kapcsolódó készségeket igénylő online álláshirdetéseket összehasonlítva arra a következtetésre jutott, hogy a 2008-as gazdasági világválságot követően a robotok nagyobb mértékű használata pozitívan járul hozzá gyárak foglalkoztatottsági mutatóikhoz (Leigh et al.,

2020). Egy magyar kutató által vezetett publikáció először az autóiparban használt MI típusait gyűjtötte össze, majd a legfőbb alkalmazási területeit három részre csoportosította: analitikai adatfeldolgozás, sok adat alapján történő döntéshozatal, illetve monoton tevékenységek. A szerzők szerint az MI rendszerek fokozatos integrációját és önfejlesztését követően belátható időn belül az autóipar szinte összes területén meg fog jelenni a mesterséges intelligencia a gyártósortól kezdve a vezetői döntéshozatalig (Hofmann et al., 2017). A témához kapcsolódóan készült egy olyan kutatás is, amely azt vizsgálta, hogy a vállalatok MI iránti bizonytalansága mennyiben befolyásolja a technológia használatát. A kapott eredmények alapján megállapították, hogy a vállalat mérete, digitális érettsége és a kapcsolódó egyéb technológiák (például az IoT) jelenléte van a leginkább hatással az MI használatára. Ezzel szemben a pénzügyi bizonytalanság jelentősen, míg az MI célszerű használata iránti bizonytalanság részben mérsékli az MI-hoz kötődő technológiák alkalmazását. A vizsgált vállalatok bár általánosságban szorosan figyelik a konkurens cégeket, és amennyiben a versenyképesség megköveteli hajlandóak alkalmazkodni az általuk használt új trendekhez és technológiákhoz, azonban mindezt a költségekre vonatkozó bizonytalansági okokból kevésbé kutatással és fejlesztéssel, sokkal inkább a versenytárs által alkalmazott eljárás, innováció lemásolásával kívánják elérni. A mesterséges intelligenciához kötődő technológiák azonban olyannyira változatosak és bonyolultak, vállalatspecifikusak tudnak lenni, hogy mindez jelentősen megnehezíti a versenytárs leutánzását. A szerzők ezért javasolják, hogy a vállalatok legyenek kevésbé kockázatkerülők és készítsenek több saját kutatást, mivel a kivárást nem tartják eredményesnek és a konkurens cégek innovációs beruházásainak lekövetését sem tartják célszerűnek, mivel szerintük sok ilyen cég anélkül alkalmaz ilyen technológiát, hogy alaposabban vizsgálta volna annak gazdasági megtérülését. (Ameye et al., 2023) Mindezekon felül egy kínai tanulmány vont le arról következtetést, hogy az MI segítségével az exporttermékek, így az autók minőségén is lehet javítani azáltal, hogy fokozni lehet vele többek között az erőforrások elosztásának hatékonyságát, valamint az információfeldolgozás gyorsaságát, amennyiben a termelés intelligens gyártási módszerekkel történt (Xu & Tian, 2023).

4. Összegzés

Az átfogó szakirodalmi áttekintés során azonosításra kerültek mindazon alkalmazott MI alapú technológiák, amelyek a gyártási folyamat különböző részterületein jelen vannak. Az ismertebb technológiákat a könnyebb áttekinthetőség érdekében kerültek csoportosításra, valamint a legújabb innovációk és MI alapú gyártási eljárások is megnevezésre kerültek. Utóbbiakat elsősorban az anyagfeldolgozásra használják fel, amely folyamat során a munkavégzés megbízhatóságának és idejének optimalizálásában segítenek, valamint a felmerülő anyagköltségeket is csökkenthetik.

Ezt követően számos kutatást gyűjtöttünk össze, amelyek a mesterséges intelligencia vállalatokra gyakorolt hatásaival, szemléletével, felhasználásával, valamint a gazdasági megtérülésével foglalkozott. Ezek bár az MI legkülönbözőbb aspektusait vizsgálták, következtetésként a legtöbb esetben általános ajánlásokat fogalmaztak meg a gyártó vállalatok vezetői számára, ezek az alábbi bekezdésben kerülnek összefoglalásra.

Egy erős versenykörnyezetben lévő, a kutatásokban és fejlesztésekben aktív szerepet vállaló, digitális képességekben magasan jártas nagyvállalati vezetőként van arra a leginkább lehetőségük és érdekük, hogy gyártási folyamataikba hatékonyan és gazdaságosan legyenek képesek integrálni a mesterséges intelligenciát. Különösen érdemes alkalmazni ezt a technológiát, amennyiben nagyon összetett termékek, alkatrészek gyártásáért is felelnek (Kinkel et al., 2022). Lehetőségükhöz mérten törekedjenek a nyílt innovációra, folyamodjanak a beszállítókkal és kutatóintézetekkel való tudásmegosztáshoz, mindezt nemzetközi szinten, és ehhez integrálják a vállalat kisebb mértékben érintett részlegeit is (Nylund et al., 2020). Mivel az MI használatával a beszállítók és a nagykereskedők is folyamataik javításával képesek növelni a vevői elégedettséget, ezért is áll érdekükben a vállalatvezetőknek a nyílt innováció (Xu & Tian, 2023). Az intelligens gyártáshoz és a folyamatos fejlesztéshez elengedhetetlen, hogy a menedzserek és a munkavállalók állandó továbbképzésben részesüljenek, illetve az ezekhezallokált további erőforrások biztosítása is vezetőként ismétlődő kihívást jelenthet (Bag et al., 2021). Legyenek kockázatvállalóbbak, finanszírozzanak több technológiai innovációra irányuló kutatást, ugyanis a versenytársak MI alapú beruházásait muszáj monitorozni, azonban nem ajánlott “lemásolni”, ugyanis ez egyszerre kockázatos és magasabb szinten kivitelezhetetlen (Ameys et al., 2023). Érdemes mindezeket felül figyelembe venniük, hogy a gyártósoroknál alkalmazott robotok és az MI által koordinált folyamatok miatt még nem

feltétlenül lesz szükség a munkaerő-állomány állandó csökkentésére (Leigh et al., 2020), illetve számolniuk kell azzal is, hogy az MI támogatása már a vezetői döntéshozataloknál is idővel meg fognak jelenni (Hofmann et al., 2017).

Fontos mindezek után még összegzésképpen megemlíteni, hogy az elméleti keretrendszer alaposabb megértéséhez további akadémiai kutatásokra lenne szükség, ugyanis a szakirodalomban viszonylag kevés szó esik arról, hogy milyen MI gyakorlatok azonosíthatóak az értékteremtés különböző pontjain, illetve, hogy mindebből az autóiipari beszállítói hálózat hogyan tudja kivenni a részét. Szintén érdekes kutatási terület lehet majd a jövőben, amikor a gyártás során alkalmazott MI hatékonyságának elemzése mellett a már felelősséggel is járó döntéshozatalaik eredményessége kerül vizsgálat alá.

Ami az MI gazdasági vonatkozásait illeti, sajnos továbbra is kevés olyan kutatással rendelkezünk, amely elsősorban a technológia pénzügyi megtérülésével foglalkozik, különösen az autóiipari vállalatok esetében. Emiatt nagyon jó lehetőséget kínálna, ha több átfogó elemzés készülne az autóiipari vállalatok éves jelentéseiből, amelyekben vizsgálhatóak lennének, hogy milyen szinten foglalkoznak a vállalatok az MI-al, milyen mértékben végeznek beruházásokat e területen, illetve, hogy van-e bármilyen kimutatásuk arról, hogy ezek a rendszerek mekkora értékteremtő képességgel rendelkeznek a vállalaton belül. Fontos lenne, hogy ezen kérdések iránt a tudományos szakma mellett az érintett vállalatok is erőteljesebb érdeklődést mutassanak, ahogyan azt más kutatások is megemlítették (Ameje et al., 2023; Kinkel et al., 2022).

5. Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NVA-23 számú projekt a Technológiai és Ipari Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1.] ACEA (2022). Automobile Industry Pocket Guide 2022-2023. Elérés ideje: 2023.12.05.
Link: <https://www.acea.auto/publication/automobile-industry-pocket-guide-2022-2023/>
- [2.] Ameye, N., Bughin, J., & van Zeebroeck, N. (2023). How uncertainty shapes herding in the corporate use of artificial intelligence technology. *Technovation*, 127, 102846.
- [3.] Bag, S., Pretorius, J. H. C., Gupta, S., & Dwivedi, Y. K. (2021). Role of institutional pressures and resources in the adoption of big data analytics powered artificial intelligence, sustainable manufacturing practices and circular economy capabilities. *Technological Forecasting and Social Change*, 163, 120420.
- [4.] Cheng, Y., Yu, R., Zhou, Q., Chen, H., Yuan, W., & Zhang, Y. (2021). Real-time sensing of gas metal arc welding process—A literature review and analysis. *Journal of Manufacturing Processes*, 70, 452-469
- [5.] Demlehner, Q., Schoemer, D., & Laumer, S. (2021). How can artificial intelligence enhance car manufacturing? A Delphi study-based identification and assessment of general use cases. *International Journal of Information Management*
- [6.] El Hachem, C., Perrot, G., Painvin, L., & Couturier, R. (2021, January). Automation of quality control in the automotive industry using deep learning algorithms. In *2021 International Conference on Computer, Control and Robotics (ICCCR)* (pp. 123-127).
- [7.] Hofmann, M., Neukart, F., & Bäck, T. (2017). Artificial intelligence and data science in the automotive industry.
- [8.] Kinkel, S., Baumgartner, M., & Cherubini, E. (2022). Prerequisites for the adoption of AI technologies in manufacturing—Evidence from a worldwide sample of manufacturing companies. *Technovation*, 110, 102375
- [9.] Leigh, N. G., Kraft, B., & Lee, H. (2020). Robots, skill demand and manufacturing in US regional labour markets. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 13(1), 77-97.

- [10.] Li, M., Liu, Z., Huang, L., Chen, Q., Tong, C., Fang, Y., & Zhu, P. (2022). Automatic identification framework of the geometric parameters on self-piercing riveting cross-section using deep learning. *Journal of Manufacturing Processes*, 83, 427-437.
- [11.] McKinsey Company (2022). The state of AI in 2022 and a half decade in review. Elérés ideje: 2023.12.05. Link: <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-state-of-ai-in-2022-and-a-half-decade-in-review>
- [12.] Nylund, P. A., Ferras-Hernandez, X., & Brem, A. (2020). Automating profitably together: Is there an impact of open innovation and automation on firm turnover?. *Review of Managerial Science*, 14, 269-285.
- [13.] Xu, X., & Tian, C. (2023). Does artificial intelligence improve the quality of export products? Evidence from China. *Applied Economics Letters*, 1-5.
- [14.] Zhang, X., Xiong, Y., Pan, Y., Xu, D., Kawsar, I., Liu, B., & Hou, L. (2023). Deep-learning-based inverse structural design of a battery-pack system. *Reliability Engineering & System Safety*

